



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MULTI MPPT BERBASIS
ALGORITMA MODIFIED PERTURB AND OBSERVE
UNTUK APLIKASI PESAWAT TANPA AWAK
BERTENAGA SURYA**

Furqon Muhammad Afif
NRP 07111540000008

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T, M.T., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MODIFIED
PERTURB AND OBSERVE BASED MULTIPLE-MPPT FOR
SOLAR UAV**

Furqon Muhammad Afif
NRP 0711154000008

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T, M.T., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

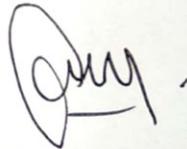
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain dan Implementasi Multi MPPT Berbasis Algoritma *Modified Perturb and Observe* untuk aplikasi Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Furqon Muhammad A.

NRP. 07111540000008

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MULTI MPPT BERBASIS
ALGORITMA MODIFIED PERTURB AND OBSERVE UNTUK
APLIKASI PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

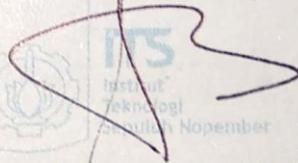
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D
NIP. 198006032006041003

Dosen Pembimbing II



Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 196307251990031002



DESAIN DAN IMPLEMENTASI MULTI MPPT BERBASIS ALGORITMA MODIFIED PERTURB AND OBSERVE UNTUK APLIKASI PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

Nama Mahasiswa : Furqon Muhammad Afif
NRP : 0711154000008
Dosen Pembimbing 1 : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstrak

Saat ini, penggunaan *Photovoltaic* (PV) menjadi pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan karena biaya perawatan yang murah dan tidak menghasilkan emisi. PV memiliki kurva karakteristik daya dan tegangan (P-V) berubah mengikuti iradiasi matahari dan suhu. Pada kurva P-V terdapat titik dimana PV bekerja pada keluaran yang maksimal, titik ini dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Sehingga dibutuhkan sebuah metode bernama *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengoptimalkan daya yang diserap oleh PV. PV juga bisa diaplikasikan kendaraan tanpa awak seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Namun, penggunaan PV pada Solar UAV memiliki beberapa masalah seperti *partial shading* yang disebabkan oleh perubahan cuaca maupun mobilitas UAV tersebut. Jika menggunakan MPPT dengan algoritma konvensional seperti *perturb and observe*, dan *incremental conductance* maka PV tidak dapat bekerja dengan optimal. Terdapat dua cara pemasangan MPPT yaitu struktur MPPT terpusat (*single*), dan struktur MPPT terdistribusi (*multiple*). Dua cara ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing terutama jika digunakan pada Solar UAV dikarenakan dimensi ruang dan berat *payload* dari Solar UAV terbatas. Pada tugas akhir ini akan dirancang penggunaan struktur *single* dan *multiple* MPPT berbasis algoritma *Perturb and Observe* termodifikasi untuk mengatasi kondisi *partial shading* pada aplikasi Solar UAV lalu dilakukan perbandingan performa antar kedua struktur tersebut. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penggunaan *single* MPPT lebih unggul dalam hal kecepatan *tracking* dan Multiple MPPT lebih unggul dalam efisiensi energi terutama saat *partial shading*.
Kata Kunci: *Photovoltaic*, MPPT, Struktur MPPT, *Perturb and Observe*



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MODIFIED PERTURB AND OBSERVE BASED MULTIPLE- MPPT FOR SOLAR UAV

Student Name : Furqon Muhammad Afif
NRP : 0711154000008
Supervisor 1 : Heri Suryoatmojo, S.T, M.T., Ph.D.
Supervisor 2 : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstract

In nowadays, the use of Photovoltaic (PV) is a power plant with the most widely used renewable energy source because of low maintenance cost and no emissions. PV has the power versus voltage characteristic curve change following solar irradiance and temperature. On the P-V there is a point where PV works a maximum output, this point is called Maximum Power Point (MPP). So need a method called Maximum Power Point Tracking (MPPT) to optimize the power absorbed by PV. PV can be applied to unmanned aerial vehicle (UAV) like solar UAV. However, the use of PV in Solar UAV has several problems such as partial shading caused by changes in weather and mobility of the UAV. If using MPPT with conventional algorithms such as perturb and observe, and incremental conductance, PV cannot work optimally. There are two ways to install MPPT, namely a centralized (single) MPPT structure and a distributed (multiple) MPPT structure. These two methods have advantages and disadvantages of each, especially if used on Solar UAV because the dimensions of the space and the weight of the payload of Solar UAV are limited. In this project, we will design the use of single and multiple MPPT structures based on modified Perturb and Observe algorithms to overcome partial shading conditions in the Solar UAV application and then compare performance between the two structures. Result shows that the use of single MPPT is superior in terms of tracking speed and Multiple MPPT is superior in energy efficiency, especially when partial shading.

Key Word: Photovoltaic, MPPT, MPPT structure, Perturb and observe



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur tiada terkira saya panjatkan kepada Allah, Tuhan yang Mahatinggi dan Maha Suci. Atas bantuan dan rahmat-Nya, maka saya dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Desain dan Implementasi Multi MPPT Berbasis Algoritma Modified Perturb And Observe untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya”**.

Saya menyadari bahwa penulisan buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan Penelitian ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Seluruh anggota keluarga saya sebagai motivasi utama yang senantiasa memberi doa, semangat dan bantuan moral maupun materiil sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Aliva Rusti yang memberikan semangat dan doa.
4. Keluarga Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik angkatan 2015: Ateng, April, Devi, Dwi Sigit, Sigit, Rachman, Wahyu, Nina, Rana, Itang, Irham, Danis. Serta angkatan 2014 dan 2016.
5. Teman-teman Lab 207: Nanang, Samed, Sigit, M Farih, Ilham, Mondo, Bowo, Yogi. yang saling berbagi ilmunya.
6. Mas Dadan, Mas Mada, dan Mas Fahad yang telah memberikan banyak ilmunya untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
7. Dan semua pihak yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat



memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS
pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi.....	5
BAB 2 TEKNOLOGI MAXIMUM POWER POINT TRACKING UNTUK PHOTOVOLTAIC	7
2.1. Photovoltaic.....	7
2.2. Maximum Power Point Tracking	9
2.2.1. Algoritma <i>Perturb & Observe</i>	10
2.2.2 Algoritma <i>Artificial Neural Network</i>	12
2.3. Struktur MPPT Terpusat dan Terdistribusi.....	13
2.4. Konverter Buck	14
2.5. Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya	17
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI.....	19
3.1 Desain Konverter Buck.....	19
3.2 Algoritma Modified <i>Perturb & Observe</i>	22
3.3 Simulasi	24

3.3.1 Simulasi MPPT pada Kondisi Partial Shading.....	24
3.3.2 Simulasi Penggunaan <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT Iradiasi Berubah dan Beban Konstan	32
3.3.3 Simulasi Penggunaan <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT Iradiasi Konstan dan Beban berubah.....	39
3.3.4 Simulasi Penggunaan <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT pada Pengisian Baterai	42
3.4 Implementasi	43
3.4.1 Komponen pada MPPT.....	43
3.4.2 Pengujian Alat	46
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....	49
4.1 Pengujian Rangkaian Konverter Buck.....	49
4.2 Pengujian Sensor.....	52
4.3 Kurva Karakteristik PV.....	54
4.4 Pengujian struktur <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT pada Perubahan Iradiasi	55
4.5 Pengujian struktur <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT pada Kondisi <i>Partial Shading</i> (PSC).....	58
4.6 Pengujian struktur <i>Single</i> dan <i>Multiple</i> MPPT pada Perubahan Beban	61
4.7 Perbandingan antara Simulasi dan Implementasi	68
4.8 Pengujian MPPT pada <i>Charging</i> Baterai.....	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	779
BIOGRAFI PENULIS.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalent PV	7
Gambar 2.2 Kurva karakteristik PV pada iradiasi yang berbeda-beda	9
Gambar 2.3 Perubahan titik kerja tegangan PV dengan beban resistif akibat perubahan irradiasi.	9
Gambar 2.4 Skema PV dengan menggunakan MPPT.	10
Gambar 2.5 Algoritma Perturb & Observe.	11
Gambar 2.6 Efek partial shading pada PV	11
Gambar 2.7 Contoh dari artificial neural network.....	12
Gambar 2.8 Struktur PV dengan MPPT Terpusat	13
Gambar 2.9 Struktur PV dengan MPPT Terdistribusi	14
Gambar 2.10 Rangkaian Konverter Buck	14
Gambar 2.11 Kondisi rangkaian ketika saklar keadaan ON	15
Gambar 2.12 Kondisi rangkaian ketika saklar keadaan OFF	15
Gambar 2.13 Rasio Perubahan Duty cycle dan Tegangan	16
Gambar 2.14 Skema Sistem Kelistrikan Solar UAV	17
Gambar 3.1 Diagram alir Algoritma Modified Perturb & Observe.....	23
Gambar 3.2 Kurva karakteristik PV yang digunakan pada tiga kondisi iradiasi	24
Gambar 3.3 Skema simulasi MPPT saat partial shading	25
Gambar 3.4 Kurva karakteristik P-V saat PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).....	25
Gambar 3.5 Grafik daya PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).	26
Gambar 3.6 Grafik tegangan PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).	27
Gambar 3.7 Grafik daya PV dengan algoritma MPO pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).	28
Gambar 3.8 Grafik tegangan PV dengan algoritma MPO pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).	28

Gambar 3.9 Kurva karakteristik P-V saat PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$).....	29
Gambar 3.10 Grafik daya PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$).....	30
Gambar 3.11 Grafik tegangan PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$).....	31
Gambar 3.12 Grafik daya PV dengan algoritma MPO pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$).....	31
Gambar 3.13 Grafik tegangan PV dengan algoritma MPO pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$).....	32
Gambar 3.14 Kurva karakteristik PV yang digunakan pada tiga kondisi iradiasi ($1000\text{ W}/\text{m}^2$, $800\text{ W}/\text{m}^2$ dan, $600\text{ W}/\text{m}^2$) ..	33
Gambar 3.15 Skema simulasi single MPPT	33
Gambar 3.16 Skema simulasi multiple MPPT	34
Gambar 3.17 Grafik daya PV dengan single MPPT pada perubahan iradiasi	35
Gambar 3.18 Grafik daya PV dengan multiple MPPT pada perubahan iradiasi	35
Gambar 3.19 Grafik tegangan PV dengan single MPPT pada perubahan iradiasi seragam.....	36
Gambar 3.20 Grafik tegangan PV dengan multiple MPPT pada perubahan iradiasi seragam.....	36
Gambar 3.21 Grafik daya PV dengan single MPPT saat PSC.....	37
Gambar 3.22 Grafik daya PV dengan multiple MPPT saat PSC	37
Gambar 3.23 Grafik tegangan PV dengan single MPPT saat PSC	38
Gambar 3.24 Grafik tegangan PV dengan multiple MPPT saat PSC.	39
(a) MPPT dimana PV mengalami shading. (b) MPPT dimana PV tidak shading	39
Gambar 3.25 Grafik daya PV dengan single MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan	40

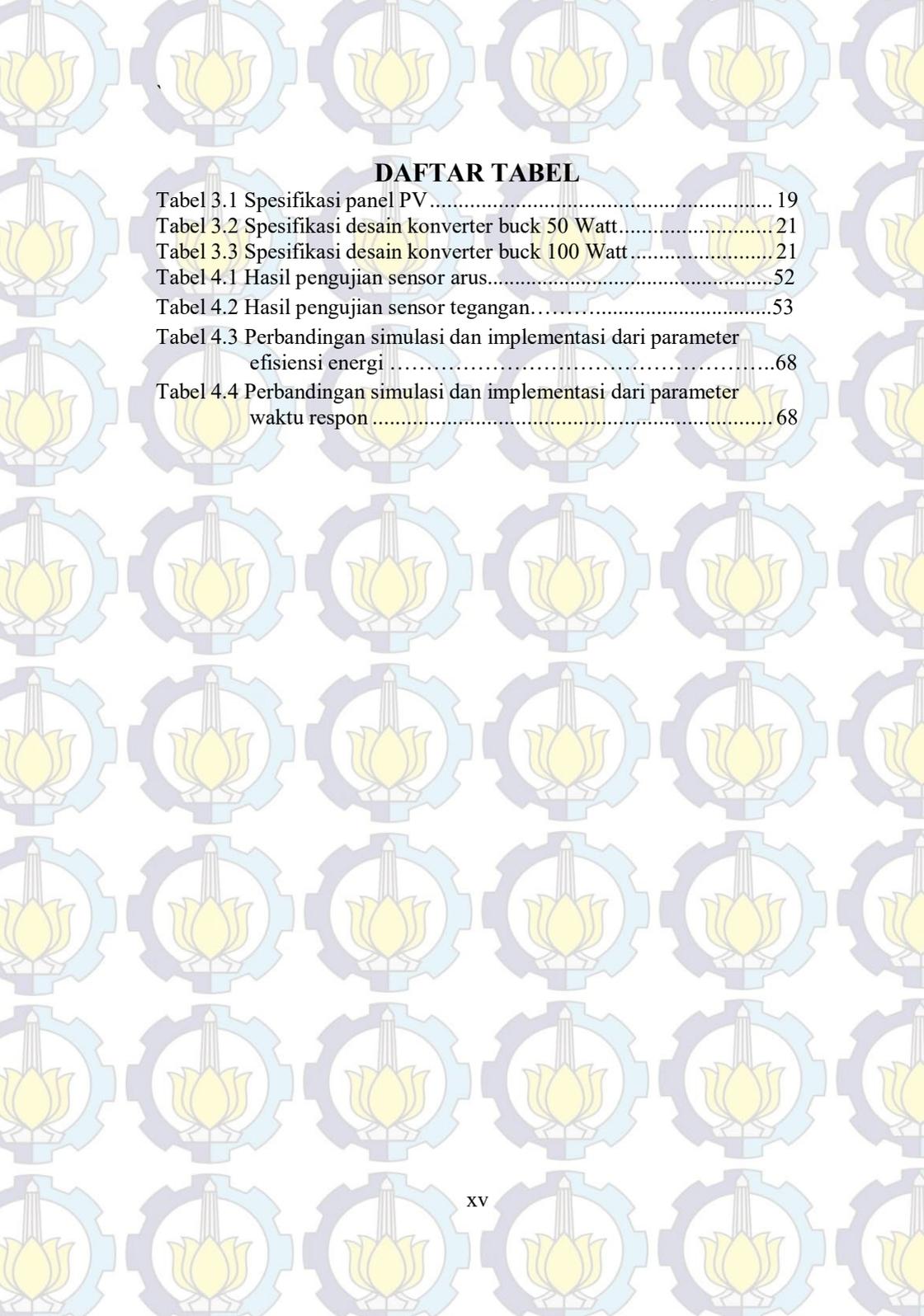
Gambar 3.26 Grafik daya PV dengan multiple MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan.....	41
Gambar 3.27 Grafik tegangan PV dengan single MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan.....	41
Gambar 3.28 Grafik tegangan PV dengan multiple MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan.....	42
Gambar 3.29 Grafik kenaikan SOC dari baterai.....	43
Gambar 3.30 Rangkaian MPPT level bawah (kiri) dan atas (kanan)	44
Gambar 3.31 Spesifikasi inti Magnetics 0077548A7	45
Gambar 3.32 Dimensi dari rangkaian MPPT dapat masuk pada fuselage Solar UAV	46
Gambar 3.33 pengujian MPPT pada dua panel PV 50Wp	47
Gambar 3.34 pengukuran parameter external pada PV yang berupa: Nilai Iradiasi menggunakan PV 3Wp dan amperemeter (kiri) dan Suhu sel pada PV menggunakan infrared thermometer (kanan)	47
Gambar 4.1 Gelombang arus induktor pada konverter buck 100 Watt	49
Gambar 4.2 Gelombang arus induktor pada konverter buck 50 Watt A	50
Gambar 4.3 Gelombang arus induktor pada konverter buck 50 Watt B	50
Gambar 4.4 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 100 Watt	51
Gambar 4.5 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 50 Watt A.....	51
Gambar 4.6 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 50 Watt B.....	52
Gambar 4.7 Kurva karakteristik P-V dari PV yang digunakan	54
Gambar 4.8 Kurva karakteristik I-V dari PV yang digunakan.....	55
Gambar 4.9 Grafik daya PV dengan single MPPT pada perubahan iradiasi	56
Gambar 4.10 Grafik tegangan PV dengan single MPPT pada perubahan iradiasi	56

Gambar 4.11 Grafik daya PV dengan multiple MPPT pada perubahan iradiasi	57
Gambar 4.12 Grafik tegangan pada PV pertama dengan multiple MPPT pada perubahan iradiasi	57
Gambar 4.13 Grafik tegangan pada PV kedua dengan multiple MPPT pada perubahan iradiasi	58
Gambar 4.14 Grafik daya PV dengan single MPPT saat PSC.....	59
Gambar 4.15 Grafik tegangan PV dengan single MPPT saat PSC	59
Gambar 4.16 Grafik daya PV dengan multiple MPPT saat PSC	60
Gambar 4.17 Grafik tegangan pada PV pertama dengan multiple MPPT saat PSC	60
Gambar 4.18 Grafik tegangan pada PV kedua dengan multiple MPPT saat PSC	61
Gambar 4.19 Pola pembebanan pada MPPT	62
Gambar 4.20 Grafik daya PV dengan single MPPT pada perubahan beban.....	62
Gambar 4.21 Grafik daya PV dengan multiple MPPT pada perubahan beban.....	63
Gambar 4.22 Grafik perbandingan daya PV dengan single dan multiple MPPT pada perubahan beban.....	64
Gambar 4.23 Grafik tegangan PV dengan single MPPT pada perubahan beban.....	64
Gambar 4.24 Grafik tegangan PV pertama dengan multiple MPPT pada perubahan beban	65
Gambar 4.25 Grafik tegangan PV kedua dengan multiple MPPT pada perubahan beban	65
Gambar 4.26 Grafik duty cycle PV dengan single MPPT pada perubahan beban.....	66
Gambar 4.27 Grafik duty cycle MPPT pada PV pertama dengan multiple MPPT pada perubahan beban.....	66
Gambar 4.28 Grafik duty cycle MPPT pada PV kedua dengan multiple MPPT pada perubahan beban.....	67

Gambar 4.29 Grafik tegangan output MPPT dengan single MPPT	67
Gambar 4.30 Grafik tegangan output MPPT dengan multiple MPPT... ..	68
Gambar 4.31 Grafik daya PV dengan single MPPT saat charging baterai.....	69
Gambar 4.32 Grafik tegangan PV dengan single MPPT saat charging baterai.....	70
Gambar 4.33 Grafik duty cycle pada single MPPT saat charging baterai.....	70
Gambar 4.34 Grafik tegangan ouput MPPT dengan single MPPT saat charging baterai	71
Gambar 4.35 Grafik daya PV dengan multiple MPPT saat charging baterai.....	71
Gambar 4.36 Grafik tegangan PV pertama dengan multiple MPPT saat charging baterai	72
Gambar 4.37 Grafik tegangan PV kedua dengan multiple MPPT saat charging baterai	72
Gambar 4.38 Grafik duty cycle MPPT pada PV pertama dengan multiple MPPT saat charging baterai.....	73
Gambar 4.39 Grafik duty cycle MPPT pada PV kedua dengan multiple MPPT saat charging baterai.....	73



--Halaman ini sengaja dikosongkan--



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi panel PV.....	19
Tabel 3.2 Spesifikasi desain konverter buck 50 Watt.....	21
Tabel 3.3 Spesifikasi desain konverter buck 100 Watt.....	21
Tabel 4.1 Hasil pengujian sensor arus.....	52
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor tegangan.....	53
Tabel 4.3 Perbandingan simulasi dan implementasi dari parameter efisiensi energi	68
Tabel 4.4 Perbandingan simulasi dan implementasi dari parameter waktu respon	68



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Saat ini, penggunaan *Photovoltaic* (PV) menjadi pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan karena biaya perawatan yang murah dan tidak menghasilkan emisi. Namun, efisiensi dari pembangkitan energi listrik masih rendah dibandingkan dengan sumber energi yang lainnya[1]. PV merupakan sumber energi nonlinier yang memiliki kurva karakteristik daya dan tegangan berubah mengikuti iradiasi matahari dan suhu. Pada kurva P-V terdapat titik dimana PV bekerja pada keluaran yang maksimal, titik ini dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Sehingga dibutuhkan sebuah metode untuk mengoptimalkan daya yang diserap oleh PV. Metode ini dinamakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Algoritma pada MPPT akan mengontrol agar konverter DC-DC dapat mengkondisikan tegangan kerja pada PV untuk selalu berada di titik daya maksimal.

Jenis algoritma MPPT konvensional yang umum digunakan adalah *Perturb and Observe* (PnO), *Incremental Conductance*, dan *Constant Voltage*. Beberapa metode ini dapat menemukan titik MPP pada PV saat kurva hanya memiliki satu puncak MPP[2]. Namun, saat PV berada pada kondisi *partial shading* maka pada kurva P-V akan muncul beberapa lokal MPP dan satu global MPP yang menyebabkan MPPT dengan algoritma konvensional menjadi kurang efektif[3].

Photovoltaic juga bisa diaplikasikan kendaraan tanpa awak seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)[4]. Solar UAV selain hanya mengandalkan baterai dapat juga ditambahkan PV sebagai sumber energi tambahan agar durasi terbang lebih lama. Namun, penggunaan PV pada Solar UAV memiliki beberapa masalah seperti *partial shading* yang disebabkan oleh perubahan cuaca maupun mobilitas serta manuver dari UAV tersebut. Jika menggunakan MPPT dengan algoritma konvensional seperti yang telah dijelaskan sebelumnya maka PV tidak dapat bekerja dengan optimal.

Pada pemasangan MPPT untuk sistem PV array terdapat dua cara yaitu struktur MPPT terpusat dimana hanya menggunakan satu konverter DC/DC (*single*) yang dikontrol algoritma MPPT pada sistem PV array dan, struktur MPPT terdistribusi dimana tiap PV tersambung konverter DC/DC yang di kontrol MPPT. Dua cara ini memiliki kelebihan dan

kekurangan masing-masing terutama jika digunakan pada Solar UAV dikarenakan dimensi ruang dan berat *payload* dari Solar UAV terbatas.

Pada tugas akhir ini akan dirancang penggunaan struktur *single* dan *multiple* MPPT berbasis algoritma *Perturb and Observe* termodifikasi sehingga dapat menemukan GMPP saat kondisi *partial shading* pada aplikasi Solar UAV. Hasil performa dari *single* MPPT dibandingkan dengan *multiple* MPPT sehingga dapat diketahui penggunaan yang lebih efisien untuk aplikasi Solar UAV.

1.2. Perumusan Masalah

Penggunaan PV pada Solar UAV akan mengalami kondisi *partial shading* yang disebabkan oleh perubahan cuaca maupun mobilitas seta manuver dari UAV tersebut. Saat kondisi *partial shading* kurva karakteristik P-V akan memiliki beberapa puncak lokal MPP dan satu global MPP. Pada kondisi ini agar PV dibutuhkan MPPT dengan metode yang mampu menemukan global MPP agar PV dapat bekerja dengan optimal.

Struktur pemasangan MPPT pada PV array terdapat dua cara yaitu MPPT terpusat (*single* MPPT) dan MPPT terdistribusi (*multiple* MPPT). Dari kedua cara tersebut dilakukan perbandingan dari segi kecepatan *tracking* dan daya yang didapatkan sehingga dapat diketahui struktur pemasangan MPPT yang efektif untuk Solar UAV.

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Mendesain dan mengimplementasikan MPPT berbasis algoritma *Perturb and Observe* termodifikasi sehingga dapat menemukan global MPP saat kondisi *partial shading* dengan konverter buck.
2. Mendapatkan perbandingan antara menggunakan *single* dan *multiple* MPPT pada aplikasi Solar UAV.

1.4. Batasan Masalah

1. Perbandingan antara MPPT terpusat (*single* MPPT) dan MPPT terdistribusi (*multiple* MPPT) berdasarkan parameter kecepatan *tracking* dan jumlah daya yang didapatkan

2. Pengujian MPPT menggunakan dua panel PV 50Wp yang merepresentasikan sayap pada Solar UAV.
3. Pengujian menggunakan beban resistor variabel dan dilakukan perubahan nilai variabel untuk merepresentasikan perubahan beban.
4. Pengujian *charging* baterai untuk mengetahui apakah MPPT yang dirancang mampu bekerja dititik MPP.
5. Analisa dan perhitungan dilakukan pada kondisi ideal.

1.5. Metodologi

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mempelajari skema dan prinsip kerja dari MPPT serta algoritma *Perturb and Observe* sehingga dapat menyelesaikan permasalahan pada penelitian tugas akhir ini. Penentuan dan perhitungan konverter DC-DC yang akan digunakan dapat dipelajari dengan mencari jurnal ilmiah terkait.

2. Desain dan Simulasi

Melakukan desain dan *sizing* komponen untuk membuat konverter pada *single* dan *multiple* MPPT. Lalu dilakukan simulasi MPPT serta algoritmanya dan konverter yang digunakan untuk menguji apakah sesuai dengan permasalahan pada penelitian ini. Pengujian dilakukan menggunakan *software* PSIM dan Matlab. Hasil dari simulasi dapat dibandingkan dengan perhitungan secara teori.

3. Implementasi

Setelah hasil simulasi sesuai dengan hasil yang diinginkan maka desain MPPT dan konverter DC-DC mulai diimplementasikan. Membuat desain layout PCB konverter DC-DC dilakukan dengan menggunakan *software* Eagle. Mikrokontroler yang digunakan untuk implementasi algoritma MPPT adalah Arduino Nano karena desain dibuat seminimal mungkin.

4. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan setelah MPPT terealisasi. MPPT diuji pada dua panel PV 50Wp dengan beban resistif dan baterai. Tahap ini

bertujuan untuk mengetahui apakah MPPT dapat menemukan titik optimal dari PV saat kondisi *partial shading*. Pengujian juga dilakukan dengan cara membandingkan penggunaan *single* atau *multiple* MPPT dengan parameter yang diujikan daya yang dihasilkan dan kecepatan tracking.

5. Analisa Data

Data yang didapat dari pengujian alat diamati dan dibandingkan dengan MPPT metode konvensional. Analisa juga dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan *single* atau *multiple* MPPT.

6. Kesimpulan

Pada akhir penelitian setelah analisa data selesai maka akan ditarik kesimpulan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi tugas akhir ini.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang mendasari penelitian tugas akhir ini seperti algoritma MPPT, konverter DC-DC dan *photovoltaic* sesuai dengan literatur yang sudah terpublikasi skala internasional.

BAB 3 Desain, Simulasi, dan Implementasi

Pada bab ini berisi tentang desain perancangan sistem MPPT beserta spesifikasi konverter, hasil simulasi dengan perangkat lunak PSIM dan Matlab, dan implementasi MPPT pada PV.

BAB 4 Pengujian dan Analisis Data

Pada bab ini berisi tentang pengujian dan analisis data dari konverter yang telah dibuat dan performa dari MPPT yang telah dirancang.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya

1.7. Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai referensi yang dapat menunjang perkembangan teknologi khususnya di bidang energi terbarukan.
2. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang mengerjakan penelitian di bidang energi terbarukan.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

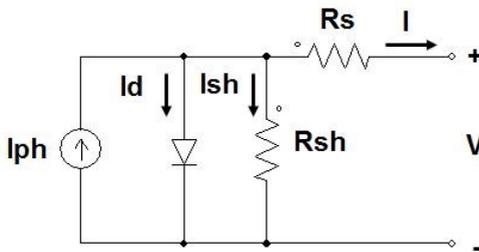
BAB 2

TEKNOLOGI MAXIMUM POWER POINT TRACKING UNTUK PHOTOVOLTAIC

2.1. Photovoltaic

Photovoltaic (PV) merupakan alat yang dapat merubah energi pada foton cahaya menjadi energi listrik[5] berupa tegangan dan arus DC. PV menggunakan material semikonduktor untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Bahan penyusun dari PV hampir sama dengan jenis semikonduktor lainnya seperti dioda dan transistor.

Sebuah model rangkaian ekuivalen sederhana untuk photovoltaic terdiri dari p-n junction diode yang dirangkai paralel dengan sumber arus dimana sumber arus sebanding dengan iradiasi matahari. Gambar rangkaian dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalent PV

Arus yang dibangkitkan oleh sinar matahari (I_{ph}) merupakan fungsi yang dipengaruhi oleh iradiasi matahari dan suhu cell. Hambatan seri (R_s) merupakan model dari rugi-rugi tegangan dan hambatan paralel (R_{sh}) merupakan model dari rugi-rugi arus bocor.

Dengan menggunakan hukum kirchoff I, maka didapatkan persamaan:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

Dimana,

I_{ph} = Arus yang dibangkitkan oleh sinar matahari

I_d = Arus yang melewati dioda

I_{sh} = Arus bocor

$$I_{ph} = \frac{(I_{sc} + K_i(T - 298)) \times G}{1000} \quad (2.2)$$

Dimana,

I_{sc} = Arus hubung singkat saat $G=1\text{kW/m}^2$, $T=298\text{K}$

K_i = Koefisien temperature

T = Suhu (K)

G = Irradiasi matahari (W/m^2)

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

$$I_{sh} = V_d / R_{sh} \quad (2.4)$$

$$V_d = V + IR_s \quad (2.5)$$

$$V_t = kT / q \quad (2.6)$$

Dimana,

I_o = Arus saturasi dioda

V_d = Tegangan pada dioda

V_t = *thermal voltage*

R_{sh} = Resistansi paralel

R_s = Resistansi seri

k = Konstanta boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

q = Muatan electron (1.6×10^{-19} C)

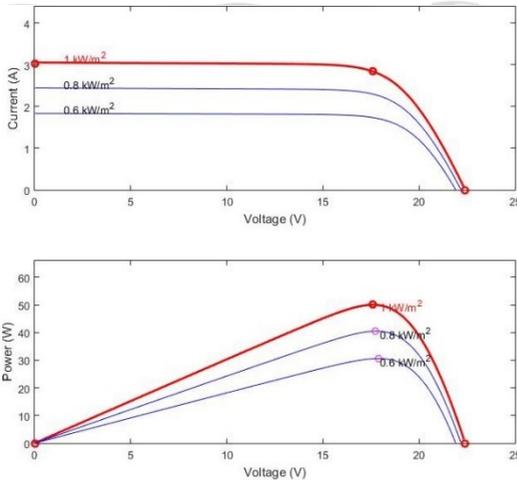
Maka:

$$I_d = I_o \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Sehingga bisa didapatkan persamaan arus output dari PV, yaitu:

$$I = \frac{(I_{sc} + K_i(T - 298)) \times G}{1000} - I_o \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.8)$$

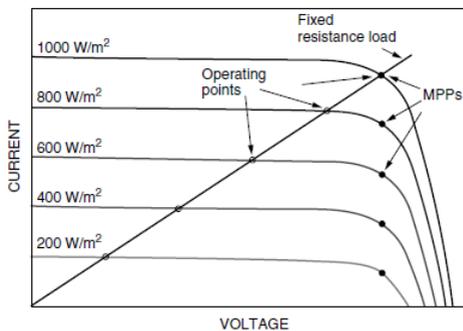
Dari pemodelan tersebut, PV memiliki karakteristik hubungan arus-tegangan dan daya-tegangan yang dapat digambarkan menjadi kurva seperti pada Gambar 2.2. Dapat dilihat jika daya dari PV bergantung dari tegangan operasi PV. Sedangkan nilai maksimal dari kurva karakteristik PV berubah-ubah mengikuti nilai iradiasi.



Gambar 2.2 Kurva karakteristik PV pada iradiasi yang berbeda-beda

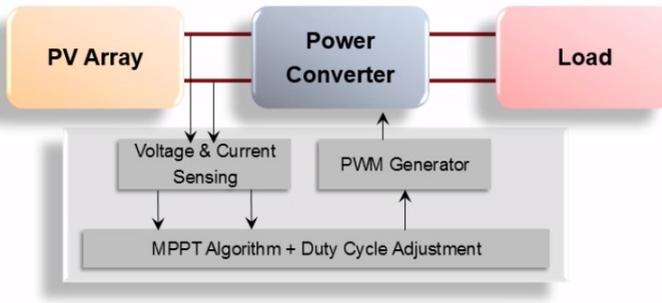
2.2. Maximum Power Point Tracking

Saat ini PV menjadi pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan karena biaya perawatan yang murah dan tidak menghasilkan emisi. Namun, efisiensi dari pembangkitan energi listrik masih rendah dibandingkan dengan sumber energi yang lainnya[1]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara untuk mengoptimalkan daya yang diserap oleh PV.



Gambar 2.3 Perubahan titik kerja tegangan PV dengan beban resistif akibat perubahan iradiasi.[5]

Kurva karakteristik daya dan tegangan pada PV berubah mengikuti iradiasi matahari dan suhu. Saat terjadi perubahan kurva karakteristik tentunya titik optimal daya (MPP) PV juga berubah. Agar PV selalu beroperasi pada daya optimal terdapat sebuah metode yang dinamakan MPPT. MPPT merupakan algoritma yang digunakan pada konverter agar PV dapat diatur tegangan kerjanya pada titik daya yang optimum.

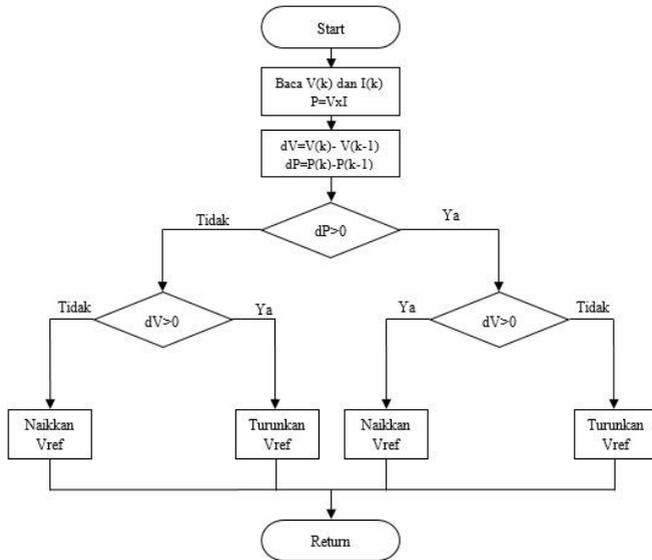


Gambar 2.4 Skema PV dengan menggunakan MPPT. [6]

MPPT mempunyai beberapa metode yang dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *conventional MPPT* dan *intelligent MPPT*[7]. *Conventional MPPT* merupakan metode yang cocok untuk kondisi iradiasi seragam. Metode ini sederhana dan mudah diimplementasikan tetapi tidak dapat digunakan saat kondisi *partial shading*. Beberapa contoh algoritma *conventional MPPT* adalah *Perturb & Observe (P&O)*, *Incremental conductance*, *Fractional Open-Circuit Voltage*, *Fractional short-Circuit Current*, dll. Sedangkan *intelligent MPPT* merupakan metode yang berbasis kecerdasan buatan seperti *Artificial Neural Network (ANN)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)* dan, *Genetic Algorithm (GA)*. *Intelligent MPPT* dapat digunakan pada kondisi iradiasi seragam maupun saat *partial shading*. Namun, *Intelligent MPPT* memiliki banyak perhitungan rumit sehingga dibutuhkan mikrokontroler yang canggih untuk mengimplementasikan metode ini.

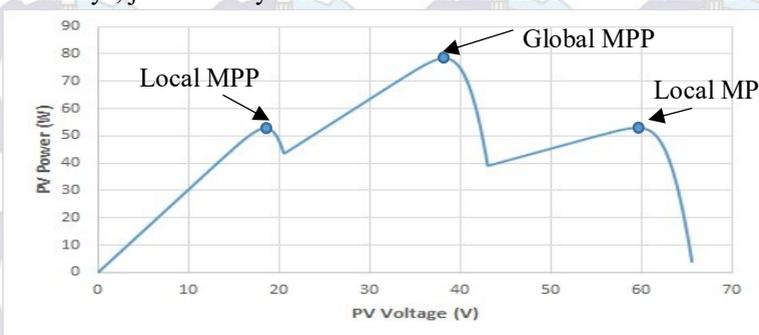
2.2.1. Algoritma *Perturb & Observe*

Algoritma *Perturb & Observe (P&O)* merupakan algoritma yang sederhana dan dapat digunakan ke semua jenis PV karena tidak perlu mengetahui karakteristik dari PV yang digunakan. Alur kerja dari algoritma P&O dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Algoritma Perturb & Observe.

Pada metode ini mula-mula di lakukan *sensing* tegangan $V(k)$ dan arus $I(k)$ untuk memperoleh daya. Kemudian dilakukan *perturb* pada sisi tegangan output PV dan *observe* nilai perubahan daya (dP). Jika saat nilai tegangan di naikkan dan menyebabkan nilai daya semakin naik maka *perturb* yang dilakukan sudah benar sehingga nilai V_{ref} dinaikkan dan sebaliknya, jika nilai daya semakin turun maka nilai V_{ref} diturunkan.

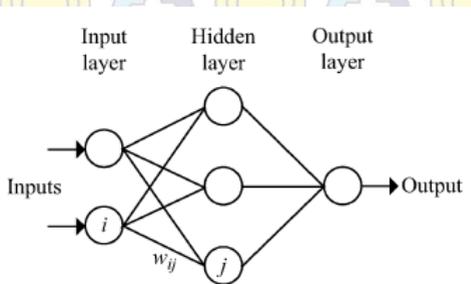


Gambar 2.6 Efek partial shading pada PV

Karena kesederhanaannya maka algoritma P&O paling banyak digunakan pada MPPT. Namun, algoritma ini memiliki kekurangan yaitu saat terjadi kondisi *partial shading* maka MPPT akan gagal menemukan MPP yang tepat dikarenakan pada kurva P-V (gambar 2.6) akan terdapat beberapa puncak lokal MPP diantara satu puncak global MPP. Hal ini menyebabkan MPPT akan terjebak pada salah satu puncak MPP [8].

2.2.2 Algoritma *Artificial Neural Network*

Algoritma *Artificial Neural Network* (ANN) merupakan algoritma yang berbasis kecerdasan buatan yang terinspirasi dari bagaimana neuron dalam otak manusia bekerja. ANN umumnya memiliki tiga layer: input, *hidden*, dan output (Gambar 2.7). Variabel input bisa dari parameter PV seperti V_{oc} dan I_{sc} , data atmosfer seperti iradiasi dan suhu, atau kombinasi. Output biasanya satu atau beberapa sinyal referensi seperti *duty cycle* yang digunakan untuk konverter agar PV beroperasi pada atau mendekati MPP [9].

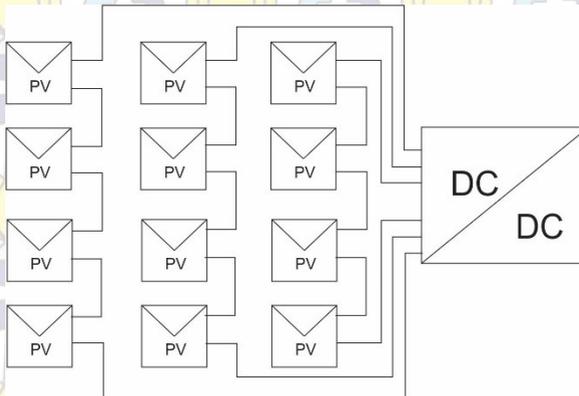


Gambar 2.7 Contoh dari artificial neural network. [9]

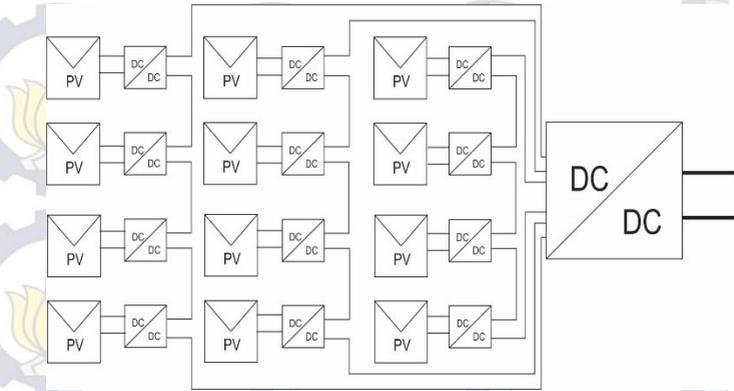
Seberapa dekat dapat beroperasi pada MPP bergantung pada algoritma yang digunakan pada *hidden layer* dan seberapa baik ANN telah dilatih. Untuk mengidentifikasi MPP secara akurat, PV array perlu diuji selama berbulan-bulan atau bertahun-tahun dan pola antara input dan output dari ANN direkam. Karena kebanyakan PV array memiliki karakteristik yang berbeda, ANN harus dilatih khusus untuk PV array yang akan digunakan. Seiring berjalannya waktu, karakteristik dari PV juga akan berubah sehingga ANN harus tetap dilatih secara berkala untuk menjamin MPPT tetap akurat.

2.3. Struktur MPPT Terpusat dan Terdistribusi

Struktur pemasangan MPPT pada sebuah sistem PV array terdapat dua cara yaitu MPPT terpusat dan MPPT terdistribusi. Pada MPPT terpusat, panel PV terhubung secara paralel atau seri hingga membentuk PV array lalu dihubungkan ke satu konverter DC/DC yang dikontrol MPPT. Struktur MPPT terpusat bisa disebut juga *single* MPPT. Kelebihan dari struktur MPPT terpusat/*single* MPPT adalah dapat mengurangi banyaknya jumlah konverter yang digunakan dan waktu respon untuk *tracking* lebih cepat daripada MPPT terdistribusi, namun daya keluaran dari PV akan turun secara signifikan saat terdapat *shading*[10]. Pada MPPT terdistribusi, tiap panel PV terhubung satu konverter DC/DC yang dikontrol MPPT hingga membentuk PV array. Struktur MPPT terdistribusi bisa juga disebut *multiple* MPPT. Kelebihan dari struktur MPPT terdistribusi/*multiple* MPPT adalah daya keluaran dari PV lebih besar daripada MPPT terpusat. Namun, dengan banyaknya konverter DC/DC maka biaya yang dikeluarkan juga semakin besar.



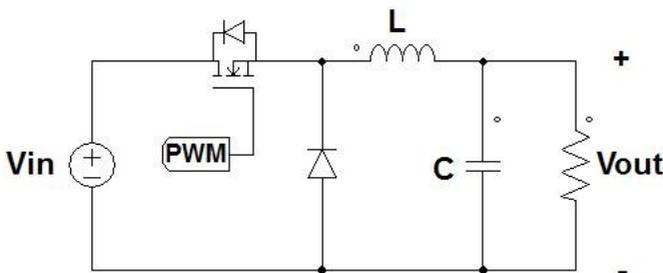
Gambar 2.8 Struktur PV dengan MPPT Terpusat



Gambar 2.9 Struktur PV dengan MPPT Terdistribusi

2.4. Konverter Buck

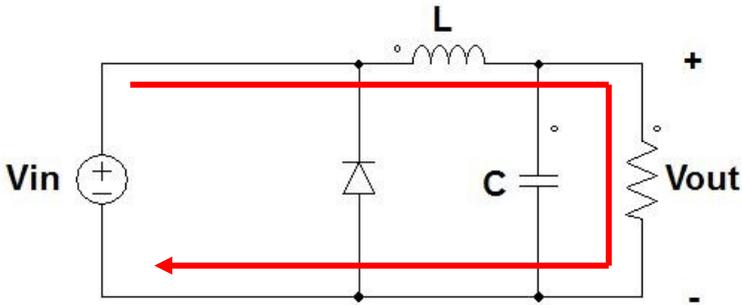
Terdapat dua komponen penting pada MPPT yaitu algoritma pengontrol dan konverter DC-DC. Pada MPPT ini akan menggunakan Konverter Buck. Konverter Buck merupakan konverter DC-DC yang dapat menghasilkan tegangan output rata-rata lebih rendah daripada tegangan rata-rata input[11]. Konverter Buck menggunakan sistem pensaklaran untuk memecah tegangan masukan sehingga tegangan keluaran menjadi lebih rendah. Pensaklaran dilakukan dengan memberikan sinyal PWM (*pulse width modulation*) terhadap komponen pensaklaran yang berupa semikonduktor.



Gambar 2.10 Rangkaian Konverter Buck

Ketika saklar dalam kondisi ON arus dari sumber DC akan langsung mengalir ke beban. Pada kondisi ini dapat diturunkan persamaan yaitu:

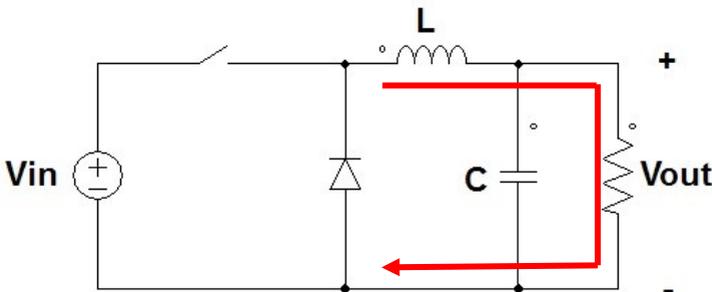
$$V_{in} = L \frac{di}{dt_{on}} + V_{out} \quad (2.8)$$



Gambar 2.11 Kondisi rangkaian ketika saklar keadaan ON

Berikutnya ketika saklar dalam kondisi OFF sumber DC akan menjadi loop terbuka. Arus yang tersimpan pada induktor ketika saklar ON akan mengalir menuju beban karena terdapat loop tertutup melewati dioda. Sehingga pada kondisi ini dapat diturunkan persamaan:

$$L \frac{di}{dt_{off}} = V_{out} \quad (2.9)$$



Gambar 2.12 Kondisi rangkaian ketika saklar keadaan OFF

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.9 dan 2.10 didapatkan:

$$V_{in} = \frac{V_{out.toff}}{ton} + V_{out} \quad (2.10)$$

$$V_{in} = V_{out} \left(\frac{toff}{ton} + 1 \right) \quad (2.11)$$

$$V_{in} = V_{out} \left(\frac{toff+ton}{ton} \right) \quad (2.12)$$

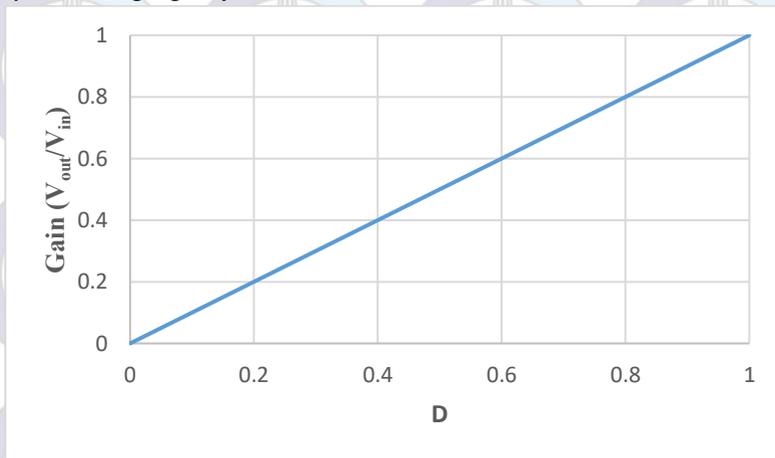
Dimana,

$$D = \left(\frac{ton}{toff+ton} \right) \quad (2.13)$$

Maka, nilai tegangan keluaran konverter buck dapat dicari dengan persamaan:

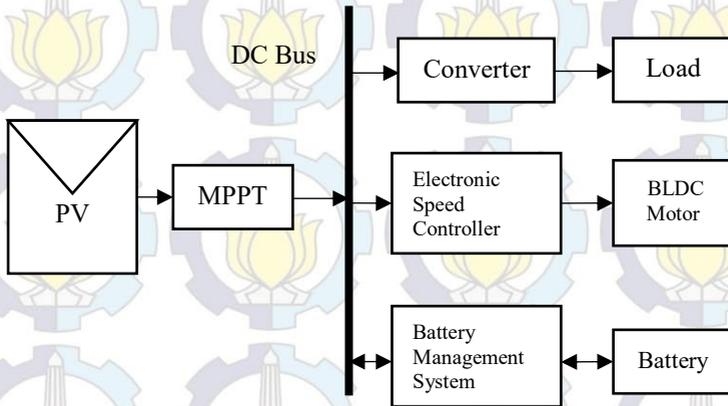
$$V_{out} = V_{in} \cdot D \quad (2.14)$$

Pada penelitian tugas akhir ini MPPT menggunakan konverter buck dikarenakan konfigurasinya yang sederhana dan rasio perubahan *duty cycle* dan tegangannya linier.



Gambar 2.13 Rasio Perubahan *Duty cycle* dan Tegangan

2.5. Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya



Gambar 2.14 Skema Sistem Kelistrikan Solar UAV

Pada masa kini, telah banyak dilakukan pengembangan pesawat tanpa awak (UAV). Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan adalah sumber energi pada UAV. Solar UAV adalah jenis UAV yang menggunakan PV untuk sumber energi[12]. PV digunakan untuk mensuplai sistem kelistrikan pada UAV seperti kontroler dan propulsi utama. Selain itu PV juga dapat digunakan untuk mengisi baterai yang nantinya baterai ini akan digunakan sebagai cadangan ketika PV tidak mampu menyediakan energi yang cukup (saat kondisi berawan). Tentunya, untuk mengoptimalkan kerja PV maka pada solar UAV juga dibutuhkan MPPT. Skema dari sistem solar UAV dapat dilihat pada gambar 2.14.

Menggunakan MPPT untuk solar UAV memiliki kendala dimana spesifikasi MPPT yang ada di pasaran tidak sesuai dengan spesifikasi dari PV yang terpasang. Mengingat terbatasnya dimensi dari *fuselage*, jika menggunakan MPPT dengan spesifikasi yang lebih besar maka akan menghabiskan banyak ruang. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan performa dari menggunakan *single* MPPT dengan *multiple* MPPT.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab 3 akan dibahas mengenai proses desain, simulasi dan implementasi multi MPPT dengan konverter buck berbasis algoritma P&O termodifikasi. Proses desain meliputi perhitungan parameter komponen yang digunakan untuk konverter pada *single* MPPT dan *multiple* MPPT. Kemudian dilanjutkan dengan proses simulasi menggunakan Matlab untuk mengetahui performa dari *single* MPPT dan *multiple* MPPT.

3.1 Desain Konverter Buck

Sistem dari solar UAV yang akan diujikan adalah dengan menggunakan PV 50 Wp ditiap sisi sayapnya sehingga total daya PV adalah 100 Wp. Dengan V_{mpp} pada PV sebesar 17.5 V dan beban yang terpasang adalah baterai Li-Po 2 sel dengan asumsi tegangan 8 V. Karena pada sistem solar UAV memerlukan tegangan output yang lebih rendah dari input maka konverter DC-DC yang digunakan adalah Konverter Buck.

Tabel 3.1 Spesifikasi panel PV

Peak Power (W)	50
V_{mpp} (V)	17.6
I_{mpp} (A)	2.85
Voc (V)	22.5
Isc (A)	3.04

Pada penelitian tugas akhir ini akan membandingkan penggunaan *single* dengan *multiple* MPPT sehingga terdapat dua desain konverter buck yaitu konverter dengan daya 50 Watt dan konverter dengan daya 100 Watt. Berdasarkan spesifikasi pada PV maka dapat dihitung parameter untuk desain konverter buck. Mula-mula ditentukan nilai *ripple* tegangan output yaitu 10% sehingga nilai ΔV_o adalah 0.8 V. Berikutnya menentukan nilai *ripple* arus yaitu 40% untuk konverter dengan daya 50 Watt sehingga nilai ΔI_L adalah 2.5 A. Pada konverter dengan daya 100 Watt ditentukan nilai *ripple* arus yaitu 30% sehingga nilai ΔI_L adalah 3.75 A. Penentuan nilai *ripple* arus akan menentukan besar nilai induktor yang digunakan. Nilai *duty cycle* ditentukan dari nilai tegangan input dan

tegangan output. Nilai tegangan input konverter 17.5 V dan nilai tegangan outputnya 8 V, sehingga didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 0.45.

Selanjutnya menentukan nilai kapasitor yang digunakan. Kapasitor digunakan untuk membatasi nilai *ripple* tegangan. Nilai kapasitor yang digunakan dapat dicari dari persamaan[13]:

$$C = (V_{out} + \Delta V_o) \frac{(1-k)}{R \times f_s \times \Delta V_o} \quad (3.1)$$

Untuk konverter dengan daya 50 Watt didapatkan:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3.2)$$

$$R = \frac{8^2}{50}$$

$$R = 1.28 \Omega$$

Maka,

$$C = (8 + 0.8) \frac{(1-0.45)}{1.28 \times 20000 \times 0.8}$$

$$C = 236 \mu F$$

Dan untuk konverter dengan daya 100 Watt didapatkan:

$$R = \frac{8^2}{100}$$

$$R = 0.64 \Omega$$

Maka,

$$C = (8 + 0.8) \frac{(1-0.45)}{0.64 \times 20000 \times 0.8}$$

$$C = 472 \mu F$$

Dari perhitungan tersebut maka untuk konverter dengan daya 50 Watt menggunakan kapasitor 330 μF sedangkan untuk konverter dengan daya 100 Watt menggunakan kapasitor 660 μF mengikuti yang ada di pasaran.

Berikutnya menentukan nilai induktor yang digunakan. Induktor digunakan untuk membatasi nilai *ripple* arus. Frekuensi switching yang digunakan pada konverter adalah 20kHz. Nilai induktor yang digunakan dapat dicari dari persamaan:

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{in}} \quad (3.3)$$

Untuk konverter dengan daya 50 Watt ditentukan nilai ΔI_L adalah 2.5 A. Maka,

$$L = \frac{8 \times (17.5 - 8)}{2.5 \times 20000 \times 17.5}$$

$$L = 86 \mu H$$

Untuk konverter dengan daya 100 Watt ditentukan nilai ΔI_L adalah 3.75A. Maka,

$$L = \frac{8 \times (17.5 - 8)}{3.75 \times 20000 \times 17.5}$$

$$L = 58 \mu H$$

Tabel 3.2 Spesifikasi desain konverter buck 50 Watt

P(W)	50
V_{in} (V)	17.5
V_{out} (V)	8
I_{out} (A)	6.25
ΔV_o (V)	0.8
ΔI_L (A)	2.5
Duty Cycle (k)	0.45

Tabel 3.3 Spesifikasi desain konverter buck 100 Watt

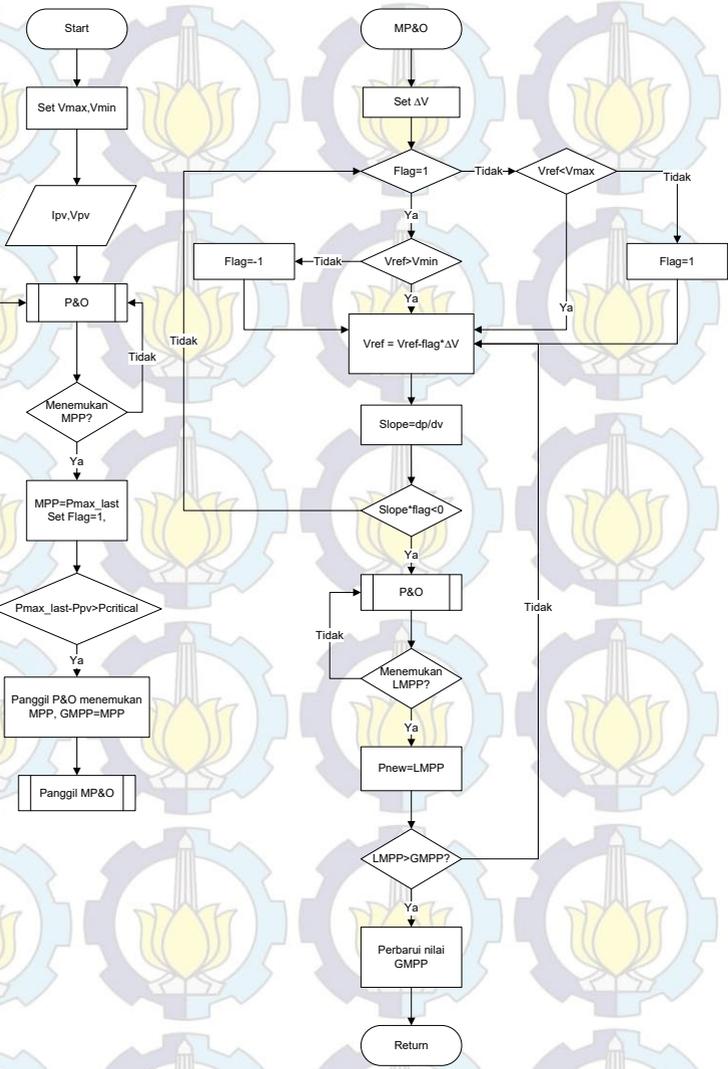
P(W)	100
V_{in} (V)	17.5
V_{out} (V)	8
I_{out} (A)	12.5
ΔV_o (V)	0.8
ΔI_L (A)	3.75
Duty Cycle (k)	0.45

3.2 Algoritma Modified Perturb & Observe

Algoritma *Perturb & Observe* merupakan algoritma MPPT yang paling banyak digunakan karena sederhana dan dapat di implementasikan ke segala jenis PV tanpa perlu mengetahui model matematisnya. Namun, algoritma P&O memiliki kelemahan yaitu saat PV dalam kondisi *partial shaded* (PSC) dan memiliki banyak puncak maka akan ada kemungkinan bekerja pada titik yang salah yaitu lokal MPP[8]. Maka dilakukan modifikasi pada algoritma P&O untuk mengatasi masalah ini.

Diagram alir kerja dari algoritma *Modified Perturb & Observe* (MPO) dapat dilihat pada gambar 3.1. Pada algoritma MPO mula mula terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu yaitu nilai V_{max} dan V_{min} yang merupakan batas dari tegangan yang akan di *tracking*, $P_{critical}$ merupakan perubahan daya yang terjadi saat ada perubahan *irradiance*, dan ΔV merupakan step dari tegangan.

Pada algoritma ini bekerja dengan menjalankan fungsi P&O untuk mendapatkan *Maximum Power Point* (MPP). Saat terjadi PSC ataupun perubahan *irradiance* yang ditandai dengan perubahan daya lebih besar dari $P_{critical}$ maka fungsi P&O akan dijalankan untuk mendapatkan MPP dan di asumsikan MPP tersebut merupakan *Global MPP* (GMPP) awal. Setelah itu arah *tracking* akan mengikuti nilai dari *flag* dimana saat $flag=1$ maka algoritma *tracking* kebagian kiri kurva karakteristik P-V sedangkan jika $flag=-1$ maka algoritma akan mencari kebagian kanan. Ketika titik kerja tegangan dari PV telah berubah maka algoritma akan menghitung besar nilai dari *slope* (dp/dv). Jika *slope* dikalikan *flag* bernilai lebih dari nol maka tidak terdapat LMPP disekitarnya. Jika saat *slope* dikalikan *flag* bernilai kurang dari nol maka terdapat *Local MPP* (LMPP) disekitarnya dan algoritma akan menjalankan fungsi P&O dan mencapai titik LMPP yang baru. Setelah algoritma menemukan titik LMPP yang baru maka akan dilakukan perbandingan dengan titik MPP yang telah diasumsikan sebagai GMPP awal. Jika LMPP lebih besar dari GMPP awal maka nilai LMPP disimpan sebagai nilai GMPP dan algoritma akan beresilasi disekitarnya. Jika LMPP lebih kecil dari GMPP awal maka algoritma akan meneruskan *tracking* hingga batasnya (V_{min} dan V_{max}), saat tegangan referensi lebih kecil dari nilai V_{min} ataupun lebih besar dari nilai V_{max} maka nilai *flag* akan dirubah dan arah *tracking* juga akan berubah.



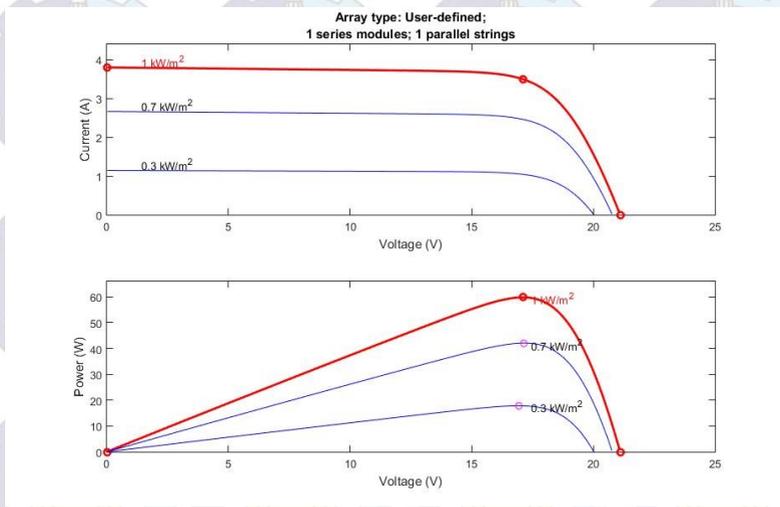
Gambar 3.1 Diagram alir Algoritma Modified Perturb & Observe

3.3 Simulasi

Simulasi dilakukan untuk menguji apakah konverter dan algoritma MPPT yang direncanakan sudah sesuai dengan keinginan. Pada simulasi menggunakan *software* Simulink di Matlab. Terdapat tiga komponen utama yang digunakan yaitu koverter, PV, dan Algoritma MPPT. Pada PV menggunakan blok PV Array yang sudah disediakan oleh matlab. Blok PV Array dapat kita atur parameternya sesuai spesifikasi yang kita gunakan, lalu kurva karakteristik PV dapat langsung di plot. Pada algoritma MPPT menggunakan blok Matlab Function dimana blok ini akan merepresentasikan mikrokontroler yang digunakan saat implementasi.

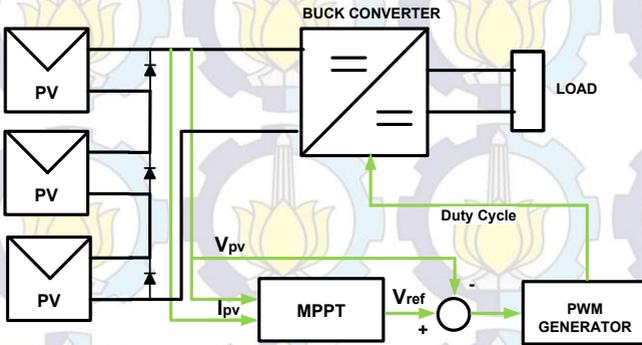
3.3.1 Simulasi MPPT pada Kondisi Partial Shading

Pada simulasi ini digunakan tiga modul PV yang dirangkai secara seri dengan iradiasi yang berbeda beda untuk mendapatkan PSC. Dilakukan dua kondisi PSC yaitu saat titik GMPP berada di daerah kiri kurva karakteristik dan titik GMPP berada di daerah kanan kurva karakteristik. Pada simulasi dilakukan perbandingan MPPT dengan



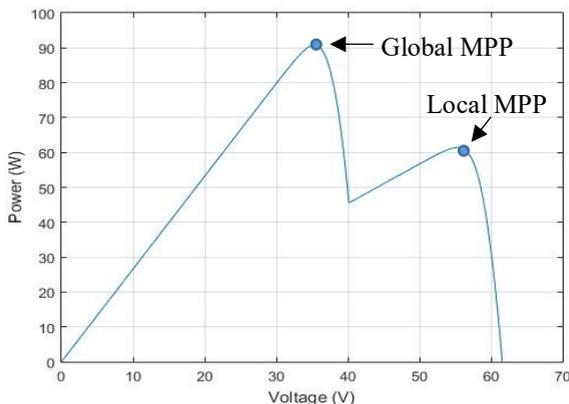
Gambar 3.2 Kurva karakteristik PV yang digunakan pada tiga kondisi iradiasi

algoritma P&O konvensional dengan *Modified* P&O (MPO). Kurva karakteristik dari satu modul PV dapat dilihat pada Gambar 3.2.



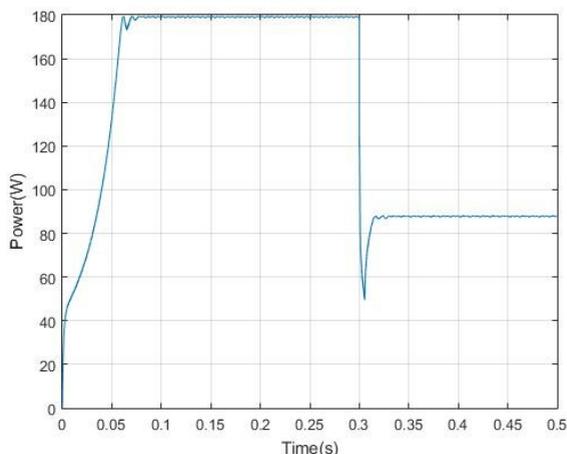
Gambar 3.3 Skema simulasi MPPT saat *partial shading*

Pada setiap simulasi PV diasumsikan konstan pada 25°C . Pada simulasi kondisi pertama yaitu PSC dengan titik GMPP berada di daerah kiri kurva karakteristik. (Gambar 3.4). PV dirangkai secara seri dan dipasangkan *bypass diode* dengan iradiasi awal sebesar $1000\text{W}/\text{m}^2$ lalu saat detik ke 0.3 muncul PSC dengan irradiasi panel masing-masing



Gambar 3.4 Kurva karakteristik P-V saat PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).

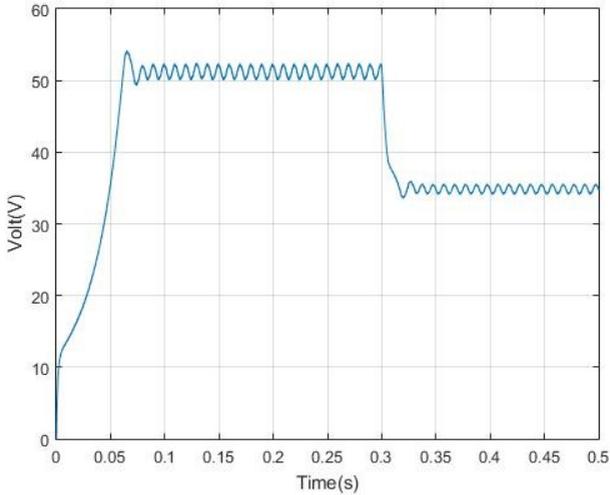
700W/m², 1000W/m², dan 300W/m². Berdasarkan kurva P-V saat PSC yang didapatkan maka, daya maksimal yang dapat dihasilkan adalah sebesar 90.83 Watt.



Gambar 3.5 Grafik daya PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC (700W/m², 1000W/m², dan 300W/m²).

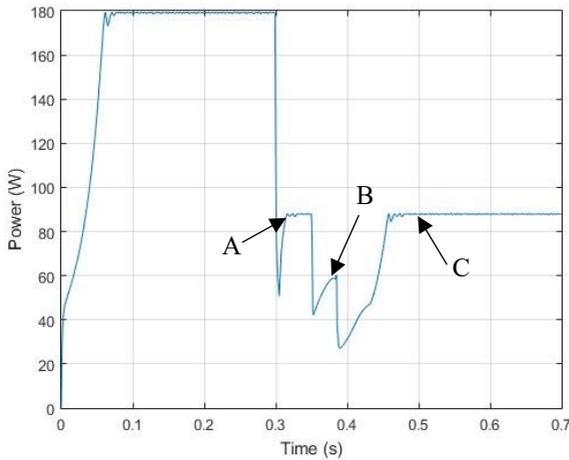
Mula-mula simulasi MPPT menggunakan algoritma P&O konvensional. Berdasarkan grafik pada Gambar 3.5 MPPT dengan algoritma P&O konvensional beresilasi di titik dengan daya rata-rata 178.63 Watt. Lalu, saat detik ke 0.3 muncul PSC (iradiasi 700W/m², 1000W/m², dan 300W/m²) yang menyebabkan MPPT dengan algoritma P&O konvensional beresilasi di titik dengan daya rata-rata 86.47 Watt. Jika dilihat dari kurva karakteristik P-V (Gambar 3.4) maka bisa disimpulkan algoritma ini dapat menemukan titik puncak GMPP dan beresilasi disekitarnya. Hal ini dapat terjadi dikarenakan letak puncak GMPP berada di awal sebelum ada titik puncak LMPP.

Selanjutnya, dilakukan simulasi dengan algoritma MPO. Berdasarkan grafik daya (Gambar 3.7) dan tegangan (Gambar 3.8) pada MPPT dengan algoritma MPO beresilasi di titik dengan daya rata-rata 178.63 Watt. Kemudian saat detik ke 0.3 muncul PSC (iradiasi 700W/m², 1000W/m², dan 300W/m²) yang menyebabkan MPPT beresilasi di titik A

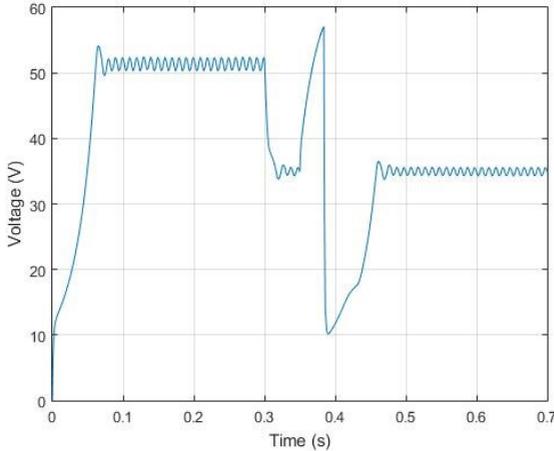


Gambar 3.6 Grafik tegangan PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC (700W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 300W/m^2).

dengan nilai daya rata-rata 86.39 Watt dan disimpan sebagai GMPP. Lalu algoritma akan meneruskan tracking dengan penambahan V_{ref} positif ($flag=-1$) hingga akhirnya menemukan titik B dengan nilai daya rata-rata 58.34 Watt dan disimpan sebagai LMPP dan dilakukan perbandingan dengan titik GMPP. Karena titik LMPP lebih kecil dari GMPP maka algoritma akan meneruskan tracking. Saat nilai V_{ref} lebih besar dari V_{max} maka penambahan V_{ref} menjadi ke arah negatif ($flag=1$). Saat dilakukan perubahan V_{ref} dengan arah negatif algoritma menemukan titik dimana $slope$ dikali $flag$ kurang dari nol sehingga memanggil fungsi P&O. Saat PV telah bekerja di titik C dengan nilai daya rata-rata 87.8 Watt sehingga saat dibandingkan dengan GMPP nilainya lebih besar. Maka, algoritma akan menyimpan titik C sebagai GMPP dan beresilasi disekitarnya.

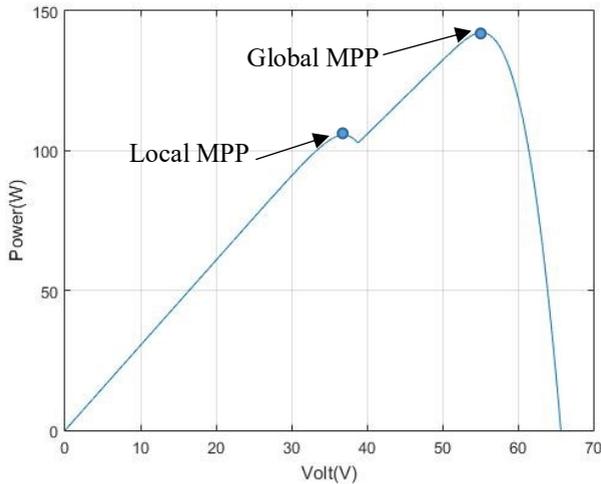


Gambar 3.7 Grafik daya PV dengan algoritma MPO pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).



Gambar 3.8 Grafik tegangan PV dengan algoritma MPO pada PSC ($700\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $300\text{W}/\text{m}^2$).

Pada simulasi kondisi kedua yaitu PSC dengan titik GMPP berada di daerah kanan kurva karakteristik (Gambar 3.9). PV dirangkai sama seperti kondisi pertama namun pada detik ke 0.3 muncul PSC dengan irradiasi masing-masing panel 1000W/m^2 , 1000W/m^2 , 700W/m^2 . Berdasarkan kurva P-V saat PSC yang didapat maka daya maksimal yang dapat dihasilkan adalah sebesar 136.71 Watt.

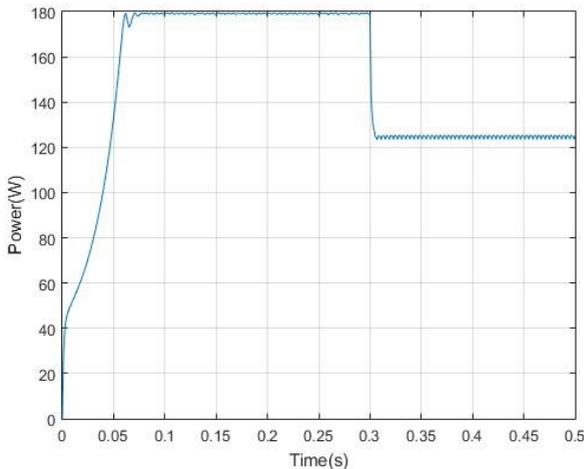


Gambar 3.9 Kurva karakteristik P-V saat PSC (1000W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 700W/m^2).

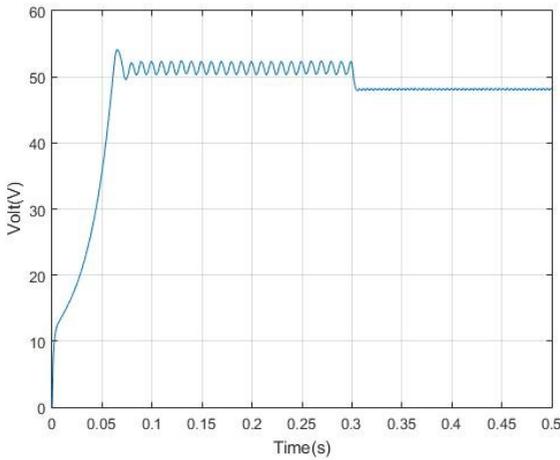
Mula-mula simulasi MPPT menggunakan algoritma P&O konvensional. Berdasarkan grafik pada Gambar 3.10 pada saat belum terjadi shading (Iradiasi tiap panel sebesar 1kW/m^2) MPPT dengan algoritma P&O konvensional beresilasi di titik dengan daya rata-rata 178.63 Watt. Lalu, saat detik ke 0.3 muncul PSC (irradiasi 1000W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 700W/m^2) yang menyebabkan MPPT dengan algoritma P&O konvensional beresilasi di titik dengan daya rata-rata 116.61 Watt. Jika dilihat dari kurva karakteristik P-V (Gambar 3.9) maka bisa disimpulkan algoritma ini terjebak pada titik LMPP dan beresilasi disekitarnya.

Selanjutnya dilakukan simulasi dengan algoritma MPO. Mula-mula saat belum terjadi shading berdasarkan grafik pada Gambar 3.12 MPPT

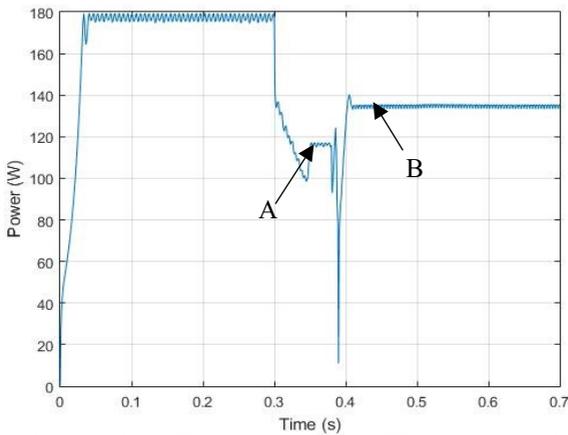
dengan algoritma MPO beresilasi di titik dengan daya rata-rata 178.67 Watt. Lalu, saat detik ke 0.3 muncul PSC (iradiasi 1000W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 700W/m^2) sehingga MPPT beresilasi dititik A dengan daya rata-rata 116.29W dan disimpan sebagai GMPP. Lalu algoritma akan meneruskan tracking dengan penambahan V_{ref} positif ($flag=1$). Saat $slope$ dikalikan $flag$ bernilai kurang dari nol maka fungsi P&O dipanggil hingga akhirnya menemukan titik B dengan nilai daya rata-rata 135.93W dan disimpan sebagai LMPP. Lalu dilakukan perbandingan titik LMPP dengan titik GMPP. Karena titik GMPP lebih kecil dari LMPP maka sekarang nilai LMPP diperbarui menjadi nilai GMPP sehingga MPPT berhenti melakukan tracking dan beresilasi pada sekitar titik tersebut.



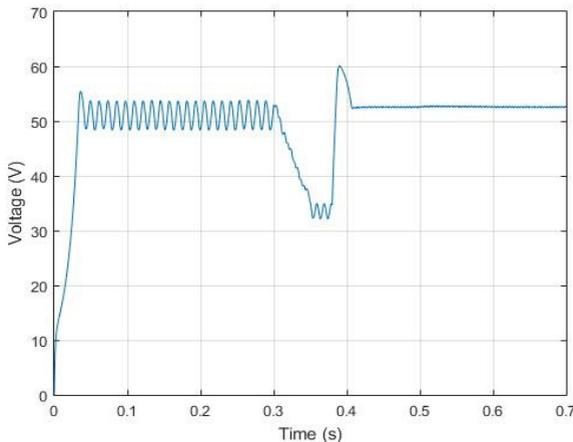
Gambar 3.10 Grafik daya PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC (1000W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 700W/m^2)



Gambar 3.11 Grafik tegangan PV dengan algoritma P&O konvensional pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$)



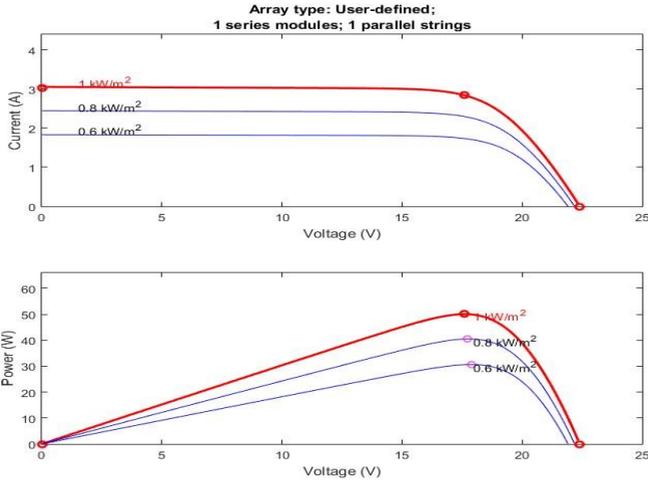
Gambar 3.12 Grafik daya PV dengan algoritma MPO pada PSC ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan $700\text{W}/\text{m}^2$)



Gambar 3.13 Grafik tegangan PV dengan algoritma MPO pada PSC (1000W/m^2 , 1000W/m^2 , dan 700W/m^2)

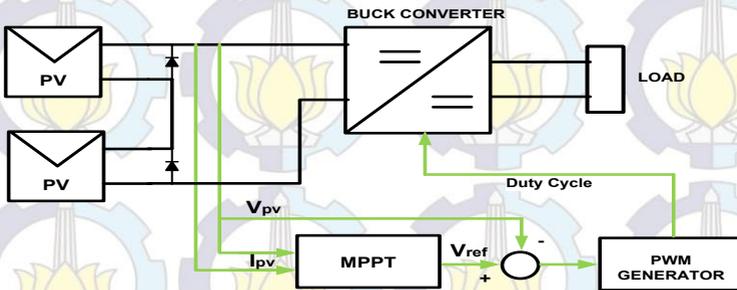
3.3.2 Simulasi Penggunaan *Single* dan *Multiple* MPPT Iradiasi Berubah dan Beban Konstan

Pada simulasi ini terdapat dua jenis kondisi yaitu pertama saat PV beroperasi dengan iradiasi seragam dan yang kedua saat PV beroperasi pada saat PSC. Pada simulasi ini dilakukan perbandingan penggunaan *single* MPPT dengan *Multiple* MPPT dengan parameter yang dibandingkan adalah jumlah daya yang didapatkan dan kecepatan tracking. Skema dari simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16

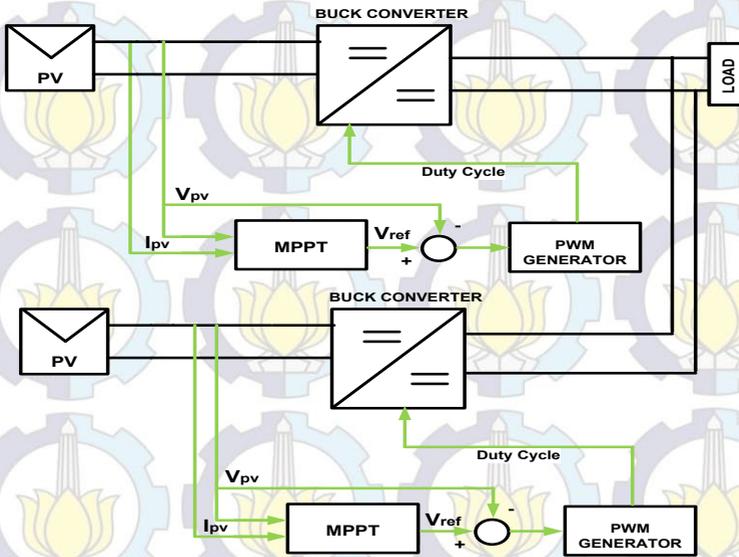


Gambar 3.14 Kurva karakteristik PV yang digunakan pada tiga kondisi iradiasi (1000 W/m^2 , 800 W/m^2 dan, 600 W/m^2)

Jumlah PV dan besar beban yang digunakan pada *single* MPPT dan *multiple* MPPT sama. Pada konfigurasi *single* MPPT PV dirangkai secara seri dan menggunakan *bypass* diode. Suhu dibuat konstan sebesar 25°C . Pada iradiasi berubah-ubah dari 1000 W/m^2 turun menjadi 600 W/m^2 pada detik ke 0.3 dan kembali naik menjadi 800 W/m^2 pada detik ke 0.6. Dengan kondisi seperti ini maka MPPT dapat teruji pada kondisi iradiasi saat naik maupun turun.

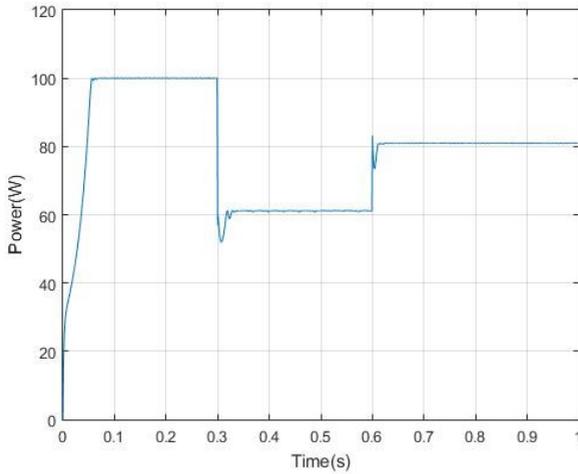


Gambar 3.15 Skema simulasi single MPPT

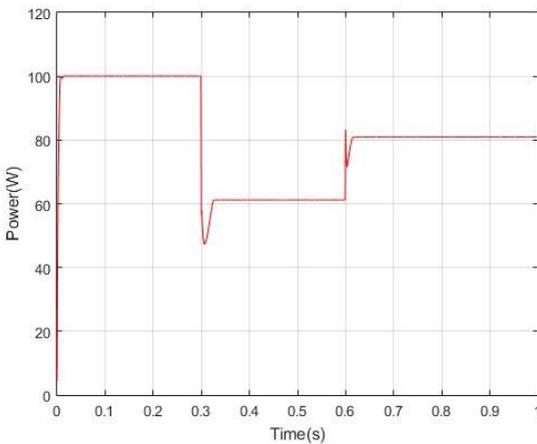


Gambar 3.16 Skema simulasi *multiple* MPPT

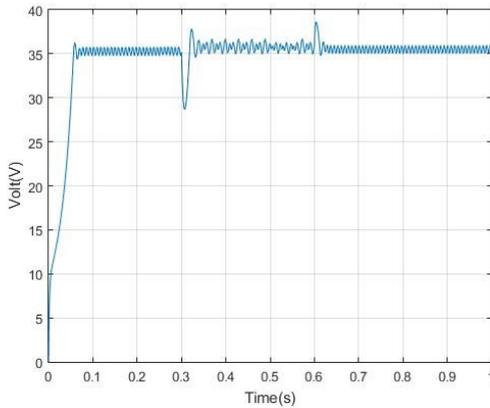
Berdasarkan grafik pada Gambar 3.17 dan 3.18, menggunakan *single* MPPT pada tracking awal lebih lama dari *multiple* MPPT, namun saat terjadi perubahan iradiasi kecepatan tracking *single* MPPT lebih cepat dari *multiple* MPPT. Namun, penggunaan *single* MPPT memiliki ripple daya yang lebih besar daripada penggunaan *multiple* MPPT. Semakin besar ripple daya, maka semakin besar juga rugi-rugi dayanya. Pada *single* MPPT total energi yang didapatkan sebesar 79.68 joule sedangkan pada *multiple* MPPT total energi yang didapatkan 80.24 joule. Jika dilihat dari kurva karakteristik PV, energi maksimal yang mampu dihasilkan oleh PV adalah 80.86 joule. Sehingga jika menggunakan *single* MPPT efisiensi energinya sebesar 98.54% dan jika menggunakan *multiple* MPPT efisiensi energinya sebesar 99.23%. Perbedaan jumlah energi yang didapatkan antara struktur *single* dan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi yang seragam tidak begitu signifikan. Waktu respon yang dibutuhkan saat terjadi perubahan iradiasi pada *single* MPPT selama 10.78ms, sedangkan jika menggunakan *multiple* MPPT selama 23.43ms untuk mencapai kondisi steady state.



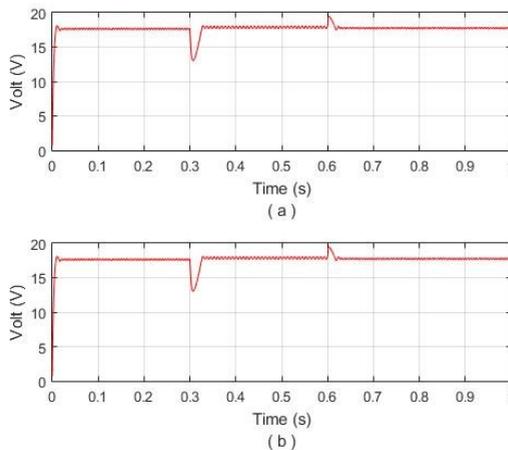
Gambar 3.17 Grafik daya PV dengan *single* MPPT pada perubahan iradiasi



Gambar 3.18 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi



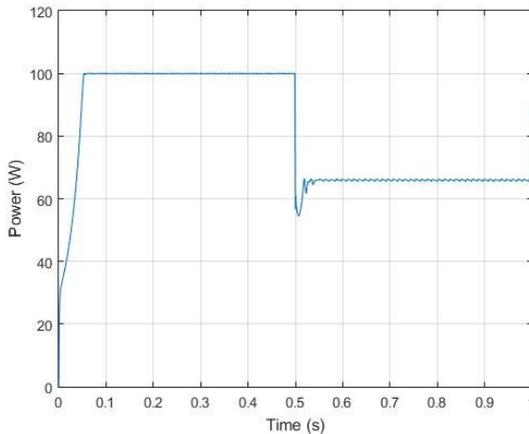
Gambar 3.19 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT pada perubahan iradiasi seragam



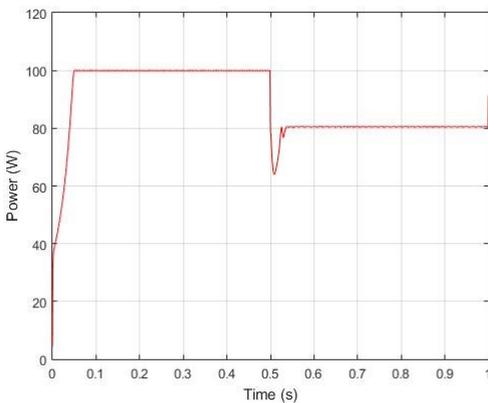
Gambar 3.20 Grafik tegangan PV dengan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi seragam

Pada simulasi berikutnya yaitu saat PV terjadi PSC. Simulasi ini dilakukan karena pada kenyataannya saat Solar UAV terbang PV array tidak selalu mendapatkan iradiasi yang sama. Hal ini bisa terjadi karena mobilitas dari UAV tersebut maupun karena cuaca. Pada simulasi mula-

mula iradiasi dari tiap PV dibuat sama yaitu 1000W/m^2 . Lalu saat detik ke 0.5 terjadi PSC dimana hanya pada PV array pertama mengalami shading sehingga Iradiasinya turun menjadi 600W/m^2 dari 1000W/m^2 sedangkan PV array kedua tetap pada iradiasi 1000W/m^2 . Suhu dari semua PV array dibuat konstan sebesar 25°C .

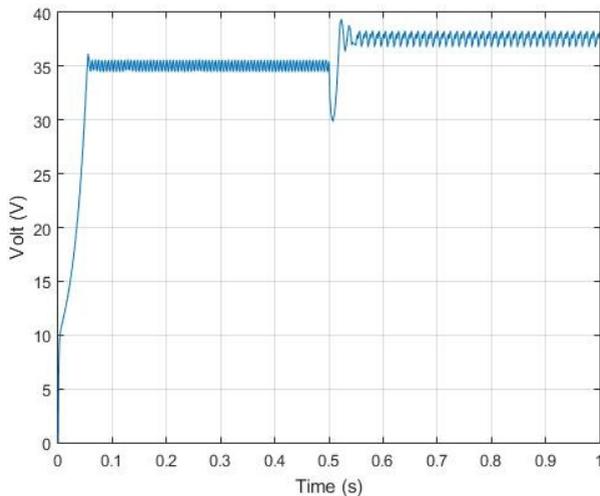


Gambar 3.21 Grafik daya PV dengan *single* MPPT saat PSC

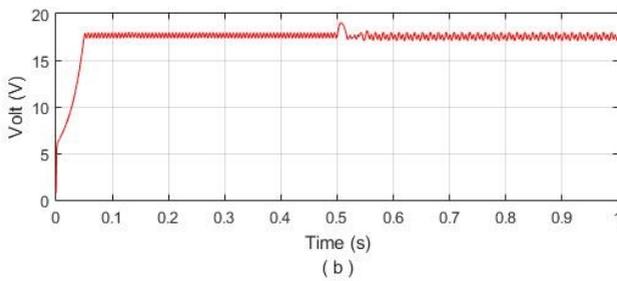
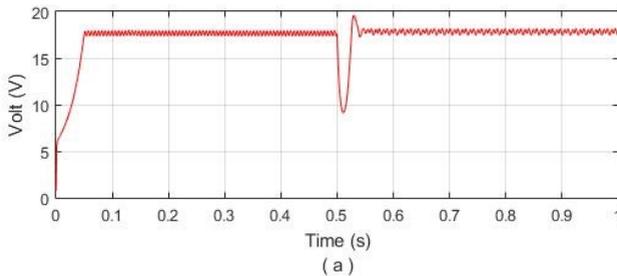


Gambar 3.22 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT saat PSC

Berdasarkan Gambar 3.21 dan 3.22 pada kondisi awal saat sebelum terjadi PSC baik menggunakan *single* MPPT maupun *multiple* MPPT sama sama beresilasi di daya rata-rata 100W. Namun saat terjadi PSC (detik ke 0.5) *multiple* MPPT beresilasi di daya rata-rata 80.13W. Sedangkan pada *single* MPPT beresilasi di daya rata-rata 65.3W. Jika dibandingkan, pada PV array pertama mengalami penurunan iradiasi sebesar 40% namun daya output dari PV pada struktur *single* MPPT turun sebesar 69.4% . Hal ini menunjukkan bahwa output daya maksimum dari penggunaan *single* MPPT pada kondisi PSC adalah non-linier dan berkurang dengan cepat. Jika dilihat dari kurva karakteristik PV, energi maksimal yang mampu dihasilkan oleh PV saat PSC adalah 80.78 joule. Sehingga jika menggunakan *single* MPPT efisiensi energinya sebesar 80.8% dan jika menggunakan *multiple* MPPT efisiensi energinya sebesar 99.2%. Namun, jika dilihat dari segi kecepatan *tracking* *single* MPPT lebih cepat dengan waktu respon selama 14,7ms sedangkan *multiple* MPPT memiliki waktu respon 27,6ms untuk mencapai kondisi steady state.



Gambar 3.23 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT saat PSC



Gambar 3.24 Grafik tegangan PV dengan *multiple* MPPT saat PSC.

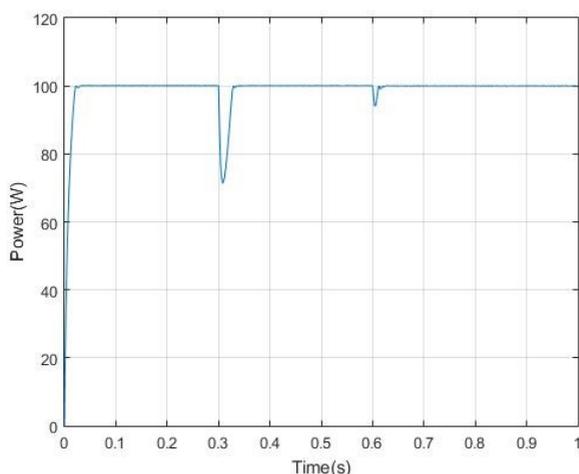
(a) MPPT dimana PV mengalami shading. (b) MPPT dimana PV tidak shading

3.3.3 Simulasi Penggunaan *Single* dan *Multiple* MPPT Iradiasi Konstan dan Beban berubah

Pada simulasi ini dilakukan dengan kondisi standard test PV (Iradiasi 1000W/m^2 dan suhu 25°C) sehingga daya output PV maksimal sebesar 100.32W . Beban yang digunakan adalah beban resistif. Beban resistif mula-mula bernilai 2Ω lalu saat detik ke 0.3 beban menjadi 1Ω dan saat detik ke 0.6 beban menjadi 0.67Ω . Perubahan beban ini merepresentasikan kondisi baterai saat kondisi *discharge* sehingga kapasitasnya semakin berkurang.

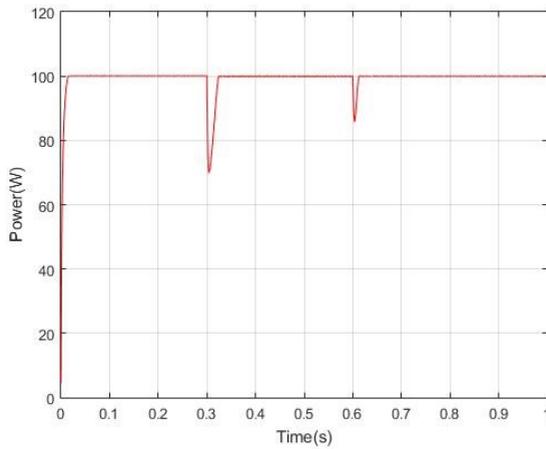
Pada saat perubahan beban Berdasarkan Gambar 3.25 dan 3.26 MPPT dengan struktur *single* dan *multiple* mampu mencapai titik MPP meskipun ada perubahan beban. Pada kondisi ini energi maksimum yang dapat dihasilkan oleh PV adalah 100.32 Joule. Pada penggunaan *single*

MPPT energi yang dapat dihasilkan sebesar 98.47 Joule sehingga efisiensi energi yang didapatkan adalah 98.15%. Sedangkan pada penggunaan *multiple* MPPT energi yang dapat dihasilkan sebesar 98.54 Joule sehingga efisiensi energi yang didapatkan adalah 98.22%. Dari segi respon saat terjadi perubahan beban, waktu yang dibutuhkan pada *single* MPPT sedikit lebih cepat daripada *multiple* MPPT dengan perbedaan waktu 1.5ms

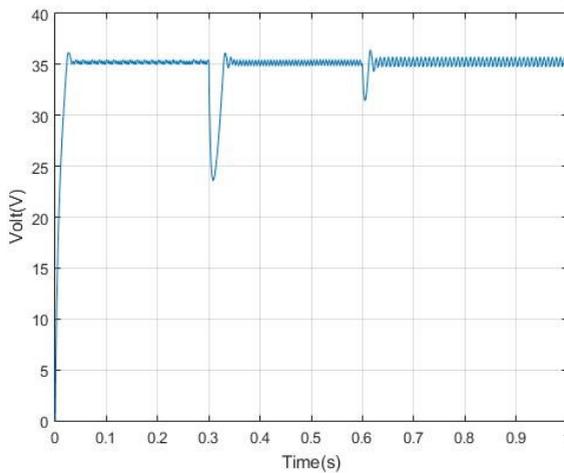


Gambar 3.25 Grafik daya PV dengan *single* MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan

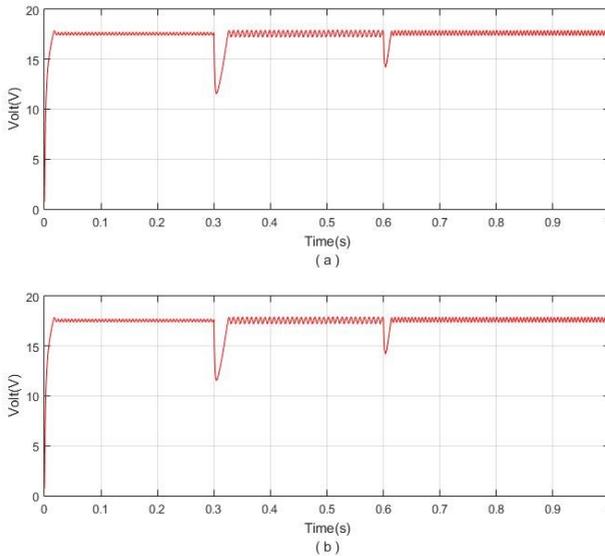
Karena pada simulasi kali ini iradiasi yang diterima PV dibuat seragam sehingga perbedaan energi yang didapatkan dan respon waktu saat terdapat perubahan beban antara *single* MPPT dengan *multiple* MPPT tidak begitu signifikan. Hal ini juga menyebabkan nilai tegangan input dari PV baik pada *single* maupun *multiple* MPPT tetap sama (Gambar 3.27 dan 3.28).



Gambar 3.26 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan



Gambar 3.27 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan



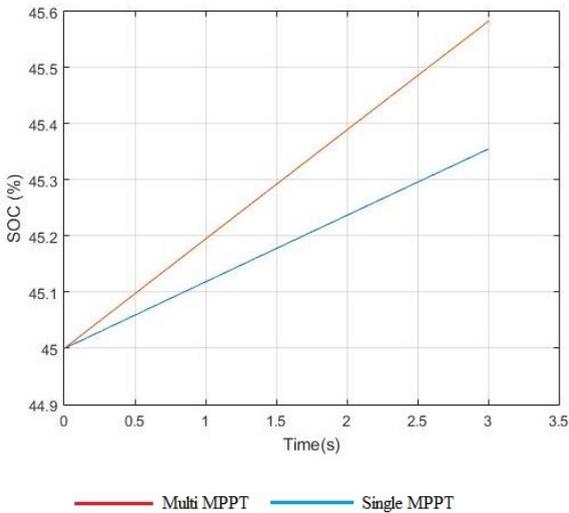
Gambar 3.28 Grafik tegangan PV dengan *multiple* MPPT saat kondisi perubahan beban dengan iradiasi konstan

3.3.4 Simulasi Penggunaan *Single* dan *Multiple* MPPT pada Pengisian Baterai

Penggunaan PV pada sistem kelistrikan Solar UAV digunakan untuk mengisi baterai. Jenis baterai yang digunakan adalah Li-Po 2 sel dengan tegangan nominal 7.4V dan tegangan kerja 7.0 sampai 8.4V. Pada simulasi ini akan dibandingkan pengisian baterai menggunakan *single* MPPT dengan *multiple* MPPT pada kondisi *partial shading* (PSC). Skema rangkaian seperti pada Gambar 3.15 dan 3.16 dimana iradiasi dari PV array pertama 600W/m^2 dan pada PV array kedua 1000W/m^2 dan suhu tiap PV array 25°C .

Pada simulasi, nilai SOC baterai mula-mula di set 45% dan simulasi berjalan selama 3 detik. Berdasarkan Gambar 3.29 *state of charge* (SOC) dari baterai yang menggunakan *single* MPPT lebih rendah dibandingkan yang menggunakan *multiple* MPPT. Hal ini dapat terjadi karena total energi yang didapatkan *single* MPPT saat PSC lebih rendah dengan

perbedaan yang cukup signifikan seperti yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya.



Gambar 3.29 Grafik kenaikan SOC dari baterai

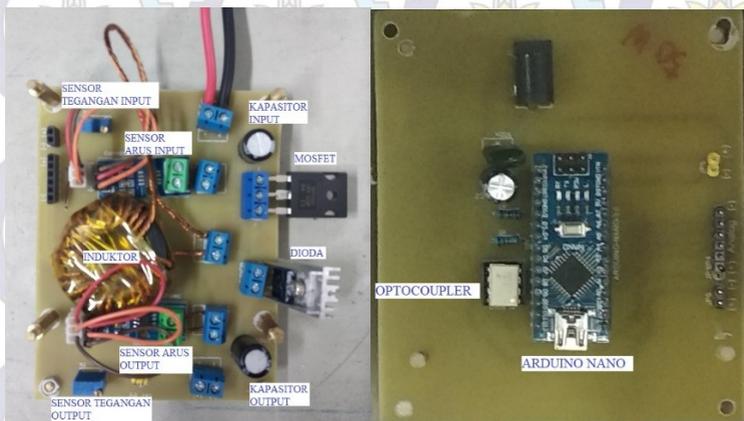
3.4 Implementasi

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan penggunaan *single* dengan *multiple* MPPT sehingga konverter yang dibuat ada tiga buah yaitu satu konverter dengan rating daya 100W dan dua konverter dengan rating daya 50W.

3.4.1 Komponen pada MPPT

Pada tahap implementasi mula-mula dilakukan desain PCB (*printed circuit board*) untuk rangkaian MPPT. Desain dari PCB menggunakan bantuan software Eagle. MPPT di desain dengan dimensi sekecil mungkin agar muat saat diletakan di Solar UAV. Pada penelitian ini desain dari MPPT dibuat dua level dimana level bawah terdiri dari komponen untuk konverter buck dan level atas untuk komponen pengendalian yang meliputi Arduino nano dan komponen driver untuk

pensaklaran. Pengerjaan rangkaian menggunakan PCB agar memudahkan proses *troubleshooting*.



Gambar 3.30 Rangkaian MPPT level bawah (kiri) dan atas (kanan)

Pada tahap kedua mendesain induktor yang digunakan. Inti induktor yang digunakan berjenis inti toroid dengan tipe *Magnetics 0077548A7*. Inti tipe ini mempunyai nilai *flux density* yang tinggi sehingga inti tipe ini tidak cepat mengalami saturasi. Inti ini juga memiliki nilai $A_L=127\text{nH/T}^2$ sehingga kita dapat menentukan banyaknya jumlah belitan yang dibutuhkan dengan rumus:

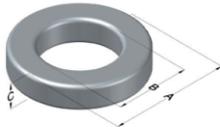
$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

Melalui rumus tersebut maka jumlah belitan yang dibutuhkan untuk konverter 100W sebanyak 22 kali dan untuk konverter 50W sebanyak 26 kali. Kawat yang digunakan untuk membelit inti tersebut berjenis AWG. Tipe AWG yang digunakan adalah AWG 25 dengan diameter 0.45mm. Kawat tipe ini memiliki spesifikasi frekuensi maksimal 85kHz dan arus maksimal 0.45A. Sehingga dibutuhkan 6 pilinan kawat agar kuat menghantarkan arus hingga 12.5A.



0077548A7

110 Delta Drive
Pittsburgh, PA 15238
NAFTA Sales: (1)800-245-3984
HK Sales: (852)3102-9337
magnetics@spang.com
www.mag-inc.com



Kool M _p Permeability (μ)	A _L (nH/T)	Core Marking			Coating Color
		Lot Number	Part Number	Inductance Grade	
125	127 ± 8%	XXXXXX	77548A7	N/A	Black

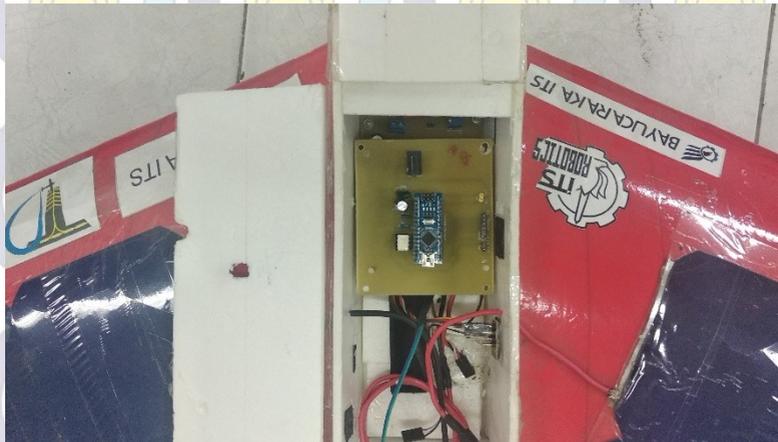
Dimensions	Uncoated		Coated Limits		Packaging
	(mm)	(in)	(mm)	(in)	
OD (A)	32.80	1.291	33.66	1.325	Cardboard cut-outs Box Qty= 250 pcs
ID (B)	20.1	0.791	19.4	0.766	
HT (C)	10.7	0.420	11.5	0.450	

Gambar 3.31 Spesifikasi inti *Magnetics* 0077548A7

Pada tahap ketiga menentukan komponen yang diperlukan untuk pensaklaran pada konverter buck. Mosfet yang digunakan adalah IRFP4332 karena memiliki *breakdown voltage* hingga 250V, mampu menghantarkan arus hingga 57A dan memiliki nilai R_{DS} 33mΩ sehingga rugi-ruginya kecil. Pada pembangkit sinyal PWM menggunakan Arduino nano, namun amplitud dari Arduino nano hanya 5V sedangkan mosfet IRFP4322 membutuhkan trigger dengan tegangan minimum 10V maka dibutuhkan rangkaian driver mosfet. Rangkaian driver mosfet menggunakan optocoupler dengan IC TLP250 sehingga bagian input dan output terisolasi. Pada dioda menggunakan MUR1560 karena memiliki *recovery time* hingga kurang dari 60ns sehingga cocok digunakan untuk pensaklaran dengan frekuensi yang tinggi. Selain itu dioda MUR1560 mampu menahan tegangan hingga 600V dan dapat menghantarkan arus hingga 15A.

Komponen terakhir adalah sensor yang merupakan komponen terpenting agar algoritma dari MPPT dapat bekerja. Pada penelitian ini menggunakan MPPT yang memiliki dua input yaitu arus dan tegangan. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 yang mampu dilewati arus hingga 20A. Cara kerja ACS712 adalah dengan mengkonversi arus yang lewat menjadi nilai tegangan dimana nilainya proporsional terhadap nilai arus. Pada sensor tegangan menggunakan *multiturn* yang merupakan resistor variabel dengan nilai 50kΩ. Cara kerja dari sensor ini adalah menggunakan konsep pembagi tegangan. Karena nilai ADC maksimal dari Arduino adalah sebesar 5V maka rasio resistansi yang digunakan adalah 1:10 sehingga tiap 1V akan terbaca 0.1V pada mikrokontroler.

Semua nilai sensor tersebut akan diolah oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino nano karena ukurannya yang kecil sehingga cocok untuk digunakan pada Solar UAV.



Gambar 3.32 Dimensi dari rangkaian MPPT dapat masuk pada *fuselage* Solar UAV

3.4.2 Pengujian Alat

Konverter buck yang digunakan untuk MPPT diuji untuk mengetahui nilai efisiensinya. Dalam pengujian menggunakan beban resistif yaitu rheostat. Rheostat yang digunakan memiliki nilai maksimal 10Ω . Dalam pengujian efisiensi diperlukan empat alat ukur sekaligus yaitu amperemeter dan voltmeter pada sisi input dan output agar nilai yang didapatkan akurat.

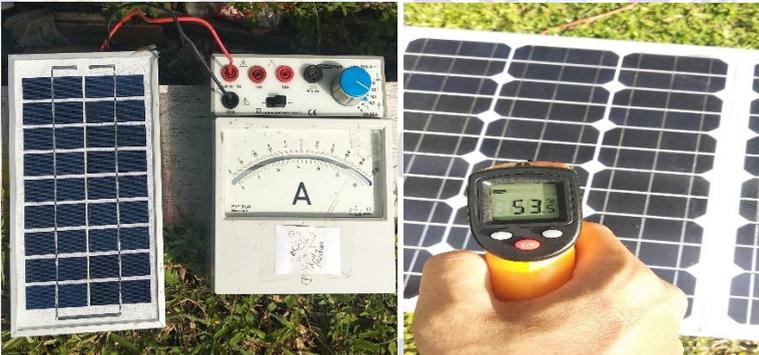
Pengujian MPPT dilakukan dengan langsung menyambungkannya ke dua panel PV 50Wp dimana tiap panel PV merupakan representasi dari PV yang terpasang pada sayap kanan dan kiri Solar UAV. Beban yang digunakan dalam pengujian adalah beban resistif berupa rheostat 10Ω dan baterai LiPo 2 sel. Pengujian *single* dan *multiple* MPPT dilakukan secara bergantian namun transisinya menggunakan saklar agar lebih cepat dan hasil perbandingannya bisa lebih akurat.

Untuk mengetahui nilai iradiasi yang diterima oleh PV, digunakan PV 3Wp yang dihubungkan pada amperemeter. Nilai arus yang terbaca dibagi dengan nilai arus hubung singkat pada nameplate lalu

dikalikan 1000W/m^2 . Untuk mengetahui kondisi suhu sel pada PV digunakan infrared thermometer.



Gambar 3.33 pengujian MPPT pada dua panel PV 50Wp



Gambar 3.34 pengukuran parameter external pada PV yang berupa: Nilai Iradiasi menggunakan PV 3Wp dan amperemeter (kiri) dan Suhu sel pada PV menggunakan infrared thermometer (kanan)



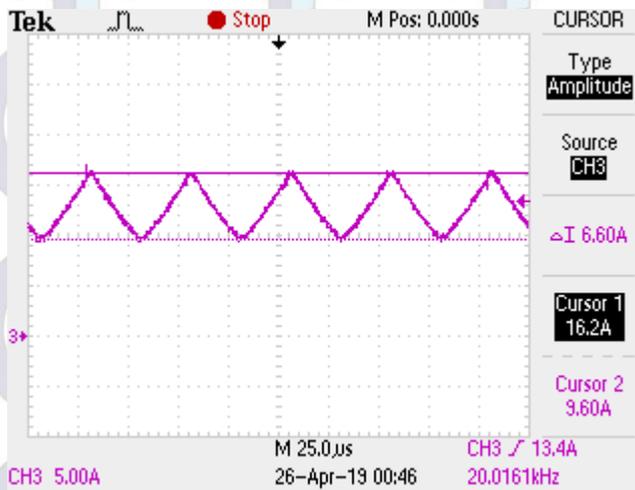
--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

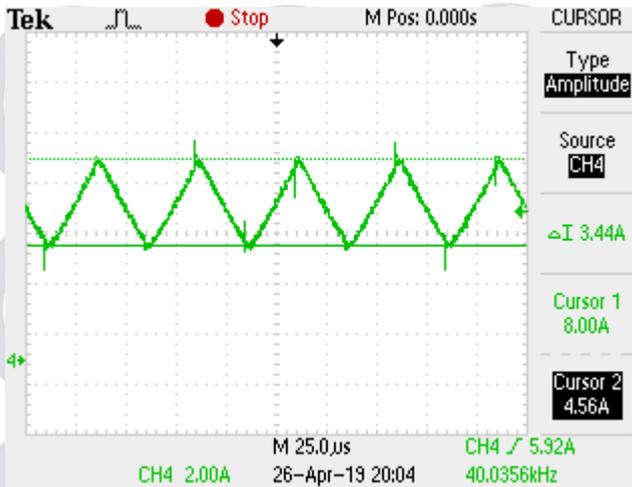
4.1 Pengujian Rangkaian Konverter Buck

Ketiga Konverter buck diuji terlebih dahulu untuk mengetahui apakah sudah bekerja sesuai desain. Masing-masing konverter dilakukan pengujian arus induktor dan efisiensi. Pada pengujian arus induktor, konverter dibebani penuh lalu dilihat bentuk gelombangnya apakah sudah CCM (*Continuous Current Mode*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Tampak gelombang arus induktor pada ketiga konverter bekerja pada kondisi CCM pada frekuensi 20 kHz.

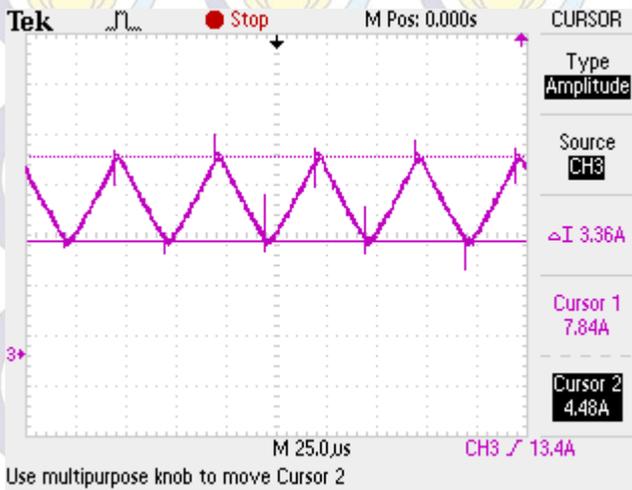


Gambar 4.1 Gelombang arus induktor pada konverter buck 100 Watt

Pada konverter 100 Watt (Gambar 4.1) arus induktor yang melewatinya sebesar 12.9 A dengan nilai *peak-to-peak* sebesar 6.6 A sehingga *ripple* faktornya sebesar 51%. Pada konverter 50 Watt A (Gambar 4.2) arus induktor yang melewatinya sebesar 6.28 A dengan nilai *peak-to-peak* sebesar 3.44 A sehingga *ripple* faktornya sebesar 54%. Pada konverter 50 Watt B (Gambar 4.3) arus induktor yang melewatinya sebesar 6.16 A dengan nilai *peak-to-peak* sebesar 3.36 A sehingga *ripple* faktornya sebesar 54%.



Gambar 4.2 Gelombang arus induktor pada konverter buck 50 Watt A

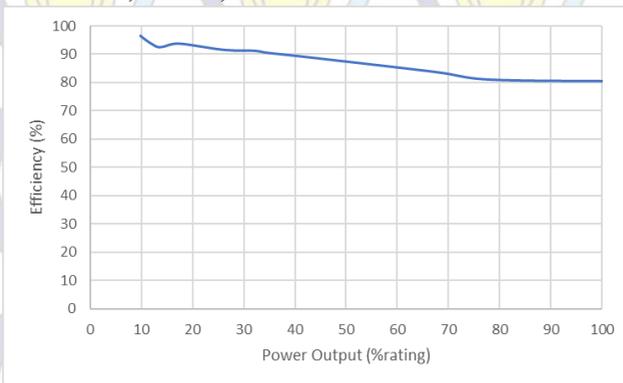


Gambar 4.3 Gelombang arus induktor pada konverter buck 50 Watt B

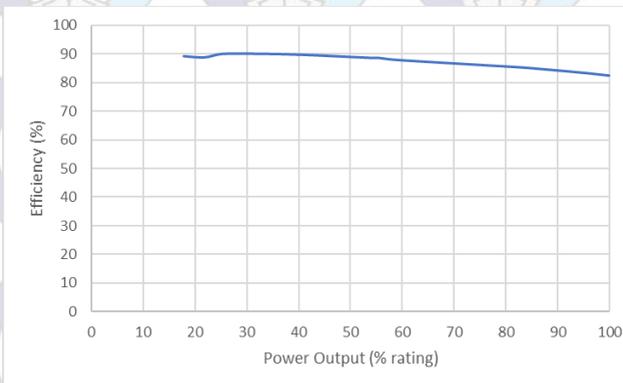
Berikutnya menguji nilai efisiensi pada tiap konverter. Saat pengujian nilai tegangan input dan output dijaga untuk selalu konstan. Beban yang digunakan merupakan beban resistif dengan menggunakan

rheostat 10Ω sehingga nilainya variabel. Pengujian dilakukan pada 10%-100% rating daya output pada konverter 100 Watt dan 15%-100% rating daya output pada konverter 50 Watt.

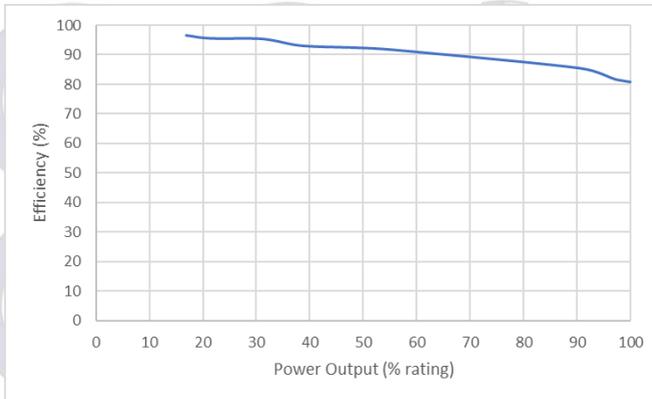
Pada pengujian efisiensi tegangan input yang digunakan 17.5V sedangkan pada tegangan output sebesar 8V. Saat daya output semakin besar maka akan terjadi drop tegangan disisi output sehingga agar tegangan output tetap pada nilai 8V duty cycle perlu disesuaikan. Pengukuran efisiensi dirumuskan sebagai perbandingan daya output dengan daya input dalam persen. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4, 4.5 dan, 4.6.



Gambar 4.4 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 100 Watt



Gambar 4.5 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 50 Watt A



Gambar 4.6 Hasil pengujian efisiensi Konverter Buck 50 Watt B

Dari hasil pengujian efisiensi dapat diketahui ketiga konverter efisiensinya semakin menurun saat beban semakin besar. Hal ini terjadi karena saat semakin besar beban maka arus yang lewat juga semakin besar sehingga rugi-rugi panas muncul pada komponen. Rugi-rugi juga terjadi karena proses *switching*. Namun, pada ketiga konverter efisiensinya masih diatas 80% pada kondisi beban 100% rating.

4.2 Pengujian Sensor

Pada MPPT semua nilai masukan didapatkan melalui pembacaan sensor sehingga perlu dilakukan pengujian akurasi sensor. Sensor tegangan yang digunakan adalah resistor variabel 50k Ω dan sensor arus yang digunakan adalah ACS 712 20A. Pada pengujian hasil dari pembacaan sensor tegangan dibandingkan dengan SANWA CD800a, sedangkan pada pengujian sensor arus dibandingkan dengan SANWA DCM22AD. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil pengujian sensor arus

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error Sensor (%)
0.5	0.512	2.40
1.0	1.041	4.10
1.5	1.498	0.13

Tabel 4.1 Hasil pengujian sensor arus (lanjutan)

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Eror Sensor (%)
2.0	1.982	0.90
2.5	2.591	3.64
3.0	3.098	3.27

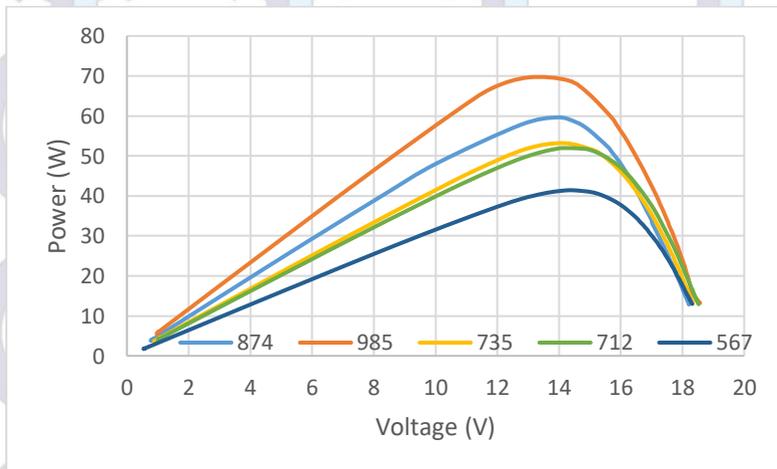
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor tegangan

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Eror Sensor (%)
1	0.96	4.00
3	2.89	3.67
5	4.85	3.00
7	6.85	2.14
9	8.67	3.67
11	10.74	2.36
13	12.69	2.38
15	14.65	2.33
17	16.60	2.35
19	19.04	0.21
21	21.00	0.00
23	22.95	0.22
25	24.90	0.40

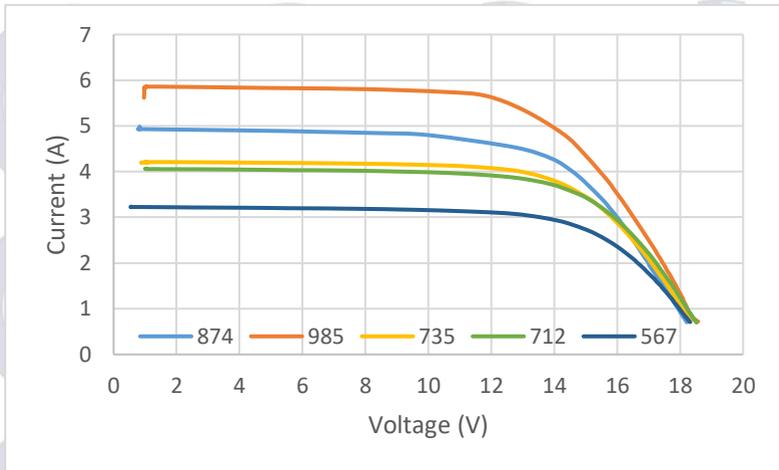
Berdasarkan hasil pengujian, sensor arus memiliki eror tertinggi sebesar 3.64% dan eror rata-rata 2,41% dengan kata lain memiliki tingkat akurasi 97.59%. Pada sensor tegangan memiliki eror tertinggi sebesar 4% dan eror rata-rata 2.06%, sehingga tingkat akurasi dari sensor tegangan yang digunakan sebesar 97.94%. Maka, dapat disimpulkan bahwa sensor yang digunakan dalam performa yang baik.

4.3 Kurva Karakteristik PV

Kurva karakteristik PV perlu didapatkan untuk mengetahui beberapa parameter seperti daya maksimum (P_{mpp}), tegangan optimal (V_{mpp}) dan, arus optimal (I_{mpp}). Cara mendapatkan kurva karakteristik PV adalah dengan menghubungkan PV dengan resistor variabel dimana pada tugas akhir ini menggunakan rheostat 25 Ω . Rheostat digeser dari nilai R maksimal hingga R minimal. Selama perubahan nilai R nilai arus dan tegangan yang terbaca oleh sensor disimpan ke *logger*. Kurva karakteristik PV didapatkan pada berbagai macam iradiasi dan dengan suhu lingkungan 31°C dengan suhu sel mencapai 53°C. Hal ini yang menyebabkan PV tidak dapat bekerja sesuai dengan *nameplate*.



Gambar 4.7 Kurva karakteristik P-V dari PV yang digunakan



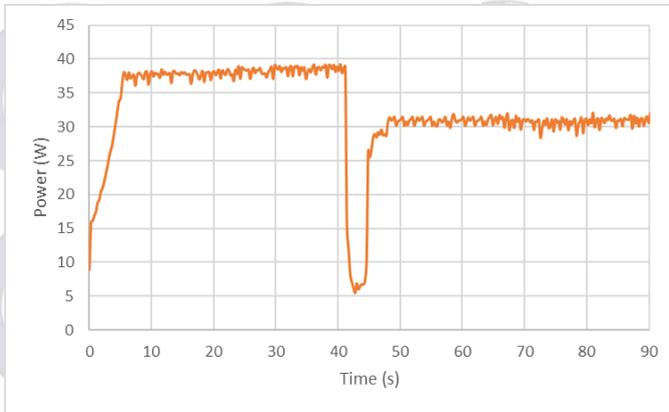
Gambar 4.8 Kurva karakteristik I-V dari PV yang digunakan

4.4 Pengujian struktur *Single* dan *Multiple* MPPT pada Perubahan Iradiasi

Pengujian perubahan iradiasi dilakukan dengan membuat PV bekerja pada kondisi normal tanpa adanya *shading* lalu diketahui berapa daya yang dapat dihasilkan. Setelah sekitar 40 detik PV ditutup oleh plastik secara merata agar iradiasi yang diterima oleh PV berkurang.

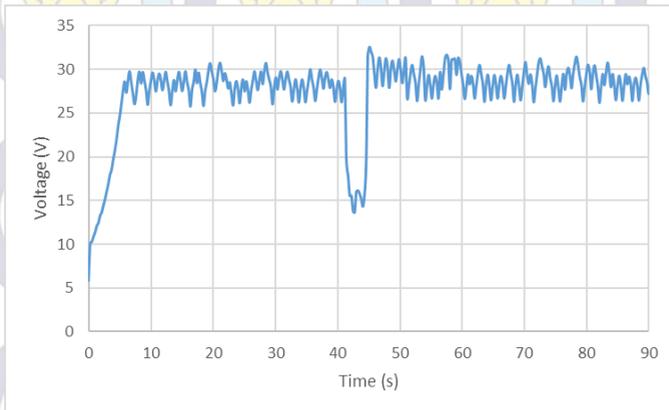
Saat pengujian berlangsung sulit untuk mempertahankan iradiasi tetap konstan untuk waktu yang cukup lama karena faktor lingkungan. Sehingga pengujian hanya dilakukan selama 90 detik dan perbandingan dilakukan pada daya maksimum yang berbeda.

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan struktur *single* MPPT. Tampak pada Gambar 4.9 pada saat kondisi normal rata-rata daya yang dapat dihasilkan oleh PV sebesar 37.99 Watt, lalu saat iradiasi turun karena tertutup oleh plastik daya rata-rata yang dihasilkan menjadi 30.78 Watt atau terdapat penurunan daya 18.97%. Waktu respon yang dibutuhkan untuk tracking saat terjadi perubahan iradiasi adalah 4.22 detik.



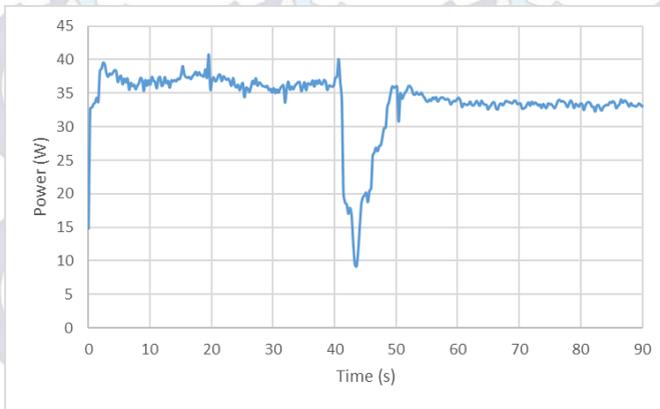
Gambar 4.9 Grafik daya PV dengan *single* MPPT pada perubahan iradiasi

Berdasarkan grafik tegangan (Gambar 4.10) saat kondisi normal PV bekerja pada titik 28.25V, lalu saat terjadi penurunan iradiasi PV mengalami perpindahan titik kerja menjadi 28.9V. Hal ini terjadi karena saat mengalami penurunan iradiasi maka V_{mpp} akan mengalami peningkatan.

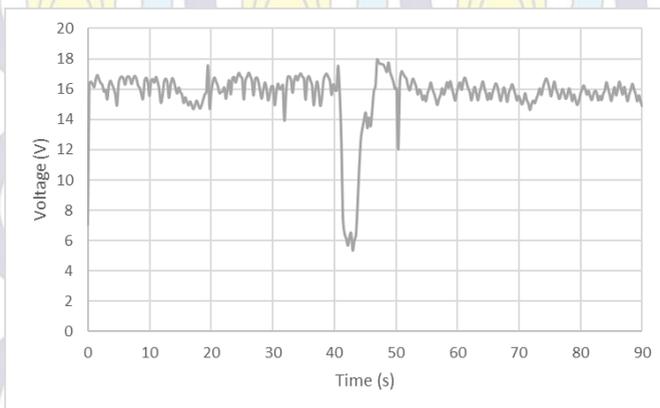


Gambar 4.10 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT pada perubahan iradiasi

Berikutnya pengujian dilakukan menggunakan struktur *multiple* MPPT. Tampak pada Gambar 4.11 pada saat kondisi normal rata-rata daya yang didapatkan sebesar 36.69 Watt, lalu saat tertutup oleh plastik yang sama dengan pada pengujian sebelumnya, daya rata-rata yang dihasilkan menjadi 33.24 Watt atau terdapat penurunan daya 9.41%. Waktu respon yang dibutuhkan untuk tracking saat terjadi perubahan iradiasi adalah 7.38 detik.

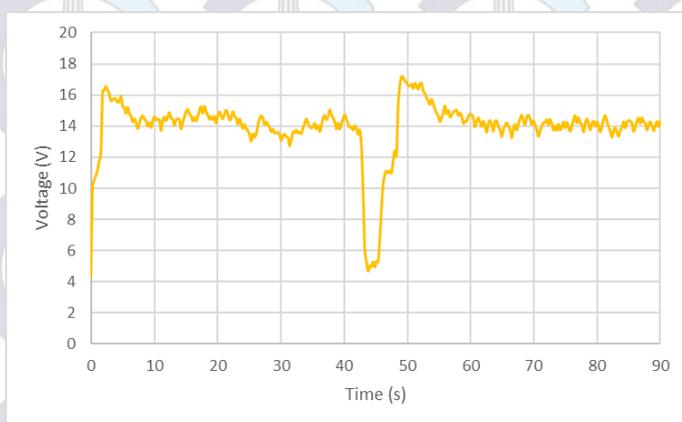


Gambar 4.11 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi



Gambar 4.12 Grafik tegangan pada PV pertama dengan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi

Jika dilihat pada grafik tegangan PV (Gambar 4.12 dan 4.13), PV pertama dan kedua memiliki tegangan operasi yang berbeda-beda meskipun mendapatkan iradiasi yang sama. Hal ini dapat terjadi karena terdapat sedikit perbedaan nilai pada hambatan dalam PV meskipun kedua PV memiliki spesifikasi nameplate yang identik. Pada penggunaan struktur *single* MPPT tegangan PV nya lebih tinggi dari struktur *multiple* MPPT dikarenakan pada *single* MPPT PV dirangkai seri.

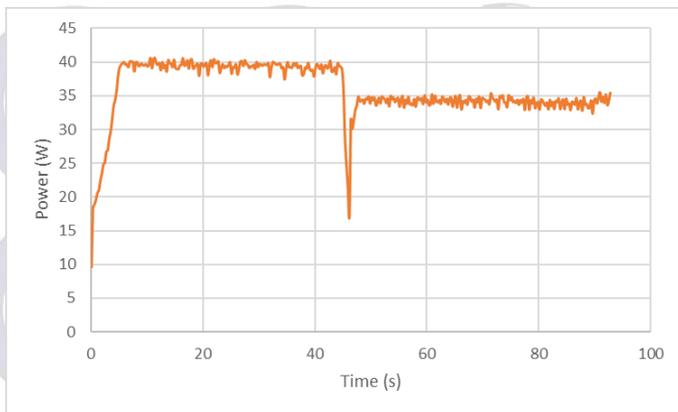


Gambar 4.13 Grafik tegangan pada PV kedua dengan *multiple* MPPT pada perubahan iradiasi

Berdasarkan pengujian ini dapat diketahui bahwa penggunaan struktur *single* MPPT memiliki penurunan daya yang lebih banyak daripada struktur *multiple* MPPT. Namun, pada struktur *single* MPPT lebih responsif saat terjadi perubahan iradiasi.

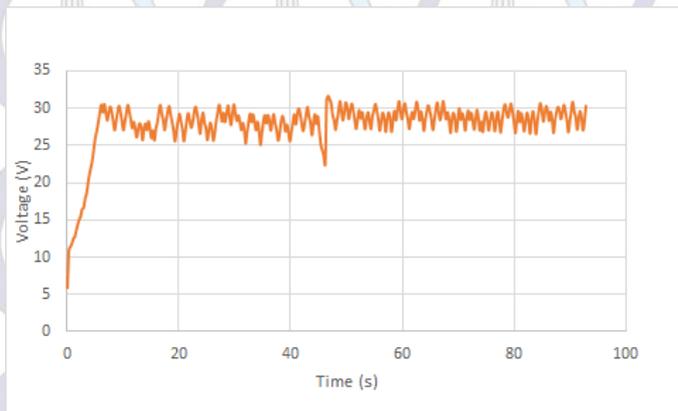
4.5 Pengujian struktur *Single* dan *Multiple* MPPT pada Kondisi *Partial Shading* (PSC)

Pada pengujian kali ini cara yang digunakan hampir sama dengan pengujian sebelumnya. Namun, untuk mendapatkan kondisi PSC pada PV hanya salah satu dari PV yang tertutup oleh plastik. Pada penggunaan struktur *single* MPPT PV dirangkai seri dan dipasang dioda bypass.

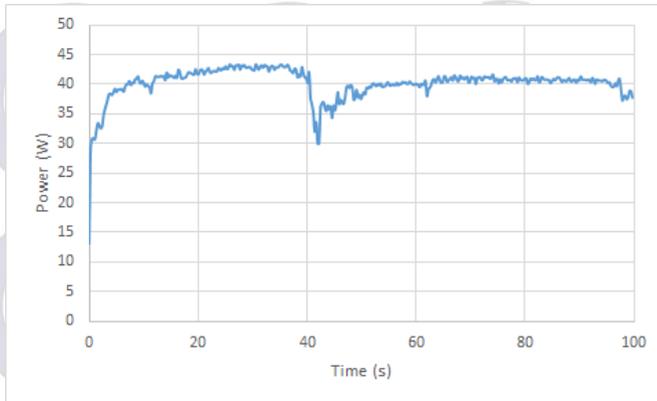


Gambar 4.14 Grafik daya PV dengan *single* MPPT saat PSC

Pengujian pertama menggunakan struktur *single* MPPT. Pada saat kondisi normal tanpa shading, daya rata-rata yang didapatkan sebesar 39.46 Watt. Kemudian saat PSC muncul pada detik ke 45, daya rata-rata yang didapatkan menjadi 34.2 Watt atau terdapat penurunan daya 13.33%. Waktu respon yang dibutuhkan untuk tracking saat terjadi PSC adalah 1.84 detik.

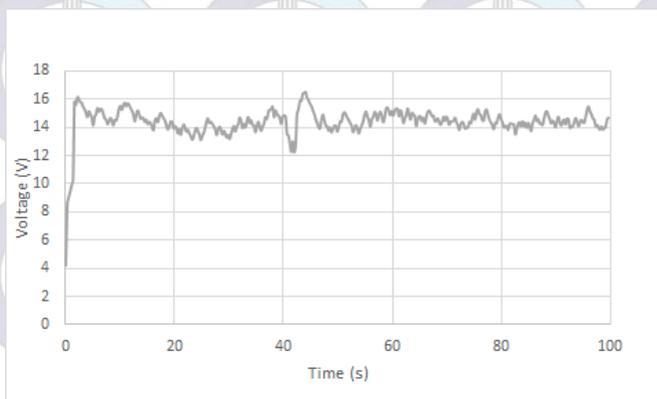


Gambar 4.15 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT saat PSC

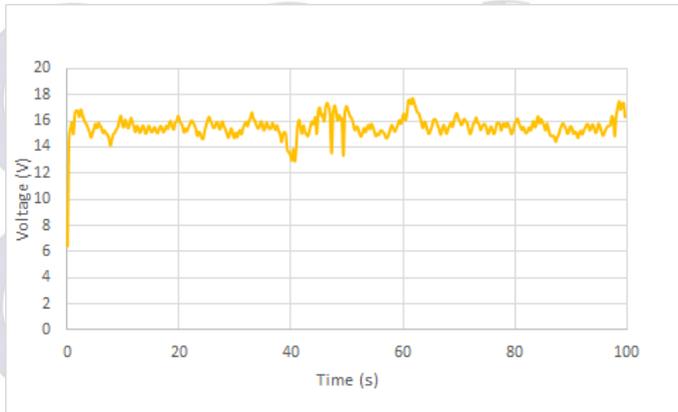


Gambar 4.16 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT saat PSC

Pengujian berikutnya menggunakan struktur *multiple* MPPT. Pada saat kondisi normal tanpa shading, daya rata-rata yang didapatkan sebesar 42.61 Watt. Kemudian saat PSC muncul pada detik ke 40, daya rata-rata yang didapatkan turun menjadi 40.62 Watt atau terdapat penurunan daya 4.65%. Waktu respon yang dibutuhkan untuk tracking saat terjadi PSC adalah 6.32 detik.



Gambar 4.17 Grafik tegangan pada PV pertama dengan *multiple* MPPT saat PSC



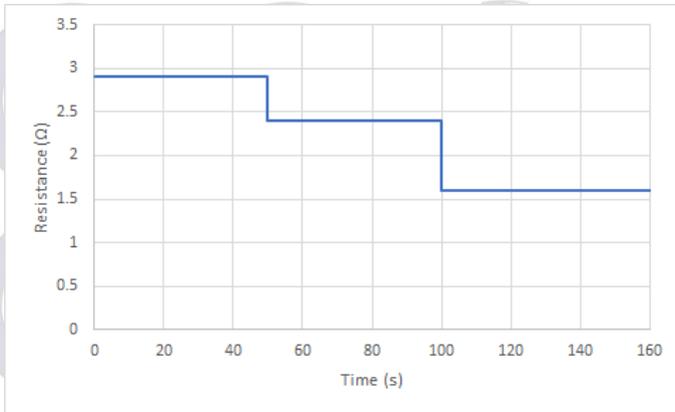
Gambar 4.18 Grafik tegangan pada PV kedua dengan *multiple* MPPT saat PSC

Pada grafik tegangan PV (Gambar 4.17 dan 4.18) tampak terjadi peningkatan titik kerja tegangan saat terjadi PSC pada PV pertama, sedangkan pada PV kedua tidak terjadi peningkatan/penurunan titik kerja tegangan. Hal ini terjadi karena shading hanya terjadi pada PV pertama yang menyebabkan turunnya iradiasi yang diterima. Seiring dengan turunnya iradiasi maka V_{mpp} akan menjadi naik.

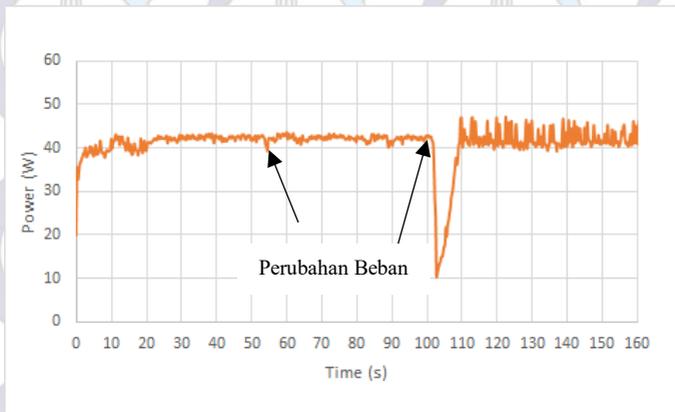
Berdasarkan pengujian ini dapat diketahui bahwa penggunaan struktur *single* MPPT saat PSC memiliki penurunan daya yang lebih banyak daripada struktur *multiple* MPPT. Namun, pada struktur *single* MPPT lebih responsif saat terjadi PSC.

4.6 Pengujian struktur *Single* dan *Multiple* MPPT pada Perubahan Beban

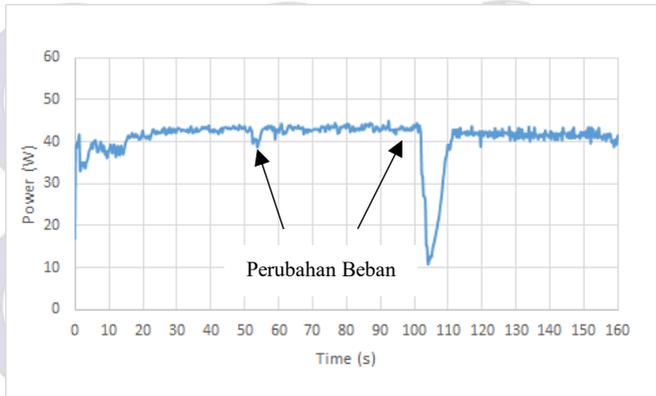
Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah beban resistif dengan menggunakan rheostat. Perubahan beban dimulai dari resistansi besar ke resistansi kecil. Mula-mula nilai resistansi diset sebesar 2.9 Ω lalu pada detik ke 50 turun menjadi 2.4 Ω dan perubahan terakhir pada detik ke 100 turun menjadi 1.6 Ω . Pola perubahan dapat dilihat pada Gambar 4.17. Rentang nilai resistansi ini dipilih agar MPPT tetap dapat menyalurkan daya maksimal PV.



Gambar 4.19 Pola pembebanan pada MPPT

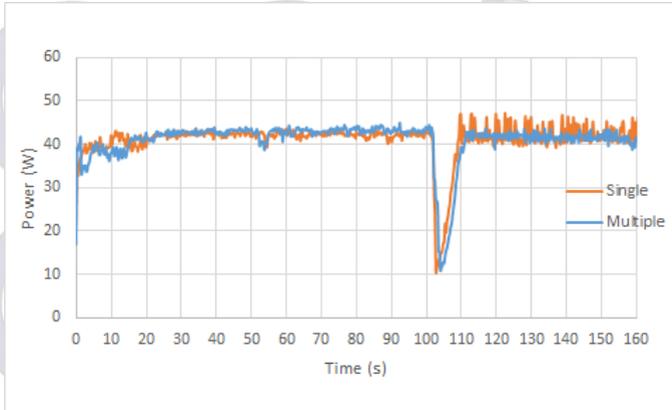


Gambar 4.20 Grafik daya PV dengan *single* MPPT pada perubahan beban



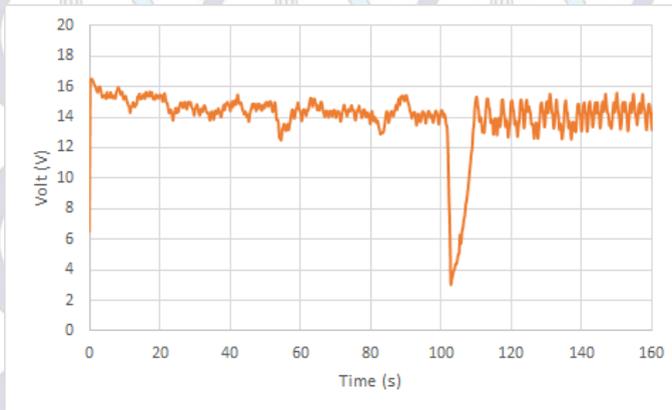
Gambar 4.21 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT pada perubahan beban

Berdasarkan Gambar 4.20 dan 4.21 pada saat resistansi bernilai 1.6Ω pada penggunaan *single* MPPT, ripple dayanya lebih besar daripada saat menggunakan *multiple* MPPT hal ini menyebabkan jeleknya kualitas daya. Jika dilihat dari kurva karakteristik PV, energi maksimal yang dapat dihasilkan adalah sebesar 44.41Wh . Total energi yang didapatkan dari *single* MPPT adalah 40.93Wh atau terdapat 7.8% energi yang hilang, sedangkan pada *multiple* MPPT total energi yang dihasilkan adalah sebesar 42.85Wh atau terdapat 3.5% energi yang hilang. Respon dari *Single* MPPT saat terjadi perubahan beban selalu lebih cepat. Waktu respon yang dibutuhkan saat terjadi perubahan resistansi beban dari 2.4Ω ke 1.6Ω pada *single* MPPT selama 6.59 detik, sedangkan jika menggunakan *multiple* MPPT selama 8.69 detik untuk mencapai kondisi steady state. Perbandingan respon daya terhadap waktu antara *single* dan *multiple* MPPT dapat dilihat pada Gambar 4.22

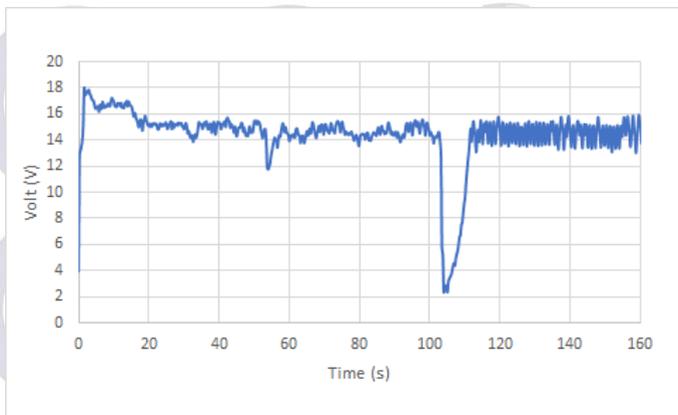


Gambar 4.22 Grafik perbandingan daya PV dengan *single* dan *multiple* MPPT pada perubahan beban

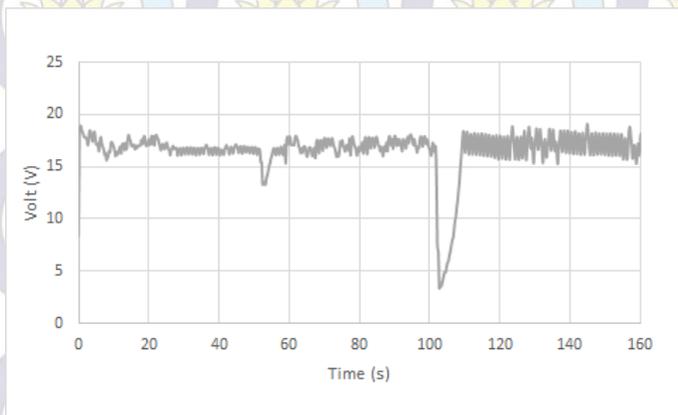
Pada saat terdapat perubahan beban, penggunaan struktur *single* maupun *multiple* MPPT tetap dapat bekerja pada titik MPP. Hal ini dapat terjadi karena saat terjadi perubahan beban MPPT merespon dengan cara merubah nilai *duty cycle* sehingga tegangan PV tetap bekerja sesuai dengan titik MPP (Gambar 4.23, 4.24 dan 4.25).



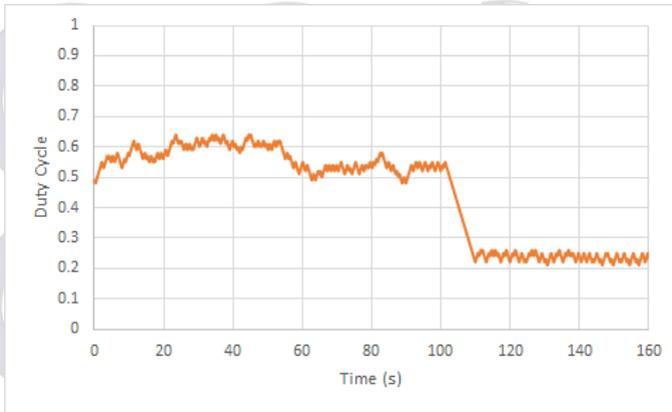
Gambar 4.23 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT pada perubahan beban



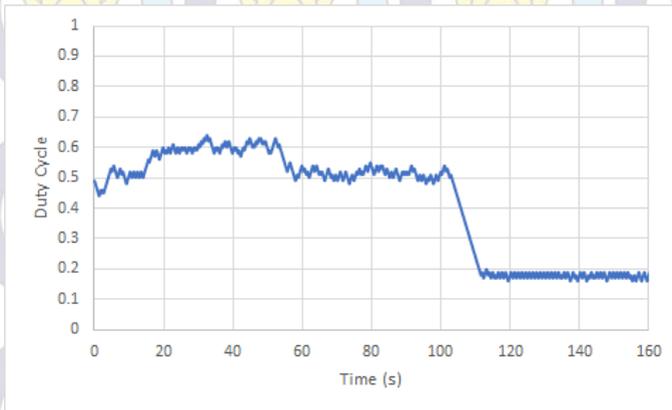
Gambar 4.24 Grafik tegangan PV pertama dengan *multiple* MPPT pada perubahan beban



Gambar 4.25 Grafik tegangan PV kedua dengan *multiple* MPPT pada perubahan beban

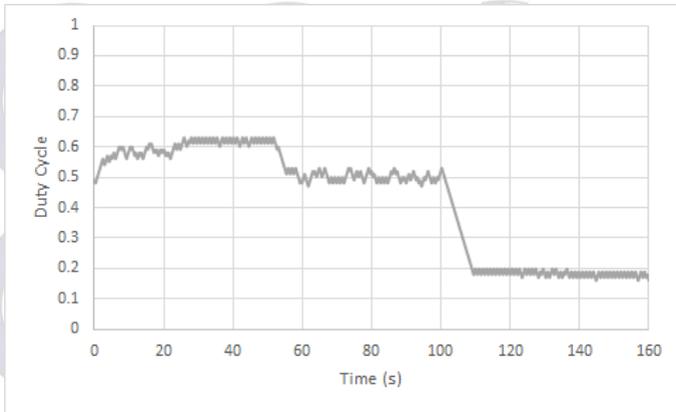


Gambar 4.26 Grafik *duty cycle* PV dengan *single* MPPT pada perubahan beban



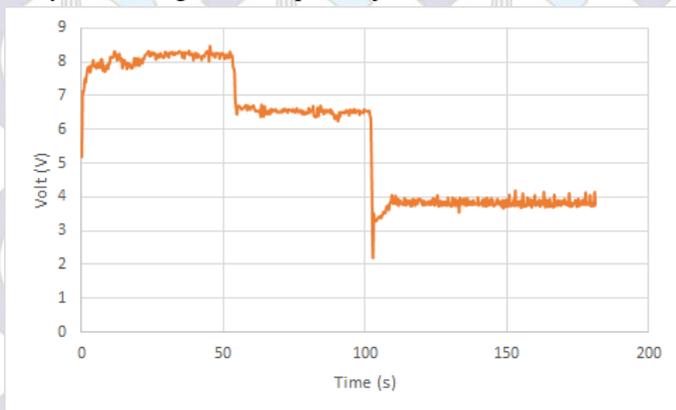
Gambar 4.27 Grafik *duty cycle* MPPT pada PV pertama dengan *multiple* MPPT pada perubahan beban

Tampak pada Gambar 4.26, 4.27, dan 4.28 nilai *duty cycle* akan semakin turun seiring dengan turunnya nilai resistansi. Turunnya nilai *duty cycle* dikarenakan untuk mencapai daya yang sama dengan nilai resistansi yang turun maka tegangan output juga harus ikut turun (Gambar 4.29 dan 4.30).

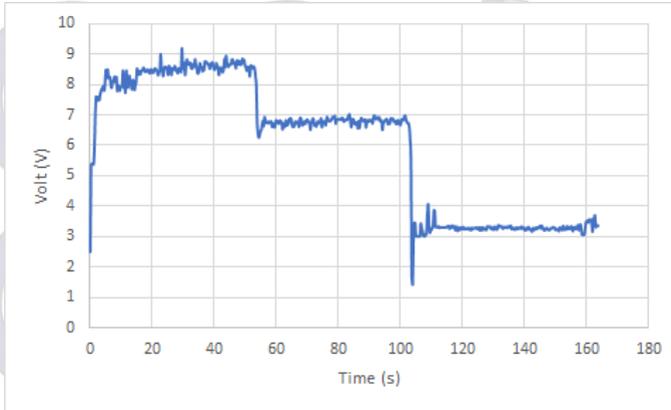


Gambar 4.28 Grafik *duty cycle* MPPT pada PV kedua dengan *multiple* MPPT pada perubahan beban

Pada penggunaan *multiple* MPPT tampak terdapat sedikit perbedaan nilai *duty cycle* antara MPPT pada PV pertama dan kedua. Hal ini terjadi karena nilai tegangan pada PV pertama dan kedua juga terdapat perbedaan namun nilai tegangan output MPPT sama sehingga nilai *duty cycle* menyesuaikan agar PV tetap bekerja di titik MPP.



Gambar 4.29 Grafik tegangan output MPPT dengan *single* MPPT



Gambar 4.30 Grafik tegangan output MPPT dengan *multiple* MPPT

4.7 Perbandingan antara Simulasi dan Implementasi

Hasil yang didapatkan dari simulasi dan implementasi dibandingkan. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Perbandingan simulasi dan implementasi dari parameter efisiensi energi

Efisiensi Energi	Perubahan Iradiasi				Perubahan Beban	
	Seragam		Partial Shading			
	Single	Multi	Single	Multi	Single	Multi
Simulasi	98.54%	99.23%	80.8%	99.2%	98.15%	98.22%
Implementasi	81.03%	90.59%	86.6%	95.3%	92.2%	96.5%

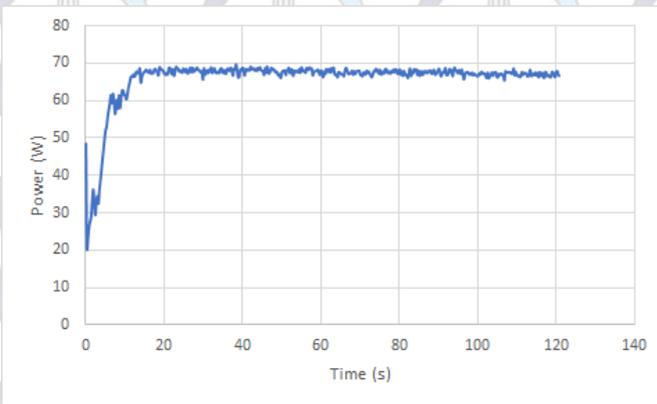
Tabel 4.4 Perbandingan simulasi dan implementasi dari parameter waktu respon

Waktu Respon	Perubahan Iradiasi				Perubahan Beban	
	Seragam		Partial Shading			
	Single	Multi	Single	Multi	Single	Multi
Simulasi	10.78ms	23.43ms	14.7ms	27.6ms	23.09ms	24.6ms
Implementasi	4.22s	7.38s	1.84s	6.32s	6.59s	8.69s

Dapat dilihat dari tabel bahwa dengan menggunakan *single* MPPT efisiensi energi yang didapatkan selalu lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *multiple* MPPT namun pada perubahan beban perbedaannya tidak terlalu signifikan. Untuk waktu respon *single* MPPT selalu lebih cepat untuk mencapai kondisi steady state dibanding *multiple* MPPT.

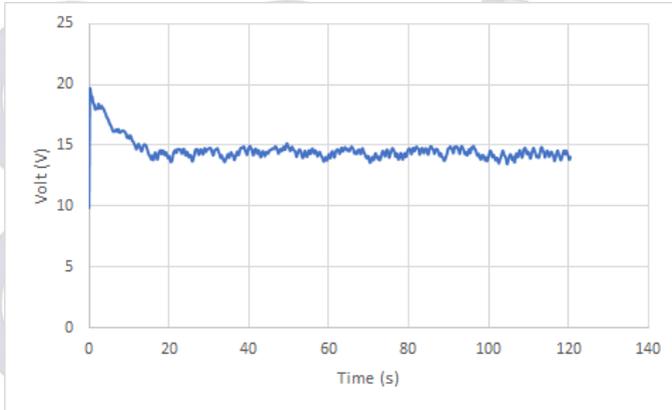
4.8 Pengujian MPPT pada *Charging* Baterai

Solar UAV pada kenyataannya membutuhkan baterai sebagai *storage* sebelum mensuplai beban. Jenis baterai yang digunakan pada pengujian *charging* baterai adalah Li-Po 2 sel sehingga memiliki tegangan nominal 7.4 V. Pengujian dilakukan pada iradiasi 985W/m^2 dengan suhu sel 53°C sehingga jika dilihat dari kurva karakteristik PV akan menghasilkan daya maksimal sebesar 69.64 Watt.

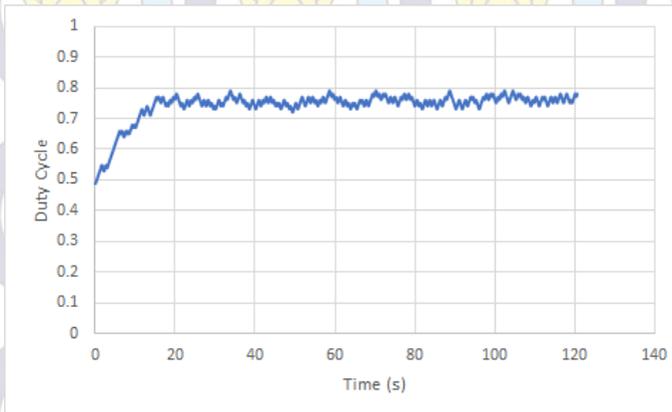


Gambar 4.31 Grafik daya PV dengan *single* MPPT saat *charging* baterai

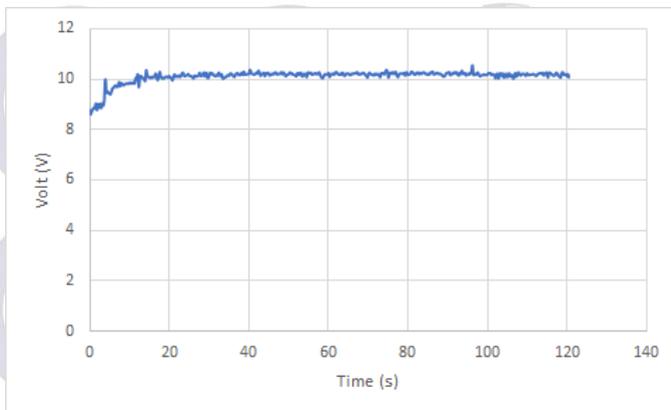
Pada penggunaan struktur *single* MPPT, PV tetap dapat bekerja dititik MPP saat beban yang digunakan adalah baterai sehingga daya yang didapatkan oleh PV tetap maksimal. PV dapat bekerja pada titik MPP dikarenakan algoritma dari MPPT akan mencari nilai *duty cycle* yang tepat agar nilai tegangan PV tetap pada V_{MPP} .



Gambar 4.32 Grafik tegangan PV dengan *single* MPPT saat *charging* baterai

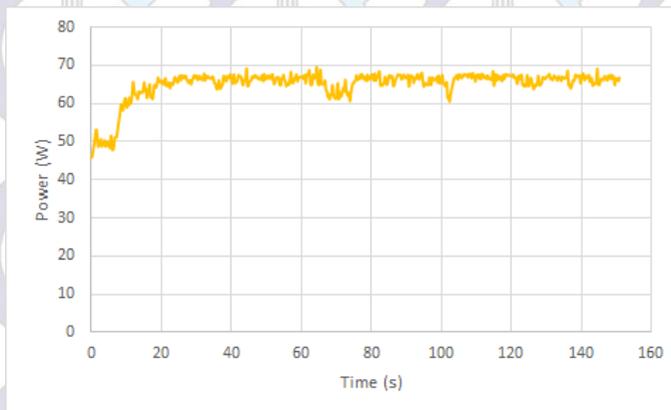


Gambar 4.33 Grafik *duty cycle* pada *single* MPPT saat *charging* baterai



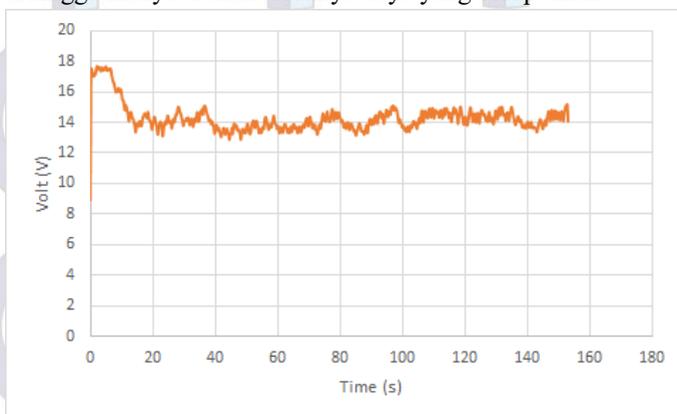
Gambar 4.34 Grafik tegangan output MPPT dengan *single* MPPT saat *charging* baterai

Tampak pada Gambar 4.34 tegangan output pada MPPT cenderung konstan karena beban yang dipasang adalah baterai sehingga nilai tegangan output mengikuti tegangan pada baterai. Pada pengujian *charging*, tegangan baterai belum terlihat peningkatan secara signifikan dikarenakan pengujian hanya dilakukan sekitar 120 detik.

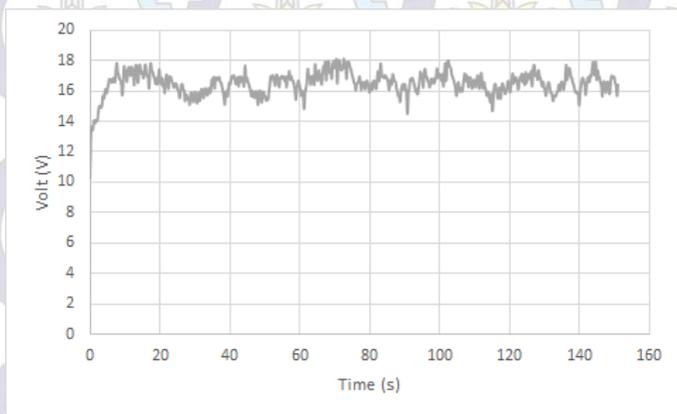


Gambar 4.35 Grafik daya PV dengan *multiple* MPPT saat *charging* baterai

Pada penggunaan struktur *multiple* MPPT, PV juga masih dapat bekerja pada titik MPP saat digunakan untuk *charging* baterai. Cara kerja dari *multiple* MPPT sama dengan *single* MPPT. Namun, tampak sedikit penurunan daya yang didapatkan dari *multiple* MPPT. Hal ini terjadi karena saat pengujian berlangsung iradiasi yang diterima turun sedikit sehingga menyebabkan turunnya daya yang didapatkan.

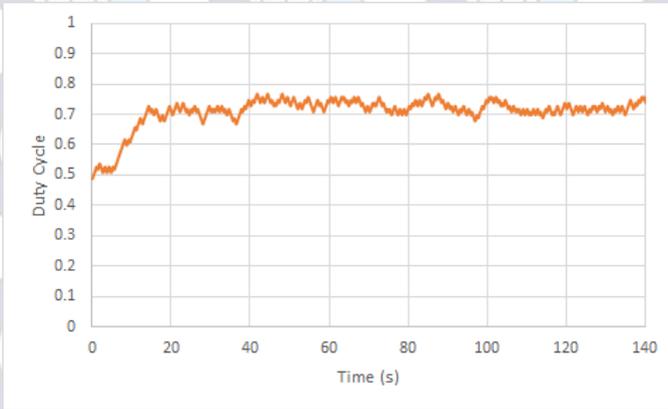


Gambar 4.36 Grafik tegangan PV pertama dengan *multiple* MPPT saat *charging* baterai

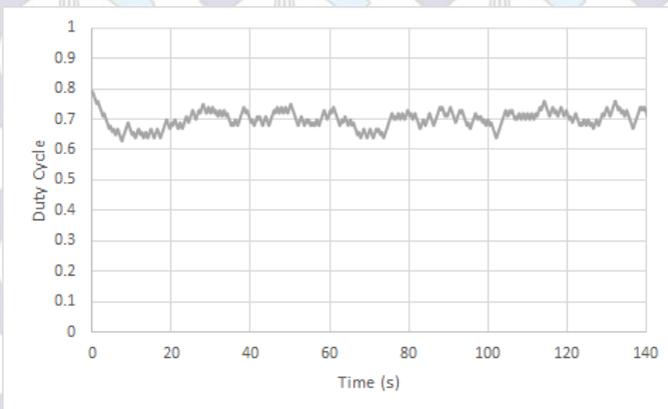


Gambar 4.37 Grafik tegangan PV kedua dengan *multiple* MPPT saat *charging* baterai

Berdasarkan Gambar 4.36 dan 4.37 terdapat perbedaan tegangan operasi dari kedua PV. Pada PV pertama memiliki tegangan rata-rata 14.08V sedangkan pada PV kedua memiliki tegangan rata-rata 16.52V. Ada beberapa faktor penyebab hal ini diantaranya yaitu bedanya nilai hambatan dalam antar PV dan, perbedaan suhu antar sel PV.



Gambar 4.38 Grafik *duty cycle* MPPT pada PV pertama dengan *multiple* MPPT saat charging baterai



Gambar 4.39 Grafik *duty cycle* MPPT pada PV kedua dengan *multiple* MPPT saat charging baterai

The background of the page features a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside it. The gear and lotus are centered within a white circle, and these circles are arranged in a grid. The lotus has five petals and a central stem with a pointed tip. The gear has eight teeth.

Berbedanya tegangan PV pada penggunaan *multiple* MPPT berdampak pada bedanya nilai *duty cycle* antar MPPT. Pada Gambar 4.38 dan 4.39 tampak terdapat sedikit perbedaan nilai *duty cycle* antar MPPT pada PV pertama dan kedua. Hal ini terjadi karena nilai tegangan pada PV pertama dan kedua berbeda namun nilai tegangan output MPPT sama sehingga nilai *duty cycle* menyesuaikan agar PV tetap bekerja di titik MPP.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penggunaan struktur *multiple* MPPT memiliki efisiensi energi yang lebih besar daripada menggunakan struktur *single* MPPT saat perubahan iradiasi seragam dengan perbedaan 9.56%.
2. Penggunaan struktur *multiple* MPPT memiliki efisiensi energi yang lebih besar daripada menggunakan struktur *single* MPPT saat partial shading dengan perbedaan 8.7%.
3. Perbedaan efisiensi energi antara struktur *single* dengan *multiple* MPPT saat perubahan beban tidak begitu signifikan yaitu berbeda 4.30%.
4. Waktu respon yang dibutuhkan *single* MPPT lebih cepat 3.16 detik daripada menggunakan struktur *multiple* MPPT saat perubahan iradiasi.
5. Waktu respon yang dibutuhkan *single* MPPT lebih cepat 4.48 detik daripada menggunakan struktur *multiple* MPPT saat partial shading.
6. Waktu respon yang dibutuhkan *single* MPPT lebih cepat 2.1 detik daripada menggunakan struktur *multiple* MPPT saat perubahan beban.
7. Baik *single* maupun *multiple* MPPT yang didesain mampu tetap bekerja pada titik MPP dari PV saat melakukan *charging* baterai.

Saran

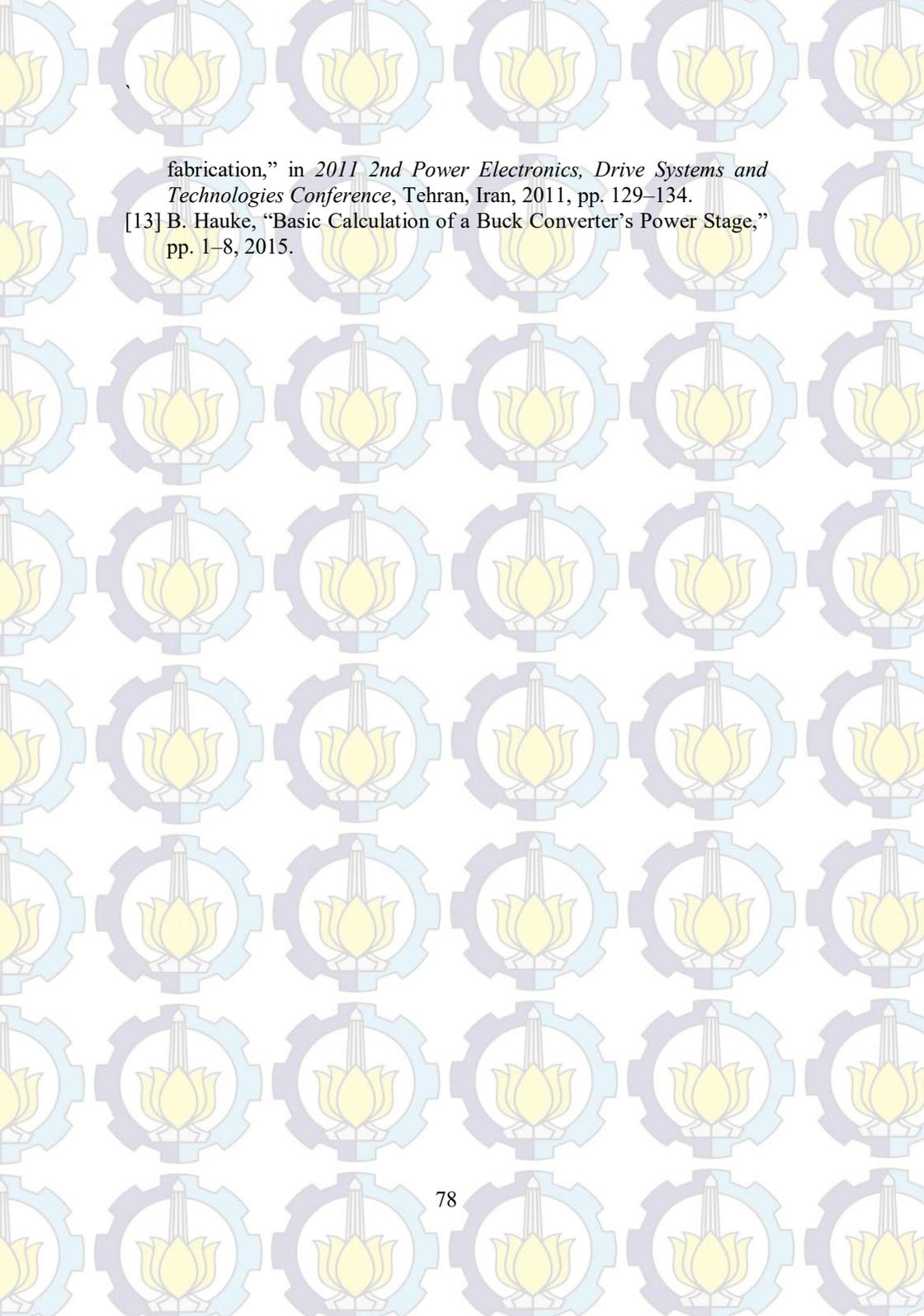
1. Komponen pada MPPT lebih baik menggunakan komponen SMD agar lebih ringan saat diaplikasikan ke Solar UAV.
2. Mikrokontroler yang digunakan sebaiknya menggunakan mikrokontroler dengan *clock* yang lebih cepat agar respon waktu dari MPPT lebih cepat.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. D. K and M. Khaliluzzaman, "Experimental assessment of PV arrays connected to Buck-Boost converter using MPPT and Non-MPPT technique by implementing in real time hardware," *Proc. 2015 3rd Int. Conf. Adv. Electr. Eng. ICAEE*, pp. 306–309, 2016.
- [2] A. N. A. Ali, M. H. Saied, and M. Z. Mostafa, "A Survey of Maximum PPT techniques of PV Systems," presented at the Energytech, Cleveland, 2012.
- [3] K. Ş. Parlak and H. Can, "A new MPPT method for PV array system under partially shaded conditions," presented at the 2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Aalborg, Denmark, 2012, pp. 437–441.
- [4] J.-K. SHIAU, D.-M. MA, P.-Y. YANG, G.-F. WANG, and J. H. GONG, "Design of a Solar Power Management System for an Experimental UAV," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 45, no. 4, pp. 1350–1360, 2009.
- [5] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC., 2004.
- [6] "MPPT Algorithm," *Mathwork*.
- [7] T. Logeswaran and A. SenthilKumar, "A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems under Uniform and Non-uniform Irradiances," *Energy Procedia*, vol. 54, pp. 228–235, 2014.
- [8] C.-C. Hua Ph. D. and Y. Chen, "Modified Perturb and Observe MPPT with Zero Oscillation in Steady-State for PV Systems Under Partial Shaded Conditions," 2017, pp. 5–9.
- [9] T. Esmar and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, Jun. 2007.
- [10] H. Luo, H. Wen, and X. Li, "Comparison And its Simulation of Centralized and Distributed MPPT Structure," presented at the IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), 2016.
- [11] M. Ashari, *SISTEM KONVERTER DC Desain Rangkaian Elektronika Daya*, Edisi 1. Surabaya: ITS PRESS, 2002.
- [12] H. Bahrami Torabi, M. Sadi, and A. Yazdian Varjani, "Solar Power System for experimental unmanned aerial vehicle (UAV); design and



fabrication,” in *2011 2nd Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference*, Tehran, Iran, 2011, pp. 129–134.

- [13] B. Hauke, “Basic Calculation of a Buck Converter’s Power Stage,” pp. 1–8, 2015.

LAMPIRAN

1. Program MPPT P&O dengan arduino

```
const int Vinsense=A0,Voutsense=A3,Iinsense=A2,Ioutsense=A1;
```

```
double Vsampin=0,Vsampout=0,Isampin=0,Isampout=0;
```

```
double VavgIn,VavgOut,IavgIn,IavgOut,Iinvamps,Iovamps;
```

```
double Vin,Vout,Iin,Iout,Pin;
```

```
double v0=0,p0=0,dv=0,dp=0;
```

```
int Vrawin,Vrawout,Irawin,Irawout;
```

```
int ACSoffset=2478;
```

```
int mVperAmp=100;
```

```
int iterasi=100;
```

```
float D=0.5,delD=0.01;
```

```
unsigned long time;
```

```
void sensing()
```

```
{
```

```
  Vsampin=0;
```

```
  Vsampout=0;
```

```
  Isampin=0;
```

```
  Isampout=0;
```

```
  for(int i=0;i<iterasi;i++)
```

```
  {
```

```
    Vrawin = analogRead(Vinsense);
```

```
    Vrawout = analogRead(Voutsense);
```

```
    Irawin = analogRead(Iinsense);
```

```
    Irawout = analogRead(Ioutsense);
```

```
Vsampin += Vrawin;  
Vsampout += Vrawout;  
Isampin += Irawin;  
Isampout += Irawout;
```

```
delayMicroseconds(100);  
}
```

```
VavgIn = Vsampin/iterasi;  
VavgOut = Vsampout/iterasi;  
IavgIn = Isampin/iterasi;  
IavgOut = Isampout/iterasi;
```

```
Vin = VavgIn*500/1023.0;  
Vout = VavgOut*50/1023.0;  
Iinvamps = (IavgIn/1023.0)*5000;  
Iovamps = (IavgOut/1023.0)*5000;  
Iin = (Iinvamps - ACSoffset) / mVperAmp;  
Iout = (Iovamps - ACSoffset) / mVperAmp;  
Pin = Vin*Iin;  
}
```

```
void pno()  
{  
sensing();  
}
```

```
dv=Vin-v0;
dp=Pin-p0;
if(dp>0)
{
if(dv>=0) D-=delD;
else D+=delD;
}
else if(dp<0)
{
if(dv>=0) D+=delD;
else D-=delD;
}

v0=Vin;
p0=Pin;

if (D<=0.1)D=0.1;
else if (D>=0.9)D=0.9;
OCR1A=D*400;
}
void disp()
{
Serial.print(time);
Serial.print("\t ");
Serial.print(Vin,3);
```

```

Serial.print("\t ");
Serial.print(In,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(Pin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(D,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(dv,3);
Serial.print("\t ");
Serial.println(dp,3);
}
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);      // bound untuk serial monitor
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(WGM11);
  TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
}
void loop() {
  time = millis();
  pno();
  ICR1=400;    //400=20kHz  160=50kHz
  disp();
}

```

2. Program MPPT *Modified* P&O dengan arduino

```
const int Vinsense=A0,Voutsense=A3,Iinsense=A2,Ioutsense=A1;
double Vsampin=0,Vsampout=0,Isampin=0,Isampout=0;
double VavgIn,VavgOut,IavgIn,IavgOut,Iinvamps,Iovamps;
double Vin,Vout,Iin,Iout,Pin;
double v0=0,p0=0,dv=0,dp=0;
float pmax=0,vmlast,slope,x,y;
float gmpp,lmpp;
float Voc=40;
int Vrawin,Vrawout,Irawin,Irawout;
int ACSoffset=2478;
int mVperAmp=100;
int iterasi=100;
int k=0,conv=0,flag=1,cond;
float D=0.5,delD=0.01,delD2=0.005,stepD=0.05;
unsigned long time;
void sensing()
{
  Vsampin=0;
  Vsampout=0;
  Isampin=0;
  Isampout=0;

  for(int i=0;i<iterasi;i++)
  {
    Vrawin = analogRead(Vinsense);
```

```

Vvout = analogRead(Voutsense);
Irawin = analogRead(Iinsense);
Irawout = analogRead(Ioutsense);

Vsampin += Vvrawin;
Vsampout += Vvrawout;
Isampin += Irawin;
Isampout += Irawout;

delayMicroseconds(100);
}

VavgIn = Vsampin/iterasi;
VavgOut = Vsampout/iterasi;
IavgIn = Isampin/iterasi;
IavgOut = Isampout/iterasi;

Vin = VavgIn*500/1023.0;
Vout = VavgOut*50/1023.0;
Iinvamps = (IavgIn/1023.0)*5000;
Iovamps = (IavgOut/1023.0)*5000;
Iin = (Iinvamps - ACSoffset) / mVperAmp;
Iout = (Iovamps - ACSoffset) / mVperAmp;
Pin = Vin*Iin;
}

```

```

void pno()
{
  sensing();
  dv=Vin-v0;
  dp=Pin-p0;

  if(dp>0)
  {
    if(dv>=0) D-=delD;
    else D+=delD;
  }
  else if(dp<0)
  {
    if(dv>=0) D+=delD;
    else D-=delD;
  }

  v0=Vin;
  p0=Pin;

  if (D<=0.1)D=0.1;
  else if (D>=0.9)D=0.9;
  OCR1A=D*400;
}
void pno2()
{

```

```
sensing();
```

```
dv=Vin-v0;
```

```
dp=Pin-p0;
```

```
if(dp>0)
```

```
{
```

```
  if(dv>=0) D-=delD2;
```

```
  else D+=delD2;
```

```
}
```

```
else if(dp<0)
```

```
{
```

```
  if(dv>=0) D+=delD2;
```

```
  else D-=delD2;
```

```
}
```

```
v0=Vin;
```

```
p0=Pin;
```

```
if (D<=0.1)D=0.1;
```

```
else if (D>=0.9)D=0.9;
```

```
OCR1A=D*400;
```

```
}
```

```
void disp()
```

```
{
```

```
  Serial.print(time);
```

```

Serial.print("\t ");
Serial.print(Vin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(Iin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(Pin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(D,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(dv,3);
Serial.print("\t ");
Serial.println(dp,3);
}

void tracking(){
  if(Pin>pmax) //Tracking Pmax
  {
    pmax=Pin;
    vmlast=Vin;
  }
  if(pmax-Pin>5)
  {
    pmax=0;
    vmlast=0;
  }
  x=pmax-Pin; //Cek Konvergensi
  y=abs(x);

```

```
if(y<=0.5)k++;  
if(k>=20)conv=1;  
}
```

```
void MPO()
```

```
{
```

```
  pno();
```

```
  tracking();
```

```
  if(conv==1)
```

```
  {
```

```
    gmpp=pmax;
```

```
    cond=2;
```

```
    k=0;
```

```
  }
```

```
  if(cond==2)
```

```
  {
```

```
    conv=0;
```

```
    sensing();
```

```
    dv=Vin-v0;
```

```
    dp=Pin-p0;
```

```
    D=D-flag*stepD;
```

```
    slope=dp/dv;
```

```
if(slope/flag>0)cond=3;
if(Vin>=(0.9*Voc) && flag==1)
{
    flag=-1;
    D=0.5;
}
if(Vin<=(0.1*Voc) && flag!=1)
{
    flag=1;
    D=0.5;
}
OCR1A=D*400;
}
if(cond==3)
{
    pno2();
    tracking();
    if(conv==1)
    {
        lmpp=pmax;
        if(lmpp-gmpp<=-3)
        {
            flag=flag*-1;
            cond=2;
        }
    }
}
```

```

}
else gmp=lmpp;
cond=0;
}
}
void setup() {
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600); // bound untuk serial monitor
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(WGM11);
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
}
void loop() {
if(cond==0)
{
time = millis();
pno(); //kondisi normal
tracking();
if(pmax-Pin>5) cond=1; //shading
}
if(cond==1) MPO();
ICR1=400; //400=20kHz 160=50kHz
disp();
}

```

3. Program simulasi Matlab

```
function [dutyOut,konv,vl] =  
mpo2(Vsense,Isense,clk)  
persistent duty p p0 v0 dp dv n pmax vmlast  
vml0 vml x y k c ;  
persistent cond slope slp flag stepD lmpp gmpp;  
  
if isempty(duty)  
    duty=0.5;  
end  
if isempty(p)  
    p = 0;  
end  
if isempty(p0)  
    p0=0;  
end  
if isempty(v0)  
    v0=0;  
end  
  
if isempty(n)  
    n=0;  
    pmax=0;  
    vmlast=0;  
    x=0;  
    y=0;  
    k=0;  
    c=0;  
    vml0=0;  
    vml=0;  
    cond=0;  
    slope=0;  
    slp=0;  
    flag=1;  
    stepD=0.05;  
    lmpp=0;  
    gmpp=0;  
end
```

```

if p>pmax %Tracking Pmax
    pmax=p;
    vmlast=Vsense;
    if (vmlast-vml0)~=0
        k=0;
    end
    vml0=vmlast;
end
if (pmax-p>13)
    pmax=0;
    vmlast=0;
end
x=vmlast-Vsense; %cek konvergensi
y=abs(x);
if x<=0.05
    k=k+1;
end
if k>=600
    c=1;
end
if cond==0 %Kondisi awal
    p = Vsense*Isense;
    dp = p-p0;
    dv = Vsense-v0;
    if (dp/dv>0)
        duty = duty - 0.01;
    end
    if (dp/dv<0)
        duty = duty + 0.01;
    end
end

```

```

end
if clk>=0.38
    cond=2;
end
if (pmax-p>13)
    pmax=0;
    vmlast=0;
    k=0;
    c=0;
    cond=1;
end

v0=Vsense;
p0=p;
end
if cond==1                                %Kondisi shading
    p = Vsense*Isense;
    dp = p-p0;
    dv = Vsense-v0;
    if (dp/dv>0)
        duty = duty - 0.01;
    end
    if (dp/dv<0)
        duty = duty + 0.01;
    end
    v0=Vsense;
    p0=p;
    if c==1
        cond=2;
        gmpp=pmax;
    end
end

```

```
end
```

```
if cond==2 %kondisi 2
```

```
    c = 0;
```

```
    p = Vsense*Isense;
```

```
    dp = p-p0;
```

```
    dv = Vsense-v0;
```

```
    duty=duty-flag*stepD;
```

```
    slope=dp/dv;
```

```
    if slope/flag>0
```

```
        slp=slp+1;
```

```
        if slp==1
```

```
            cond=3;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
    if Vsense>=56.97 && flag==1
```

```
        flag=-1;
```

```
        duty=0.5;
```

```
    end
```

```
    if Vsense<=6.33 && flag~=1
```

```
        flag=1;
```

```
        duty=0.5;
```

```
    end
```

```
end
```

```
if cond==3 %kondisi 3
```

```
    p = Vsense*Isense;
```

```
    dp = p-p0;
```

```
    dv = Vsense-v0;
```

```
    if (dp/dv>0)
```

```
        duty = duty - 0.005;
```

```

end

if (dp/dv<0)
    duty = duty + 0.005;
end

if c==1
    lmpp=pmax;
    if lmpp<gmpp
        flag=flag*-1;
        cond=2;
    else gmpp=lmpp;
    end
end

end

v0=Vsense;
p0=p;
end

if duty>=0.9
    duty=0.9;
elseif duty<=0.1
    duty=0.1;
end

v1 = cond;
konv = c;
dutyOut = duty;
end

```



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BIOGRAFI PENULIS



Furqon Muhammad Afif, biasa dipanggil Furqon, lahir di Blitar 21 Januari 1997 dan hidup besar di Malang. Riwayat pendidikan penulis ialah MIN 1 Malang, SMPN 21 Malang, SMAN 1 Malang hingga berkuliah di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa kuliah penulis aktif di beberapa Tim ITS yaitu Tim BAYUCARAKA ITS pada tahun pertama dan kedua, dan Tim JALAPATIH ITS pada tahun ketiga. Selain itu penulis telah menjadi asisten laboratorium konversi energi sejak semester 5. Penulis juga memiliki pengalaman keilmiah yaitu sebagai best prototype di 4th SAFE Polije. Hobi dari penulis adalah bermain *mobile legends* bersama teman-teman asisten lab KE.