



**PERANCANGAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* UNTUK
KELUARAN *PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR*
MENGUNAKAN KENDALI *BUCK CONVERTER* DENGAN ALGORITMA
*PERTURB AND OBSERVE***

SKRIPSI

Oleh

Faisal Husein

NIM 161910201027

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PERANCANGAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* UNTUK
KELUARAN *PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR*
MENGUNAKAN KENDALI *BUCK CONVERTER* DENGAN ALGORITMA
*PERTURB AND OBSERVE***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk
menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Faisal Husein

NIM 161910201027

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT atas segala rahmat nikmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Kepada kedua orang tua saya yaitu Bapak Zaed dan Ibu Maslihatin atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, bimbingan serta doa setulus hati;
4. Dosen pembimbing utama Bapak Triwahju Hardianto serta Dosen Pembimbing Anggota Bapak Andi Setiawan yang telah membimbing saya dengan sangat baik dan Bapak Widyono Hadi serta Bapak Satrio Budi Utomo atas saran yang telah diberikan;
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Guru-guru saya sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi;
7. Ibu Nyai Hj. Liliek Istiqomah yang sudah memberikan pengarahan selama saya dipondok Al Jauhar sehingga saya dapat menjadi lebih baik;
8. Saudara-saudara saya Mas Fathur, Mas Hari, Mas Farid serta Mbak Asna, Mbak Fatiya, dan Alm. Mbak Ani yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada saya untuk terus menjadi lebih baik;
9. Keponakan-keponakan saya tersayang Reza, Nadin, Fatih, Shinta, dan Johar yang sudah memberikan semangat kepada saya;
10. Almamater tercinta Universitas Jember;
11. Keluarga besar Teknik Elektro angkatan 2016 yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada saya;
12. Teman-teman Pondok Aljauhar yang telah menjadi keluarga saya di tanah perantauan;

13. Teman-teman Asisten Laboratorium Sistem Tenaga yang sudah memberikan dukungan kepada saya semoga kesuksesan selalu menyertai kita;
14. Teman-teman seperjuangan tugas akhir di Laboratorium yang sudah menjadi teman berbagi suka-duka dalam mengerjakan skripsi semoga kita selalu diberikan kesehatan dan kesuksesan;
15. Teman-teman KKN Ade, Jan, Sasa, Sela, Debi, Leni, dan Rima yang sudah memberikan semangat dan motivasi kepada saya disaat kepenatan dalam pengerjaan skripsi ini.
16. Dan pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, saya sangat berterimakasih telah membantu saya sampai selesainya pengerjaan skripsi ini.

MOTO

“Barang siapa yang keluar rumah untuk mencari ilmu, maka ia berada di jalan Allah SWT hingga ia pulang”

(HR. Tirmidzi)

“Waktu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”

(HR. Muslim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faisal Husein

NIM : 161910201027

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Perancangan *Maximum Power Point Tracking* Untuk Keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* Menggunakan Kendali *Buck Converter* Dengan Algoritma *Perturb And Observe*“ adalah benar-benar hasil karya sendiri, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, November 2020

Yang menyatakan,

Faisal Husein

NIM 161910201027

SKRIPSI

**PERANCANGAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* UNTUK
KELUARAN *PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR*
MENGUNAKAN KENDALI *BUCK CONVERTER* DENGAN ALGORITMA
*PERTURB AND OBSERVE***

Oleh

Faisal Husein

NIM 161910201027

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: Andi Setiawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perancangan *Maximum Power Point Tracking* Untuk Keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* Menggunakan Kendali *Buck Converter* Dengan Algoritma *Perturb And Observe*” karya Faisal Husein telah diuji dan disahkan pada :


Hari, tanggal : , November 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,



Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T.

Andi Setiawan, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

NIP 196910101997021001

Anggota II,

Anggota III,



Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dr. Ir. Satriyo Budi Utomo, ST., M.T.

NIP 196104141989021001

NIP 198501262008011002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T.

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Perancangan *Maximum Power Point Tracking* Untuk Keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* Menggunakan Kendali *Buck Converter* Dengan Algoritma *Perturb And Observe*; Faisal Husein; 161910201027; 2020; 127 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan salah satu generator yang umum digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) dengan pembangkitan skala kecil. Penggerak PMSG pada penelitian ini menggunakan motor induksi dengan cara dikopel. Keluaran PMSG merupakan listrik 3 fasa dan penelitian ini menggunakan DC-DC konverter tipe *buck converter* maka dibutuhkan *rectifier* 3 fasa. Daya PMSG agar dapat dimaksimalkan maka dibutuhkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT merupakan cara untuk menemukan daya maksimal dengan menggunakan algoritma yang diterapkan. Pada penelitian ini menggunakan algoritma *Perturb and Observe* (PNO) yang diterapkan pada mikrokontroler Arduino UNO. Tegangan keluaran PMSG berubah-ubah secara fluktuatif bergantung pada kecepatan putar PMSG maka diperlukan DC-DC konverter agar dapat mengontrol tegangan dan dapat menerapkan algoritma PNO. Algoritma PNO melakukan perintah kerja pada saat *switching* MOSFET dengan frekuensi 62,5 kHz. *Switching* MOSFET bergantung pada perubahan *Pulse Width Modulation* (PWM) yang diatur melalui algoritma PNO. PNO menganalisa tegangan keluaran serta daya keluaran konverter dan melakukan eksekusi pada tegangan keluaran selanjutnya melalui perubahan PWM. Pengujian MPPT menggunakan beban resistif dengan daya *prime mover* tetap. Pengujian dilakukan dengan kondisi *start duty cycle* berbeda-beda untuk mengetahui kerja MPPT disaat mencari daya maksimal.

SUMMARY

Designing Maximum Power Point Tracking For Permanent Magnet Synchronous Generator Output Using Full Buck Converter With Perturb And Observe Algorithm; Faisal Husein; 161910201027; 2020; 127 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is one of the generators commonly used in wind power plants (PLTB) with small-scale generation. PMSG drivers in this study used induction motors by means of a copel. PMSG output is a 3 phase electricity and this study uses DC-DC converter type buck converter then it takes a 3 phase rectifier. PMSG power to be maximized, Maximum Power Point Tracking (MPPT) is required. MPPT is a way to find maximum power by using algorithms applied. In this study using Perturb and Observe (PNO) algorithm applied to Arduino UNO microcontroller. PMSG output voltage changes fluctuating depending on the rotary speed of PMSG, so a DC-DC converter is required in order to control the voltage and can apply algortima PNO. Algortima PNO performs work orders when switching MOSFET with a frequency of 62.5 kHz. MOSFET switching relies on Pulse Width Modulation (PWM) changes set through the PNO algorithm. PNO analyzes the output voltage and output power of the converter and executes the next output voltage through PWM changes. MPPT testing uses resistive loads with fixed prime mover power. Testing is carried out with different starting duty cycle conditions to find out the work of MPPT when looking for maximum power.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Perancangan *Maximum Power Point Tracking* Untuk Keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* Menggunakan Kendali *Buck Converter* Dengan Algoritma *Perturb And Observe*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama serta Bapak Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota;
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Penguji 1 serta Bapak Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, ST., M.T. selaku Dosen Penguji 2;
5. Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Zaed dan Ibu Maslihatin selaku kedua orang tua penulis;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini, Terima kasih.

Jember, 24 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN Sampul	i
HALAMAN Judul	ii
HALAMAN Persembahan	iii
HALAMAN Moto	v
HALAMAN Pernyataan	vi
HALAMAN Pembimbing	vii
HALAMAN Pengesahan	viii
Ringkasan	ix
Prakata	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii
Daftar Lampiran	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.2 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Turbin Angin.....	5
2.1.1 Turbin Angin Horisontal.....	5
2.1.2 Turbin Angin Vertikal.....	7
2.1.3 Karakteristik Turbin Angin.....	8
2.2 Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Kecepatan Putaran (rpm).....	11
2.3 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG).....	12
2.4 Penyearah 3 Fasa Tidak Terkontrol	13
2.5 Buck Converter	13
2.5.1 Kondisi Buck Converter ON.....	14
2.5.2 Kondisi Buck Converter OFF	15

2.6	Sensor Arus ACS712	18
2.7	Sensor Tegangan.....	19
2.8	Arduino UNO.....	20
2.9	Pulse Width Modulation (PWM).....	22
2.10	Maximum Power Point Tracking (MPPT).....	23
2.11	Algoritma Perturb and Observe (P&O)	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Tempat Penelitian	25
3.2	Waktu Penelitian.....	25
3.3	Tahapan Penelitian.....	26
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.5	Rancangan Penelitian.....	28
3.5.1	Perancangan <i>Rectifier</i> 3 Fasa	29
3.5.2	Spesifikasi PMSG	30
3.5.3	Perancangan Sensor Arus	31
3.5.4	Perancangan Sensor Tegangan	31
3.5.5	Perancangan Buck Converter.....	32
3.5.6	Perancangan <i>Driver</i> MOSFET.....	35
3.5.7	Flowchart Algoritma P&O.....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Analisis Pengujian Karakteristik PMSG.....	39
4.2	Analisis Pengujian Sensor Arus.....	43
4.3	Analisis Pengujian Sensor Tegangan.....	45
4.4	Analisis Pengujian Pulse Width Modulation	48
4.5	Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i>	52
4.5.1	Pengujian Buck Converter dengan Pengaruh Duty Cycle	53
4.5.2	<i>Buck Converter</i> pada Tegangan Masukan 22 V dengan Variasi Beban	56
4.5.3	<i>Buck Converter</i> pada Tegangan Masukan 32 V dengan Variasi Beban	60
4.5.4	Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban.	65
4.6	Pengujian PMSG dengan Variasi Pembebanan	67
4.7	Analisis Daya <i>Prime Mover</i> PMSG.....	69

4.8	Analisa Pengujian MPPT dengan Algoritma P&O.....	70
4.8.1	Pengujian MPPT dengan <i>Start Duty Cycle</i> 30%.....	71
4.8.2	Pengujian MPPT dengan <i>Start Duty Cycle</i> 50%.....	79
4.8.3	Pengujian MPPT dengan <i>Start Duty Cycle</i> 70%.....	83
BAB 5. PENUTUP	88
5.1	Kesimpulan	88
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin Angin Horisontal	5
Gambar 2. 2 Turbin Angin Vertikal	7
Gambar 2. 3 Kurva daya ideal pada turbin angin.....	9
Gambar 2. 4 Kurva hubungan C_p dengan <i>Tip Speed Ratio</i>	10
Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Turbin Angin	11
Gambar 2. 6 Permanent Magnet Synchronous Generator.....	12
Gambar 2. 7 Rangkaian Ekuivalen Penyearah 3 Fasa Tidak Terkontrol	13
Gambar 2. 8 Rangkaian <i>Buck Converter</i>	14
Gambar 2. 9 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Kondisi ON	15
Gambar 2. 10 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Kondisi OFF.....	16
Gambar 2. 11 Sensor Arus ACS712	18
Gambar 2. 12 Rangkaian Pembagi Tegangan	20
Gambar 2. 13 Arduino UNO.....	21
Gambar 2. 14 Bentuk Sinyal <i>Duty Cycle</i>	22
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem	28
Gambar 3. 3 Rangkaian Rectifier 3 Fasa	29
Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Tegangan	32
Gambar 3. 5 Rangkaian DC-DC <i>Buck Converter</i>	33
Gambar 3. 6 Rangkaian <i>Driver</i> MOSFET	36
Gambar 3. 7 Flowchart Algoritma <i>Perturb And Observe</i> (P&O)	37
Gambar 4. 1 Grafik pengaruh rpm dan variasi nilai R terhadap daya keluaran.....	41
Gambar 4. 2 Grafik pengaruh rpm dan variasi nilai R terhadap tegangan keluaran...	42
Gambar 4. 3 Grafik pengaruh rpm dan variasi nilai R terhadap arus keluaran.....	42
Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Sensor ACS712 dan Hasil Multimeter.....	45
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Sensor Tegangan dan Hasil Multimeter.....	48
Gambar 4. 6 Gelombang saat <i>Duty Cycle</i> 10%	49
Gambar 4. 7 Gelombang saat <i>Duty Cycle</i> 30%	49
Gambar 4. 8 Gelombang saat <i>Duty Cycle</i> 50%	49
Gambar 4. 9 Gelombang saat <i>Duty Cycle</i> 70%	50
Gambar 4. 10 Gelombang saat <i>Duty Cycle</i> 90%	50
Gambar 4. 11 Grafik pengaruh <i>duty cycle</i> dan tegangan <i>input</i> terhadap efisiensi	56
Gambar 4. 12 Grafik pengujian efisiensi <i>buck converter</i> terhadap resistansi pada tegangan masukan 22 V	58
Gambar 4. 13 Grafik pengujian resistansi terhadap arus pada tegangan masukan 22V	59
Gambar 4. 14 Grafik pengujian resistansi terhadap daya keluaran pada tegangan masukan 22 V.....	60
Gambar 4. 15 Grafik pengujian efisiensi <i>buck converter</i> terhadap resistansi.....	62
Gambar 4. 16 Grafik pengujian resistansi terhadap arus pada tegangan masukan 32V	63

Gambar 4. 17 Grafik pengaruh resistansi terhadap daya pada tegangan masukan 32 V	64
Gambar 4. 18 Grafik pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran	67
Gambar 4. 19 Grafik pengaruh variasi pembebanan terhadap daya PMSG	69
Gambar 4. 20 Grafik pengujian MPPT beban 75 Ω dengan <i>start duty cycle</i> 30%	71
Gambar 4. 21 Grafik pengujian MPPT beban 75 Ω dengan <i>start duty cycle</i> 50%	79
Gambar 4. 22 Grafik pengujian MPPT beban 75 Ω dengan <i>start duty cycle</i> 70%	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Fungsi Terminal Sensor ACS712	19
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino UNO	21
Tabel 3. 1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian	25
Tabel 3. 2 Spesifikasi <i>Rectifier</i> 3 Fasa	29
Tabel 3. 3 Spesifikasi PMSG	30
Tabel 3. 4 Spesifikasi ACS712 20A	31
Tabel 3. 5 Spesifikasi DC/DC <i>Buck Converter</i>	35
Tabel 4. 1 Pengujian Beban PMSG pada rpm 300	39
Tabel 4. 2 Pengujian Beban PMSG pada rpm 400	39
Tabel 4. 3 Pengujian Beban PMSG pada rpm 500	39
Tabel 4. 4 Hasil pengujian sensor arus.....	43
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Tegangan	46
Tabel 4. 6 Data Pengujian Gelombang <i>Pulse Width Modulation</i>	49
Tabel 4. 7 Spesifikasi komponen <i>buck converter</i>	52
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Pengaruh <i>Duty Cycle</i> pada 300 rpm	53
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Pengaruh <i>Duty Cycle</i> pada 400 rpm	54
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Pengaruh <i>Duty Cycle</i> pada 500 rpm	54
Tabel 4. 11 Data Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> pada Tegangan Masukan 22 Volt56	
Tabel 4. 12 Data hasil pengujian <i>buck converter</i> pada tegangan masukan 32 Volt....	61
Tabel 4. 13 Hasil pengujian <i>buck converter</i> tanpa beban	65
Tabel 4. 14 Hasil pengujian PMSG dengan variasi pembebanan	68
Tabel 4. 15 Hasil pengujian daya <i>prime mover</i>	70
Tabel 4. 16 Perbandingan Hasil Daya saat Mode Non-MPPT dengan MPPT	71
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian MPPT.....	72
Tabel 4. 18 Perbandingan Hasil Daya saat Mode Non-MPPT dengan MPPT	80
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian MPPT.....	80
Tabel 4. 20 Perbandingan Hasil Daya saat Mode Non-MPPT dengan MPPT	83
Tabel 4. 21 Hasil Pengujian MPPT.....	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program	92
Lampiran 2. Data Pengujian.....	96
Lampiran 3. Dokumentasi.....	124

BAB 1. PENDAHULUAN

1.2 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana energi baru terbarukan (EBT) yang dapat digunakan melimpah tetapi penggunaan EBT belum maksimal. Indonesia masih bergantung pada penggunaan energi batu bara. Salah satu EBT yang dapat digunakan di Indonesia adalah energi angin. Potensi energi angin melimpah terutama dikawasan pesisir, namun energi angin yang digunakan untuk keperluan pembangkit listrik masih belum maksimal. Menurut William Xaveriano Waresindo (2019) energi angin di Indonesia yang dikonversikan menjadi energi listrik baru mencapai 800 KW dari 978 MW.

Energi listrik dapat dihasilkan karena ada proses konversi energi. Dimana yang awalnya merupakan energi angin dikonversi menjadi energi mekanik melalui turbin angin. Turbin angin menghasilkan gerak dan terhubung dengan generator. Keluaran dari generator ini menghasilkan energi listrik. *Permanent Magnet Synchronus Generator* (PMSG) merupakan salah satu generator yang sering digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin. Generator PMSG bekerja pada kecepatan sinkron dengan menggunakan magnet permanen. PMSG terhubung dengan turbin angin dan menghasilkan energi listrik dengan tegangan 3 fasa. Tegangan keluaran PMSG tidak stabil mengikuti kecepatan putaran PMSG yang terhubung dengan turbin.

Pada penelitian sebelumnya oleh Dwiyan Anugrah Ernadi dkk (2016) dengan judul “Desain *Maximum Point Tracking* untuk Turbin Angin Menggunakan *Modified Perturb & Observe* (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin”. Penelitian ini menggunakan prediksi angin sebagai karakteristik hubungan angin dengan turbin angin. *Tracking* daya maksimum penelitian ini dilakukan untuk beban 2 buah lampu. Penelitian ini mampu menunjukkan hubungan kecepatan angin dengan kecepatan putar turbin dan menghasilkan daya maksimum menggunakan algoritma P&O sebagai MPPT. Namun penelitian ini hanya mampu menunjukkan daya maksimum pada kecepatan putar turbin tidak lebih dari 400 rpm.

Penelitian ini dilakukan perancangan untuk mengatur tegangan keluaran dari PMSG. Tegangan keluaran diatur dengan menggunakan *buck converter*. Dikarenakan keluaran dari PMSG berupa tegangan 3 fasa dan agar dapat digunakan pada *buck converter* maka dibutuhkan penyearah 3 fasa. Untuk memaksimalkan daya keluaran PMSG, penelitian ini menggunakan MPPT dengan algoritma P&O. Menurut Dimas Juniyanto dkk (2018) algoritma P&O memiliki tingkat kerumitan lebih rendah sehingga lebih mudah digunakan untuk mencari daya maksimum.

Penyearah tiga fasa merupakan komponen yang dapat merubah tegangan bolak balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Penyearah tiga fasa banyak digunakan dalam dunia industri dimana dapat menghasilkan tegangan DC dari sumber AC tiga fasa yang digunakan untuk beban arus yang besar. Dalam penelitian ini menggunakan penyearah 3 fasa tidak terkontrol. Penyearah tidak terkontrol menggunakan dioda tanpa dikontrol sudut pemicunya sehingga *ripple* tegangan cukup besar. Menurut (Ernadi D. A. Dkk. 2016) kapasitor digunakan untuk memperhalus tegangan keluaran *rectifier*. Hasil keluaran penyearah, tegangan tidak stabil pada set point maka dibutuhkan rangkaian kendali yaitu *buck converter*.

Buck converter merupakan rangkaian yang dapat mengubah level tegangan lebih kecil dari tegangan masukannya atau bisa disebut dengan *step down*. Menurut (Ernadi D. A. Dkk. 2016) *buck converter* merupakan penurun tegangan DC-DC dengan penyaklaran pada mosfet. Setiap penurunan tegangan mempengaruhi arus yang dihasilkan. Penurunan tegangan akan menaikkan arus keluaran *buck converter*. Dari perkalian tegangan dan arus menghasilkan daya. Dalam setiap komponen terdapat rugi-rugi daya. Oleh sebab itu diperlukan *maximum power point tracking* (MPPT) agar daya dari keluaran PMSG dapat dimaksimalkan.

MPPT merupakan cara menemukan daya maksimal dengan sistem bukan secara mekanis. MPPT membutuhkan algoritma untuk mendapatkan daya maksimal. Ada banyak algoritma yang dapat diterapkan, salah satunya dengan menggunakan algoritma *Perturb And Observe* (P&O). Menurut (Fadriantama .M .I. 2018) Algoritma P&O membutuhkan daya, tegangan, dan arus dari masukan. Dalam

penelitian masukan berasal dari keluaran *rectifier* 3 fasa. Algoritma P&O dalam penelitian ini mengatur *pulse width modulation* (PWM) yang digunakan untuk *switch* mosfet di rangkaian *buck converter*.

Penelitian ini menggunakan PMSG dikopel dengan motor 1 fasa untuk menentukan kecepatan putar. Kecepatan putar diatur dengan *voltage regulator*, sehingga dapat memutar PMSG sesuai *set point* daya *prime mover* atau motor 1 fasa bisa disebut sebagai *prime mover*. Berdasarkan latar belakang ini sehingga didapatkan judul penelitian “**Perancangan Maximum Power Point Tracking Untuk Keluaran Permanent Magnet Synchronous Generator Menggunakan Kendali Buck Converter Dengan Algoritma Perturb And Observe.**”

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang *buck converter* untuk keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG)?
2. Bagaimana menerapkan MPPT dengan algoritma P&O untuk keluaran PMSG?
3. Bagaimana perbedaan keluaran PMSG dengan MPPT dan tanpa MPPT?

1.3 Batasan Masalah

1. Menggunakan motor 1 fasa sebagai *prime mover* PMSG (dikopel).
2. Menggunakan *voltage regulator* untuk mengatur tegangan *prime mover*.
3. Menggunakan *rectifier* 3 fasa tidak terkontrol.
4. Menggunakan mikrokontroler ATmega328 (Arduino UNO).
5. Daya PMSG 30 W.
6. Pengendalian dilakukan pada rangkaian *buck converter*.
7. Pengujian diperuntukkan untuk beban resistif.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mencari daya maksimum keluaran PMSG menggunakan MPPT dengan algoritma P&O.
2. Mengetahui cara merancang dan mengimplementasikan *buck converter* yang sesuai dengan daya *output* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu memaksimalkan daya keluaran *buck converter* menggunakan sistem MPPT dengan algoritma *Perturb and Observe* (P&O) sehingga didapatkan keandalan serta *efisiensi* yang tinggi pada keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk menangkap energi angin. Energi angin dapat digunakan ketika angin menabrak dan memutar bilah turbin. Hasil dari putaran turbin angin dikonversikan menjadi energi mekanik, selanjutnya energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.

2.1.1 Turbin Angin Horisontal



Gambar 2. 1 Turbin Angin Horisontal
(sumber: <https://indonesian.alibaba.com>)

Turbin angin horizontal adalah bentuk umum pada turbin angin. Desain turbin ini mirip dengan kincir angin, memiliki *blade* yang mirip *propeller* dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horizontal memiliki poros rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan *wind place* yang diletakkan pada rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan *blade* sesuai dengan arah angin. Sebagian

besar turbin yang besar memiliki *gearbox* yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat.

Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan (*upwind turbine*). *Blade* turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, *blade* ditempatkan pada jarak yang mencukupi didepan tower dan kadang melengkung kedepan.

Downwind turbine atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang *blade* dibolehkan untuk melengkung yang menurunkan cakupan area dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan kerusakan sedangkan keandalan sangat dibutuhkan, maka sebagian besar turbin angin horizontal menggunakan jenis *upwind*.

Kelebihan turbin angin horisontal:

- a. Tower yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar. Pada beberapa area setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
- b. Efisiensi lebih tinggi, karena *blade* selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran. Sebaliknya pada turbin vertikal melibatkan gaya timbal balik yang membutuhkan permukaan *airfoil* untuk mundur melawan angin sebagian bagian dari siklus. *Backtracking* melawan angin menyebabkan efisiensi lebih rendah.

Kekurangan turbin angin horisontal:

- a. Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk menyangga beban *blade*, *gearbox*, dan *generator*.
- b. Membutuhkan control *yaw* sebagai mekanisme untuk mengarahkan *blade* ke arah angin.

- c. Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan *yaw* pada saat angin kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan.

2.1.2 Turbin Angin Vertikal.



Gambar 2. 2 Turbin Angin Vertikal

(sumber: <https://www.pinterest.com>)

Turbin angin vertikal memiliki poros rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu menyangga dan hal ini menyebabkan pemeliharaan lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar. Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis ini biasanya dipasang dekat dengan permukaan tanah. Kecepatan angin lebih lambat pada ketinggian yang rendah dan mengakibatkan energi angin yang tersedia lebih rendah.

Kelebihan turbin angin vertikal:

- a. Tidak memerlukan mekanisme *yaw*.

- b. Sebuah turbin angin bias terletak dekat tanah, sehingga lebih mudah untuk menjaga bagian yang bergerak.
- c. Turbin vertikal memiliki kecepatan *startup* angin rendah dibandingkan turbin horisontal.
- d. Turbin vertikal dibangun pada lokasi dimana struktur yang tinggi dilarang.

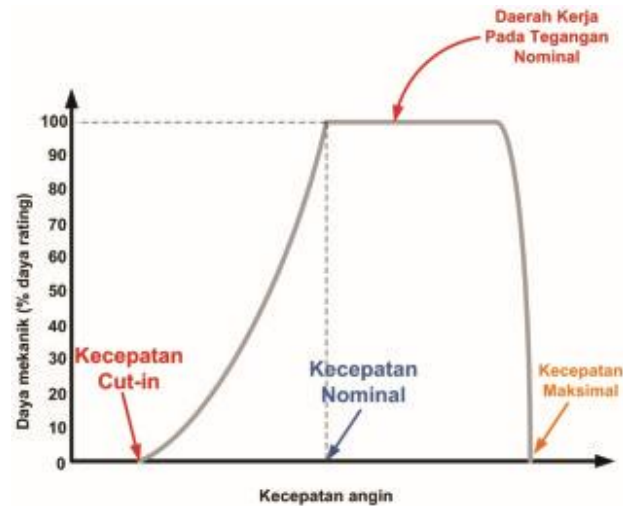
kekurangan turbin angin vertikal:

- a. Kebanyakan turbin angin vertikal memiliki penurunan efisiensi dibanding turbin horizontal, terutama karena hambatan tambahan yang dimiliki saat diputar angin.
- b. Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah dimana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas.

Pemanfaatan turbin angin terbagi ke dalam beberapa skala ketinggian dan kapasitasnya, yaitu skala besar, menengah, kecil, dan mikro. Semakin besar skalanya semakin besar pula kapasitas yang mampu dihasilkan suatu turbin angin.

2.1.3 Karakteristik Turbin Angin

Turbin angin mengikuti variasi perubahan kecepatan angin dan menghasilkan daya maksimum pada saat keadaan operasi normal dengan kecepatan rendah melalui MPPT. Saat kecepatan angin lebih besar dari *rating* kecepatan turbin angin, turbin angin akan bekerja dalam keadaan daya konstan dengan cara mengatur beban generator atau *pitch angle* turbin. Gambar 2.3 menunjukkan kurva daya ideal pada turbin angin dengan kecepatan angin yang bervariasi. Pada region II, daya keluaran turbin angin akan bekerja sesuai dengan MPPT.



Gambar 2. 3 Kurva daya ideal pada turbin angin

Turbin angin merupakan alat konversi anergi angin menjadi energi mekanik. Energi angin (P_{wind}) merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara (ρ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin (A) dan pangkat tiga dari kecepatan anginnya (V^3). Energi tersebut menggerakkan rotor turbin angin yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan listrik. Daya keluaran maksimum dari turbin angin terbatas pada koefisien daya (C_p). Koefisien daya adalah fungsi dari *tip speed ratio* (λ). Nilai dari koefisien daya tidak lebih dari 59.3%. Umumnya, C_p bernilai 25% hingga 45%. Daya mekanik (P_m) yang dihasilkan oleh angin dari rotor turbin angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho C_p \pi R^2 v \dots\dots\dots (2.1)$$

Sedangkan torsi T (Nm) yang dihasilkan oleh turbin angin adalah

$$T = \frac{P_m}{\omega} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada kecepatan yang berubah-ubah, nilai dari koefisien daya merupakan fungsi dari *tip speed ratio* λ dan *blade pitch angle* β yang dirumuskan:

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{\left(\frac{-C_5}{\lambda} \right)} + C_\epsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana nilai λ dan γ :

$$\lambda = \omega R \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\gamma = \left(\frac{1}{\lambda + c_7 \beta} - \frac{c_8}{1 + \beta^3} \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan : λ = kecepatan rotor dibanding kecepatan angin (*tip speed ratio*)

β = sudut sudu turbin (o)

R = jari-jari turbin angin (m)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

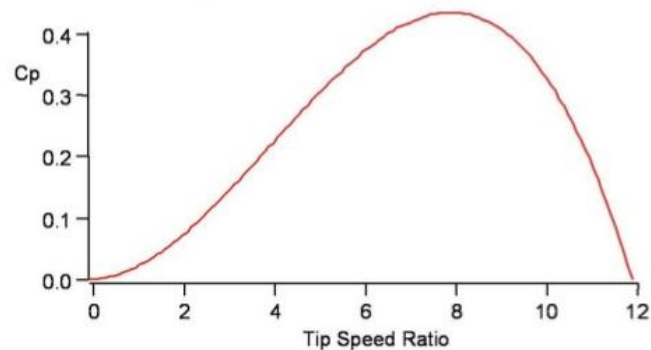
ω = kecepatan putar rotor turbin angin (rad/s)

v = kecepatan angin (m/s)

P_m = daya mekanik

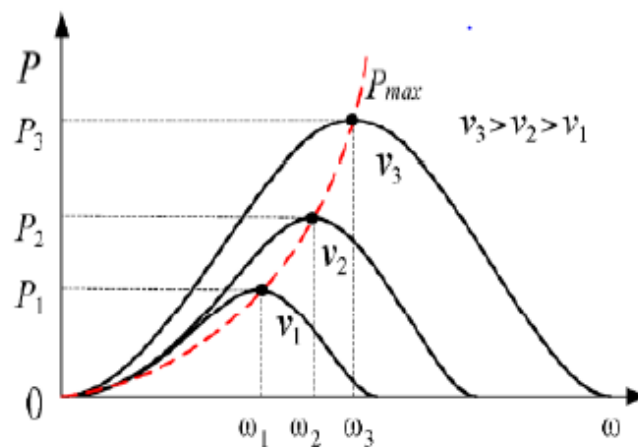
C_p = koefisien daya

Konstanta dalam persamaan koefisien daya C_1 - C_8 menentukan bentuk dari kurva daya yang menghubungkan daya mekanik dan kecepatan putar rotor turbin angin. Dengan menggunakan persamaan diatas, pemodelan turbin angin dapat diimplementasikan dengan menggunakan spesifikasi sesuai karakter turbin angin. Setelah semua nilai persamaan dimasukkan maka akan didapatkan kurva karakteristik dari daya atau torsi mekanik dengan kecepatan pada rotor



Gambar 2. 4 Kurva hubungan C_p dengan *Tip Speed Ratio*

Setiap sistem pasti memiliki suatu tingkat efisiensi kerja karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya turbin angin. Oleh karena itu, untuk mendapatkan energi mekanik dari hasil turbin ini maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi turbin (C_p). Nilai efisiensi ini sudah ditentukan dari awal mula sistem (turbin angin) didesain. Energi mekanik dari turbin berupa kecepatan putar rotor turbin (ω) dan torsi T (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/*blade*).



Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Turbin Angin

(Sumber: Jaya, Verdian & Sujono. 2018)

2.2 Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Kecepatan Putaran (rpm)

Besarnya kecepatan angin akan mempengaruhi besarnya kecepatan putaran turbin angin. Menurut semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar putaran turbin yang dihasilkan dan semakin besar energi yang diberikan oleh angin terhadap turbin maka energi yang dapat dikonversikan juga semakin besar. Artinya kecepatan putaran turbin berbanding lurus terhadap perubahan kecepatan angin yang diberikan.

2.3 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Generator mengkonversi torsi (T) dan kecepatan rotor (ω) menjadi arus (I) dan tegangan (V). Perkalian dari arus dan tegangan menghasilkan daya. Daya yang dihasilkan generator bergantung pada kecepatan putaran turbin. Disisi lain putaran generator memiliki batas sehingga bila kecepatan turbin melampaui batas aman (cut out) sistem akan dimatikan dan generator tidak menghasilkan daya. Daya dari generator akan mencapai titik tertinggi dimana biasa disebut titik daya optimal atau *Maximum Power Point* (MMP)

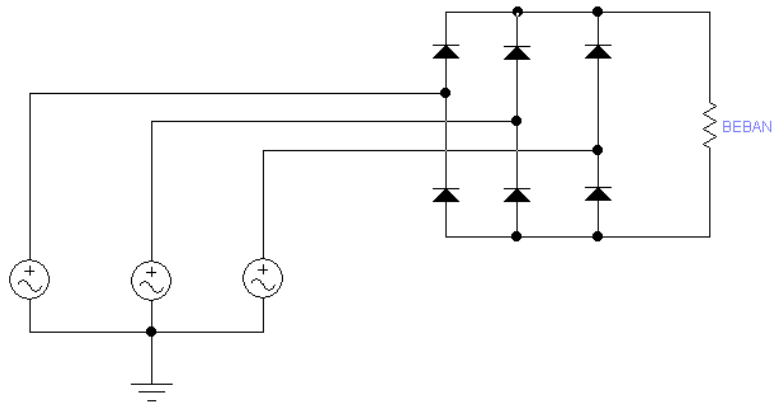
Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) tidak membutuhkan kontrol tegangan untuk sistem eksitasi, sehingga dapat mempermudah dalam sistem kontrolnya. Sumber eksitasi sudah disediakan oleh magnet permanen pada rotornya. PMSG digunakan untuk membangkitkan listrik dengan daya kecil, sehingga penggunaan PMSG bergantung kepada kebutuhan pembangkit dengan skala kecil. Generator ini memiliki keunggulan antara lain perawatan yang mudah, ketahanan dan kehandalan yang tinggi, memiliki kerapatan daya yang lebih tinggi karena tidak memiliki belitan rotor.



Gambar 2. 6 Permanent Magnet Synchronous Generator

2.4 Penyearah 3 Fasa Tidak Terkontrol

Penyearah merupakan komponen yang digunakan untuk mengkonversi tegangan AC menjadi DC. Penyearah yang digunakan dalam penelitian ini dengan jenis penyearah 3 fasa tidak terkontrol. Penyearah ini menggunakan 3 pasang dioda, di tiap sepasang dioda mendapat tegangan input dari tiap fasa yang berbeda yaitu fasa R, S, dan T. Penyearah dalam penelitian ini menggunakan penyearah 6 pulsa tidak terkontrol yang berupa dioda. Pada Gambar 2.7 merupakan rangkaian ekuivalen penyearah 3 fasa tidak terkontrol. Penyearah 6 pulsa tidak terkontrol memiliki prinsip 3 dioda menghasilkan bentuk gelombang tegangan positif dan tiga dioda menghasilkan bentuk gelombang tegangan negatif. Untuk nilai amplitude pada konverter jenis ini adalah nilai maksimum tegangan *line to line* dan tegangan rata-rata keluaran dc adalah luasan gelombang tegangan (Mochamad Ashari, 2012).

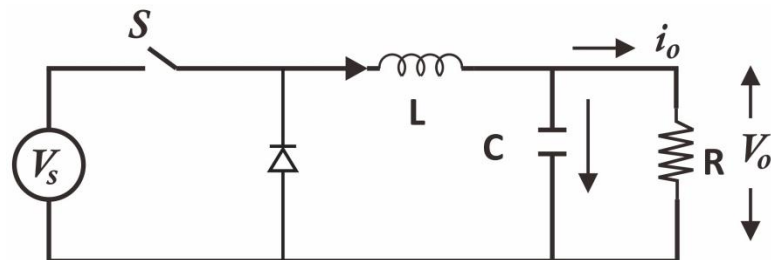


Gambar 2. 7 Rangkaian Ekuivalen Penyearah 3 Fasa Tidak Terkontrol

2.5 Buck Converter

DC-DC *buck converter* merupakan konverter yang digunakan dalam manajemen daya dan regulator tegangan. Penerapan konverter ini membutuhkan frekuensi tinggi dan respon transien pada rentang arus beban lebar. *Buck converter* digunakan untuk menurunkan level tegangan masukan ke pengaturan lebih rendah. *Buck converter* dapat digunakan di komputer dan di manapun kita memerlukan tegangan untuk diturunkan (Kiran&Raja, 2014). Rangkaian *buck converter* dapat

ditunjukkan pada Gambar 2.8 yang terdiri dari mosfet, dioda, induktor, kapasitor, dan resistor sebagai beban (*dummy load*).

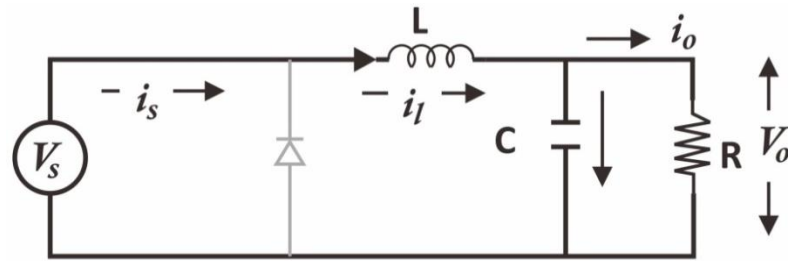


Gambar 2. 8 Rangkaian *Buck Converter*

Prinsip kerja *buck converter* memiliki 2 *state* yaitu *state on* dan *state off*. Ketika *state on* atau saklar pada kondisi aktif, arus sumber mengalir melalui induktor (L) menuju *output* beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada *state off* atau saklar kondisi tidak aktif, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasarkan tegangan yang tersimpan pada kapasitor hingga terjadi pengurangan pada kapasitor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya.

2.5.1 Kondisi Buck Converter ON

Ketika berada pada kondisi saklar aktif, *gate* MOSFET menutup (konduksi) selama interval waktu dt , maka arus dari tegangan sumber V_{in} akan mengalir melalui induktor (L), beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara *linier* (Tohir, 2016). Pada Gambar 2.9 menunjukkan *buck converter* saat kondisi *switch on*.



Gambar 2. 9 Rangkaian *Buck Converter* Kondisi ON

Secara matematika, waktu dari *state on* dapat ditulis seperti berikut :

$$T_{ON} = D \times T_S \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Secara umum didapat persamaan sebagai berikut :

$$V_{in} = V_L + V_o \text{ dan } V_L = V_{in} - V_o \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} - V_o \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$L di = (V_{in} - V_o)dt \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi menutup atau *on*, maka :

$$L di = (V_{in} - V_o)t_o \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$di = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) t_{on} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan : V_{in} = Tegangan *input* (V)

V_L = Tegangan induktor (V)

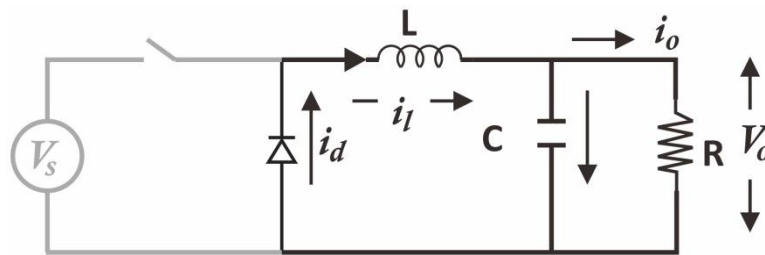
V_o = Tegangan *output* (V)

L = Nilai induktor (H)

2.5.2 Kondisi *Buck Converter* OFF

Ketika berada pada *state off*, *gate* MOSFET menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber input tidak dapat mengalir melalui mosfet, menjadi sumber tegangan

output sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana diode (D) menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor (L) ke beban melalui dioda (D) dan kembali menuju induktor (L). Karena tegangan induktor (L) menjadi lebih kecil dibandingkan saat kondisi saklar aktif dan konstan, maka arus yang melewati induktor menjadi turo secara *linier* (Tohir, 2016). Gambar 2.10 menunjukkan *buck converter* saat kondisi *switch off*.



Gambar 2. 10 Rangkaian *Buck Converter* Kondisi OFF

Secara matematika waktu dari *state off* dapat ditulis seperti berikut :

$$T_{ON} = (1-D) \times T_S \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Pada kondisi saklar membuka, dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

$$V_L = V_L \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_0 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$L di = V_0 dt \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi membuka atau *off*, maka:

$$L di = V_0 t_{off} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$di = \left(\frac{V_0}{L}\right)t_0 \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Diperoleh hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, sebagai berikut :

$$V_0 = V_{in} \times D \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

V_o : Tegangan keluaran (V)

V_{in} : Tegangan masukan (V)

D : *Duty Cycle* (%)

Jika menggunakan asumsi bahwa rangkaian tidak mengalami rugi-rugi maka dapat diturunkan sebagai berikut :

$$V_{in} \cdot I_{in} = V_o \cdot I_o = D V_{in} \cdot I_o \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Sehingga arus masukan rata-rata adalah :

$$I_{in} = D \cdot I_o \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Menentukan nilai kapasitor dan induktor maka dapat diperoleh dengan rumus berikut:

Menentukan *duty cycle* :

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Menentukan nilai induktor :

$$\Delta I_L = \left(\frac{1}{L}\right) (V_{in} - V_{out}) t_1 \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

Menentukan nilai t_1 :

$$t_1 = \frac{1}{f} \frac{(V_o + V_f)}{(V_i + V_f)} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Menentukan jumlah lilitan :

$$\eta = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times AC} \times 10^4 \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Menentukan nilai pada kapasitor :

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_o} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

D : *Duty cycle*

ΔI_L : *Ripple* arus pada induktor

ΔV_o : *Ripple* tegangan

f : Frekuensi pensaklaran

2.6 Sensor Arus ACS712

ACS712 merupakan sensor arus yang bekerja berdasar efek medan. Sensor ini dapat mengukur arus AC maupun DC. Modul sensor ACS712 memiliki rangkaian penguat sehingga sensitivitas pengukuran lebih meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini biasa digunakan untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, dan sensor proteksi arus berlebih. Sensor ini banyak digunakan karena memiliki ketepatan pembacaan yang tinggi terhadap arus DC maupun AC hingga 30 A. Sensor ini bekerja dengan cara pembacaan arus yang mengalir melalui tembaga dan menghasilkan medan magnet dan ditangkap oleh Integrated Hall IC dan dikonversi menjadi tegangan proporsional. Ketepatan pembacaan dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan transducer medan yang berdekatan.



Gambar 2. 11 Sensor Arus ACS712

(Sumber: <https://www.andalanelektro.id>)

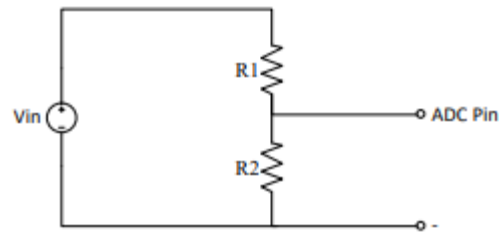
Tabel 2. 1 Fungsi Terminal Sensor ACS712

Pin Sensor ACS712	Fungsi
IP +	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sering di dalamnya
IP -	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
GND	Terminal sinyal ground
Filter	Terminal untuk kapasitor eksternal yang berfungsi sebagai pembatas bandwidth
Vout	Terminal keluaran sinyal analog
Vcc	Terminal masukan catu daya

Pada tabel dapat diketahui I/O dari sensor arus dan kegunaan dari masing-masing pin dari sensor ACS712. Hambatan dalam penghantar sensor sebesar 1,2 m Ω dengan daya rendah. Jalur terminal konduktif secara kelistrikan diisolasi dari sensor mengarah GND dan VCC. Hal ini membuat sensor ACS712 dapat digunakan yang membutuhkan isolasi tanpa menggunakan tambahan teknik isolasi lain yang mahal.

2.7 Sensor Tegangan

Pengukuran tegangan agar dapat dengan mudah dibaca mikrokontroler maka tegangan AC perlu dikonversi menjadi DC. Pembacaan tegangan dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler. Mikrokontroler yang dilengkapi dengan ADC (Analog to Digital Converter) agar dapat membaca tegangan maka menggunakan rangkaian pembagi tegangan. ADC dapat membaca tegangan pada rentang 0-5V. Sehingga tegangan keluaran sensor didesain hingga tegangan maksimal 5V. Saat terjadi perubahan pada tegangan masukan, maka akan terjadi perubahan juga pada keluaran rangkaian pembagi tegangan.



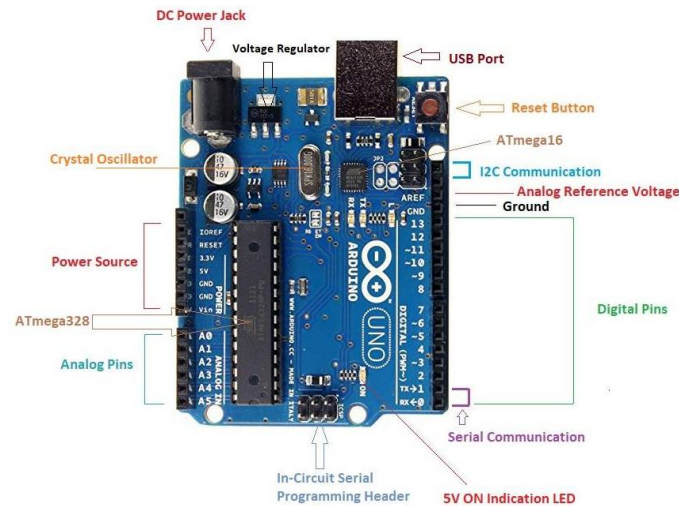
Gambar 2. 12 Rangkaian Pembagi Tegangan

Sensor ini berprinsip rangkaian pembagi tegangan dengan menggunakan 2 resistor yang dirangkai secara seri. V_{in} adalah tegangan yang akan diukur sebagai inputan sensor. Nilai resistor yang akan digunakan dapat diketahui berdasarkan perhitungan agar keluaran V_o mengeluarkan tegangan maksimal 5 Volt sebagai inputan ADC mikrokontroler. Perhitungan diketahui dengan persamaan untuk mencari nilai-nilai resistor R_1 dan R_2 dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$V_0 = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots\dots\dots (2.38)$$

2.8 Arduino UNO

Menurut Abdul Kadir (2013 : 16), Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel Arduino yang sebenarnya merupakan suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328. Piranti ini digunakan untuk rangkaian elektronik dari yang sederhana sampai yang kompleks. Arduino UNO memiliki 14 digital input/output pin (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, dan jack listrik tombol reset. Semua pin ini digunakan untuk mendukung mikrokontroler. Sumber tegangan didapat dengan kabel USB atau sumber dari adaptor AC-DC atau baterai.



Gambar 2. 13 Arduino UNO

(Sumber: <https://www.theengineeringprojects.com>)

Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai input maupun output dengan fungsi `pinMode()`, digital `Write()`, dan `digitalRead()`. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 Volt dan dapat menerima arus 40mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50k Ω secara *default* tidak tersambung. Berikut tabel spesifikasi dari Arduino Uno dapat dilihat pada Tabel 2.2.

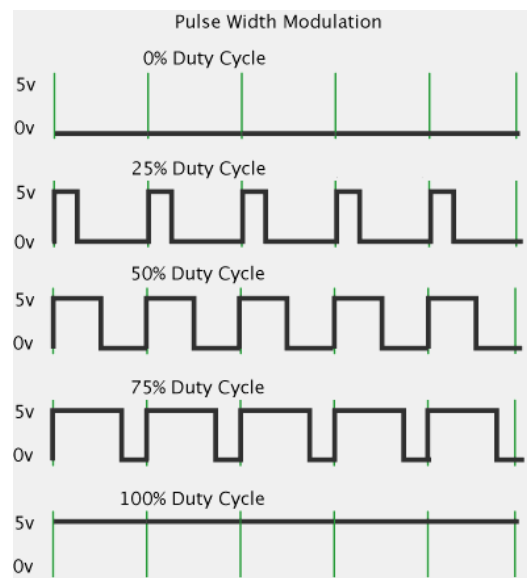
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino UNO

Mikrokontroler	ATMega328
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input	7-12V
Tegangan input (Batas)	6-20V
I/O Digital	14 (tersedia 6 buah PWM output)
PWM digital I/O	6 buah
Input Analog	6 buah
Arus DC per I/O pin	40 Ma

Arus DC untuk pin 3.3	50 Ma
Flash Memory	32 Kb (ATMega328P) Dengan 0.5 KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	2 Kb (ATMega328P)
EEPROM	1 Kb (ATMega328P)
Kecepatan Clock	16 MHz

2.9 Pulse Width Modulation (PWM)

Kontrol pensaklaran mosfet dalam converter dc-dc dengan memanfaatkan pensaklaran frekuensi tinggi menggunakan teknik modulasi lebar pulsa (PWM) dengan tegangan DC yang dijaga konstan. Pengambilan rata-rata dari bentuk gelombang keluaran untuk mendapatkan komponen fundamental tegangan yang diatur magnitudnya. Pengaturan PWM memberikan keuntungan dimana komponen harmonisa urutan komponen rendah berkurang sehingga mengurangi jumlah dan memfilter harmonisa. Semakin tinggi rasio frekuensi *switching* terhadap frekuensi fundamental maka semakin berkurang komponen harmonisa yang keluar.



Gambar 2. 14 Bentuk Sinyal *Duty Cycle*

Sinyal pwm dibangun dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM sendiri. Sebagai contoh PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksud 256 adalah variasi. Variasi mulai dari 0-256 yang mewakili *duty cycle* 0-100% dari keluaran PWM. Penelitian ini menggunakan teknik digital untuk membangkitkan sinyal PWM yang diatur dari mikrokontroler.

2.10 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol keluaran generator agar dapat menghasilkan daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada generator. Sistem MPPT memungkinkan kondisi bervariasi dari keluaran tegangan dan arus dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan alat agar bekerja pada titik maksimumnya. Sehingga daya yang diberikan ke beban adalah daya maksimal. Hasil keluaran alat elektronik (mikrokontroler) berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC *converter*. Sehingga dengan mengatur nilai D diharapkan dapat menemukan titik daya maksimum keluaran dari generator.

2.11 Algoritma Perturb and Observe (P&O)

Perturb and Observe merupakan salah satu algoritma *maximum power point tracking*. Algoritma ini banyak digunakan secara luas untuk mencari nilai optimal dari generator, karena struktur algoritma yang sederhana. Untuk kondisi praktikal, algoritma ini cukup handal digunakan dan memiliki respon yang selalu berhasil

didekat nilai optimal (MPP). Metode P&O bekerja berdasarkan teknik gangguan (*perturbation*) pada sistem dengan cara menambah atau mengurangi tegangan referensi (V_{ref}) sesuai dengan respon yang diubah melalui parameter *duty cycle* kemudian dilakukan pengamatan (*observation*) terhadap respon daya yang keluar dari generator. Ketika besarnya nilai daya sekarang $P(K)$ lebih besar daripada besarnya daya sebelumnya $P(K-1)$ maka arah dari parameter gangguan tetap dijaga, namun jika tidak maka arah dari parameter gangguan akan bergerak terbalik dari arah sebelumnya.

Algoritma ini dimulai dengan pengukuran nilai tegangan dan arus dari generator sehingga diperoleh nilai daya. Nilai daya pengukuran sekarang dibandingkan dengan pengukuran daya sebelumnya. Ketika selisih kedua pengukuran sama dengan nol, maka nilai PWM dijadikan nilai terbaru atau disamakan. Tetapi jika selisih tidak sama dengan nol, maka akan diberi penambahan atau pengurangan PWM sesuai dengan tegangan referensi yang ditentukan. Dari perturb tegangan ini didapatkan nilai daya terbaru.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember 68111.

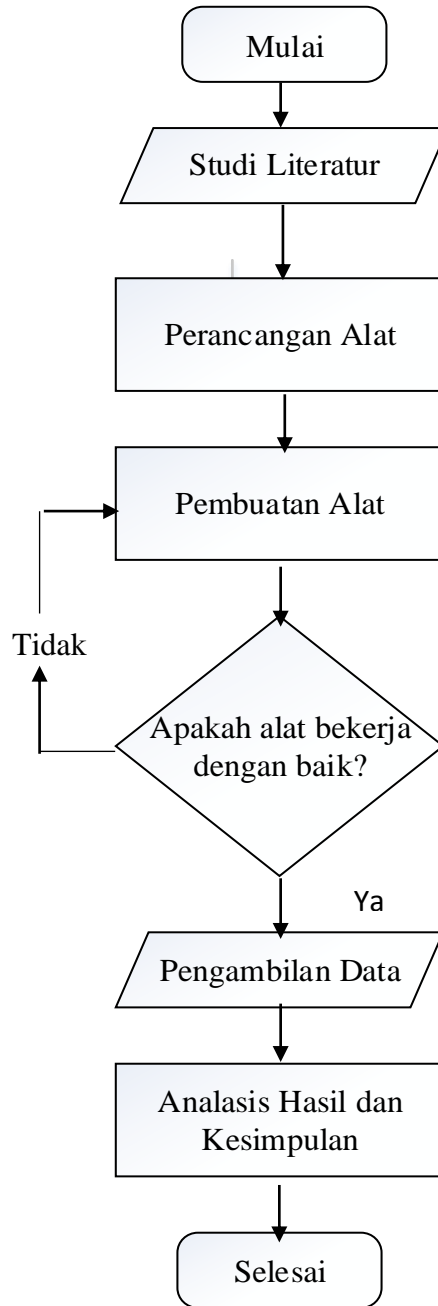
3.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2020 sampai selesai dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur	■	■	■	■												
2.	Penelitian					■	■	■	■								
3.	Analisis Data									■	■	■	■				
4.	Pembahasan													■	■	■	■
5.	Pembuatan Laporan																■

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Dalam proses penelitian tugas akhir memiliki-langkah langkah untuk melaksanakan penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengambil referensi dari beberapa buku, jurnal, paper maupun skripsi-skripsi sebelumnya dijadikan acuan penelitian untuk dikembangkan lebih lanjut. Studi literatur digunakan untuk mengetahui karakteristik komponen sistem, prinsip kerja, dan teori yang digunakan.

2. Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan tahapan yang digunakan untuk mengetahui kerja alat yang akan digunakan menggunakan software Proteus. Tahap ini merancang pengendali menggunakan *buck converter*.

3. Pembuatan Alat

Setelah disimulasikan tahap selanjutnya yaitu pembuatan alat. Pembuatan alat seperti kontrol MPPT menggunakan Perturb and Observe dan kontrol tegangan menggunakan buck converter.

4. Pengambilan Data dan Analisa

Tahap ini melakukan analisa data yang diperoleh dan membuat menjadi bentuk laporan hasil dari penelitian yang dihasilkan. Data yang sudah didapatkan dianalisa, sehingga dapat diketahui hasil di saat sistem memakai MPPT metode Perturb and Observe dengan yang tidak memakai MPPT.

5. Penyusunan Laporan

Tahap akhir ini melakukan pembahasan dari data yang sudah didapat dan yang sudah di analisa. Dari data yang sudah dianalisa dapat ditarik kesimpulan dari kinerja alat dan dapat memberi saran untuk penelitian mendatang.

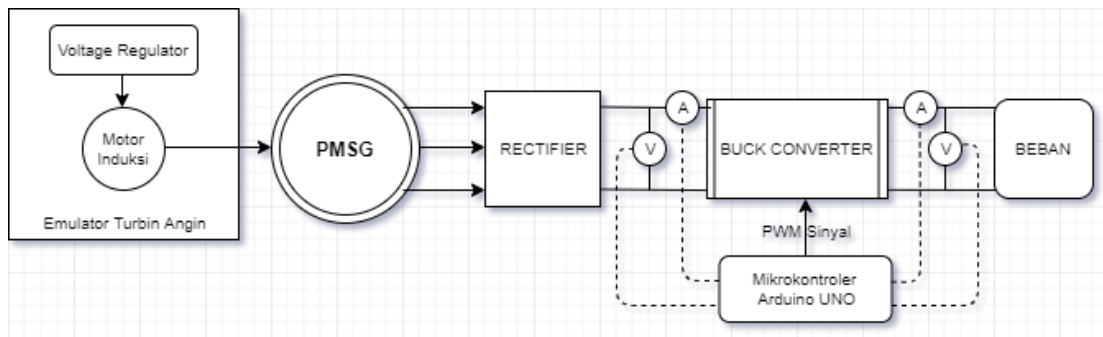
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Motor Induksi 1 Fasa
2. Voltage Regulator
3. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

4. *Rectifier* 3 Fasa Tidak Terkontrol
5. Tachometer
6. Arduino UNO
7. Sensor Arus ACS712
8. LCD
9. Dioda
10. Resistor
11. Induktor
12. Kapasitor
13. Mosfet
14. Driver PWM
15. Laptop/PC

3.5 Rancangan Penelitian



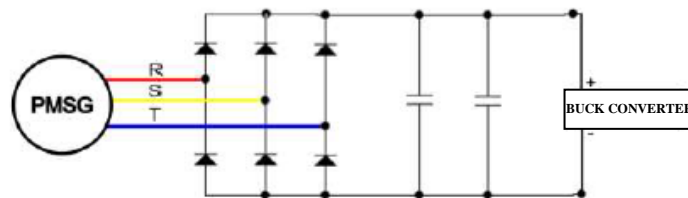
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

Pada gambar blok diagram menunjukkan bahwa putaran PMSG didapat dari motor yang dikopel. Kecepatan putaran PMSG di atur melalui motor yang mendapat sumber dari voltage regulator yang dapat diatur secara bervariasi tegangannya. Generator tersebut menghasilkan tegangan 3 fasa. Agar tegangan dapat digunakan sesuai kebutuhan, maka keluaran tegangan PMSG disearahkan. Dalam penelitian ini menggunakan penyearah 3 fasa jenis tidak terkontrol. Keluaran tegangan DC masuk

ke buck converter agar dapat diatur level tegangannya. Buck converter menurunkan tegangan sesuai tegangan yang dibutuhkan beban. Pada blok diagram diatas keluaran penyearah diberi sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus dirangkai secara seri dan sensor tegangan dirangkai secara paralel. Hasil dari sensor masuk ke sistem MPPT di mikrokontroler. MPPT akan membaca dan mengatur tegangan dan arus sesuai metode yang digunakan. Pada blok diagram, buck converter mendapat masukan PWM yang digunakan untuk mengatur duty cycle sehingga dapat mengatur tegangan sesuai set point yang ditentukan.

3.5.1 Perancangan *Rectifier* 3 Fasa

Penelitian ini menggunakan modul rectifier dengan jenis full wave rectifier 3 fasa tidak terkontrol. Tujuan digunakannya *rectifier* ini untuk menyearahkan tegangan keluaran PMSG berupa 3 fasa AC menjadi tegangan DC agar tegangan dapat digunakan pada *buck converter*. Digunakannya kapasitor dalam rectifier ini untuk memfilter tegangan DC yang dihasilkan.



Gambar 3. 3 Rangkaian Rectifier 3 Fasa

Spesifikasi *rectifier* 3 fasa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Rectifier* 3 Fasa

<i>Input</i>	0-500 volt AC
<i>Output max</i>	1000 volt DC
<i>Arus Max</i>	10 A
Kapasitor Filter	440 μ F
Dimensi	52 mm x 3,5 mm x 2,5 mm

3.5.2 Spesifikasi PMSG

Permanent magnet synchronous generator (PMSG) yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Spesifikasi PMSG

<i>Rated Power</i>	30 W
<i>Voltage Line-Netral</i>	40,5 VAC
<i>Voltage Open Circuit</i>	20 VDC/100 rpm
<i>Generator Type</i>	3 Fasa
<i>Working Temperature</i>	-40°C~80°C
<i>Braking Methode</i>	<i>Electromagnetic</i>

(Sumber: Berdasar data pengujian)

PMSG yang digunakan memiliki jumlah 12 kutub dan diharapkan memiliki keluaran frekuensi 50 Hz, maka putaran PMSG ditetapkan sesuai persamaan berikut :

$$f = \frac{Nr \times P}{120}$$

Dimana : f = frekuensi (Hz)

Nr = kecepatan putar PMSG (rpm)

P = jumlah kutub magnet

Maka

$$Nr = \frac{50 \text{ Hz} \times 120}{12} = 500 \text{ rpm}$$

Putaran PMSG di rentang 500 rpm digunakan untuk melakukan pengujian daya *prime mover*.

3.5.3 Perancangan Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 20A dengan pembacaan arus maksimal 20A. Spesifikasi penggunaan sensor arus dlebihkan dari kebutuhan dengan tujuan agar tidak mudah terjadi kerusakan apabila terjadi *short circuit* pada rangkaian. Berikut adalah spesifikasi sensor yang digunakan :

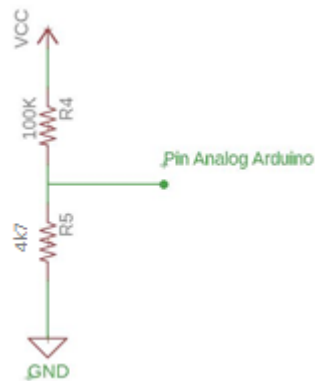
Tabel 3. 4 Spesifikasi ACS712 20A

Catu Daya	5 volt
Indikator Power	LED
<i>Max Measure</i>	20 A DC/AC
Sensitifitas	100 mV/A
Dimensi	33 mm x 14 mm

Pemilihan ACS712 20 A dikarenakan memiliki spesifikasi sensitifitas pembacaan yang baik yaitu 100 mV/A. ACS712 20 A lebih stabil dalam pembacaan arus karena sensitifitanya bulat yaitu 100 mV/A.

3.5.4 Perancangan Sensor Tegangan

Sensor Tegangan digunakan untuk mengukur besar nilai tegangan yang masuk maupun yang keluar pada *buck converter*. Sensor tegangan pada penelitian ini menggunakan sensor tegangan dengan cara pembagi tegangan. Pembagi tegangan dengan menggunakan 2 buah resistor disusun secara seri yang mempunyai nilai resistansi berbeda seperti pada gambat berikut :



Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Tegangan

Perhitungan daru perangan sensor tagangan sebagai berikut :

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

Dimana, $V_{out} = 5 \text{ V}$

$$V_{in} = 125$$

$$R_1 = 100k \Omega$$

$$5 = \frac{125 \times R_2}{100k + R_2}$$

$$500k + 5R_2 = 125 R_2$$

$$R_2 = 4166,6 \Omega$$

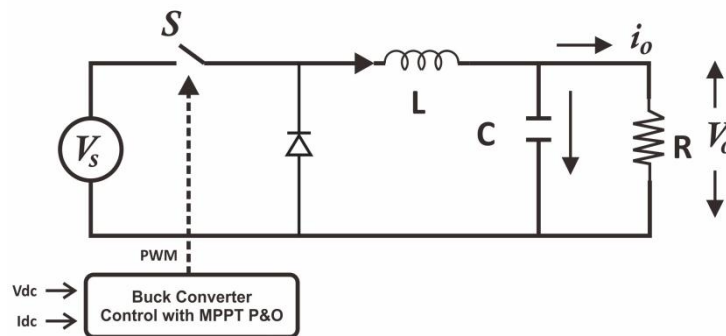
Maka Resistor kedua menggunakan R sebesar $4166,6 \Omega$ atau $4k7 \Omega$.

3.5.5 Perancangan Buck Converter

Buck converter memiliki prinsip menurunkan tegangan DC-DC ke level tegangan yang lebih rendah dari masukan. Buck converter bekerja dengan MOSFET sebagai pensaklaran. Dalam MOSFET terdapat gate dimana MOSFET bekerja ketika

gate diberi tegangan. Tegangan yang masuk ke gate berasal dari pin PWM mikrokontroler. Dengan menggunakan PWM driver maka keluaran mikrokontroler berupa sinyal PWM.

Tegangan keluaran buck converter lebih rendah dari tegangan masukan yang linier dengan besarnya PWM. Semakin besar PWM yang diberikan maka akan menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati tegangan masukan. Pengaturan PWM mengikuti perintah dari algoritma P&O agar dapat menghasilkan daya keluaran PMSG lebih optimal. Perancangan buck converter mengikuti kebutuhan dari keluaran PMSG.



Gambar 3. 5 Rangkaian DC-DC *Buck Converter*

Gambar 3.4 merupakan gambar rangkaian dasar *buck converter*, dimana terdapat beberapa komponen dasar yakni dioda, resistor, induktor, kapasitor dan mosfet. Untuk mendesain DC/DC *buck converter* diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari *converter* tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi PMSG yang digunakan dan kebutuhan beban yang digunakan sehingga didapatkan komponen ideal. Untuk menentukan tegangan *input* pada *buck converter* diperoleh dari spesifikasi PMSG yaitu sebesar 25 V/ 100 Rpm maka tegangan maka tegangan saat kondisi 500 rpm adalah 125 V. *Range* tegangan dari *output* PMSG adalah 25-125 V. Namun untuk kebutuhan perancangan *buck converter* spesifikasi dlebihkan untuk mengantisipasi *undershoot* dan *over voltage* dari PMSG yaitu menjadi 20-200 V. Penelitian ini menggunakan beban resistor. Untuk keluaran

tegangan pada saat pengujian tidak ada *set point* yang ditentukan. Hal ini terjadi karena dalam penelitian ini menggunakan algoritma P&O sebagai pengatur PWM dan PWM akan bergerak sesuai perintah algoritma. Perubahan PWM dimaksudkan untuk memaksimalkan daya keluaran.

Frekuensi yang digunakan dalam proses *switching* pada mosfet adalah 62,5 kHz. Pemilihan frekuensi *switching* 62,5 kHz dikarenakan dalam perancangan pada mikrokontroler menggunakan pin digital 5. Pin digital 5 pada mikrokontroler sebagai keluaran PWM yang dapat membangkitkan frekuensi maksimal sebesar 62,5 kHz. Frekuensi *switching* dimaksimalkan tujuannya agar *ripple* pada sinyal PWM semakin kecil dan periode sinyal PWM semakin kecil. Semakin besar nilai frekuensi maka nilai periode semakin kecil. Semakin kecilnya periode membuat semakin cepat untuk melakukan satu gelombang.

Berikut ini spesifikasi DC/DC *Buck Converter* yang akan dibuat :

a. Perhitungan Duty Cycle

$$\begin{aligned} D_{min} &= \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \\ &= \left(\frac{19}{200} \right) = 0,095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{max} &= \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \\ &= \left(\frac{19}{20} \right) = 1 \end{aligned}$$

b. Perhitungan kapasitas Inductor *Continuous Conduction Mode*.

Besar *peak to peak ripple currents* $\Delta I = 30 \% \times I_{out}$

$$= 30 \% \times 5 \text{ A}$$

$$= 1,5 \text{ A}$$

Besar Induktor $L_{min} = D_{max} (V_{in} - V_{out}) / \Delta I \cdot F_s$

$$= 0,095 \cdot (20 - 19) / 1,5 \cdot 62,5 \text{ kHz}$$

$$= 1,013 \mu\text{H}$$

c. Perhitungan kapasitas kapasitor *Continuous Conduction Mode*.

$$\begin{aligned} \text{Besar } peak \text{ to } peak \text{ ripple voltages } \Delta V &= 1 \% \times V_o \\ &= 1 \% \times 19 \\ &= 0,19 \text{ V} \end{aligned}$$

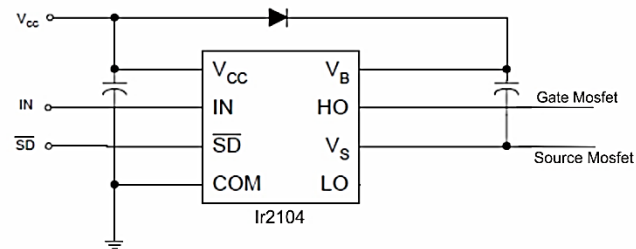
$$\begin{aligned} \text{Besar Kapasitor } C_{out_{min}} &= \Delta I / 8 \cdot F_s \cdot \Delta V \\ &= 1,5 / 8 \cdot 62,5 \text{ kHz} \cdot 0,19 \\ &= 15,8 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Tabel 3. 5 Spesifikasi DC/DC *Buck Converter*

Tegangan Masukan	20 volt – 200 volt
Tegangan Keluaran	12 volt
Iout max	5 Ampere
<i>Duty Cycle</i>	0,095 – 1
Frekuensi Switching	62,5 kHz
Nilai Induktor L	1,013 μH
Nilai Kapasitor Cout	15,8 μF

3.5.6 Perancangan *Driver* MOSFET

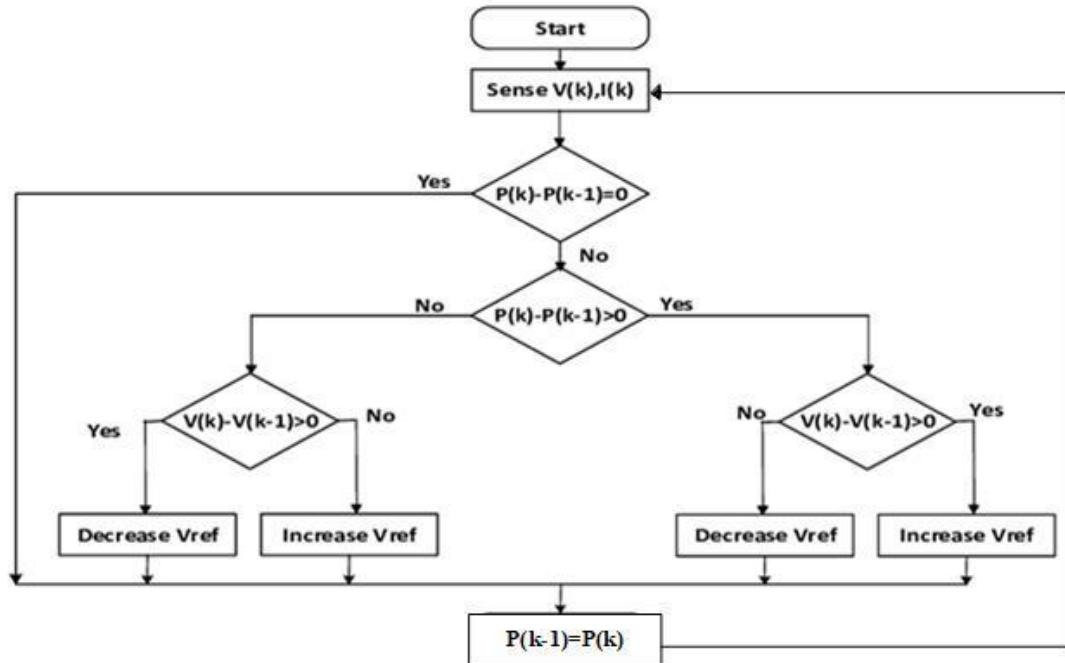
Perancangan *driver* MOSFET digunakan untuk memisahkan antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya, karena rangkaian kontrol sensitif terhadap arus besar. Rangkaian *driver MOSFET* berfungsi untuk menguatkan sinyal pemicu atau sinyal PWM yang dikeluarkan dari mikrokontroler. Perancangan ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan menggunakan pin 5 Arduino sebagai keluaran sinyal untuk memicu penyulutan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. Saklar semikonduktor membuka secara penuh jika mendapat *duty cycle* sebesar 100% dengan tegangan 5 volt. Rangkaian *driver* dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3. 6 Rangkaian *Driver* MOSFET

Rangkaian *driver* mosfet ini menggunakan ic IR2104, dimana pin PWM dari mikrokontroler masuk ke pin IN yang kemudian pin HO mengeluarkan sinyal hasil penguatan PWM dari pin IN. Pin SD merupakan saklar dari ic, ic akan aktif jika pin IN mendapat sinyal *high* dari mikrokontroler. Keunggulan dari menggunakan ic IR2104 adalah dapat menerima *feedback* dari *source* MOSFET. Sehingga ic akan merubah sinyal dari HO sesuai dengan yang dibutuhkan untuk mensuplai *gate* MOSFET

3.5.7 Flowchart Algoritma P&O

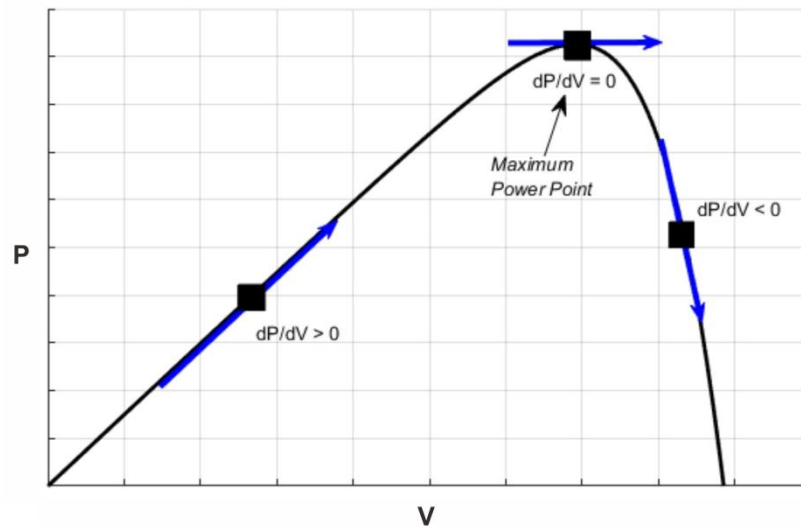


Gambar 3. 7 Flowchart Algoritma *Perturb And Observe* (P&O)

Pada Gambar flowchart algoritma P&O ini diawali dari pengambilan hasil tegangan dan arus oleh sensor. Data arus dan tegangan yang diambil tersebut merupakan data arus dan tegangan dari keluaran PMSG yang sudah disearahkan. Data tersebut kemudian akan dihitung untuk menghasilkan nilai daya. Nilai daya sekarang $P(k)$ menjadi analisis proses yang pertama. Ketika daya sekarang $P(k)$ dengan daya sebelumnya $P(k-1)$ tidak ada selisih maka proses langsung selesai. Namun ketika daya ada selisih maka dilakukan proses selanjutnya. Proses yang kedua yaitu menganalisa tegangan, antara teganga sekarang $V(k)$ dengan tegangan sebelumnya $V(k-1)$. Sesudah menganalisa delta daya dengan delta tegangan maka proses selesai.

V_{ref} pada flowchart adalah tegangan referensi untuk proses selanjutnya. V_{ref} juga dapat diistilahkan *duty cycle*. Tegangan dengan *duty cycle* dalam penelitian ini berbanding lurus, artinya bertambahnya *duty cycle* menyebabkan tegangan bertambah besar. Proses penambahan atau pengurangan V_{ref} melihat kondisi delta daya dan

delta tegangan. Penambahan V_{ref} ketika delta P dan delta V memiliki kondisi yang sama, sebagai contoh jika delta lebih besar dari nol dan delta V lebih besar dari nol maka terjadi penambahan V_{ref} . Sebaliknya untuk pengurangan V_{ref} terjadi ketika delta P dan delta V memiliki kondisi berbeda, sebagai contoh ketika delta lebih dari nol dan delta V kurang dari nol maka terjadi pengurangan V_{ref} .



Gambar 3.6 Kurva Metode *Perturb And Observe*

Gambar 3.6 kurva diatas menunjukkan hubungan antara tegangan dan daya. Hubungan dari kurva mempresentasikan dari metode Perturb and Observe. Dalam kurva dijelaskan bahwa ketika perubahan daya dibagi perubahan tegangan ($\Delta P/\Delta V$) sama dengan nol maka generator sudah mencapai titik daya maksimal. Arah grafik ditentukan dari hasil perbandingan daya dan tegangan. Hasil perbandingan jika bernilai positif maka tegangan akan terus naik atau ditambah. Hasil perbandingan jika bernilai negatif maka tegangan akan dikurangi sampai hasil perbandingan bernilai nol. Tegangan memiliki hubungan dengan duty cycle. Ketika duty cycle dikurangi maka tegangan akan berkurang, namun jika duty cycle ditambah maka tegangan akan bertambah.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian *Maximum Power Point Tracking* untuk keluaran *Permanent Magnet Synchronous Generator* menggunakan kendali *buck converter* dengan algoritma *Perturb and Observe* maka dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Hasil perancangan dan pembuatan *buck converter* mempunyai rata-rata efisiensi tertinggi pada saat PMSG diputar 500 rpm dengan beban 39 Ω yaitu sebesar 73%. Hasil efisiensi tertinggi pada saat *duty cycle* sebesar 90% dan 95% yang menghasilkan efisiensi 82%. Nilai efisiensi pada *buck converter* dipengaruhi oleh besar nilai *duty cycle*, semakin besar nilai *duty cycle* maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar.
2. Sistem algoritma P&O mampu mencapai titik daya maksimum sebesar 22,48 W dengan daya *prime mover* sebesar 104,87 W saat *duty cycle* sebesar 61%. Hasil ini didapat dengan beban resistif sebesar 75 Ω yang menghasilkan efisiensi *buck converter* sebesar 73%.
3. Hasil daya maksimum dengan menggunakan MPPT lebih besar dibandingkan dengan hasil tanpa MPPT. Pada saat pengujian non-MPPT dimana *start duty cycle* sebesar 50% menghasilkan daya maksimum sebesar 20,34 W sedangkan saat sistem MPPT dimasukkan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 22,36 W pada saat *duty cycle* 62%.

5.2 Saran

Setelah penelitian ini selesai, penulis memberikan saran yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian selanjutnya. Berikut saran yang dapat diberikan :

1. *Buck converter* dapat diganti dengan menggunakan *Synchrouous Buck Converter* yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan *converter* pada umumnya.

2. *Prime mover* motor induksi dapat diganti menggunakan turbin angin dan mengambil data secara langsung dilapangan agar dapat mengetahui karakteristik angin terhadap putaran turbin.
3. Algoritma *Perturb and Observe* dapat diganti menggunakan algoritma *Incremental Conductance* yang memiliki akurasi lebih baik karena dapat mencari daya lebih cepat terhadap perubahan putaran turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Putri, R.I. dkk. 2018. Maximum Power Extraction Improvement Using Sensorless Controller Based On Adaptive Perturb And Observe Algorithm For PMSG Wind Turbine Application. IET Journals. 12(4). 455-462.
- Putri, R.I. dkk. 2017. Fuzzy MPPT Controller For Small Scale Stand Alone PMSG Wind Turbine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 12(1). ISSN 1819-6608.
- Atmadi, S., Ahmad J.F. 2009. Analisa Pengaruh Sudut *Pitch*, Untuk Memperoleh Daya Optimal Turbin Angin LPN-SKEA 50 KW Pada Beberapa Kondisi Kecepatan Angin. Jurnal Teknologi Dirgantara.7(1). 60-66.
- Ernadi, D.A., Margo Pujiantara,dkk. 2016. Desain *Maximum Point Tracking* untuk Turbin Angin Menggunakan *Modified Perturb & Observe (P&O)* Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin. Jurnal Teknik ITS. 5(2). 2337-3539.
- Agustina, S., 2019. Optimalisasi Daya Keluaran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Menggunakan Algoritma *Incremental Conductance* Berbasis *Fuzzy Logic*. Teknik Elektro. Universitas Jember.
- Novitasari. 2014. Optimalisasi Daya Output Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Permanent Magnet Synchronous Generator* Berbasis Neural Network. Teknik Elektro. Universitas Jember.
- Dzulfiqar R.M. 2011. Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* dengan Metode *Gradient Approximation*. Repository ITS.
- Helmi, C.E. 2018 Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* Dengan Metode *Perturb And Observe (P&O)*. Teknik Elektro. UNESA

- Fadriantama .M .I. 2018. Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme *Perturb And Observe* (P&O) Dan *Incremental Conductance* (IC) Pada Sistem Kendali *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) Untuk Sistem *Photovoltaic* (PV) Paralel. Teknik Elektro. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Tohir. 2016. Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino. Teknik Elektro. Universitas Lampung.
- Waresindo .W.X., 2019. Analisis Potensi Sumber Energi di Indonesia Serta Tantangan Eksplorasinya. Fisika. Institut Teknologi Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program

```
#include "PWM.h"
#include "Wire.h"

#define Iin_SCALE 0.048828125
#define Vin_SCALE 0.1137724401
#define Iout_SCALE 0.048828125
#define Vout_SCALE 0.1137724401
#define Iin_CHAN A5
#define Vin_CHAN A0
#define Iout_CHAN A4
#define Vout_CHAN A1
#define AVG_NUM 10
//=====//
int duty = 0.00;
int read_adc(int channel)
{
    int sum = 0;
    int temp;
    int i;
    for (i=0; i<AVG_NUM; i++)
    { temp = analogRead(channel);
      sum += temp;
      delayMicroseconds(3000);
    }
    return(sum / AVG_NUM);
}
```

```

//=====//
int count;
int button= 13; //Pin button Arduino
int PWMPin = 5; //PWM Connect to Pin 5
float changedD = 2.55; //change duty by 1%
float PWMvalue = 76.5; //start pwm with 30% duty cycle
float Vin = 0.0;
float Vout = 0.0;
float Iin = 0.0;
float Iout = 0.0;
float Pin;
float Pout;
float prev_Pout = 0.0;
float prev_PWM = 0.0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | 0x01;
  pinMode(9, OUTPUT);
  digitalWrite(9, HIGH);
  pinMode(PWMPin, OUTPUT);
  pinMode(button, INPUT_PULLUP);
}

void read_data(void)
{
  Iin = ((read_adc(Iin_CHAN) * Iin_SCALE)-21.19);
  Vin = (read_adc(Vin_CHAN) * Vin_SCALE );
  Iout = ((read_adc(Iout_CHAN) * Iout_SCALE)-20.95);
}

```

```
Vout = (read_adc(Vout_CHAN) * Vout_SCALE) ;

    if (Iout <= 0.0) {
        Iout = 0;
    }
    if (Iin <= 0.0) {
        Iin = 0;
    }
    Pin = Vin * Iin;
    Pout = Iout * Vout;
}

void MPPT()
{
    float changeP = Pout - prev_Pout;
    float changePWM = PWMvalue - prev_PWM;
    if (changeP != 0)
    {
        if (changeP > 0)
        {
            if (changePWM > 0)
            {PWMvalue = PWMvalue + changeD;}
            else
            {PWMvalue = PWMvalue - changeD;}
        }
        else
        {
            if (changePWM > 0)
            {PWMvalue = PWMvalue - changeD;}
        }
    }
}
```

```

        else
            {PWMvalue = PWMvalue + changed;}
        }
    }
else
    {PWMvalue = PWMvalue;}
analogWrite(PWMPin,PWMvalue);
prev_PWM = PWMvalue;
prev_Pout = Pout;
return Pout;
}
void MPPTOFF()
{
    PWMvalue = 76.5;
    analogWrite(PWMPin, PWMvalue);
}
void disp()
{
    //=====Serial Monitor=====//
    Serial.print(Vin); Serial.print("\t");
    Serial.print(Iin); Serial.print("\t");
    Serial.print(Vout); Serial.print("\t");
    Serial.print(Iout); Serial.print("\t");
    Serial.print(Pin); Serial.print("\t");
    Serial.print(Pout); Serial.print("\t");
    Serial.println(PWMvalue); Serial.print("\t");
}
void loop()
{

```



```

{
  int tombol = not(digitalRead(button));
  delay(1000);

  count += tombol;
  if(count==0){}
  else
  {
    if(count%2==0)
    {
      MPPT();
      Serial.print("MPPT");
    }
    else
    {
      MPPTOFF();
      Serial.print("biasa");
    }
  }
  }
  read_data();
  disp();
}

```

Lampiran 2. Data Pengujian

Tabel 1 Data Pengujian MPPT *Start Duty Cycle* 30%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	<i>Duty Cycle</i>
25:03.0	63.37	0.22	19.01	0.4	13.9414	7.6044	55%	30%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:03.2	63.49	0.2	19.05	0.39	12.698	7.42833	59%	30%
25:03.4	64.05	0.24	19.22	0.42	15.372	8.0703	53%	30%
25:03.6	65.65	0.24	19.7	0.42	15.756	8.2719	53%	30%
25:03.9	64.28	0.24	19.28	0.44	15.4272	8.48496	55%	30%
25:04.0	64.28	0.24	19.28	0.44	15.4272	8.48496	55%	30%
25:04.3	66.78	0.28	20.03	0.48	18.6984	9.61632	51%	30%
25:04.5	67.13	0.26	20.14	0.46	17.4538	9.26394	53%	30%
25:04.7	67.81	0.26	20.34	0.46	17.6306	9.35778	53%	30%
25:04.9	68.15	0.28	20.45	0.48	19.082	9.8136	51%	30%
25:05.1	66.9	0.3	20.07	0.53	20.07	10.6371	53%	30%
25:05.4	68.83	0.3	20.65	0.53	20.649	10.94397	53%	30%
25:05.6	67.92	0.3	20.38	0.55	20.376	11.2068	55%	30%
25:05.8	68.26	0.32	20.48	0.55	21.8432	11.2629	52%	30%
25:06.0	69.06	0.32	20.72	0.57	22.0992	11.80926	53%	30%
25:06.2	70.88	0.32	21.26	0.6	22.6816	12.7584	56%	30%
25:06.4	70.08	0.32	21.02	0.6	22.4256	12.6144	56%	30%
25:06.7	70.54	0.34	21.16	0.64	23.9836	13.54368	56%	30%
25:06.9	72.81	0.36	21.84	0.64	26.2116	13.97952	53%	30%
25:07.1	71.79	0.36	21.54	0.64	25.8444	13.78368	53%	30%
25:07.3	72.36	0.34	21.71	0.64	24.6024	13.89312	56%	30%
25:07.6	75.09	0.36	22.53	0.64	27.0324	14.41728	53%	30%
25:07.8	75.77	0.34	22.73	0.64	25.7618	14.54784	56%	30%
25:08.0	74.52	0.34	22.36	0.64	25.3368	14.30784	56%	30%
25:08.2	74.86	0.34	22.46	0.64	25.4524	14.37312	56%	30%
25:08.4	75.2	0.36	22.56	0.64	27.072	14.4384	53%	30%
25:08.6	77.48	0.36	23.24	0.67	27.8928	15.57348	56%	30%
25:08.8	76.11	0.36	22.83	0.67	27.3996	15.29811	56%	30%
25:09.1	79.07	0.36	23.72	0.67	28.4652	15.89307	56%	30%
25:09.3	79.53	0.34	23.86	0.64	27.0402	15.26976	56%	30%
25:09.5	77.59	0.34	23.28	0.64	26.3806	14.89728	56%	30%
25:09.7	77.48	0.36	23.24	0.67	27.8928	15.57348	56%	30%
25:10.0	77.82	0.34	23.35	0.67	26.4588	15.64182	59%	30%
25:10.1	80.44	0.35	24.13	0.67	28.154	16.16844	57%	30%
25:10.4	78.84	0.35	23.65	0.67	27.594	15.84684	57%	30%
25:10.6	81.12	0.37	24.34	0.69	30.0144	16.79184	56%	30%
25:10.8	81.01	0.35	24.3	0.67	28.3535	16.28301	57%	30%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:11.1	79.19	0.35	23.76	0.67	27.7165	15.91719	57%	30%
25:11.2	79.98	0.35	23.99	0.67	27.993	16.07598	57%	30%
25:11.5	80.44	0.37	24.13	0.67	29.7628	16.16844	54%	30%
25:11.7	82.6	0.35	24.78	0.69	28.91	17.0982	59%	30%
25:11.9	80.21	0.35	24.06	0.67	28.0735	16.12221	57%	30%
25:12.1	80.55	0.35	24.17	0.67	28.1925	16.19055	57%	30%
25:12.4	83.28	0.35	24.98	0.69	29.148	17.23896	59%	30%
25:12.6	81.23	0.35	24.37	0.69	28.4305	16.81461	59%	30%
25:12.8	80.89	0.35	24.27	0.69	28.3115	16.74423	59%	30%
25:13.0	81.01	0.37	24.3	0.69	29.9737	16.76907	56%	30%
25:13.2	83.4	0.35	25.02	0.69	29.19	17.2638	59%	30%
25:13.4	81.35	0.35	24.41	0.69	28.4725	16.83945	59%	30%
25:13.6	81.12	0.35	24.34	0.67	28.392	16.30512	57%	30%
25:13.9	83.28	0.35	24.98	0.69	29.148	17.23896	59%	30%
25:14.1	81.57	0.35	24.47	0.67	28.5495	16.39557	57%	30%
25:14.3	81.46	0.37	24.44	0.67	30.1402	16.37346	54%	30%
25:14.5	83.17	0.35	24.95	0.67	29.1095	16.71717	57%	30%
25:14.7	80.89	0.35	24.27	0.67	28.3115	16.25889	57%	30%
25:15.0	81.35	0.35	24.41	0.69	28.4725	16.83945	59%	30%
25:15.2	81.57	0.35	24.47	0.67	28.5495	16.39557	57%	30%
25:15.4	83.28	0.35	24.98	0.69	29.148	17.23896	59%	30%
25:15.6	81.23	0.35	24.37	0.69	28.4305	16.81461	59%	30%
25:15.8	81.69	0.35	24.51	0.67	28.5915	16.41969	57%	30%
25:16.1	81.69	0.35	24.51	0.67	28.5915	16.41969	57%	30%
25:16.3	83.51	0.35	25.05	0.67	29.2285	16.78551	57%	30%
25:16.5	81.23	0.35	24.37	0.67	28.4305	16.32723	57%	30%
25:16.7	81.46	0.35	24.44	0.67	28.511	16.37346	57%	30%
25:16.9	83.85	0.35	25.16	0.67	29.3475	16.85385	57%	30%
25:17.1	81.46	0.37	24.44	0.69	30.1402	16.86222	56%	30%
25:17.4	81.23	0.37	24.37	0.67	30.0551	16.32723	54%	30%
25:17.6	81.69	0.35	24.51	0.67	28.5915	16.41969	57%	30%
25:17.8	81.8	0.35	24.54	0.67	28.63	16.4418	57%	30%
25:18.0	81.46	0.35	24.44	0.69	28.511	16.86222	59%	30%
25:18.2	81.12	0.37	24.34	0.67	30.0144	16.30512	54%	30%
25:18.5	81.46	0.35	24.44	0.69	28.511	16.86222	59%	30%
25:18.7	81.8	0.35	24.54	0.69	28.63	16.9326	59%	30%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:18.9	81.57	0.35	24.47	0.67	28.5495	16.39557	57%	30%
25:19.1	83.4	0.37	25.02	0.67	30.858	16.7634	54%	30%
25:19.3	81.69	0.37	24.51	0.69	30.2253	16.90983	56%	30%
25:19.6	81.92	0.37	24.58	0.67	30.3104	16.46592	54%	30%
25:19.8	83.85	0.35	25.16	0.69	29.3475	17.35695	59%	30%
25:20.0	83.51	0.35	25.05	0.67	29.2285	16.78551	57%	30%
25:20.2	81.8	0.35	24.54	0.67	28.63	16.4418	57%	30%
25:20.4	82.26	0.35	24.68	0.67	28.791	16.53426	57%	30%
25:20.6	81.92	0.35	24.58	0.67	28.672	16.46592	57%	30%
25:20.8	81.69	0.35	24.51	0.67	28.5915	16.41969	57%	30%
25:21.1	82.03	0.35	24.61	0.69	28.7105	16.98021	59%	30%
25:21.3	82.14	0.35	24.64	0.69	28.749	17.00298	59%	30%
25:21.5	81.92	0.37	24.58	0.67	30.3104	16.46592	54%	30%
25:21.7	83.74	0.37	25.12	0.67	30.9838	16.83174	54%	30%
25:21.9	81.92	0.35	24.58	0.67	28.672	16.46592	57%	30%
25:22.2	84.31	0.35	25.29	0.69	29.5085	17.45217	59%	30%
25:22.4	83.96	0.35	25.19	0.69	29.386	17.37972	59%	30%
25:22.6	81.69	0.37	24.51	0.67	30.2253	16.41969	54%	30%
25:22.8	82.03	0.37	24.61	0.69	30.3511	16.98021	56%	30%
25:23.0	82.26	0.35	24.68	0.67	28.791	16.53426	57%	30%
25:23.2	83.96	0.35	25.19	0.69	29.386	17.37972	59%	30%
25:23.5	81.69	0.37	24.51	0.69	30.2253	16.90983	56%	30%
25:23.7	82.03	0.35	24.61	0.67	28.7105	16.48803	57%	30%
25:23.9	81.23	0.37	23.56	0.69	30.0551	16.25412	54%	29%
25:24.1	81.01	0.37	24.3	0.69	29.9737	16.76907	56%	30%
25:24.4	79.98	0.37	24.79	0.69	29.5926	17.10772	58%	31%
25:24.5	82.6	0.36	26.43	0.67	29.736	17.70944	60%	32%
25:24.8	79.98	0.38	26.39	0.69	30.3924	18.21145	60%	33%
25:25.0	82.1	0.36	26.27	0.67	29.556	17.60224	60%	32%
25:25.2	80.89	0.36	26.69	0.67	29.1204	17.88478	61%	33%
25:25.4	79.64	0.36	25.48	0.65	28.6704	16.56512	58%	32%
25:25.7	79.64	0.38	26.28	0.67	30.2632	17.6084	58%	33%
25:25.9	79.75	0.38	27.12	0.65	30.305	17.62475	58%	34%
25:26.1	77.02	0.38	26.96	0.63	29.2676	16.98291	58%	35%
25:26.3	76	0.38	27.36	0.65	28.88	17.784	62%	36%
25:26.5	75.89	0.4	28.08	0.63	30.356	17.68996	58%	37%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:26.8	75.43	0.4	27.15	0.65	30.172	17.65062	59%	36%
25:27.0	75.32	0.4	27.87	0.63	30.128	17.55709	58%	37%
25:27.2	76	0.38	27.36	0.63	28.88	17.2368	60%	36%
25:27.4	74.18	0.4	27.45	0.65	29.672	17.84029	60%	37%
25:27.6	73.38	0.4	27.88	0.63	29.352	17.56717	60%	38%
25:27.8	73.5	0.4	27.2	0.63	29.4	17.13285	58%	37%
25:28.1	73.38	0.41	27.88	0.63	30.0858	17.56717	58%	38%
25:28.3	73.84	0.4	28.8	0.61	29.536	17.56654	59%	39%
25:28.5	73.38	0.4	27.88	0.63	29.352	17.56717	60%	38%
25:28.7	73.5	0.4	27.2	0.63	29.4	17.13285	58%	37%
25:29.0	74.52	0.41	28.32	0.63	30.5532	17.84009	58%	38%
25:29.1	72.81	0.41	28.4	0.63	29.8521	17.88942	60%	39%
25:29.4	72.47	0.41	28.99	0.61	29.7127	17.68268	60%	40%
25:29.6	73.04	0.4	28.49	0.61	29.216	17.37622	59%	39%
25:29.8	72.93	0.41	29.17	0.57	29.9013	16.62804	56%	40%
25:30.0	73.16	0.4	28.53	0.6	29.264	17.11944	59%	39%
25:30.3	73.16	0.41	27.8	0.65	29.9956	18.07052	60%	38%
25:30.5	73.16	0.41	28.53	0.63	29.9956	17.97541	60%	39%
25:30.7	72.47	0.41	27.54	0.63	29.7127	17.34932	58%	38%
25:30.9	72.7	0.42	28.35	0.65	30.534	18.42945	60%	39%
25:31.1	72.36	0.42	28.94	0.63	30.3912	18.23472	60%	40%
25:31.3	72.7	0.4	28.35	0.63	29.08	17.86239	61%	39%
25:31.5	74.29	0.4	29.72	0.63	29.716	18.72108	63%	40%
25:31.8	73.27	0.4	30.04	0.6	29.308	18.02442	62%	41%
25:32.0	72.81	0.41	29.12	0.63	29.8521	18.34812	61%	40%
25:32.2	73.04	0.4	28.49	0.6	29.216	17.09136	59%	39%
25:32.4	72.81	0.41	29.12	0.6	29.8521	17.4744	59%	40%
25:32.6	72.86	0.4	29.87	0.58	29.144	17.32611	59%	41%
25:32.9	74.67	0.4	29.87	0.58	29.868	17.32344	58%	40%
25:33.1	75.54	0.41	30.22	0.6	30.9714	18.1296	59%	40%
25:33.3	77.14	0.4	31.63	0.58	30.856	18.34389	59%	41%
25:33.5	77.37	0.38	32.5	0.54	29.4006	17.54752	60%	42%
25:33.7	78.05	0.38	32	0.54	29.659	17.28027	58%	41%
25:34.0	79.75	0.38	33.5	0.54	30.305	18.0873	60%	42%
25:34.2	79.07	0.38	34	0.52	30.0466	17.68005	59%	43%
25:34.4	79.3	0.38	33.31	0.54	30.134	17.98524	60%	42%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:34.6	82.03	0.36	33.63	0.52	29.5308	17.4888	59%	41%
25:34.8	79.41	0.36	31.76	0.54	28.5876	17.15256	60%	40%
25:35.0	79.98	0.38	32.79	0.54	30.3924	17.70757	58%	41%
25:35.3	80.1	0.38	33.64	0.52	30.438	17.49384	57%	42%
25:35.5	81.01	0.36	33.21	0.52	29.1636	17.27133	59%	41%
25:35.7	80.44	0.38	33.78	0.54	30.5672	18.24379	60%	42%
25:35.9	80.89	0.38	34.78	0.54	30.7382	18.78266	61%	43%
25:36.1	81.01	0.36	35.64	0.52	29.1636	18.53509	64%	44%
25:36.4	83.85	0.36	36.06	0.52	30.186	18.74886	62%	43%
25:36.6	81.12	0.36	35.69	0.52	29.2032	18.56026	64%	44%
25:36.8	81.46	0.36	36.66	0.52	29.3256	19.06164	65%	45%
25:37.0	83.28	0.36	38.31	0.49	29.9808	18.77131	63%	46%
25:37.2	82.03	0.36	36.91	0.52	29.5308	19.19502	65%	45%
25:37.5	85.56	0.36	37.65	0.52	30.8016	19.57613	64%	44%
25:37.6	85.44	0.34	38.45	0.49	29.0496	18.83952	65%	45%
25:37.9	84.76	0.36	37.29	0.52	30.5136	19.39309	64%	44%
25:38.1	84.65	0.36	36.4	0.52	30.474	18.92774	62%	43%
25:38.3	87.38	0.34	38.45	0.52	29.7092	19.99254	67%	44%
25:38.5	85.1	0.34	38.3	0.49	28.934	18.76455	65%	45%
25:38.8	85.78	0.34	39.46	0.49	29.1652	19.33481	66%	46%
25:39.0	85.22	0.34	40.05	0.49	28.9748	19.62617	68%	47%
25:39.2	85.67	0.34	41.12	0.47	29.1278	19.32715	66%	48%
25:39.4	85.67	0.34	40.26	0.49	29.1278	19.7298	68%	47%
25:39.6	84.08	0.36	38.68	0.52	30.2688	20.11194	66%	46%
25:39.9	83.74	0.36	37.68	0.52	30.1464	19.59516	65%	45%
25:40.1	83.17	0.36	38.26	0.52	29.9412	19.89426	66%	46%
25:40.3	81.69	0.36	38.39	0.52	29.4084	19.96504	68%	47%
25:40.5	79.98	0.36	38.39	0.52	28.7928	19.965	69%	48%
25:40.7	77.82	0.38	37.35	0.54	29.5716	20.17094	68%	48%
25:40.9	76.23	0.38	35.83	0.54	28.9674	19.34717	67%	47%
25:41.2	75.77	0.38	36.37	0.54	28.7926	19.63958	68%	48%
25:41.4	74.41	0.38	36.46	0.52	28.2758	18.95967	67%	49%
25:41.6	75.43	0.36	36.21	0.5	27.1548	18.1032	67%	48%
25:41.8	72.7	0.38	35.62	0.52	27.626	18.52396	67%	49%
25:42.0	72.81	0.38	34.95	0.52	27.6678	18.17338	66%	48%
25:42.2	72.36	0.38	35.46	0.5	27.4968	17.7282	64%	49%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:42.5	72.59	0.38	34.84	0.52	27.5842	18.11846	66%	48%
25:42.7	73.27	0.38	34.44	0.52	27.8426	17.90719	64%	47%
25:42.9	70.43	0.38	33.81	0.52	26.7634	17.57933	66%	48%
25:43.1	69.74	0.41	34.17	0.54	28.5934	18.4532	65%	49%
25:43.3	70.43	0.38	35.22	0.52	26.7634	18.3118	68%	50%
25:43.6	67.47	0.41	33.06	0.54	27.6627	17.85256	65%	49%
25:43.8	66.9	0.41	33.45	0.54	27.429	18.063	66%	50%
25:44.0	67.92	0.41	34.64	0.52	27.8472	18.01238	65%	51%
25:44.2	66.33	0.41	33.17	0.54	27.1953	17.9091	66%	50%
25:44.4	65.87	0.43	33.59	0.56	28.3241	18.81247	66%	51%
25:44.6	66.1	0.43	34.37	0.56	28.423	19.24832	68%	52%
25:44.9	65.87	0.41	34.91	0.54	27.0067	18.85199	70%	53%
25:45.1	66.1	0.43	34.37	0.56	28.423	19.24832	68%	52%
25:45.3	65.76	0.43	33.54	0.56	28.2768	18.78106	66%	51%
25:45.5	67.69	0.41	35.2	0.54	27.7529	19.00735	68%	52%
25:45.7	65.65	0.43	34.79	0.56	28.2295	19.48492	69%	53%
25:46.0	65.31	0.43	33.96	0.56	28.0833	19.01827	68%	52%
25:46.2	65.08	0.43	34.49	0.56	27.9844	19.31574	69%	53%
25:46.4	64.74	0.43	34.96	0.56	27.8382	19.57738	70%	54%
25:46.6	64.85	0.43	35.67	0.54	27.8855	19.26045	69%	55%
25:46.8	64.62	0.43	34.89	0.56	27.7866	19.54109	70%	54%
25:47.1	66.1	0.41	35.03	0.54	27.101	18.91782	70%	53%
25:47.2	64.51	0.43	33.55	0.56	27.7393	18.78531	68%	52%
25:47.5	64.62	0.43	34.25	0.56	27.7866	19.17922	69%	53%
25:47.7	64.74	0.43	34.96	0.56	27.8382	19.57738	70%	54%
25:47.9	65.19	0.41	35.85	0.54	26.7279	19.36143	72%	55%
25:48.1	65.08	0.41	35.14	0.54	26.6828	18.97733	71%	54%
25:48.3	65.53	0.41	36.04	0.54	26.8673	19.46241	72%	55%
25:48.6	66.78	0.43	37.4	0.52	28.7154	19.44634	68%	56%
25:48.8	65.53	0.41	36.04	0.54	26.8673	19.46241	72%	55%
25:49.0	65.31	0.43	35.27	0.54	28.0833	19.0444	68%	54%
25:49.2	65.65	0.43	36.11	0.52	28.2295	18.7759	67%	55%
25:49.4	66.82	0.43	36.08	0.54	28.7326	19.48471	68%	54%
25:49.7	65.65	0.43	34.79	0.54	28.2295	18.78903	67%	53%
25:49.9	65.08	0.41	35.14	0.52	26.6828	18.27446	68%	54%
25:50.1	67.13	0.41	35.58	0.52	27.5233	18.50103	67%	53%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:50.3	64.96	0.43	35.08	0.56	27.9328	19.6439	70%	54%
25:50.6	65.42	0.41	34.67	0.52	26.8222	18.02975	67%	53%
25:50.7	65.87	0.43	35.57	0.56	28.3241	19.91909	70%	54%
25:51.0	65.87	0.41	36.23	0.54	27.0067	19.56339	72%	55%
25:51.2	66.22	0.43	35.76	0.56	28.4746	20.02493	70%	54%
25:51.4	66.1	0.41	35.03	0.54	27.101	18.91782	70%	53%
25:51.6	67.81	0.41	36.62	0.54	27.8021	19.7734	71%	54%
25:51.9	66.33	0.43	36.48	0.56	28.5219	20.42964	72%	55%
25:52.1	66.78	0.41	36.06	0.54	27.3798	19.47305	71%	54%
25:52.3	68.26	0.41	37.54	0.54	27.9866	20.27322	72%	55%
25:52.5	66.9	0.43	37.46	0.56	28.767	20.97984	73%	56%
25:52.7	66.78	0.43	36.73	0.56	28.7154	20.56824	72%	55%
25:52.9	66.78	0.43	37.4	0.54	28.7154	20.19427	70%	56%
25:53.1	67.69	0.41	37.23	0.54	27.7529	20.10393	72%	55%
25:53.4	66.22	0.41	35.76	0.54	27.1502	19.30975	71%	54%
25:53.6	65.76	0.41	36.17	0.54	26.9616	19.53072	72%	55%
25:53.8	66.33	0.41	37.14	0.52	27.1953	19.3153	71%	56%
25:54.0	65.08	0.43	35.79	0.54	27.9844	19.32876	69%	55%
25:54.3	64.62	0.43	34.89	0.54	27.7866	18.84319	68%	54%
25:54.4	64.17	0.43	35.29	0.54	27.5931	19.05849	69%	55%
25:54.7	64.05	0.41	35.87	0.52	26.2605	18.65136	71%	56%
25:54.9	63.71	0.43	35.04	0.54	27.3953	18.92187	69%	55%
25:55.1	63.71	0.43	34.4	0.54	27.3953	18.57784	68%	54%
25:55.3	63.6	0.43	34.98	0.54	27.348	18.8892	69%	55%
25:55.6	63.6	0.43	35.62	0.52	27.348	18.52032	68%	56%
25:55.8	64.05	0.43	35.23	0.52	27.5415	18.3183	67%	55%
25:56.0	64.17	0.45	35.94	0.56	28.8765	20.12371	70%	56%
25:56.2	65.53	0.45	37.35	0.54	29.4885	20.17013	68%	57%
25:56.4	65.99	0.43	38.27	0.52	28.3757	19.90258	70%	58%
25:56.7	64.28	0.43	36.64	0.52	27.6404	19.05259	69%	57%
25:56.8	64.28	0.45	37.28	0.54	28.926	20.1325	70%	58%
25:57.1	65.19	0.45	38.46	0.52	29.3355	20.00029	68%	59%
25:57.3	64.28	0.45	37.28	0.54	28.926	20.1325	70%	58%
25:57.5	64.28	0.45	36.64	0.54	28.926	19.78538	68%	57%
25:57.7	65.99	0.45	38.27	0.54	29.6955	20.66807	70%	58%
25:58.0	70.31	0.4	41.48	0.49	28.124	20.32662	72%	59%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
25:58.2	74.17	0.4	43.02	0.49	29.668	21.07911	71%	58%
25:58.4	74.17	0.4	43.76	0.47	29.668	20.56734	69%	59%
25:58.6	70.19	0.4	40.71	0.49	28.076	19.948	71%	58%
25:58.8	73.73	0.4	43.5	0.47	29.492	20.44533	69%	59%
25:59.0	70.07	0.4	42.04	0.47	28.028	19.75974	71%	60%
25:59.3	74.7	0.36	45.57	0.4	26.892	19.13814	71%	61%
25:59.5	74.7	0.38	44.82	0.43	28.386	19.2726	68%	60%
25:59.7	76.2	0.38	46.48	0.43	28.956	19.98726	69%	61%
25:59.9	79.08	0.36	49.03	0.4	28.4688	19.61184	69%	62%
26:00.1	80.75	0.36	49.26	0.4	29.07	19.703	68%	61%
26:00.3	81.21	0.34	50.35	0.39	27.6114	19.63658	71%	62%
26:00.6	83.8	0.36	51.12	0.39	30.168	19.93602	66%	61%
26:00.8	81.37	0.36	50.45	0.43	29.2932	21.69324	74%	62%
26:01.0	81.83	0.36	49.92	0.41	29.4588	20.46568	69%	61%
26:01.2	84.8	0.34	52.58	0.39	28.832	20.50464	71%	62%
26:01.4	82.81	0.36	50.51	0.41	29.8116	20.71078	69%	61%
26:01.7	83.14	0.36	49.88	0.41	29.9304	20.45244	68%	60%
26:01.9	82.48	0.34	50.31	0.39	28.0432	19.62199	70%	61%
26:02.1	82.48	0.36	49.49	0.41	29.6928	20.29008	68%	60%
26:02.3	82.35	0.36	48.59	0.43	29.646	20.8922	70%	59%
26:02.5	82.81	0.34	48.03	0.39	28.1554	18.73162	67%	58%
26:02.8	82.35	0.34	48.59	0.39	27.999	18.94874	68%	59%
26:03.0	82.8	0.36	49.68	0.43	29.808	21.3624	72%	60%
26:03.2	82.81	0.34	50.51	0.39	28.1554	19.7005	70%	61%
26:03.4	83.51	0.36	50.11	0.41	30.0636	20.54346	68%	60%
26:03.6	82.92	0.36	48.92	0.43	29.8512	21.0368	70%	59%
26:03.9	83.14	0.36	48.22	0.43	29.9304	20.73512	69%	58%
26:04.1	83.94	0.36	49.52	0.43	30.2184	21.29558	70%	59%
26:04.3	83.28	0.36	49.97	0.41	29.9808	20.48688	68%	60%
26:04.5	83.14	0.36	49.05	0.43	29.9304	21.09262	70%	59%
26:04.7	83.14	0.36	48.22	0.43	29.9304	20.73512	69%	58%
26:04.9	83.94	0.34	49.52	0.41	28.5396	20.30509	71%	59%
26:05.1	83.49	0.34	48.42	0.43	28.3866	20.82241	73%	58%
26:05.4	83.49	0.34	47.59	0.43	28.3866	20.4634	72%	57%
26:05.6	80.53	0.38	46.71	0.46	30.6014	21.4854	70%	58%
26:05.8	83.94	0.36	47.85	0.43	30.2184	20.57369	68%	57%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
26:06.0	84.82	0.34	47.5	0.43	28.8388	20.42466	71%	56%
26:06.3	81.22	0.36	46.3	0.43	29.2392	19.90702	68%	57%
26:06.4	84.4	0.36	48.95	0.43	30.384	21.04936	69%	58%
26:06.7	84.57	0.34	49.9	0.41	28.7538	20.45748	71%	59%
26:06.9	84.28	0.34	48.88	0.41	28.6552	20.04178	70%	58%
26:07.1	80.53	0.38	47.51	0.46	30.6014	21.85584	71%	59%
26:07.3	84.8	0.36	49.18	0.44	30.528	21.64096	71%	58%
26:07.6	84.82	0.36	48.35	0.44	30.5352	21.27286	70%	57%
26:07.8	81.02	0.38	46.99	0.46	30.7876	21.61614	70%	58%
26:08.0	82.01	0.36	46.75	0.46	29.5236	21.50302	73%	57%
26:08.2	81.22	0.38	47.11	0.46	30.8636	21.6695	70%	58%
26:08.4	80.8	0.38	47.67	0.46	30.704	21.92912	71%	59%
26:08.6	80.58	0.38	48.35	0.45	30.6204	21.7566	71%	60%
26:08.9	80.01	0.38	47.21	0.46	30.4038	21.71471	71%	59%
26:09.1	84.8	0.36	50.88	0.44	30.528	22.3872	73%	60%
26:09.3	83.44	0.36	50.9	0.44	30.0384	22.3953	75%	61%
26:09.5	84.51	0.36	52.4	0.42	30.4236	22.0064	72%	62%
26:09.8	84.51	0.36	51.55	0.44	30.4236	22.42473	74%	61%
26:09.9	84.28	0.36	50.57	0.44	30.3408	22.24992	73%	60%
26:10.2	80.82	0.38	49.3	0.46	30.7116	22.48089	73%	61%
26:10.4	84.17	0.36	50.5	0.44	30.3012	22.22088	73%	60%
26:10.6	84.28	0.36	49.73	0.44	30.3408	21.87909	72%	59%
26:10.8	80.53	0.38	48.32	0.46	30.6014	22.22628	73%	60%
26:11.1	84.17	0.36	49.66	0.44	30.3012	21.85053	72%	59%
26:11.3	84.74	0.36	50.84	0.44	30.5064	22.37136	73%	60%
26:11.5	84.8	0.36	50.03	0.44	30.528	22.01408	72%	59%
26:11.7	80.31	0.38	48.19	0.46	30.5178	21.92463	72%	60%
26:11.9	84.28	0.36	51.41	0.42	30.3408	21.59254	71%	61%
26:12.1	84.17	0.36	50.5	0.44	30.3012	22.22088	73%	60%
26:12.3	80.99	0.38	47.78	0.46	30.7762	21.98069	71%	59%
26:12.6	84.98	0.36	50.99	0.44	30.5928	22.43472	73%	60%
26:12.8	83.8	0.36	51.12	0.42	30.168	21.67403	72%	61%
26:13.0	83.8	0.36	50.28	0.44	30.168	22.1232	73%	60%
26:13.2	83.37	0.36	49.19	0.44	30.0132	21.64285	72%	59%
26:13.4	83.49	0.35	50.09	0.42	29.2215	21.03948	72%	60%
26:13.6	83.28	0.35	49.14	0.44	29.148	21.37381	73%	59%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
26:13.9	83.37	0.35	48.35	0.42	29.1795	20.30893	70%	58%
26:14.1	84.74	0.35	50	0.42	29.659	20.99857	71%	59%
26:14.3	84.82	0.35	50.89	0.41	29.687	20.86572	70%	60%
26:14.5	83.28	0.35	49.14	0.42	29.148	20.637	71%	59%
26:14.8	84.72	0.35	49.14	0.42	29.652	20.63779	70%	58%
26:15.0	83.28	0.35	48.3	0.44	29.148	21.25306	73%	58%
26:15.2	80.28	0.37	45.76	0.46	29.7036	21.04942	71%	57%
26:15.4	83.28	0.35	48.3	0.44	29.148	21.25306	73%	58%
26:15.6	84.8	0.35	50.03	0.42	29.68	21.01344	71%	59%
26:15.8	83.28	0.36	48.3	0.44	29.9808	21.25306	71%	58%
26:16.1	83.71	0.36	47.71	0.44	30.1356	20.99447	70%	57%
26:16.3	83.49	0.36	48.42	0.44	30.0564	21.30665	71%	58%
26:16.5	80.78	0.37	47.66	0.46	29.8886	21.92369	73%	59%
26:16.7	84.51	0.35	49.02	0.44	29.5785	21.56695	73%	58%
26:16.9	84.74	0.35	48.3	0.44	29.659	21.25279	72%	57%
26:17.2	84.8	0.35	49.18	0.42	29.68	20.65728	70%	58%
26:17.4	81.44	0.37	46.42	0.46	30.1328	21.35357	71%	57%
26:17.6	80.08	0.37	44.84	0.46	29.6296	20.62861	70%	56%
26:17.8	80.08	0.37	45.65	0.46	29.6296	20.99698	71%	57%
26:18.0	84.51	0.35	49.02	0.42	29.5785	20.58664	70%	58%
26:18.2	84.82	0.35	48.35	0.42	29.687	20.306	68%	57%
26:18.5	83.36	0.35	48.35	0.42	29.176	20.306	70%	58%
26:18.7	83.71	0.35	48.55	0.42	29.2985	20.39176	70%	58%
26:18.9	84.21	0.35	49.68	0.41	29.4735	20.3704	69%	59%
26:19.1	83.49	0.37	48.42	0.44	30.8913	21.30665	69%	58%
26:19.3	83.49	0.37	47.59	0.44	30.8913	20.93929	68%	57%
26:19.5	84.98	0.35	49.29	0.42	29.743	20.70113	70%	58%
26:19.8	83.28	0.35	49.14	0.44	29.148	21.61949	74%	59%
26:20.0	84.83	0.35	49.2	0.42	29.6905	20.66459	70%	58%
26:20.2	83.21	0.37	49.09	0.44	30.7877	21.60132	70%	59%
26:20.4	84.05	0.35	48.75	0.42	29.4175	20.47458	70%	58%
26:20.7	83.83	0.35	49.46	0.42	29.3405	20.77307	71%	59%
26:20.8	80.99	0.37	48.59	0.44	29.9663	21.38136	71%	60%
26:21.1	80.19	0.37	47.31	0.44	29.6703	20.81732	70%	59%
26:21.3	84.28	0.35	50.57	0.4	29.498	20.2272	69%	60%
26:21.5	83.94	0.35	49.52	0.42	29.379	20.80033	71%	59%

Waktu	Vin (V)	lin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
26:21.8	84.28	0.35	48.88	0.42	29.498	20.53061	70%	58%
26:21.9	83.94	0.35	49.52	0.42	29.379	20.80033	71%	59%
26:22.2	83.83	0.35	50.3	0.4	29.3405	20.1192	69%	60%
26:22.4	83.49	0.35	49.26	0.42	29.2215	20.68882	71%	59%
26:22.6	83.37	0.35	48.35	0.42	29.1795	20.30893	70%	58%
26:22.8	63.71	0.33	37.59	0.39	21.0243	14.65967	70%	59%

Tabel 2 Data Pengujian MPPT Start Duty Cycle 50%

Waktu	Vin (V)	lin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
21:32.0	69.97	0.36	35.61	0.48	25.1892	17.0928	68%	50%
21:32.2	70.99	0.39	36.41	0.55	27.6861	20.0255	72%	50%
21:32.4	71.68	0.39	36.86	0.55	27.9552	20.273	73%	50%
21:32.7	71.9	0.39	36.98	0.48	28.041	17.7504	63%	50%
21:32.9	72.25	0.39	36.86	0.55	28.1775	20.273	72%	50%
21:33.1	72.36	0.39	36.32	0.55	28.2204	19.976	71%	50%
21:33.3	72.47	0.39	36.54	0.55	28.2633	20.097	71%	50%
21:33.5	72.7	0.4	36.66	0.55	29.08	20.163	69%	50%
21:33.8	72.7	0.4	36.54	0.55	29.08	20.097	69%	50%
21:34.0	72.7	0.4	36.32	0.55	29.08	19.976	69%	50%
21:34.2	72.7	0.4	36.43	0.55	29.08	20.0365	69%	50%
21:34.4	72.47	0.4	36.09	0.54	28.988	19.4886	67%	50%
21:34.7	72.7	0.4	36.2	0.55	29.08	19.91	68%	50%
21:34.8	72.47	0.4	36.43	0.55	28.988	20.0365	69%	50%
21:35.1	72.59	0.41	36.43	0.54	29.7619	19.6722	66%	50%
21:35.3	72.59	0.41	36.2	0.54	29.7619	19.548	66%	50%
21:35.5	72.7	0.41	36.43	0.55	29.807	20.0365	67%	50%
21:35.7	72.7	0.41	36.2	0.55	29.807	19.91	67%	50%
21:35.9	72.7	0.41	36.43	0.54	29.807	19.6722	66%	50%
21:36.2	72.47	0.41	36.09	0.54	29.7127	19.4886	66%	50%
21:36.4	72.59	0.41	36.2	0.54	29.7619	19.548	66%	50%
21:36.6	72.81	0.41	36.43	0.54	29.8521	19.6722	66%	50%
21:36.8	72.93	0.41	36.43	0.54	29.9013	19.6722	66%	50%
21:37.0	72.81	0.41	36.54	0.55	29.8521	20.097	67%	50%
21:37.3	72.81	0.41	36.43	0.55	29.8521	20.0365	67%	50%
21:37.5	72.81	0.41	36.2	0.54	29.8521	19.548	65%	50%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
21:37.7	72.59	0.41	36.66	0.55	29.7619	20.163	68%	50%
21:37.9	72.7	0.41	36.43	0.54	29.807	19.6722	66%	50%
21:38.1	72.7	0.4	36.43	0.55	29.08	20.0365	69%	50%
21:38.3	72.81	0.4	36.43	0.55	29.124	20.0365	69%	50%
21:38.6	72.7	0.4	36.54	0.55	29.08	20.097	69%	50%
21:38.8	72.7	0.41	36.32	0.54	29.807	19.6128	66%	50%
21:39.0	72.59	0.4	36.2	0.55	29.036	19.91	69%	50%
21:39.2	72.81	0.4	36.2	0.55	29.124	19.91	68%	50%
21:39.4	72.7	0.4	36.32	0.55	29.08	19.976	69%	50%
21:39.7	72.7	0.4	36.43	0.55	29.08	20.0365	69%	50%
21:39.9	72.7	0.4	36.09	0.55	29.08	19.8495	68%	50%
21:40.1	72.7	0.4	36.2	0.55	29.08	19.91	68%	50%
21:40.3	72.7	0.4	36.2	0.55	29.08	19.91	68%	50%
21:40.5	72.59	0.41	36.09	0.54	29.7619	19.4886	65%	50%
21:40.8	72.47	0.4	36.09	0.54	28.988	19.4886	67%	50%
21:41.0	72.81	0.41	36.54	0.55	29.8521	20.097	67%	50%
21:41.2	72.93	0.41	36.54	0.54	29.9013	19.7316	66%	50%
21:41.4	73.04	0.4	36.66	0.54	29.216	19.7964	68%	50%
21:41.6	72.93	0.4	36.66	0.55	29.172	20.163	69%	50%
21:41.8	73.04	0.4	36.66	0.55	29.216	20.163	69%	50%
21:42.1	73.04	0.4	36.54	0.55	29.216	20.097	69%	50%
21:42.3	73.04	0.4	36.77	0.54	29.216	19.8558	68%	50%
21:42.5	72.93	0.41	36.66	0.55	29.9013	20.163	67%	50%
21:42.7	73.04	0.41	36.66	0.55	29.9464	20.163	67%	50%
21:43.0	73.04	0.41	36.66	0.54	29.9464	19.7964	66%	50%
21:43.2	73.16	0.41	36.66	0.54	29.9956	19.7964	66%	50%
21:43.4	73.16	0.4	36.77	0.55	29.264	20.2235	69%	50%
21:43.6	73.16	0.4	36.66	0.55	29.264	20.163	69%	50%
21:43.8	73.16	0.41	36.66	0.54	29.9956	19.7964	66%	50%
21:44.0	72.81	0.41	36.77	0.55	29.8521	20.2235	68%	50%
21:44.2	72.93	0.4	36.66	0.55	29.172	20.163	69%	50%
21:44.4	73.16	0.4	36.66	0.55	29.264	20.163	69%	50%
21:44.7	73.16	0.4	36.77	0.55	29.264	20.2235	69%	50%
21:44.9	73.04	0.41	36.66	0.54	29.9464	19.7964	66%	50%
21:45.1	73.04	0.4	36.43	0.54	29.216	19.6722	67%	50%
21:45.4	73.04	0.4	36.54	0.55	29.216	20.097	69%	50%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
21:45.6	73.16	0.4	36.77	0.55	29.264	20.2235	69%	50%
21:45.8	73.04	0.41	36.77	0.54	29.9464	19.8558	66%	50%
21:46.0	72.81	0.4	36.43	0.55	29.124	20.0365	69%	50%
21:46.2	73.04	0.4	36.66	0.55	29.216	20.163	69%	50%
21:46.4	73.04	0.4	36.77	0.54	29.216	19.8558	68%	50%
21:46.6	73.04	0.41	36.66	0.54	29.9464	19.7964	66%	50%
21:46.9	72.93	0.41	36.66	0.55	29.9013	20.163	67%	50%
21:47.1	72.93	0.4	36.43	0.55	29.172	20.0365	69%	50%
21:47.3	73.04	0.4	36.77	0.54	29.216	19.8558	68%	50%
21:47.5	73.04	0.41	36.66	0.54	29.9464	19.7964	66%	50%
21:47.7	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:47.9	73.04	0.4	36.54	0.55	29.216	20.097	69%	50%
21:48.2	73.04	0.4	36.77	0.55	29.216	20.2235	69%	50%
21:48.4	73.04	0.41	36.54	0.55	29.9464	20.097	67%	50%
21:48.6	72.93	0.4	36.66	0.55	29.172	20.163	69%	50%
21:48.8	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:49.0	73.16	0.4	36.77	0.54	29.264	19.8558	68%	50%
21:49.2	72.93	0.41	36.66	0.54	29.9013	19.7964	66%	50%
21:49.5	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:49.7	72.81	0.4	36.32	0.55	29.124	19.976	69%	50%
21:49.9	72.81	0.41	36.54	0.55	29.8521	20.097	67%	50%
21:50.1	72.81	0.41	36.2	0.55	29.8521	19.91	67%	50%
21:50.4	72.7	0.4	36.32	0.54	29.08	19.6128	67%	50%
21:50.6	72.81	0.4	36.43	0.54	29.124	19.6722	68%	50%
21:50.8	73.16	0.4	36.77	0.55	29.264	20.2235	69%	50%
21:51.0	72.93	0.41	36.43	0.55	29.9013	20.0365	67%	50%
21:51.2	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:51.4	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:51.6	73.04	0.41	36.2	0.54	29.9464	19.548	65%	50%
21:51.9	73.04	0.41	36.43	0.54	29.9464	19.6722	66%	50%
21:52.1	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:52.3	72.7	0.4	36.2	0.55	29.08	19.91	68%	50%
21:52.6	72.81	0.4	36.09	0.54	29.124	19.4886	67%	50%
21:52.8	72.59	0.42	36.63	0.55	30.4878	20.1465	66%	50%
21:53.0	72.59	0.4	36.86	0.54	29.036	19.9044	69%	50%
21:53.2	72.59	0.4	36.2	0.55	29.036	19.91	69%	50%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
21:53.4	72.7	0.4	36.32	0.54	29.08	19.6128	67%	50%
21:53.7	72.93	0.42	36.32	0.54	30.6306	19.6128	64%	50%
21:53.9	72.93	0.4	36.66	0.54	29.172	19.7964	68%	50%
21:54.1	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:54.3	73.27	0.4	36.54	0.54	29.308	19.7316	67%	50%
21:54.5	73.04	0.42	36.2	0.54	30.6768	19.548	64%	50%
21:54.7	73.16	0.4	36.66	0.54	29.264	19.7964	68%	50%
21:55.0	73.04	0.4	36.43	0.54	29.216	19.6722	67%	50%
21:55.2	73.16	0.41	36.66	0.55	29.9956	20.163	67%	50%
21:55.4	73.27	0.41	36.54	0.54	30.0407	19.7316	66%	50%
21:55.6	73.16	0.41	36.77	0.55	29.9956	20.2235	67%	50%
21:55.8	73.04	0.4	36.43	0.55	29.216	20.0365	69%	50%
21:56.0	73.16	0.4	36.77	0.55	29.264	20.2235	69%	50%
21:56.3	73.04	0.41	36.2	0.54	29.9464	19.548	65%	50%
21:56.5	72.93	0.4	36.43	0.55	29.172	20.0365	69%	50%
21:56.7	72.81	0.4	36.54	0.55	29.124	20.097	69%	50%
21:56.9	73.04	0.41	36.54	0.54	29.9464	19.7316	66%	50%
21:57.1	73.04	0.41	36.98	0.55	29.9464	20.339	68%	50%
21:57.3	72.93	0.4	36.54	0.55	29.172	20.097	69%	50%
21:57.6	72.81	0.41	36.2	0.55	29.8521	19.91	67%	50%
21:57.8	72.93	0.4	36.43	0.55	29.172	20.0365	69%	50%
21:58.0	72.93	0.41	36.32	0.55	29.9013	19.976	67%	50%
21:58.2	72.93	0.4	36.43	0.55	29.172	20.0365	69%	50%
21:58.4	72.81	0.4	36.32	0.55	29.124	19.976	69%	50%
21:58.7	72.59	0.41	36.09	0.54	29.7619	19.4886	65%	50%
21:58.9	72.7	0.4	36.98	0.55	29.08	20.339	70%	50%
21:59.1	72.59	0.4	36.54	0.54	29.036	19.7316	68%	50%
21:59.3	72.59	0.4	36.09	0.54	29.036	19.4886	67%	50%
21:59.5	72.81	0.41	36.32	0.55	29.8521	19.976	67%	50%
21:59.7	72.93	0.4	36.2	0.54	29.172	19.548	67%	50%
22:00.0	72.93	0.41	36.2	0.55	29.9013	19.91	67%	50%
22:00.2	72.59	0.41	36.98	0.54	29.7619	19.9692	67%	50%
22:00.4	72.7	0.41	36.86	0.55	29.807	20.273	68%	50%
22:00.6	72.93	0.4	36.2	0.54	29.172	19.548	67%	50%
22:00.8	72.81	0.41	36.54	0.54	29.8521	19.7316	66%	50%
22:01.1	72.7	0.41	36.43	0.55	29.807	20.0365	67%	50%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
22:01.3	72.7	0.4	36.98	0.55	29.08	20.339	70%	50%
22:01.5	72.81	0.4	36.2	0.55	29.124	19.91	68%	50%
22:01.7	72.81	0.41	36.32	0.54	29.8521	19.6128	66%	50%
22:02.0	72.59	0.41	36.98	0.54	29.7619	19.9692	67%	50%
22:02.2	72.59	0.4	36.98	0.54	29.036	19.9692	69%	50%
22:02.4	72.93	0.4	36.2	0.54	29.172	19.548	67%	50%
22:02.6	72.93	0.41	36.32	0.54	29.9013	19.6128	66%	50%
22:02.8	72.93	0.41	36.43	0.55	29.9013	20.0365	67%	50%
22:03.0	72.81	0.41	36.43	0.55	29.8521	20.0365	67%	50%
22:03.2	72.93	0.41	37.2	0.54	29.9013	20.088	67%	50%
22:03.4	72.93	0.41	37.02	0.55	29.9013	20.361	68%	51%
22:03.7	72.81	0.41	37.68	0.55	29.8521	20.724	69%	52%
22:03.9	72.59	0.41	38.34	0.54	29.7619	20.7036	70%	53%
22:04.1	72.93	0.41	37.77	0.55	29.9013	20.7735	69%	52%
22:04.3	73.04	0.4	37.08	0.55	29.216	20.394	70%	51%
22:04.5	73.04	0.4	37.83	0.55	29.216	20.8065	71%	52%
22:04.8	73.04	0.42	38.56	0.54	30.6768	20.8224	68%	53%
22:05.0	73.27	0.42	39.41	0.54	30.7734	21.2814	69%	54%
22:05.2	73.38	0.42	40.21	0.53	30.8196	21.3113	69%	55%
22:05.4	73.27	0.42	40.88	0.53	30.7734	21.6664	70%	56%
22:05.6	73.27	0.42	41.62	0.52	30.7734	21.6424	70%	57%
22:05.9	73.61	0.42	41.07	0.53	30.9162	21.7671	70%	56%
22:06.1	73.61	0.42	40.34	0.53	30.9162	21.3802	69%	55%
22:06.3	73.5	0.42	41.01	0.53	30.87	21.7353	70%	56%
22:06.5	73.5	0.42	41.75	0.52	30.87	21.71	70%	57%
22:06.7	73.61	0.42	41.05	0.53	30.9162	21.7565	70%	56%
22:07.0	73.61	0.42	40.34	0.53	30.9162	21.3802	69%	55%
22:07.2	73.38	0.42	40.94	0.53	30.8196	21.6982	70%	56%
22:07.4	73.38	0.42	41.68	0.52	30.8196	21.6736	70%	57%
22:07.6	73.61	0.41	41.07	0.53	30.1801	21.7671	72%	56%
22:07.8	73.5	0.42	40.28	0.54	30.87	21.7512	70%	55%
22:08.0	73.38	0.42	40.94	0.53	30.8196	21.6982	70%	56%
22:08.3	73.38	0.42	40.21	0.54	30.8196	21.7134	70%	55%
22:08.5	75.32	0.41	40.52	0.54	30.8812	21.8808	71%	54%
22:08.7	73.5	0.42	40.28	0.54	30.87	21.7512	70%	55%
22:08.9	73.27	0.42	40.88	0.53	30.7734	21.6664	70%	56%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
22:09.1	73.38	0.42	40.21	0.54	30.8196	21.7134	70%	55%
22:09.4	73.38	0.41	39.48	0.54	30.0858	21.3192	71%	54%
22:09.6	73.16	0.42	40.09	0.54	30.7272	21.6486	70%	55%
22:09.8	72.93	0.42	40.7	0.53	30.6306	21.571	70%	56%
22:10.0	73.04	0.41	40.02	0.54	29.9464	21.6108	72%	55%
22:10.2	73.04	0.41	39.3	0.54	29.9464	21.222	71%	54%
22:10.5	73.04	0.41	40.02	0.54	29.9464	21.6108	72%	55%
22:10.7	72.93	0.42	40.7	0.53	30.6306	21.571	70%	56%
22:10.9	73.04	0.41	40.02	0.54	29.9464	21.6108	72%	55%
22:11.1	73.38	0.41	39.48	0.54	30.0858	21.3192	71%	54%
22:11.3	74.18	0.42	40.65	0.53	31.1556	21.5445	69%	55%
22:11.5	73.16	0.42	40.82	0.53	30.7272	21.6346	70%	56%
22:11.8	73.27	0.41	41.62	0.52	30.0407	21.6424	72%	57%
22:12.0	73.38	0.42	42.41	0.52	30.8196	22.0532	72%	58%
22:12.2	73.27	0.41	43.08	0.5	30.0407	21.54	72%	59%
22:12.4	73.16	0.42	42.28	0.52	30.7272	21.9856	72%	58%
22:12.6	73.27	0.41	41.62	0.52	30.0407	21.6424	72%	57%
22:12.8	73.27	0.42	42.35	0.52	30.7734	22.022	72%	58%
22:13.1	73.04	0.42	42.95	0.5	30.6768	21.475	70%	59%
22:13.3	73.16	0.42	42.28	0.52	30.7272	21.9856	72%	58%
22:13.5	74.86	0.42	42.52	0.52	31.4412	22.1104	70%	57%
22:13.7	73.38	0.41	42.41	0.52	30.0858	22.0532	73%	58%
22:13.9	73.38	0.42	43.15	0.5	30.8196	21.575	70%	59%
22:14.1	73.16	0.42	42.29	0.51	30.7272	21.5679	70%	58%
22:14.4	73.27	0.42	43.08	0.5	30.7734	21.54	70%	59%
22:14.6	73.5	0.41	42.48	0.51	30.135	21.6648	72%	58%
22:14.8	73.38	0.41	41.68	0.51	30.0858	21.2568	71%	57%
22:15.0	73.27	0.42	42.35	0.51	30.7734	21.5985	70%	58%
22:15.2	73.61	0.41	43.28	0.5	30.1801	21.64	72%	59%
22:15.5	73.5	0.41	43.95	0.5	30.135	21.975	73%	60%
22:15.7	74.52	0.42	45.31	0.49	31.2984	22.2019	71%	61%
22:15.9	73.5	0.42	45.42	0.49	30.87	22.2558	72%	62%
22:16.1	73.72	0.42	46.3	0.47	30.9624	21.761	70%	63%
22:16.4	73.72	0.42	45.56	0.49	30.9624	22.3244	72%	62%
22:16.6	74.52	0.41	45.31	0.49	30.5532	22.2019	73%	61%
22:16.8	73.38	0.42	45.35	0.49	30.8196	22.2215	72%	62%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
22:17.0	73.61	0.41	46.23	0.47	30.1801	21.7281	72%	63%
22:17.2	73.72	0.42	45.56	0.49	30.9624	22.3244	72%	62%
22:17.4	73.27	0.42	44.55	0.49	30.7734	21.8295	71%	61%
22:17.7	73.27	0.42	45.28	0.49	30.7734	22.1872	72%	62%
22:17.9	73.38	0.41	46.05	0.47	30.0858	21.6435	72%	63%
22:18.1	73.27	0.41	45.28	0.49	30.0407	22.1872	74%	62%
22:18.3	73.16	0.42	44.48	0.49	30.7272	21.7952	71%	61%
22:18.5	73.38	0.42	45.35	0.49	30.8196	22.2215	72%	62%
22:18.7	73.5	0.41	46.16	0.47	30.135	21.6952	72%	63%
22:18.9	73.84	0.42	45.63	0.49	31.0128	22.3587	72%	62%
22:19.2	73.16	0.42	44.48	0.49	30.7272	21.7952	71%	61%
22:19.4	73.73	0.42	45.55	0.47	30.9666	21.4085	69%	62%
22:19.6	73.38	0.42	44.61	0.49	30.8196	21.8589	71%	61%
22:19.8	74.86	0.41	44.76	0.49	30.6926	21.9324	71%	60%
22:20.0	73.27	0.42	44.55	0.49	30.7734	21.8295	71%	61%
22:20.3	73.27	0.42	45.28	0.47	30.7734	21.2816	69%	62%
22:20.5	73.5	0.42	44.7	0.48	30.87	21.456	70%	61%
22:20.7	73.27	0.41	43.81	0.49	30.0407	21.4669	71%	60%
22:20.9	73.16	0.42	43.02	0.49	30.7272	21.0798	69%	59%
22:21.2	73.27	0.42	43.81	0.49	30.7734	21.4669	70%	60%
22:21.4	73.27	0.42	44.55	0.49	30.7734	21.8295	71%	61%
22:21.6	73.16	0.41	45.21	0.47	29.9956	21.2487	71%	62%
22:21.8	73.04	0.42	44.41	0.49	30.6768	21.7609	71%	61%
22:22.0	73.27	0.42	43.81	0.49	30.7734	21.4669	70%	60%
22:22.2	73.38	0.42	44.61	0.49	30.8196	21.8589	71%	61%
22:22.4	73.04	0.41	45.14	0.47	29.9464	21.2158	71%	62%
22:22.7	72.81	0.41	44.27	0.47	29.8521	20.8069	70%	61%
22:22.9	73.04	0.42	45.14	0.47	30.6768	21.2158	69%	62%
22:23.1	73.16	0.42	45.94	0.47	30.7272	21.5918	70%	63%
22:23.3	73.04	0.41	46.6	0.45	29.9464	20.97	70%	64%
22:23.6	73.04	0.41	45.87	0.47	29.9464	21.5589	72%	63%
22:23.8	73.04	0.42	45.14	0.47	30.6768	21.2158	69%	62%
22:24.0	73.16	0.41	45.94	0.47	29.9956	21.5918	72%	63%
22:24.2	73.04	0.41	46.6	0.45	29.9464	20.97	70%	64%
22:24.4	72.81	0.41	45.72	0.45	29.8521	20.574	69%	63%
22:24.6	72.93	0.42	46.53	0.45	30.6306	20.9385	68%	64%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
22:24.9	73.04	0.41	47.33	0.44	29.9464	20.8252	70%	65%
22:25.1	72.93	0.44	46.53	0.47	32.0892	21.8691	68%	64%
22:25.3	72.81	0.41	45.72	0.45	29.8521	20.574	69%	63%
22:25.5	73.5	0.42	46.89	0.47	30.87	22.0383	71%	64%
22:25.7	73.04	0.41	47.33	0.44	29.9464	20.8252	70%	65%
22:26.0	72.7	0.41	46.38	0.45	29.807	20.871	70%	64%
22:26.2	72.59	0.41	45.58	0.47	29.7619	21.4226	72%	63%
22:26.4	72.93	0.42	45.07	0.47	30.6306	21.1829	69%	62%
22:26.6	72.93	0.41	45.8	0.47	29.9013	21.526	72%	63%
22:26.8	72.93	0.41	46.53	0.45	29.9013	20.9385	70%	64%
22:27.0	72.81	0.42	45.72	0.47	30.5802	21.4884	70%	63%
22:27.2	72.93	0.42	45.07	0.47	30.6306	21.1829	69%	62%
22:27.5	72.93	0.42	45.8	0.47	30.6306	21.526	70%	63%
22:27.7	72.7	0.41	46.38	0.45	29.807	20.871	70%	64%
22:27.9	72.59	0.42	45.58	0.47	30.4878	21.4226	70%	63%
22:28.1	72.7	0.42	44.93	0.48	30.534	21.5664	71%	62%
22:28.3	72.93	0.41	44.34	0.48	29.9013	21.2832	71%	61%
22:28.6	72.7	0.44	44.93	0.48	31.988	21.5664	67%	62%
22:28.8	72.59	0.42	45.58	0.47	30.4878	21.4226	70%	63%
22:29.0	72.7	0.42	44.93	0.48	30.534	21.5664	71%	62%
22:29.2	72.81	0.41	44.27	0.48	29.8521	21.2496	71%	61%
22:29.5	72.81	0.41	45	0.47	29.8521	21.15	71%	62%
22:29.7	72.59	0.42	44.13	0.48	30.4878	21.1824	69%	61%
22:29.9	72.7	0.42	43.34	0.49	30.534	21.2366	70%	60%
22:30.1	75.09	0.42	44.15	0.49	31.5378	21.6335	69%	59%
22:30.3	72.13	0.42	43	0.49	30.2946	21.07	70%	60%
22:30.5	72.47	0.42	44.06	0.49	30.4374	21.5894	71%	61%
22:30.7	72.47	0.42	44.74	0.49	30.4374	21.9226	72%	62%
22:31.0	74.98	0.42	47.09	0.47	31.4916	22.1323	70%	63%
22:31.2	72.47	0.41	46.23	0.47	29.7127	21.7281	73%	64%
22:31.4	72.47	0.41	45.51	0.47	29.7127	21.3897	72%	63%
22:31.6	72.47	0.42	46.23	0.47	30.4374	21.7281	71%	64%
22:31.9	71.59	0.42	46.39	0.47	30.0678	21.8033	73%	65%
22:32.0	72.7	0.41	47.83	0.44	29.807	21.0452	71%	66%
22:32.3	72.7	0.41	47.11	0.44	29.807	20.7284	70%	65%
22:32.5	72.7	0.42	47.89	0.44	30.534	21.0716	69%	66%

Waktu	Vin (V)	lin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
22:32.7	72.93	0.41	48.72	0.43	29.9013	20.9496	70%	67%
22:32.9	73.04	0.42	47.98	0.44	30.6768	21.1112	69%	66%
22:33.2	72.93	0.41	47.26	0.44	29.9013	20.7944	70%	65%
22:33.4	73.84	0.41	48.58	0.43	30.2744	20.8894	69%	66%
22:33.6	72.81	0.4	48.76	0.42	29.124	20.4792	70%	67%
22:33.8	72.93	0.4	47.89	0.44	29.172	21.0716	72%	66%
22:34.1	72.7	0.4	47.11	0.44	29.08	20.7284	71%	65%
22:34.3	72.59	0.42	47.76	0.44	30.4878	21.0144	69%	66%
22:34.5	72.93	0.41	48.84	0.42	29.9013	20.5128	69%	67%
22:34.7	73.04	0.42	48.06	0.44	30.6768	21.1464	69%	66%
22:34.9	73.04	0.42	47.33	0.44	30.6768	20.8252	68%	65%
22:35.1	72.7	0.42	47.83	0.44	30.534	21.0452	69%	66%
22:35.4	72.36	0.4	48.46	0.42	28.944	20.3532	70%	67%
22:35.6	72.7	0.4	47.83	0.44	29.08	21.0452	72%	66%
22:35.8	72.36	0.4	46.89	0.44	28.944	20.6316	71%	65%
22:36.0	64.74	0.39	42.6	0.42	25.2486	17.892	71%	66%

Tabel 3 Data Pengujian MPPT *Start Duty Cycle* 30%

Waktu	Vin (V)	lin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
30:37.8	52.79	0.44	36.95	0.45	23.2276	16.62885	72%	70%
30:38.0	53.13	0.44	37.19	0.45	23.3772	16.73595	72%	70%
30:38.2	53.02	0.44	37.11	0.45	23.3288	16.7013	72%	70%
30:38.4	53.36	0.46	37.35	0.48	24.5456	17.92896	73%	70%
30:38.6	53.25	0.46	37.28	0.48	24.495	17.892	73%	70%
30:38.9	53.25	0.46	37.28	0.48	24.495	17.892	73%	70%
30:39.1	51.43	0.46	36	0.48	23.6578	17.28048	73%	70%
30:39.3	53.47	0.46	37.43	0.48	24.5962	17.96592	73%	70%
30:39.5	53.81	0.46	37.67	0.48	24.7526	18.08016	73%	70%
30:39.8	54.16	0.46	37.91	0.48	24.9136	18.19776	73%	70%
30:39.9	52.22	0.46	36.55	0.5	24.0212	18.277	76%	70%
30:40.2	54.95	0.46	38.47	0.48	25.277	18.4632	73%	70%
30:40.4	55.41	0.46	38.79	0.48	25.4886	18.61776	73%	70%
30:40.6	55.52	0.46	38.86	0.48	25.5392	18.65472	73%	70%
30:40.8	55.75	0.46	39.03	0.48	25.645	18.732	73%	70%
30:41.0	55.41	0.46	38.79	0.48	25.4886	18.61776	73%	70%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
30:41.3	55.29	0.46	38.7	0.48	25.4334	18.57744	73%	70%
30:41.5	55.07	0.46	38.55	0.47	25.3322	18.11803	72%	70%
30:41.7	54.84	0.46	38.39	0.48	25.2264	18.42624	73%	70%
30:41.9	55.41	0.46	38.79	0.48	25.4886	18.61776	73%	70%
30:42.2	56.54	0.46	39.58	0.48	26.0084	18.99744	73%	70%
30:42.3	57.46	0.46	40.22	0.49	26.4316	19.70878	75%	70%
30:42.6	58.14	0.47	40.7	0.5	27.3258	20.349	74%	70%
30:42.8	58.48	0.47	40.94	0.5	27.4856	20.468	74%	70%
30:43.0	58.37	0.47	40.86	0.51	27.4339	20.6338	75%	70%
30:43.2	58.25	0.47	40.78	0.5	27.3775	20.3875	74%	70%
30:43.5	58.59	0.47	41.01	0.49	27.5373	20.09637	73%	70%
30:43.6	58.93	0.47	41.25	0.49	27.6971	20.21299	73%	70%
30:43.9	59.39	0.46	41.57	0.49	27.3194	20.37077	75%	70%
30:44.1	59.28	0.46	41.5	0.49	27.2688	20.33304	75%	70%
30:44.3	59.05	0.46	41.34	0.49	27.163	20.25415	75%	70%
30:44.5	58.82	0.46	41.17	0.49	27.0572	20.17526	75%	70%
30:44.8	58.93	0.46	41.25	0.49	27.1078	20.21299	75%	70%
30:45.0	59.39	0.46	41.57	0.49	27.3194	20.37077	75%	70%
30:45.2	59.62	0.47	41.73	0.51	28.0214	21.07567	75%	70%
30:45.4	59.5	0.47	41.65	0.51	27.965	21.03325	75%	70%
30:45.6	59.05	0.47	41.34	0.52	27.7535	21.4942	77%	70%
30:45.9	58.93	0.49	41.25	0.51	28.8757	20.83176	72%	70%
30:46.1	59.28	0.46	41.5	0.5	27.2688	20.748	76%	70%
30:46.3	59.5	0.46	41.65	0.5	27.37	20.825	76%	70%
30:46.5	59.73	0.46	41.81	0.51	27.4758	21.11456	77%	70%
30:46.7	59.5	0.46	41.65	0.51	27.37	21.03325	77%	70%
30:46.9	59.5	0.46	41.65	0.51	27.37	21.03325	77%	70%
30:47.2	59.62	0.46	41.73	0.51	27.4252	21.07567	77%	70%
30:47.4	59.96	0.46	41.97	0.51	27.5816	21.19586	77%	70%
30:47.6	60.41	0.47	42.29	0.51	28.63434	21.35494	75%	70%
30:47.8	60.3	0.47	42.21	0.52	28.5822	21.9492	77%	70%
30:48.0	60.19	0.47	42.13	0.52	28.53006	21.90916	77%	70%
30:48.3	60.3	0.47	42.21	0.51	28.5822	21.31605	75%	70%
30:48.5	60.64	0.47	42.45	0.51	28.74336	21.43624	75%	70%
30:48.7	60.98	0.47	42.69	0.51	28.90452	21.55643	75%	70%
30:48.9	60.75	0.47	42.53	0.51	28.7955	21.47513	75%	70%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
30:49.1	60.87	0.47	42.61	0.51	28.85238	21.51755	75%	70%
30:49.3	61.32	0.47	42.92	0.5	29.06568	21.462	74%	70%
30:49.6	61.44	0.47	43.01	0.5	29.12256	21.504	74%	70%
30:49.8	61.21	0.47	42.85	0.5	29.01354	21.4235	74%	70%
30:50.0	61.1	0.47	42.77	0.5	28.9614	21.385	74%	70%
30:50.2	61.32	0.47	42.92	0.5	29.06568	21.462	74%	70%
30:50.4	61.44	0.47	43.01	0.5	29.12256	21.504	74%	70%
30:50.6	61.32	0.47	42.92	0.5	29.06568	21.462	74%	70%
30:50.9	61.1	0.47	42.77	0.5	28.9614	21.385	74%	70%
30:51.1	61.21	0.47	42.85	0.5	29.01354	21.4235	74%	70%
30:51.3	61.32	0.47	42.92	0.5	29.06568	21.462	74%	70%
30:51.5	61.1	0.47	42.77	0.51	28.9614	21.59885	75%	70%
30:51.8	60.64	0.49	42.45	0.51	29.7136	21.43624	72%	70%
30:52.0	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.39736	72%	70%
30:52.2	60.64	0.49	42.45	0.51	29.7136	21.43624	72%	70%
30:52.4	60.87	0.49	42.61	0.5	29.8263	21.3045	71%	70%
30:52.6	60.75	0.49	42.53	0.5	29.7675	21.2625	71%	70%
30:52.8	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:53.1	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:53.3	60.64	0.47	42.45	0.51	28.74336	21.43624	75%	70%
30:53.5	60.87	0.49	42.61	0.51	29.8263	21.51755	72%	70%
30:53.7	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.39736	72%	70%
30:53.9	60.07	0.49	42.05	0.52	29.4343	21.86548	74%	70%
30:54.1	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:54.4	60.53	0.49	42.37	0.5	29.6597	21.185	71%	70%
30:54.6	60.75	0.47	42.53	0.51	28.7955	21.47513	75%	70%
30:54.8	60.41	0.47	42.29	0.51	28.63434	21.35494	75%	70%
30:55.0	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
30:55.2	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:55.5	60.53	0.47	42.37	0.51	28.69122	21.39736	75%	70%
30:55.7	60.64	0.47	42.45	0.49	28.74336	20.79952	72%	70%
30:55.9	60.3	0.47	42.21	0.51	28.5822	21.31605	75%	70%
30:56.1	60.07	0.49	42.05	0.52	29.4343	21.86548	74%	70%
30:56.3	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:56.5	60.64	0.49	42.45	0.5	29.7136	21.224	71%	70%
30:56.8	60.64	0.49	42.45	0.5	29.7136	21.224	71%	70%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
30:57.0	60.3	0.49	42.21	0.52	29.547	21.9492	74%	70%
30:57.2	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.19586	72%	70%
30:57.4	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:57.7	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.39736	72%	70%
30:57.8	60.64	0.49	42.45	0.5	29.7136	21.225	71%	70%
30:58.1	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
30:58.3	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%
30:58.5	60.07	0.49	42.05	0.52	29.4343	21.86548	74%	70%
30:58.7	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
30:58.9	60.64	0.49	42.45	0.51	29.7136	21.43624	72%	70%
30:59.2	60.19	0.49	42.13	0.52	29.4931	21.90916	74%	70%
30:59.4	59.84	0.47	41.89	0.52	28.1248	21.78176	77%	70%
30:59.6	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
30:59.8	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
31:00.0	60.53	0.49	42.37	0.52	29.6597	22.03292	74%	70%
31:00.3	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:00.5	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%
31:00.7	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:00.9	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.6087	72%	70%
31:01.1	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.6087	72%	70%
31:01.3	60.07	0.47	42.05	0.49	28.2329	20.60401	73%	70%
31:01.6	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%
31:01.8	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:02.0	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.6087	72%	70%
31:02.2	60.53	0.49	42.37	0.51	29.6597	21.6087	72%	70%
31:02.4	60.07	0.49	42.05	0.52	29.4343	21.86548	74%	70%
31:02.7	59.84	0.47	41.89	0.51	28.1248	21.15344	75%	70%
31:02.9	60.19	0.49	42.13	0.52	29.4931	21.90916	74%	70%
31:03.1	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
31:03.3	60.41	0.49	42.29	0.52	29.6009	21.98924	74%	70%
31:03.5	60.07	0.49	42.05	0.52	29.4343	21.86548	74%	70%
31:03.8	59.96	0.47	41.97	0.52	28.1812	21.82544	77%	70%
31:04.0	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:04.2	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
31:04.4	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
31:04.6	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:04.8	59.84	0.47	41.89	0.51	28.1248	21.15344	75%	70%
31:05.1	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:05.3	60.41	0.49	42.29	0.51	29.6009	21.35494	72%	70%
31:05.5	60.3	0.49	42.21	0.51	29.547	21.31605	72%	70%
31:05.7	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.4047	72%	70%
31:06.0	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%
31:06.1	60.19	0.49	42.13	0.49	29.4931	20.64517	70%	70%
31:06.4	60.3	0.49	42.21	0.51	29.547	21.31605	72%	70%
31:06.6	60.3	0.49	42.21	0.51	29.547	21.31605	72%	70%
31:06.8	59.84	0.47	41.89	0.51	28.1248	21.15344	75%	70%
31:07.0	59.84	0.47	41.89	0.51	28.1248	21.15344	75%	70%
31:07.2	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:07.4	60.3	0.49	42.21	0.5	29.547	21.105	71%	70%
31:07.7	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:07.9	59.84	0.47	41.89	0.51	28.1248	21.15344	75%	70%
31:08.1	59.73	0.49	41.81	0.51	29.2677	21.11456	72%	70%
31:08.3	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:08.6	60.19	0.47	42.13	0.51	28.2893	21.27717	75%	70%
31:08.8	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:09.0	59.73	0.49	41.81	0.51	29.2677	21.11456	72%	70%
31:09.2	59.73	0.47	41.81	0.51	28.0731	21.11456	75%	70%
31:09.4	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.19586	72%	70%
31:09.7	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:09.9	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:10.1	59.84	0.47	41.89	0.49	28.1248	20.52512	73%	70%
31:10.3	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%
31:10.5	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.19586	72%	70%
31:10.7	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:11.0	60.19	0.49	42.13	0.51	29.4931	21.27717	72%	70%
31:11.2	59.84	0.47	41.89	0.49	28.1248	20.52512	73%	70%
31:11.4	59.84	0.47	41.89	0.49	28.1248	20.52512	73%	70%
31:11.6	59.84	0.49	41.89	0.49	29.3216	20.52512	70%	70%
31:11.9	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:12.1	60.19	0.49	42.13	0.5	29.4931	21.0665	71%	70%
31:12.3	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.19586	72%	70%
31:12.5	59.84	0.49	41.89	0.51	29.3216	21.15344	72%	70%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:12.7	59.73	0.47	41.81	0.51	28.0731	21.11456	75%	70%
31:12.9	59.96	0.47	41.97	0.51	28.1812	21.19586	75%	70%
31:13.1	60.19	0.49	42.13	0.5	29.4931	21.0665	71%	70%
31:13.4	60.07	0.49	42.05	0.51	29.4343	21.23475	72%	70%
31:13.6	59.96	0.49	41.97	0.5	29.3804	20.986	71%	70%
31:13.8	59.96	0.49	41.97	0.5	29.3804	20.986	71%	70%
31:14.0	59.96	0.49	41.97	0.5	29.3804	20.986	71%	70%
31:14.2	59.19	0.49	41.43	0.52	29.0031	21.54516	74%	70%
31:14.4	59.96	0.49	41.97	0.51	29.3804	21.40572	73%	70%
31:14.7	58.93	0.49	40.66	0.52	28.8757	21.14408	73%	69%
31:14.9	58.02	0.49	40.61	0.52	28.4298	21.28174	75%	70%
31:15.1	56.89	0.5	39.25	0.54	28.445	21.35423	75%	69%
31:15.3	55.86	0.53	37.98	0.54	29.3265	20.66373	70%	68%
31:15.5	55.29	0.53	38.15	0.54	29.3037	20.60105	70%	69%
31:15.8	54.16	0.55	36.83	0.56	29.788	20.62413	69%	68%
31:16.0	53.36	0.55	35.75	0.56	29.348	20.02067	68%	67%
31:16.2	50.97	0.57	34.66	0.58	29.0529	20.10257	69%	68%
31:16.4	51.08	0.57	34.22	0.59	29.1156	20.1898	68%	67%
31:16.6	49.83	0.59	32.88	0.61	29.3997	20.0568	70%	66%
31:16.9	48.87	0.59	32.74	0.63	28.8333	20.759	72%	67%
31:17.1	46.99	0.62	31.01	0.66	29.1338	20.5929	71%	66%
31:17.3	44.94	0.62	30.11	0.67	28.04256	20.1737	71%	67%
31:17.5	44.03	0.62	29.94	0.69	27.2986	20.6586	74%	68%
31:17.7	43.35	0.64	29.04	0.7	27.744	20.328	72%	67%
31:18.0	41.98	0.64	28.55	0.71	26.8672	20.2705	74%	68%
31:18.2	40.62	0.64	27.22	0.74	25.9968	20.1428	73%	67%
31:18.4	39.93	0.66	27.15	0.76	26.3538	20.634	74%	68%
31:18.6	40.57	0.66	27.18	0.76	26.7762	20.6568	73%	67%
31:18.8	42	0.66	27.72	0.74	27.72	20.5128	70%	66%
31:19.1	45.44	0.62	29.54	0.68	28.1728	20.08448	71%	65%
31:19.2	47.09	0.62	31.08	0.66	29.1958	20.5124	70%	66%
31:19.5	46.41	0.62	31.09	0.66	28.7742	20.5225	71%	67%
31:19.7	45.61	0.62	31.01	0.67	28.2782	20.71789	73%	68%
31:19.9	45.46	0.62	30.46	0.68	28.1852	20.74203	74%	67%
31:20.1	46.9	0.62	30.95	0.67	29.078	20.73918	71%	66%
31:20.4	47.02	0.62	30.56	0.68	29.1524	20.78284	71%	65%

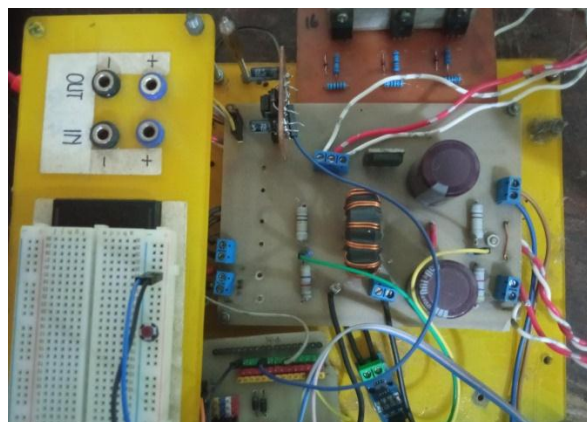
Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:20.6	46.45	0.62	29.73	0.68	28.799	20.21504	70%	64%
31:20.8	49.77	0.6	32.35	0.66	29.862	21.35133	72%	65%
31:21.0	52.08	0.57	34.37	0.62	29.6856	21.31114	72%	66%
31:21.2	51.51	0.57	33.48	0.63	29.3607	21.09335	72%	65%
31:21.4	51.86	0.57	34.23	0.63	29.5602	21.56339	73%	66%
31:21.7	51.51	0.57	34.51	0.62	29.3607	21.397	73%	67%
31:21.9	50.85	0.57	33.56	0.63	28.9845	21.814	75%	66%
31:22.1	50.05	0.59	32.53	0.65	29.5295	21.14613	72%	65%
31:22.3	51.4	0.57	33.92	0.62	29.298	21.03288	72%	66%
31:22.5	51.74	0.57	33.63	0.62	29.4918	20.85122	71%	65%
31:22.8	50.94	0.58	33.62	0.65	29.5452	21.85326	74%	66%
31:23.0	51.56	0.58	33.51	0.64	29.9048	21.44896	72%	65%
31:23.2	51.51	0.57	34	0.62	29.3607	21.07789	72%	66%
31:23.4	51.8	0.57	33.67	0.63	29.526	21.2121	72%	65%
31:23.6	51.65	0.57	33.06	0.63	29.4405	20.82528	71%	64%
31:23.8	51.4	0.57	33.41	0.62	29.298	20.7142	71%	65%
31:24.1	51.81	0.58	33.16	0.65	30.0498	21.55296	72%	64%
31:24.3	51.86	0.58	32.67	0.65	30.0788	21.23667	71%	63%
31:24.5	51.4	0.58	32.9	0.66	29.812	21.71136	73%	64%
31:24.7	51.06	0.57	33.19	0.65	29.1042	21.57285	74%	65%
31:24.9	51.97	0.57	33.26	0.65	29.6229	21.61952	73%	64%
31:25.1	52.51	0.57	34.13	0.63	29.9307	21.50285	72%	65%
31:25.4	52.54	0.57	33.63	0.65	29.9478	21.85664	73%	64%
31:25.6	51.74	0.58	32.6	0.65	30.0092	21.18753	71%	63%
31:25.8	51.65	0.57	33.06	0.65	29.4405	21.4864	73%	64%
31:26.0	51.97	0.57	33.78	0.63	29.6229	21.28172	72%	65%
31:26.2	52.54	0.57	33.63	0.63	29.9478	21.18413	71%	64%
31:26.5	52.54	0.57	34.15	0.62	29.9478	21.17362	71%	65%
31:26.7	52.54	0.57	33.63	0.63	29.9478	21.18413	71%	64%
31:26.9	55.21	0.53	34.78	0.61	29.2613	21.2172	73%	63%
31:27.1	55.22	0.53	35.34	0.6	29.2666	21.20448	72%	64%
31:27.4	55.25	0.53	34.81	0.61	29.2825	21.19777	72%	63%
31:27.5	55.22	0.53	35.34	0.61	29.2666	21.55789	74%	64%
31:27.8	55.22	0.53	35.89	0.6	29.2666	21.5358	74%	65%
31:28.0	53.99	0.54	34.55	0.63	29.1546	21.76877	75%	64%
31:28.2	55.11	0.53	34.72	0.61	29.2083	21.17877	73%	63%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:28.4	54.17	0.54	33.59	0.63	29.30597	21.19239	72%	62%
31:28.7	52.86	0.54	32.24	0.65	28.5444	20.95899	73%	61%
31:28.9	52.62	0.54	32.62	0.65	28.188	21.203	75%	62%
31:29.1	52.24	0.54	32.91	0.64	28.3716	21.0624	74%	63%
31:29.3	54.62	0.54	33.86	0.63	29.6568	21.3318	70%	62%
31:29.5	52.92	0.53	32.28	0.65	28.0476	20.982	70%	61%
31:29.7	48.64	0.59	30.16	0.7	28.6976	21.112	71%	62%
31:30.0	48.44	0.59	29.55	0.71	28.5796	20.9805	71%	61%
31:30.2	44.99	0.61	27.89	0.76	27.4439	21.1964	71%	62%
31:30.4	44.77	0.61	28.21	0.76	27.3097	21.4396	71%	61%
31:30.6	42.72	0.64	26.49	0.81	27.2704	21.4569	72%	62%
31:30.8	42.44	0.64	25.89	0.82	27.1616	21.2298	71%	61%
31:31.0	44.44	0.65	27.55	0.79	28.886	21.7645	72%	62%
31:31.3	44.85	0.65	28.26	0.77	29.1525	21.7602	71%	63%
31:31.5	44.68	0.65	27.7	0.79	29.042	21.883	72%	62%
31:31.7	44.14	0.65	26.93	0.81	28.691	21.8133	72%	61%
31:31.9	44.14	0.65	27.37	0.8	28.691	21.896	72%	62%
31:32.1	45.72	0.64	28.8	0.76	29.2608	21.888	72%	63%
31:32.4	45.84	0.64	29.34	0.75	29.3376	22.005	72%	62%
31:32.6	46.52	0.64	29.31	0.75	29.7728	21.9825	72%	63%
31:32.8	46.64	0.64	28.92	0.76	29.8496	21.9792	74%	62%
31:33.0	46.95	0.64	28.64	0.77	30.048	22.0528	73%	61%
31:33.2	47.16	0.63	28.3	0.77	29.7108	21.791	73%	60%
31:33.4	48.06	0.63	29.32	0.76	30.2778	22.28062	74%	61%
31:33.7	49.17	0.61	30.49	0.73	29.9937	22.25434	74%	62%
31:33.9	49.25	0.6	30.04	0.73	29.55	21.93103	74%	61%
31:34.1	50.08	0.59	31.05	0.7	29.5472	21.73472	74%	62%
31:34.3	49.93	0.59	30.46	0.72	29.4587	21.92926	74%	61%
31:34.6	50.3	0.59	30.18	0.72	29.677	21.7296	73%	60%
31:34.7	51.15	0.57	31.2	0.69	29.1555	21.52904	74%	61%
31:35.0	52.35	0.57	31.41	0.69	29.8395	21.6729	73%	60%
31:35.2	52.77	0.57	32.19	0.68	30.0789	21.889	73%	61%
31:35.4	51.35	0.57	31.84	0.69	29.2695	21.96753	75%	62%
31:35.6	51.15	0.57	31.2	0.69	29.1555	21.52904	74%	61%
31:35.9	52.23	0.57	32.38	0.68	29.7711	22.02017	74%	62%
31:36.1	50.32	0.59	31.7	0.7	29.6888	22.19112	75%	63%

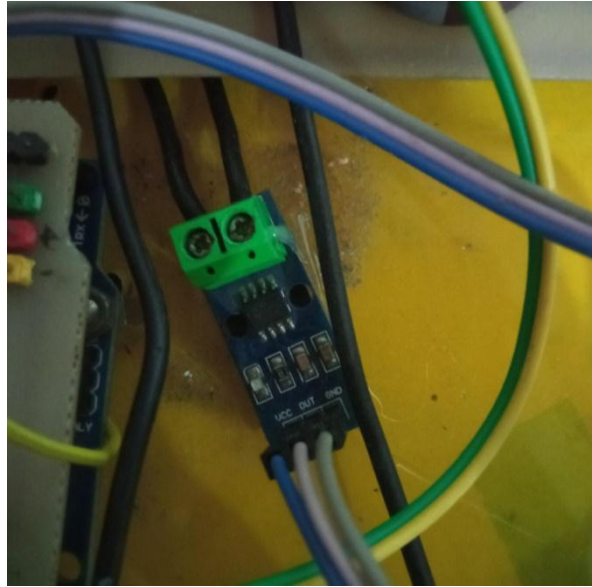
Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:36.3	51.08	0.57	31.67	0.7	29.1156	22.16872	76%	62%
31:36.5	50.92	0.57	32.08	0.69	29.0244	22.13492	76%	63%
31:36.7	50.24	0.58	31.15	0.7	29.1392	22.0845	76%	62%
31:36.9	50.83	0.58	32.02	0.69	29.4814	22.06378	75%	63%
31:37.1	52.83	0.55	32.75	0.67	29.0565	21.94558	76%	62%
31:37.4	54.95	0.55	33.52	0.66	30.2225	22.12287	73%	61%
31:37.6	52.9	0.57	32.8	0.68	30.153	22.30264	74%	62%
31:37.8	53.52	0.56	32.6	0.68	29.9712	22.2001	74%	61%
31:38.0	55.31	0.54	34.29	0.64	29.8674	21.94701	73%	62%
31:38.3	57.03	0.52	34.79	0.64	29.6556	22.26451	75%	61%
31:38.5	55.29	0.53	34.28	0.65	29.3037	22.28187	76%	62%
31:38.7	56.5	0.52	34.47	0.64	29.38	22.0576	75%	61%
31:38.9	51.55	0.57	30.93	0.71	29.3835	21.9603	75%	60%
31:39.1	52.23	0.57	31.86	0.7	29.7711	22.30221	75%	61%
31:39.4	52.42	0.57	32.5	0.68	29.8794	22.10027	74%	62%
31:39.5	52.95	0.55	32.3	0.68	29.1225	21.96366	75%	61%
31:39.8	53.49	0.55	33.16	0.67	29.4195	22.21975	76%	62%
31:40.0	52.05	0.57	32.79	0.68	29.6685	22.29822	75%	63%
31:40.2	54.17	0.55	33.59	0.66	29.7935	22.16636	74%	62%
31:40.4	55.33	0.54	33.75	0.66	29.8782	22.27586	75%	61%
31:40.7	54.95	0.54	34.07	0.65	29.673	22.14485	75%	62%
31:40.9	55.08	0.54	33.6	0.66	29.7432	22.17521	75%	61%
31:41.1	54.85	0.54	32.91	0.67	29.619	22.0497	74%	60%
31:41.3	53.71	0.54	32.76	0.67	29.0034	21.95128	76%	61%
31:41.5	53.25	0.54	33.02	0.66	28.755	21.7899	76%	62%
31:41.8	52.59	0.55	32.08	0.68	28.9245	21.81433	75%	61%
31:41.9	53.24	0.55	31.94	0.68	29.282	21.72192	74%	60%
31:42.2	59.15	0.51	36.08	0.61	30.1665	22.00972	73%	61%
31:42.4	51.54	0.58	31.95	0.69	29.8932	22.04881	74%	62%
31:42.6	57.91	0.51	35.33	0.62	29.5341	21.90156	74%	61%
31:42.8	51.1	0.58	30.66	0.71	29.638	21.7686	73%	60%
31:43.1	51.44	0.58	31.38	0.7	29.8352	21.96488	74%	61%
31:43.3	52.27	0.58	32.41	0.68	30.3166	22.03703	73%	62%
31:43.5	59.15	0.51	37.26	0.59	30.1665	21.98606	73%	63%
31:43.7	58.18	0.51	36.07	0.61	29.6718	22.00368	74%	62%
31:43.9	57.05	0.51	34.8	0.63	29.0955	21.92432	75%	61%

Waktu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi	Duty Cycle
31:44.2	58.06	0.51	36	0.61	29.6106	21.92229	74%	62%
31:44.4	55.55	0.54	33.89	0.65	29.997	22.02558	73%	61%
31:44.6	55.2	0.54	33.12	0.66	29.808	21.8592	73%	60%
31:44.8	55.41	0.54	33.8	0.65	29.9214	21.97007	73%	61%
31:45.0	55.32	0.54	34.3	0.65	29.8728	22.29396	75%	62%
31:45.2	54.95	0.54	34.62	0.64	29.673	22.15584	75%	63%
31:45.5	55.13	0.54	34.18	0.65	29.7702	22.21739	75%	62%
31:45.7	56.07	0.54	34.2	0.65	30.2778	22.23176	73%	61%
31:45.9	55.29	0.55	34.28	0.65	30.4095	22.28187	73%	62%
31:46.1	54.85	0.55	34.56	0.64	30.1675	22.11552	73%	63%
31:46.4	55.33	0.54	34.3	0.65	29.8782	22.29799	75%	62%
31:46.5	55.98	0.54	34.15	0.65	30.2292	22.19607	73%	61%
31:46.8	55.88	0.54	34.65	0.64	30.1752	22.17318	73%	62%
31:47.0	55.89	0.54	34.09	0.65	30.1806	22.16039	73%	61%
31:47.2	57.8	0.52	35.84	0.61	30.056	21.85996	73%	62%
31:47.4	57.27	0.52	34.93	0.63	29.7804	22.00886	74%	61%
31:47.6	58.02	0.52	34.81	0.63	30.1704	21.93156	73%	60%
31:47.9	59.05	0.5	36.02	0.61	29.525	21.97251	74%	61%
31:48.1	50.53	0.5	31.33	0.6	25.265	18.79716	74%	62%
31:48.3	52.23	0.48	32.9	0.57	25.0704	18.75579	75%	63%
31:48.5	42.66	0.48	26.45	0.54	20.4768	14.28257	70%	62%

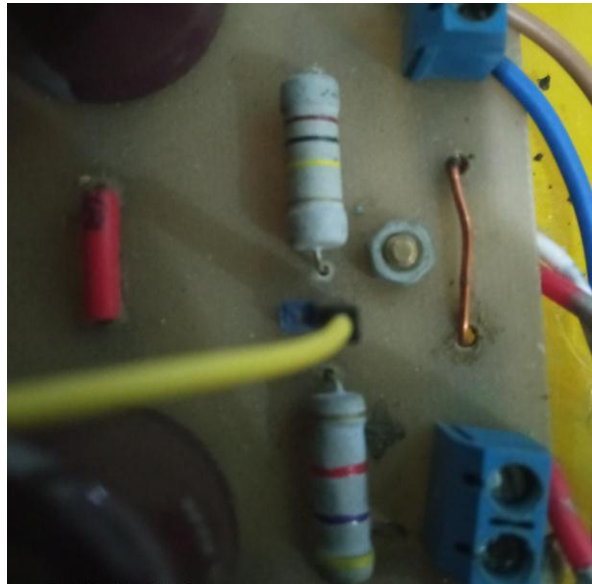
Lampiran 3. Dokumentasi



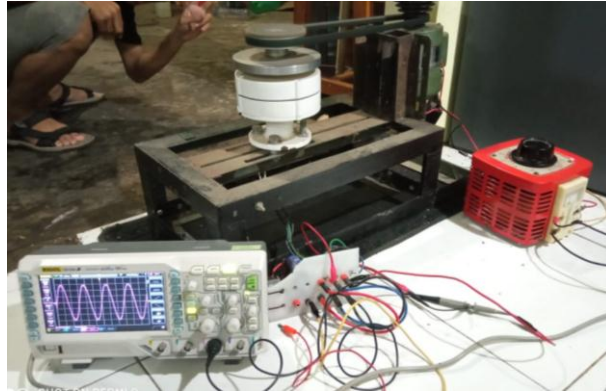
Gambar 1 *Buck Converter*



Gambar 2. ACS712 20A



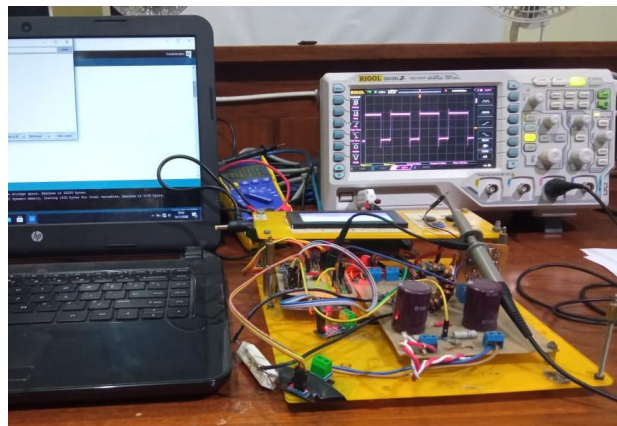
Gambar 3 Sensor Tegangan (Pembagi Tegangan)



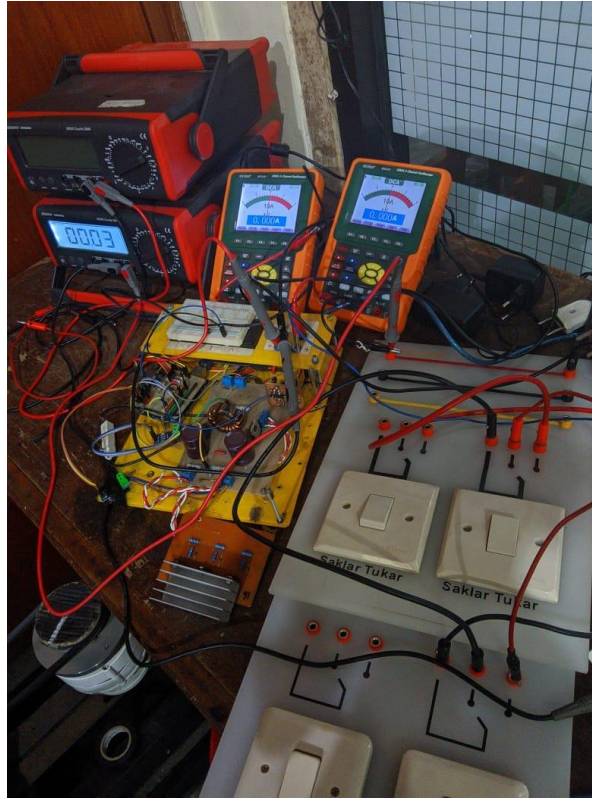
Gambar 4 Pengujian karakteristik PMSG



Gambar 5 Pengujian *Buck Converter*



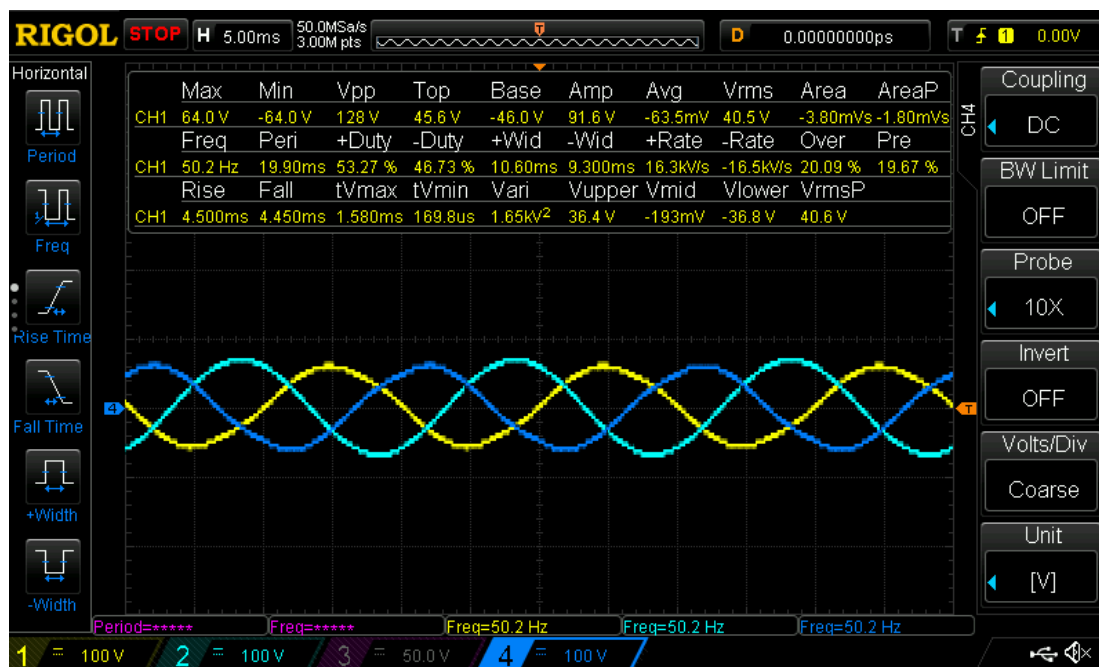
Gambar 6. Pengujian *driver* MOSFET



Gambar 7 Pengujian PMSG dengan MPPT



Gambar 8. Pengujian daya *prime mover*



Gambar 9. Hasil sinyal 3 fasa PMSG saat putaran 500 rpm frekuensi 50 Hz.