

**PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN PANEL
SURYA**

(Skripsi)

Oleh

RINA ARJULINA NASUTION

NPM 1815031093



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN PANEL
SURYA**

Oleh

RINA ARJULINA NASUTION

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN PANEL SURYA

Oleh

RINA ARJULINA NASUTION

Seiring dengan kebutuhan energi yang meningkat setiap tahun dan kesadaran perubahan iklim, energi terbarukan dapat menjadi solusi alternatif untuk mengatasi masalah ini. Dalam penelitian ini menerapkan energi terbarukan yaitu energi matahari yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya agar terjadi penghematan energi dalam mengendalikan kecepatan motor induksi. Listrik DC yang dihasilkan dari panel surya kemudian akan disimpan pada baterai untuk menjadi sumber tegangan pada inverter. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu sistem yang mampu mengendalikan dan memantau kecepatan motor induksi melalui *smartphone* dengan teknologi *Internet of Things*.

Proses pengendalian kecepatan motor induksi pada penelitian ini dilakukan melalui pengaturan frekuensi masukan motor induksi yang dihasilkan oleh inverter tiga fasa menggunakan metode pensaklaran PWM yang diatur melalui mikrokontroler. Aplikasi *Blynk* pada *smartphone* yang terhubung dengan jaringan internet akan memberikan perintah perubahan frekuensi input motor, yang selanjutnya mikrokontroler akan memberikan sinyal PWM untuk melakukan proses pensaklaran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan frekuensi masukan motor dengan kecepatan motor induksi 3 fasa adalah berbanding lurus dimana pada frekuensi 30 Hz kecepatan motor yaitu 1049 RPM, pada frekuensi 40 Hz kecepatan motor yaitu 1149 RPM, dan pada frekuensi 50 Hz kecepatan motor yaitu 1556 RPM. Sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan panel surya berhasil dilakukan dari mana saja selama rangkaian NodeMCU ESP8266 dan *smartphone* terhubung dengan internet.

Kata kunci: motor induksi, inverter 3 fasa, *internet of things*, energi terbarukan, panel surya, *blynk*, mikrokontroler

ABSTRACT

INTERNET OF THINGS-BASED 3-PHASE INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL AND MONITORING USING SOLAR PANEL

By

RINA ARJULINA NASUTION

Due to increasing energy demand every year and climate change awareness, renewable energy can be an alternative solution to overcome this problem. In this study, the application of renewable energy, namely solar energy, will be converted into electrical energy using solar panels to save energy in controlling the speed of 3-phase induction motors. DC electricity generated from solar panels will then be stored in the battery to become a voltage source in the inverter. Therefore, this research aims to create a system that can control and monitor the speed of an induction motor through a smartphone with the Internet of Things technology.

The process of controlling the speed of the induction motor in this study is by adjusting the motor input frequency generated by a three-phase inverter using the PWM switching method on the microcontroller. The Blynk application on a smartphone connected to the internet network will give the order to change the motor input frequency, which then the microcontroller will provide a PWM signal to carry out the switching process.

The results showed that the relationship between the motor input frequency and 3-phase induction motor speed is directly proportional where at a frequency of 30 Hz, the motor speed is 1049 RPM; at a frequency of 40 Hz, the motor speed is 1149 RPM; and at a frequency of 50 Hz, the motor speed is 1556 RPM. The Internet of Things (IoT)-based 3-phase induction motor speed control and monitoring system using solar panels is successfully carried out from anywhere as long as the NodeMCU ESP8266 circuit and smartphone are connected to the internet.

Keywords: induction motor, 3-phase inverter, internet of things, renewable energy, solar panel, blynk, microcontroller

Judul Skripsi

**: PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN
KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA
BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
MENGUNAKAN PANEL SURYA**

Nama Mahasiswa

: Rina Arjulina Nasution

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815031093

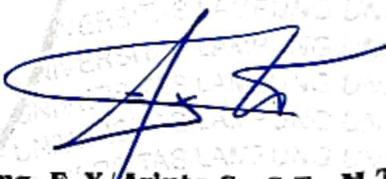
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T.
NIP 19691211 199903 1 001


Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T.
NIP 19691219 199903 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

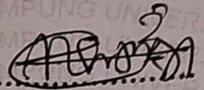

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP 19710314 199903 2 001

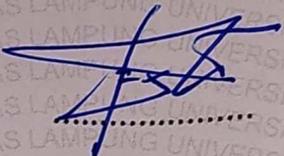
Ketua Program Studi
Teknik Elektro

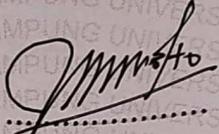

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T. 

Sekretaris : Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T. 

Penguji : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. 

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Juli 2023

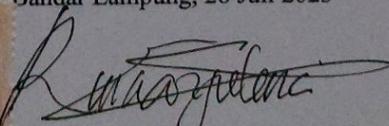
SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana), baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dari Komisi Pembimbing. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang telah berlaku di perguruan tinggi.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023




Rina Arjulina Nasution
NPM 1815031093

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung, 10 Juli 1998. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sarifudin Nasution dan Ibu Nurmia Siregar.

Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN 5 Metro Barat pada tahun 2004 hingga 2010, sekolah menengah pertama SMPN 4 Metro pada tahun 2010 hingga 2013, sekolah menengah atas SMAN 4 Metro pada tahun 2013 hingga 2016, dan diploma tiga STTPLN Jakarta pada tahun 2016 hingga 2019. Penulis menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur Mandiri. Saat menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL). Penulis melakukan kerja praktik di PT. PLN (Persero) UP3 Serpong pada tanggal 1 Februari 2019 sampai 30 Mei 2019 dengan judul penelitian “*Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi Akibat Pembebanan di PT. PLN (Persero) UP3 Serpong*”.



Karya ini Kupersembahkan untuk

Ayahanda Tercinta dan Ibunda Tercinta

Sarifudin Nasution dan Nurmia Siregar

Terima kasih atas kasih sayang dan segala hal yang telah tulus ikhlas kalian berikan dan lakukan untukku. Terima kasih sensatiasa bersabar dan berkorban dalam mendidikku, membesarkanku dengan penuh cinta dan kasih sayang, selalu berusaha memberikan yang terbaik untukku dan selalu mendoakan dalam setiap ucap Do'a untuk keberhasilan dan kebahagiaanku

Kakak dan Adik Tersayang

Fitria Erawati Nasution dan Khoirudin Nasution

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah : 5)

“The greatest failure is not to try”

(Debbi Fields)

“We only live once so follow your dreams and never say never”

(Justin Drew Bieber)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan berjudul “*Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Internet of Things Menggunakan Panel Surya*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung;
5. Bapak Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
6. Bapak Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
7. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini;

8. Bapak Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T., selaku pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik;
9. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis;
10. Segenap staff Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal lainnya;
11. Teman-teman *girls generation* (GG) yang selalu memberi doa dan semangat dalam penyusunan skripsi ini;
12. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023

Rina Arjulina Nasution

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Rumusan Masalah	5
1.6. Hipotesis Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Motor Induksi	8
2.1.1. Klasifikasi Motor Induksi	8
2.1.2. Konstruksi Motor Induksi	9
2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi	10
2.1.4. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi	11
2.2. Energi Surya	12
2.2.1. Jenis-Jenis Sel Surya	13
2.2.2. Prinsip Kerja Sel Surya	14
2.3. Inverter 3 Fasa	15
2.4. MOSFET	16
2.4.1. <i>N-Channel</i> MOSFET	17
2.4.2. <i>P-Channel</i> MOSFET	17
2.5. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	18
2.6. HCPL 3120	19
2.7. <i>Solar Charge Controller</i> (SCC)	20
2.8. Mikrokontroler	21

2.8.1. Arduino Uno	21
2.8.2. Arduino Mega 2560.....	22
2.8.3. NodeMCU ESP8266.....	24
2.9. Modul Sensor Kecepatan LM393.....	24
2.10. Modul Sensor Arus ACS712	25
2.11. Modul Sensor Tegangan ZMPT101B.....	26
2.12. <i>Internet of Things</i> (IoT).....	26
2.13. <i>Blynk</i>	27

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	29
3.3. Diagram Blok Sistem	30
3.4. Alat dan Bahan	32
3.4.1. Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	32
3.4.2. Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	33
3.5. Perancangan Sistem.....	33
3.5.1. Studi Literatur.....	34
3.5.2. Spesifikasi Motor Induksi yang Digunakan	34
3.5.3. Spesifikasi Panel Surya yang Digunakan	35
3.5.4. Perancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	36
3.5.5. Perancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	36
3.5.6. Perancangan Rangkaian <i>DC Power Supply</i>	37
3.5.7. Perancangan <i>Wiring</i> Panel Surya.....	38
3.5.8. Perancangan <i>Wiring</i> Mikrokontroler	39
3.5.9. Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Arus	42
3.5.10. Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Tegangan.....	43
3.5.11. Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan	44
3.5.12. Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step Up</i>	45
3.5.13. Perancangan Pengendalian dan Pemantauan Motor Induksi Berbasis IoT (<i>Internet of Things</i>).....	46
3.5.14. Pemrograman Mikrokontroler	47
3.6. Pengujian Alat	48
3.6.1. Pengujian Modul <i>Gate Driver</i>	48
3.6.2. Pengujian Modul Inverter 3 Fasa.....	48
3.6.3. Pengujian Keseluruhan	48

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancangan.....	49
---------------------------	----

4.1.1.	<i>Wiring</i> Mikrokontroler.....	49
4.1.2.	Program Pada Mikrokontroler	53
4.1.3.	Hasil Rancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	56
4.1.4.	Hasil Rancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	57
4.1.5.	Hasil Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa.....	57
4.1.6.	Hasil Rancangan Rangkaian Panel Surya.....	58
4.1.7.	Hasil Rancangan Rangkaian Transformator <i>Step Up</i>	59
4.1.8.	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Arus ACS712	60
4.1.9.	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Tegangan ZMPT101B.....	60
4.1.10.	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Kecepatan LM393	61
4.1.11.	Hasil Rancangan Aplikasi <i>Blynk</i>	62
4.1.12.	Hasil Rancangan Keseluruhan Rangkaian.....	63
4.2.	Pengujian Hasil Rancangan	64
4.2.1.	Pengujian Rangkaian <i>Gate Driver</i>	64
4.2.2.	Pengujian Inverter 3 Fasa	70
4.2.3.	Pengujian Panel Surya	75
4.2.4.	Pengujian Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi Berbasis IoT (<i>Internet of Things</i>).....	76

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran	84

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Urutan Penyalaan Saklar pada Masing-Masing MOSFET	16
2.2 Spesifikasi Arduino Uno	21
2.3 Spesifikasi Arduino Mega 2560	22
3.1 Urutan Pensaklaran pada Masing-Masing MOSFET	37
3.2 Konfigurasi Pin Arduino Uno untuk <i>Switching</i> MOSFET	40
3.3 Konfigurasi Pin Arduino Uno dengan NodeMCU ESP8266	40
3.4 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU ESP8266	41
3.5 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 untuk Sensor ACS712	42
3.6 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 untuk Sensor ZMPT101B	43
3.7 Konfigurasi Pin Arduino Mega untuk Sensor LM393	45
4.1 Konfigurasi Pin Mikrokontroler	52
4.2 Gelombang Pensaklaran pada <i>Gate Driver</i>	65
4.3 Gelombang Keluaran Inverter 3 Fasa Mode Konduksi 180°	70
4.4 Tegangan Keluaran Inverter 3 Fasa	73
4.5 Pengujian Panel Surya untuk Proses <i>Charging</i>	75
4.6 Data Hasil Kecepatan Motor Induksi pada Masing-Masing Frekuensi	79
4.7 Data Hasil Tegangan Pada Keluaran Inverter	81
4.8 Data Hasil Arus Pada Keluaran Inverter	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Bagian Stator Motor Induksi	9
2.2 Rotor Sangkar (<i>Squirrel Cage</i>)	10
2.3 Rotor Belitan (<i>Wound Rotor</i>)	10
2.4 Silikon <i>Monocrystalline</i>	13
2.5 Silikon <i>Polycrystalline</i>	13
2.6 <i>Thin Film Solar Cell</i>	14
2.7 Prinsip Kerja Sel Surya	15
2.8 Inverter 3 Fasa.....	15
2.9 Bagian-Bagian MOSFET	16
2.10 Prinsip Kerja N- <i>Channel</i> MOSFET	17
2.11 Prinsip Kerja P- <i>Channel</i> MOSFET.....	17
2.12 <i>Pulse Width Modulation</i>	18
2.13 IC HCPL 3120.....	19
2.14 <i>Solar Charge Controller</i>	20
2.15 Arduino Uno	21
2.16 Arduino Mega 2560	22
2.17 NodeMCU ESP8266	24
2.18 Modul Sensor Kecepatan LM393	25
2.19 Modul Sensor Arus ACS712	25
2.20 Modul Sensor Tegangan ZMPT101B	26
2.21 <i>Server Blynk</i>	28
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Diagram Blok Sistem	30
3.3 Motor Induksi yang Digunakan pada Penelitian.....	34
3.4 Panel Surya yang Digunakan pada Penelitian.....	35

3.5	Rangkaian <i>Gate Driver</i>	36
3.6	Perancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa	37
3.7	Rancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	38
3.8	Perancangan <i>Wiring</i> Panel Surya	38
3.9	Perancangan <i>Wiring</i> Arduino Uno dengan NodeMCU	41
3.10	Perancangan <i>Wiring</i> Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU	41
3.11	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Arus dengan Arduino Mega 2560	42
3.12	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Tegangan dengan Arduino Mega 2560	44
3.13	Perancangan <i>Wiring</i> Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega 2560	45
3.14	Perancangan <i>Wiring</i> Transformator <i>Step Up</i>	45
3.15	Tampilan pada Aplikasi <i>Blynk</i>	46
3.16	Tampilan Aplikasi Arduino IDE	47
4.1	<i>Wiring</i> Arduino Uno dengan NodeMCU ESP8266	50
4.2	<i>Wiring</i> Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU ESP8266	51
4.3	Program Pada Arduino IDE untuk Arduino Uno	53
4.4	Program Pada Arduino IDE untuk Arduino Mega	54
4.5	Program Pada Arduino IDE untuk NodeMCU ESP8266	55
4.6	Desain PCB Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	56
4.7	Hasil Rancangan Rangkaian DC <i>Power Supply</i>	56
4.8	Desain PCB Rangkaian <i>Gate Driver</i>	57
4.9	Hasil Rancangan Rangkaian <i>Gate Driver</i>	57
4.10	Desain PCB Rangkaian Inverter 3 Fasa	58
4.11	Hasil Rancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa	58
4.12	Rangkaian Panel Surya	59
4.13	Hasil Rancangan Rangkaian Transformator <i>Step Up</i>	59
4.14	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Arus ACS712	60
4.15	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Tegangan ZMPT101B	60
4.16	<i>Wiring</i> Rangkaian Sensor Kecepatan LM393	61
4.17	Hasil Rancangan Aplikasi <i>Blynk</i>	62
4.18	Rancangan Keseluruhan Rangkaian	63
4.19	<i>Output</i> Trafo: (a) pada Frekuensi 30 Hz, (b) pada Frekuensi 40 Hz, (c) pada Frekuensi 50 Hz	73

4.20	Grafik Hubungan Antara Frekuensi dengan Tegangan <i>Output</i> Inverter dan Trafo Pada Fasa A.....	74
4.21	Grafik Hubungan Antara Frekuensi dengan Tegangan <i>Output</i> Inverter dan Trafo Pada Fasa B.....	74
4.22	Grafik Hubungan Antara Frekuensi dengan Tegangan <i>Output</i> Inverter dan Trafo Pada Fasa C.....	75
4.23	Tampilan Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa pada Aplikasi <i>Blynk</i> : (a) saat Frekuensi 30 Hz, (b) saat Frekuensi 40 Hz..	77
4.24	Tampilan Pengendalian dan Pemantauan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa pada Aplikasi <i>Blynk</i> saat Frekuensi 50 Hz.....	78
4.25	Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor Induksi	80
4.26	Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Tegangan Keluaran Inverter	81
4.27	Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Arus Keluaran Inverter	82

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan kebutuhan energi yang terus meningkat, pemanfaatan energi terbarukan dengan menggunakan energi matahari dapat menjadi salah satu solusi energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi [1]. Energi matahari akan diubah menjadi energi listrik menggunakan teknologi (*Photovoltaic*) [2][3]. Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup tinggi karena secara geografis Indonesia mendapatkan radiasi matahari sepanjang tahun dengan lama penyinaran sebesar 6 sampai 8 jam per hari dengan nilai rata-rata insolasi (radiasi matahari persatuan luas dan waktu) di Indonesia sekitar 4 kWh/m², sehingga Indonesia berpotensi memanfaatkan energi surya menjadi energi listrik [4]. Selain itu matahari juga merupakan sumber energi yang tidak akan habis.

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik telah dilakukan dalam berbagai penelitian yang menjangkau berbagai macam sektor diantaranya rumah tangga [5][7], peternakan [8][9][10], pertanian [11], industri [12][13], dan infrastruktur fasilitas umum [14]. Dalam penelitian ini akan memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari sebagai sumber listrik dalam pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa yang dikendalikan dan dipantau menggunakan *internet of things* (IoT).

Saat ini motor listrik yang paling umum digunakan terutama pada dunia industri yaitu motor induksi karena karakteristik motor yang tidak memerlukan *prime mover* (*self-starting motor*), tidak ada komutator dan sikat arang. Motor induksi juga

memiliki pengoperasian yang sederhana, perawatan yang lebih sedikit, sangat efisien, handal dan lebih murah daripada jenis motor lainnya.

Kecepatan motor induksi harus dikendalikan agar dapat digunakan. Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu seperti mengubah jumlah kutub dan pengaturan frekuensi masukan [15]. Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan pengendalian kecepatan motor induksi dengan mengatur frekuensi masukan pada motor. Dalam mengatur frekuensi masukan dibutuhkan sebuah inverter [16]. Inverter merupakan alat yang dapat merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter 3 fasa terdiri dari enam buah MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), di mana untuk mengendalikan pensaklaran MOSFET digunakan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) [17]. Teknik PWM dilakukan dengan mengendalikan gelombang digital menjadi ON/OFF secara bergantian dalam satu periode gelombang. Perbandingan waktu antara saat gelombang ON dengan waktu gelombang dalam satu periode disebut dengan *duty cycle*. Lebar pulsa (*duty cycle*) dimanfaatkan untuk mengatur kecepatan putaran motor sesuai dengan masukan yang telah diberikan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Arduino merupakan sebuah mikrokontroler yang memiliki fungsi sebagai komponen utama dalam memperoleh *input*, memproses *input* tersebut dan mengeluarkan *output* dalam sebuah rangkaian elektronik. Sinyal PWM yang dihasilkan dari Arduino akan dikirim ke rangkaian *gate driver*. *Gate driver* berfungsi sebagai penguat tegangan pada Arduino Uno yang pada umumnya sebesar 5V kemudian akan menjadi tegangan yang memicu *gate* pada MOSFET di inverter.

Penelitian ini menerapkan energi terbarukan yaitu matahari yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya (*photovoltaic*) agar terjadi penghematan energi dalam mengendalikan kecepatan motor induksi. Listrik yang dihasilkan dari panel surya yaitu berupa tegangan searah (DC) yang kemudian akan disimpan pada baterai untuk menjadi sumber tegangan inverter yang kemudian tegangan searah tersebut diubah menjadi sumber

tegangan bolak-balik (AC). Kemudian, sumber tegangan bolak-balik (AC) akan dinaikkan menggunakan trafo *step up* untuk menjadi sumber dari motor induksi.

Dalam memantau kecepatan motor induksi dibutuhkan sebuah sensor kecepatan. Sensor kecepatan berfungsi untuk mendeteksi kecepatan putar motor melalui pembacaan *encoder*. Penempatan sensor yang sejajar dengan rotor motor induksi akan menyebabkan bila terdapat perubahan pada kecepatan motor, sensor akan mendeteksi besar dari perubahan tersebut melalui perubahan RPM (*Revolutions Per Minute*).

Pemantauan dan pengendalian kecepatan motor secara terus menerus dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *internet of things* (IoT). Teknologi *internet of things* (IoT) dapat didefinisikan sebagai suatu konsep di mana objek dapat mengirimkan data menggunakan jaringan untuk melakukan kegiatan kerja tanpa bantuan dari manusia maupun interaksi dengan perangkat komputer. Sehingga dengan menerapkan konsep *internet of things* (IoT), kecepatan motor induksi dapat dikendalikan dari jarak jauh dengan menggunakan jaringan internet. Pengendalian kecepatan motor dari jarak jauh menggunakan modul NodeMCU ESP8266 di mana sebagai *platform internet of things* (IoT) dan sebagai mikrokontroler serta digunakan aplikasi *Blynk* sebagai *platform* untuk mengendalikan Arduino dan pemantauan data.

Penelitian pengendalian kecepatan motor dengan suplai panel surya sudah pernah dilakukan yaitu pada penelitian pengontrolan pergerakan V/f motor induksi tiga fasa yang disuplai dari panel surya untuk sistem pemompaan air [18], di mana pada penelitian ini dilakukan dua tahap penelitian yaitu pada tahap pertama mendapatkan daya maksimum dari panel surya melalui rangkaian konverter *boost* DC-DC menggunakan teknik MPPT dan pada tahap kedua yaitu pengendalian motor induksi tiga fasa untuk mensuplai pompa air dengan menggunakan pengontrol kecepatan V/f. Penelitian pengontrolan pergerakan V/f motor induksi tiga fasa

yang disuplai dari panel surya untuk sistem pemompaan air dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan MATLAB/Simulink.

Penelitian tentang kendali dan pemantauan motor DC berbasis IoT dengan sumber panel surya [19], di mana teknologi *internet of things* (IoT) digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC dari jarak jauh. Pengendalian kecepatan motor dengan menggunakan kontrol PID. Penelitian dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pada penelitian pertama yaitu mengontrol kecepatan melalui *smartphone*, penelitian kedua yaitu hubungan antara EMF dan kecepatan motor DC dan penelitian ketiga yaitu memonitor kecepatan motor pada aplikasi *Thingspeak* dan *Blynk*.

Berdasarkan pemaparan diatas, menjadi dasar peneliti untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul “PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN PANEL SURYA”.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sebuah sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan panel surya.
2. Melakukan pemantauan tegangan, arus dan kecepatan motor secara *real-time* melalui aplikasi *Blynk*.
3. Melakukan pengendalian kecepatan motor induksi melalui *device smartphone* dengan menggunakan aplikasi *Blynk*.
4. Melakukan analisa penggunaan panel surya dalam sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan energi surya sebagai energi terbarukan dalam sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa.
2. Memantau dan mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa dari jarak jauh menggunakan sistem *internet of things*.
3. Mendapatkan data pengukuran tegangan, arus dan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan sistem *internet of things* (IoT).
4. Sebagai referensi pengembangan mobil listrik menggunakan panel surya.

1.4. Batasan Masalah

Dalam perancangan sistem ini, perlu membatasi masalah agar perancangan dapat terarah secara objektif. Untuk itu, batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengontrol rangkaian elektronika dan Arduino Mega 2560 untuk membaca nilai sensor.
2. Menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai media komunikasi yang dapat terhubung dengan *WiFi* dan *server*.
3. Menggunakan sensor kecepatan *optocoupler* untuk membaca kecepatan putar motor.
4. Menggunakan sensor tegangan AC ZMPT101B untuk membaca nilai tegangan pada salah satu fasa pada motor induksi tiga fasa.
5. Menggunakan sensor arus ACS712 untuk membaca nilai arus pada salah satu fasa pada motor induksi tiga fasa.
6. Menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM).
7. Rangkaian yang digunakan bersifat *open loop*.
8. Penghematan energi hanya pada rangkaian inverter 3 fasa.
9. Pengendalian berbasis IoT hanya pada kecepatan motor induksi 3 fasa dan pemantauan berbasis IoT hanya pada arus, tegangan, dan kecepatan motor.

1.5. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang mendorong dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sebuah sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sumber panel surya yang disimpan pada baterai?
2. Bagaimana cara melakukan pemantauan nilai tegangan, arus dan kecepatan motor melalui aplikasi *Blynk*?
3. Bagaimana mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa melalui *smartphone* dengan menggunakan aplikasi *Blynk*?

1.6. Hipotesis Penelitian

Pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan sumber panel surya yang disimpan pada baterai dapat dijadikan sebagai referensi dalam pengembangan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa. Penggunaan panel surya sebagai bentuk penerapan energi terbarukan. Pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dilakukan dengan cara pengaturan frekuensi masukan menggunakan inverter tiga fasa. Kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dikendalikan dari jarak dekat maupun jarak jauh dimana saja dan kapan saja melalui *smartphone* yang terhubung dengan internet.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori penunjang yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang hal-hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; waktu dan tempat penelitian, serta metode dan proses

perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) terkait penelitian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil perancangan, pengujian, serta pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

Motor induksi merupakan suatu alat listrik yang memiliki fungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau tenaga gerak yang berupa putaran pada poros motor. Motor induksi merupakan jenis motor AC (*Alternating Current*). Motor AC terbagi menjadi dua macam tipe yaitu *synchronous motor* dan *asynchronous motor*. Motor induksi merupakan motor AC tipe asinkron atau motor tidak serempak [20], hal ini karena putaran pada poros motor yang tidak sama atau tidak serempak dengan putaran medan fluks magnet stator. Selisih atau perbedaan putaran antara rotor dan putaran fluks magnet ini disebut dengan *slip*.

Motor induksi merupakan salah satu motor yang umum dan sering digunakan pada berbagai macam peralatan rumah tangga maupun industri. Hal ini karena motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, pemeliharaan yang mudah, harga yang relatif murah, serta mudah di dapat.

2.1.1. Klasifikasi Motor Induksi

Berdasarkan jumlah fasanya, motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu:

a. Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa merupakan motor induksi yang beroperasi dengan menggunakan sumber listrik satu fasa. Motor jenis ini banyak digunakan pada peralatan rumah tangga, seperti pada kipas angin, mesin cuci, lemari es, pompa air, dan lain-lain.

b. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan motor induksi yang beroperasi dengan menggunakan sumber listrik tiga fasa. Motor jenis ini banyak digunakan pada peralatan industri, seperti pada mesin kompresor, konveyor, mobil listrik, mesin pompa, dan lain-lain.

2.1.2. Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi terdiri atas tiga bagian, yaitu[21]:

a. Stator

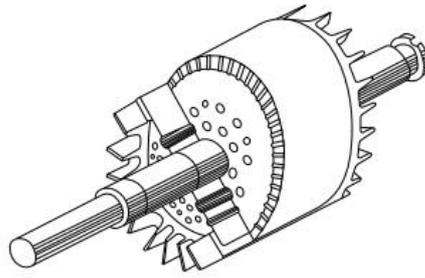
Stator merupakan bagian dari motor induksi yang tidak berputar (diam) dan memiliki kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya. Konstruksi stator motor induksi terdiri dari beberapa bagian yaitu rangka stator, inti stator, alur, dan kumparan stator.



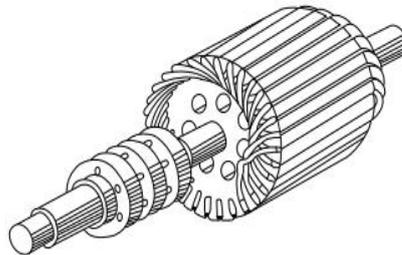
Gambar 2.1 Bagian Stator Motor Induksi

b. Rotor

Rotor merupakan bagian dari motor induksi yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari beberapa bagian yaitu inti rotor, alur, belitan rotor, dan poros atau as. Berdasarkan bentuk konstruksinya, motor induksi dibagi menjadi dua jenis yaitu motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*) dan motor induksi dengan rotor belitan (*wound rotor*).



Gambar 2.2 Rotor Sangkar (*Squirrel Cage*)



Gambar 2.3 Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

2.1.3. Prinsip Kerja Motor Induksi

Adapun prinsip kerja motor induksi adalah sebagai berikut [20]:

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sebesar:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana:

n_s = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi stator (Hz)

p = jumlah kutub

2. Medan putar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl).
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl (E) akan menghasilkan arus (I).

5. Dengan adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti yang telah dijelaskan pada nomor (3), tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya, agar tegangan terinduksi, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putaran rotor (n_r).
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut dengan *slip* (S), di mana dinyatakan dengan:

$$S = \frac{(n_s - n_r)}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana:

n_s = kecepatan putar stator (rpm)

n_r = kecepatan putar rotor (rpm)

9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan bila n_r lebih kecil dari n_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.1.4. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

a. Pengaturan Jumlah Kutub Motor

Pada persamaan 2.1, menunjukkan bahwa kecepatan motor induksi berbanding terbalik dengan jumlah kutub motor. Semakin sedikit jumlah kutub, maka putaran pada motor induksi akan menjadi semakin cepat. Jumlah kutub dapat diatur dengan merancang kumparan stator sedemikian rupa sehingga dihasilkan jumlah kutub yang diinginkan. Akan tetapi, pada praktiknya, pengendalian kecepatan motor induksi dengan cara mengubah jumlah kutub cukup sulit untuk dilakukan karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi itu sendiri.

b. Pengaturan Frekuensi Sumber

Pada persamaan 2.1, menunjukkan bahwa kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi sumber. Semakin besar frekuensi masukan yang diberikan pada motor induksi, maka putaran motor induksi akan menjadi semakin cepat. Pengaturan frekuensi masukan dapat dilakukan menggunakan *inverter* dengan desain tertentu [16]. *Inverter* dapat menghasilkan frekuensi yang berubah-ubah.

c. Pengaturan Tegangan Sumber

Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah tegangan sumber masukan. Semakin besar tegangan sumber pada motor, maka putaran motor induksi akan menjadi semakin cepat. Akan tetapi, pengaturan tegangan sumber menghasilkan putaran yang terbatas dikarenakan area pengaturan yang sempit.

d. Pengaturan Tahanan Luar

Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan mengatur nilai tahanan luar motor induksi jenis rotor belitan (*wound rotor*). Pengaturan tahanan luar mampu menghasilkan nilai torsi yang berbeda-beda. Pada pengaturan ini, motor induksi dengan jenis rotor belitan dihubungkan dengan tahanan luar. Tahanan luar ini akan mempengaruhi putaran motor induksi, sehingga putaran motor dapat berubah-ubah.

2.2. Energi Surya

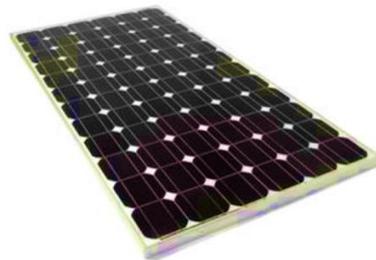
Sel surya merupakan seperangkat modul yang digunakan untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* merupakan teknologi yang digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Gabungan dari sel-sel surya disebut dengan modul surya. Di dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel-sel surya yang disusun secara seri maupun paralel. Definisi surya itu sendiri merupakan sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*. Semakin menipisnya cadangan energi fosil dan masalah *global warming*, membuat penggunaan sel surya menjadi semakin banyak karena sumber energi matahari bisa didapatkan secara gratis [22].

2.2.1. Jenis-Jenis Sel Surya

Secara umum sel surya terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a. *Monocrystalline*

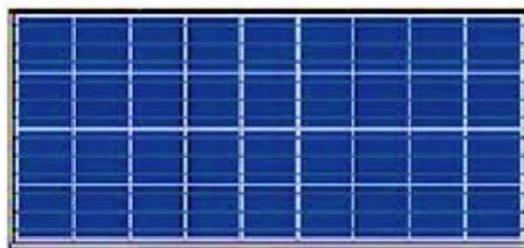
Sel surya *monocrystalline* terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis dan berwarna hitam pekat. Sel surya ini merupakan sel surya yang paling efisien dibandingkan dengan jenis sel surya lainnya, yaitu sekitar 15% sampai 20%, artinya sel surya jenis ini menjadi bahan yang paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi. Namun, harga sel surya ini mahal dibandingkan dengan jenis sel surya yang lain karena harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan sangat mahal.



Gambar 2.4 Silikon *Monocrystalline*

b. *Polycrystalline*

Sel surya *polycrystalline* terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dicairkan kemudian dituangkan dalam sebuah cetakan yang berbentuk persegi.



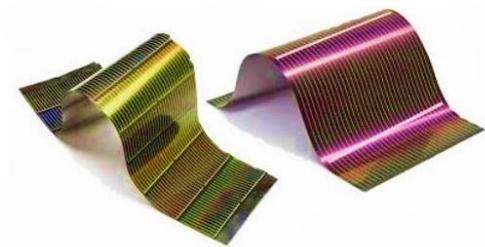
Gambar 2.5 Silikon *Polycrystalline*

Perbedaan sel surya ini dengan sel surya *monocrystalline* yaitu terletak pada kemurnian kristal silikonnya, kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya *monocrystalline*. Oleh karena itu, efisiensi yang dihasilkan lebih rendah yaitu 13% sampai 16% karena sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama

lain. Proses pembuatannya lebih mudah di banding proses pembuatan *monocrystalline* sehingga harganya lebih murah dan sel surya jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan saat ini.

c. *Thin Film*

Sel surya jenis *thin film* diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material dari sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis dan ringan sehingga membuatnya menjadi fleksibel. Jenis ini juga dikenal dengan nama *Thin Film Photovoltaic* (TFPV).



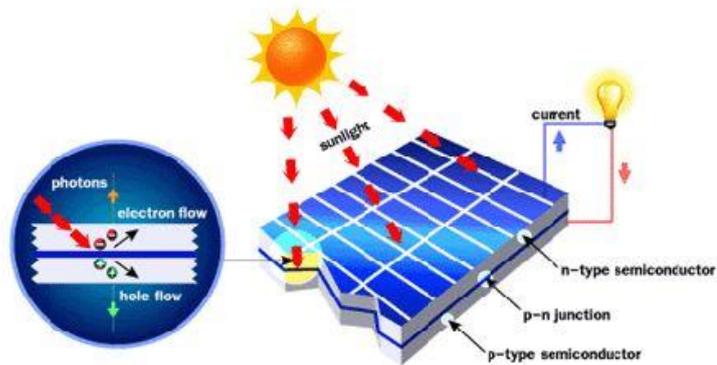
Gambar 2.6 *Thin Film Solar Cell*

2.2.2. Prinsip Kerja Sel Surya

Sinar matahari terdiri dari suatu partikel yang sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar matahari, foton akan menghantam atom semikonduktor silikon sel surya sehingga akan menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negatif tersebut akan bebas bergerak di daerah pita konduksi material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan “*hole*” atau muatan Positif (+) [22].

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas ini bermuatan negatif dan dapat bertindak sebagai pendonor elektron, sehingga daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bermuatan positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron yang dinamakan dengan semikonduktor tipe P (P-type). Dipersimpangan daerah positif dan negatif (*PN Junction*), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan

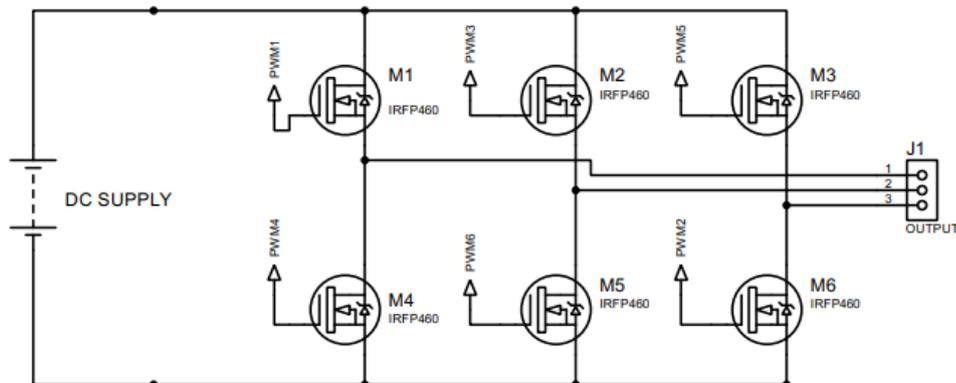
hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif (*PN Junction*), maka akan menimbulkan arus listrik.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja Sel Surya

2.3. Inverter 3 Fasa

Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan arus listrik searah (DC) menjadi sumber tegangan arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi tertentu. Rangkaian inverter menggunakan komponen semikonduktor daya seperti MOSFET, SCR, dan transistor dimana komponen semikonduktor ini bekerja sebagai sakelar atau pengubah.



Gambar 2.8 Inverter 3 Fasa

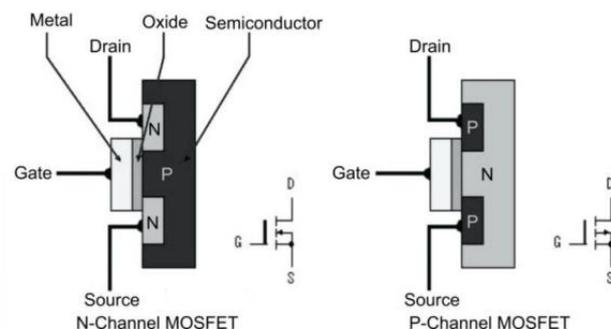
Adapun prinsip kerja dari rangkaian inverter tiga fasa tidak jauh berbeda dengan inverter satu fasa. Untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC diperlukan mekanisme pengendalian kombinasi penyalan saklar elektronis dengan frekuensi yang sesuai. Masing-masing saklar elektronis tidak boleh bekerja secara simultan karena dapat mengakibatkan gangguan [23]. Untuk menghasilkan gelombang output listrik tiga fasa diperlukan pengaturan penyalan saklar elektronis dalam hal ini IGBT atau SCR dengan perbedaan masing-masing fasa 180° . Adapun urutan penyalan saklar pada masing-masing MOSFET ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Urutan Penyalan Saklar pada Masing-Masing MOSFET

Interval (<i>degree</i>)	Kondisi MOSFET					
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
0 – 60	1	0	0	0	1	1
60 – 120	1	1	0	0	0	1
120 – 180	1	1	1	0	0	0
180 – 240	0	1	1	1	0	0
240 – 300	0	0	1	1	1	0
300 – 360	0	0	0	1	1	1

2.4. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor (silikon).

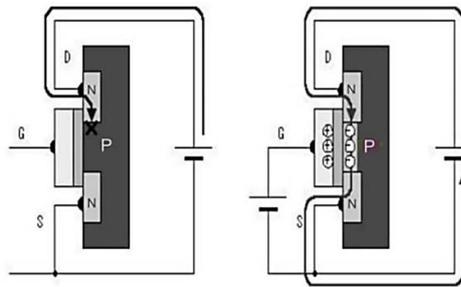


Gambar 2.9 Bagian-Bagian MOSFET

MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar, sebagai penguat sinyal untuk perangkat elektronik, dan pengendali kecepatan motor. Komponen ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu *gate* (G), *drain* (D), *source* (S), dan *body* [24].

2.4.1. N-Channel MOSFET

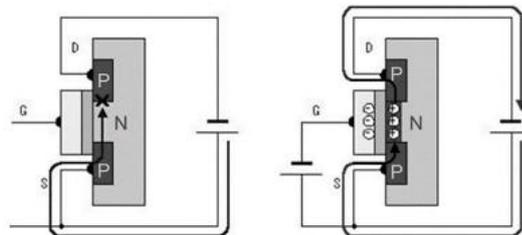
Pada tipe ini, ketika *gate* diberi tegangan yang berpolaritas positif, maka elektron dari semikonduktor tipe N yang ada pada *drain* dan *source* tertarik oleh *gate* ke semikonduktor tipe P yang berada di antara keduanya. Keberadaan elektron pada semikonduktor tipe P ini akan menjadi jembatan yang menyebabkan pergerakan elektron dari *source* ke *drain* sehingga arus akan mengalir dari *drain* ke *source*.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja N-Channel MOSFET

2.4.2. P-Channel MOSFET

Pada tipe ini, ketika *gate* diberi tegangan berpolaritas negatif, maka *hole* dari semikonduktor tipe P yang ada pada *drain* dan *source* tertarik menuju semikonduktor tipe N yang berada di antara keduanya. Keberadaan *hole* pada semikonduktor tipe N ini akan menjadi jembatan yang menyebabkan pergerakan elektron dari *drain* ke *source* sehingga arus akan mengalir dari *source* ke *drain*.

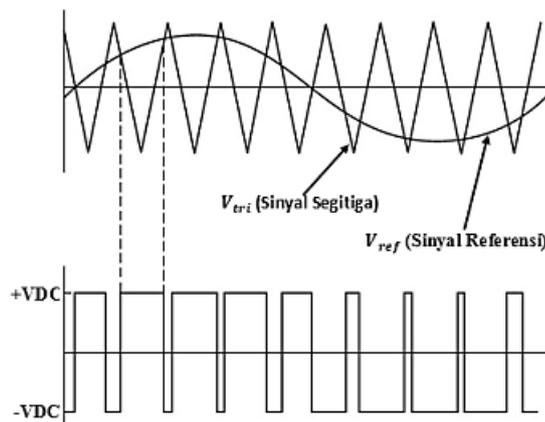


Gambar 2.11 Prinsip Kerja P-Channel MOSFET

2.5. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi (V_r) dengan sinyal *carrier* (V_c). Umumnya sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji.

Adapun prinsip kerja dari PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi (V_r) lebih besar daripada amplitudo sinyal *carrier* (V_c), maka dihasilkan sinyal *high* atau *ON*, dan jika besar amplitudo sinyal referensi (V_r) berada lebih kecil dari amplitudo sinyal *carrier* (V_c), maka dihasilkan sinyal *low* atau *OFF* [25]. Proses membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier* dapat dilihat pada gambar 2.12 sehingga dapat menghasilkan nilai *duty cycle* pada PWM dari perbandingan kedua gelombang tersebut.



Gambar 2.12 *Pulse Width Modulation*

Pada grafik diatas memperlihatkan lama waktu tegangan keluaran berada diposisi *high* atau *on*, sedangkan T_{off} merupakan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *low* atau *off*. Penjumlahan lama waktu dari T_{on} dengan T_{off} disebut dengan T_{total} yang biasa dikenal dengan satu periode gelombang [25].

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots\dots\dots(2.3)$$

Besarnya T_{on} dan T_{off} maka dapat ditentukan besarnya *duty cycle* yaitu perbandingan antara waktu ketika gelombang berada dalam keadaan *on* dibagi

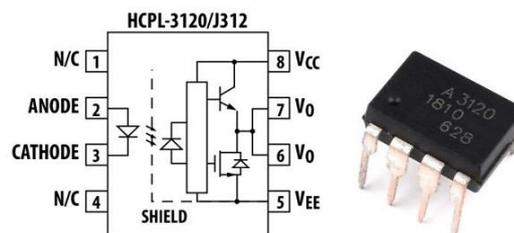
dengan total waktu antara gelombang dalam keadaan *on* dan gelombang dalam keadaan *off* sehingga *duty cycle* dapat ditulis seperti pada persamaan di bawah ini.

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Duty cycle digunakan untuk menentukan waktu kerja pada komponen saklar semikonduktor sehingga akan menjadi pulsa penyalaan yang dapat mengendalikan keadaan *on* dan *off* pada saklar. Oleh karena itu, prinsip kerja dari PWM untuk mengendalikan kerja dari saklar semikonduktor adalah ketika $V_{control} / V_{ref}$ memiliki nilai amplitudo lebih besar dari gelombang segitiga oleh karena itu PWM akan mengeluarkan kondisi *high* yang menyebabkan saklar dalam keadaan *on* sehingga saklar menutup. Sebaliknya, jika $V_{control} / V_{ref}$ memiliki amplitudo lebih kecil dari gelombang segitiga, maka PWM akan mengeluarkan kondisi *low* yang akan menyebabkan saklar dalam keadaan *off* sehingga saklar akan membuka. Sinyal PWM pada inverter dihasilkan dari dua jenis komponen, yaitu komponen analog dan komponen digital. Pada komponen analog dihasilkan oleh IC (*Integrated Circuit*) dan pada komponen digital dihasilkan oleh mikrokontroler.

2.6. HCPL 3120

Gate driver merupakan rangkaian yang memiliki fungsi sebagai penghubung antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Rangkaian *gate driver* akan memindahkan dan menguatkan sinyal pemicu (pulsa kontrol) yang dihasilkan rangkaian kontrol untuk menggerakkan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. HCPL 3120 merupakan salah satu jenis IC yang digunakan sebagai *gate driver*. IC ini secara khusus dirancang untuk penggerak saklar semikonduktor jenis IGBT dan MOSFET.



Gambar 2.13 IC HCPL 3120

HCPL 3120 merupakan salah satu jenis *optocoupler* yang terdiri dari dua bagian, yaitu *transmitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* IC ini terhubung dengan rangkaian kontrol atau rangkaian *input* serta terdiri dari LED inframerah (IR LED) yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal berupa cahaya inframerah. Sementara bagian *receiver* IC terhubung dengan rangkaian beban atau rangkaian *output* serta terdiri dari komponen yang dapat menerima cahaya yang dipancarkan *transmitter*. Komponen yang dapat menerima cahaya ini terdiri dari kombinasi transistor. Ketika terdapat arus yang mengalir melalui pin anoda dan katoda IC, maka IR LED yang terdapat pada pin tersebut akan memancarkan cahaya inframerah. Cahaya ini akan ditangkap pada bagian *receiver* dan akan menghasilkan tegangan pada V_o . Besarnya tegangan pada V_o akan sama dengan tegangan yang diberikan pada V_{cc} .

Selain berfungsi sebagai driver IGBT dan MOSFET, HCPL 3120 juga berfungsi sebagai proteksi untuk rangkaian kontrol. Hal ini karena bagian *transmitter* dan *receiver* dari IC ini tidak terhubung secara langsung. HCPL 3120 memiliki arus *output* maksimum sebesar 2,5 A, tegangan masukan pada V_{cc} antara 15-30 Volt, serta waktu pensaklaran hingga 500 ns.

2.7. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan proses pengisian baterai, mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses *discharge*. [22].

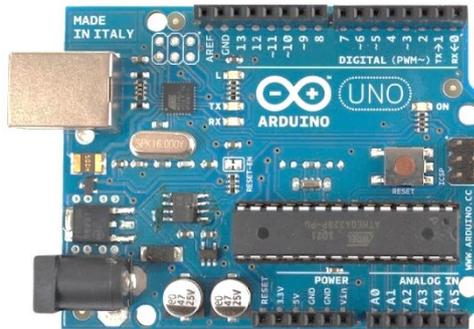


Gambar 2.14 Solar Charge Controller

2.8. Mikrokontroler

2.8.1. Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 (*datasheet*). Memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol *reset* [26]. Pada penelitian ini menggunakan *board* mikrokontroler Arduino jenis Arduino Uno yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Adapun spesifikasi Arduino Uno ditunjukkan pada tabel 2.2.



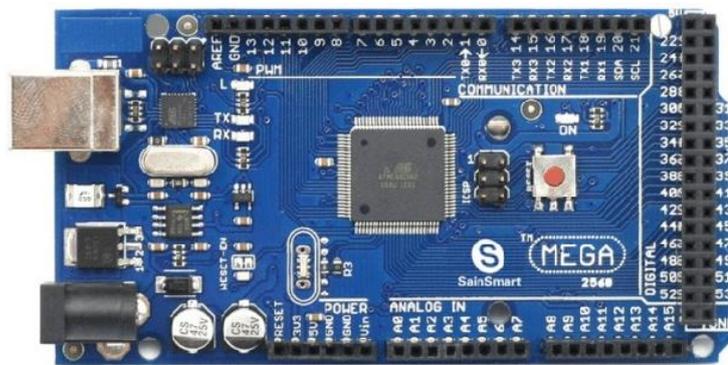
Gambar 2.15 Arduino Uno

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan <i>Input</i> yang disarankan	7 – 12 V
Batas Tegangan <i>Input</i>	6 – 20 V
Jumlah Pin I/O Digital	14 pin digital
Jumlah Pin Input Analog	6 pin
Arus DC per Pin I/O	40 mA
Arus DC Pin 3,3 V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB
SRAM	2 KB
EPROM	1 KB
<i>Clock speed</i>	16 MHz

2.8.2. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan sebuah board mikrokontroler yang di dalamnya tertanam IC ATmega2560. Board ini memiliki 54 pin *input* dan *output* digital di mana sebanyak 15 pin di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM, 16 buah pin *input* analog, 4 buah pin UART (*hardware serial ports*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, ICSP header, serta tombol *reset* [26]. Pada penelitian ini menggunakan *board* mikrokontroler Arduino jenis Arduino Mega 2560 yang ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.16 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 dapat dihubungkan dengan komputer menggunakan kabel USB. Selain itu, suplai daya untuk board ini dapat menggunakan adaptor ataupun baterai. Adapun spesifikasi dari Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan <i>Input</i> yang disarankan	7 – 12 V
Batas Tegangan <i>Input</i>	6 – 20 V
Jumlah Pin I/O Digital	54 pin digital (15 pin PWM)
Jumlah Pin <i>Input</i> Analog	16 pin
Arus DC per Pin I/O	20 mA

Arus DC Pin 3,3 V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB
SRAM	8 KB
EPROM	4 KB
<i>Clock speed</i>	16 MHz

Arduino Mega 2560 memiliki 54 buah pin digital yang dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* serta 16 buah pin analog yang berlabel A0 sampai A15. Resolusi dari setiap pin analog adalah 10 bit. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga dibekali dengan fitur-fitur yang mempunyai fungsi khusus, antara lain sebagai berikut:

a. Komunikasi Serial

Arduino Mega memiliki 4 buah komunikasi serial. Port serial 0: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX), port serial 1: pin 19 (RX) dan pin 18 (TX), port serial 2: pin 17 (RX) dan pin 16 (TX), port serial 3: pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). Pin RX berfungsi untuk menerima data serial TTL, sementara pin TX berfungsi untuk mengirim data serial TTL.

b. Interrupt Eksternal

Arduino Mega memiliki 6 buah interrupt eksternal. Interrupt 0 (pin 2), interrupt 1 (pin 3), interrupt 2 (pin 21), interrupt 3 (pin 20), interrupt 4 (pin 19), dan interrupt 5 (pin 18).

c. Pin PWM

Arduino Mega memiliki 15 buah pin PWM yang terdapat pada pin: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 44, 45, dan 46. Setiap pin tersebut bisa digunakan untuk output PWM yang berukuran 8 bit.

d. Pin I2C

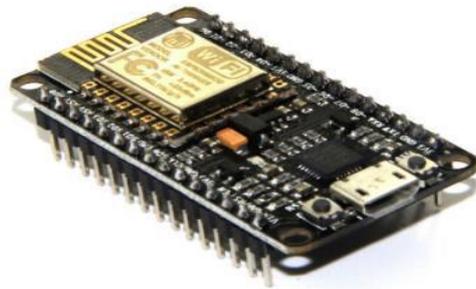
Arduino Mega memiliki pin I2C yang terdapat pada pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL).

e. Pin SPI

Komunikasi SPI pada Arduino Mega terdapat pada pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), dan pin 53 (SS).

2.8.3. NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan suatu *platform* IoT (*Internet of Things*) yang bersifat *open source*. *Board* ini terdiri dari perangkat keras SoC (System on Chip) ESP8266 buatan Espressif System dan juga menggunakan *firmware* dengan bahasa pemrograman Lua. NodeMCU dapat dianalogikan sebagai *board* Arduinonya ESP8266. NodeMCU menggabungkan ESP8266 menjadi sebuah *board* dengan berbagai macam fungsi layaknya mikrokontroler yang dilengkapi dengan kemampuan akses WiFi serta chip komunikasi USB to Serial sehingga proses pemrogramannya hanya memerlukan kabel data mikro USB [26].



Gambar 2.17 NodeMCU ESP8266

2.9. Modul Sensor Kecepatan LM393

Modul sensor kecepatan ini dilengkapi dengan IC LM393 serta sensor *optocoupler*. Sensor *optocoupler* bekerja dengan cara mendeteksi perubahan cahaya inframerah. Sensor *optocoupler* terdiri dari dua bagian utama, yaitu *transmitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* terdiri dari sebuah LED inframerah (IR LED) yang berfungsi untuk mengirim sinyal kepada bagian *receiver*. Sementara bagian *receiver* terdiri dari komponen yang dapat menerima cahaya yang dipancarkan *transmitter*.

Modul sensor ini mendeteksi pergerakan suatu benda yang diletakkan di antara bagian *transmitter* dan *receiver* sensor. Benda tersebut biasanya berupa 25 piringan *encoder* (*disk encoder*) atau kisi sehingga ketika kisi ini berputar, maka akan terdapat kondisi di mana cahaya inframerah terhubung dan terhalang oleh kisi. Pada saat sensor *optocoupler* terhalang kisi, maka rangkaian akan *open*. Namun, pada saat sensor tidak terhalang kisi, maka rangkaian akan *close*. Dengan begitu, cahaya

inframerah yang ditangkap akan terputus-putus dan akan menghasilkan pulsa *on* dan *off*. Pulsa *on* dan *off* ini kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi nilai kecepatan.



Gambar 2.18 Modul Sensor Kecepatan LM393

2.10. Modul Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 merupakan suatu sensor yang bekerja berdasarkan efek medan magnet. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC). Modul sensor ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arus menjadi meningkat dan mampu mengukur perubahan arus yang kecil.



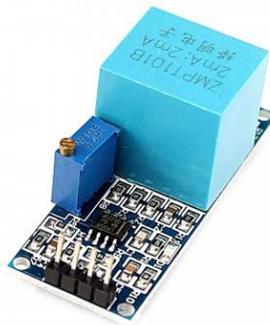
Gambar 2.19 Modul Sensor Arus ACS712

Sensor arus bekerja dengan membaca arus yang mengalir melalui kabel tembaga yang tersedia di dalam modul sensor yang menghasilkan medan magnet di mana kemudian akan di tangkap oleh IC. Medan magnet yang terintegrasi lalu diubah menjadi tegangan proporsional. Nilai variabel dari sensor ini merupakan input untuk mikrokontroler yang kemudian diolah. Keluaran dari sensor ini masih berupa

sinyal tegangan AC, agar dapat diolah mikrokontroler maka sinyal tegangan AC ini disearahkan oleh rangkaian penyearah.

2.11. Modul Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor tegangan merupakan suatu sensor yang digunakan untuk melakukan pemantauan terhadap tegangan. Kelebihan dari sensor ini yaitu memiliki sebuah *ultra micro voltage transformer*, tingkat akurasi yang tinggi dan konsistensi yang baik untuk melakukan pengukuran tegangan dan daya.



Gambar 2.20 Modul Sensor Tegangan ZMPT101B

2.12. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things atau yang lebih dikenal dengan istilah IoT adalah suatu konsep yang memiliki tujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang terhubung secara terus-menerus. Pada dasarnya *Internet of Things* mengacu pada benda-benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai *representative virtual* dalam struktur berbasis internet [27].

Struktur dasar dari *internet of things* melibatkan tiga komponen utama, yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan konektivitas. Perangkat keras mencakup berbagai jenis perangkat yang memiliki kemampuan untuk terhubung ke internet, seperti sensor dan mikrokontroler. Perangkat lunak mencakup pada aplikasi atau sistem operasi yang digunakan untuk mengendalikan dan memproses data dari perangkat keras. Konektivitas memungkinkan perangkat

untuk terhubung ke internet dan berkomunikasi dengan satu sama lain, umumnya melalui teknologi nirkabel seperti *Wi-Fi* atau *Bluetooth*.

Prinsip kerja dari IoT adalah terjadinya interaksi antar sesama mesin atau benda secara otomatis tanpa adanya campur tangan *user* dalam jarak berapa pun menggunakan koneksi internet sebagai penghubung. Pada konsep ini, *user* hanya bertugas sebagai pengatur dan pemantau. Keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan konsep IoT adalah membuat suatu pekerjaan menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien. Sistem dasar dari *Internet of Things* adalah perangkat keras/*hardware (things)*, koneksi internet, serta *cloud data center* yang bertindak untuk menyimpan data atau menjalankan aplikasi [27].

2.13. *Blynk*

Blynk merupakan sebuah layanan *server* yang digunakan untuk mendukung proyek IoT (*Internet of Things*). Aplikasi ini mempunyai lingkungan *mobile user* Android maupun iOS. *Blynk* dapat diunduh melalui Google Play Store dan App Store. *Blynk* mendukung berbagai *hardware* yang dapat digunakan untuk proyek IoT. Proses penambahan komponen pada *Blynk* dilakukan dengan cara *drag and drop*, sehingga tidak memerlukan kemampuan khusus dalam pemrograman Android maupun iOS.

Blynk dibuat dengan tujuan untuk mengatur dan memantau *hardware* dari jarak berapa pun menggunakan koneksi internet. Kemampuan *Blynk* dalam menyimpan dan menampilkan data secara visual baik menggunakan angka, warna, hingga grafik akan memudahkan pembuatan proyek dalam bidang IoT. Adapun bagian-bagian utama dari *Blynk* antara lain [28]:

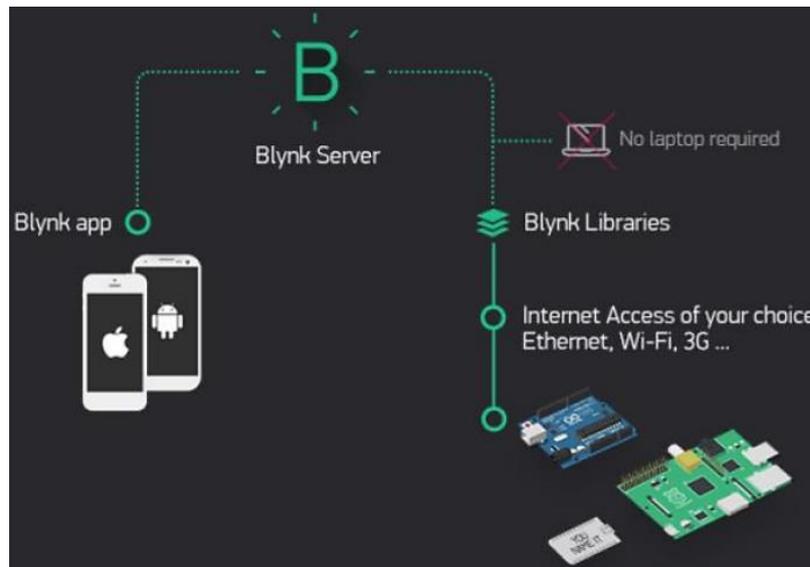
a. *Blynk App*

Bagian ini memungkinkan pembuatan proyek *interface* yang dapat dilengkapi dengan berbagai komponen *input* dan *output* untuk mendukung pengiriman dan penerimaan data serta merepresentasikannya sesuai dengan komponen yang dipilih. Data yang direpresentasikan ini dapat berbentuk angka, visual, maupun grafik. Terdapat empat jenis komponen pada *Blynk App*, antara lain:

- *Controller*, berfungsi untuk mengirim data atau perintah ke *hardware*.
- *Display*, berfungsi untuk menampilkan data dari *hardware* ke *smartphone*.
- *Notifications*, berfungsi untuk menerima pesan dan notifikasi.
- *Interface*, sebagai tampilan pada *Blynk App* yang berupa *menu* atau *tab*.
- *Others*, komponen ini antara lain terdiri dari *RTC*, *Bridge*, dan *Bluetooth*.

b. Server Blynk

Bagian ini merupakan fasilitas *backend service* berbasis *cloud* yang berfungsi untuk mengatur komunikasi antara *smartphone* dengan *hardware*. Kemampuannya dalam menangani puluhan *hardware* pada saat bersamaan akan mempermudah pengembangan sistem IoT. *Server Blynk* juga tersedia dalam bentuk *server* lokal apabila ingin digunakan pada lingkungan tanpa koneksi internet.



Gambar 2.21 *Server Blynk*

c. *Blynk Library*

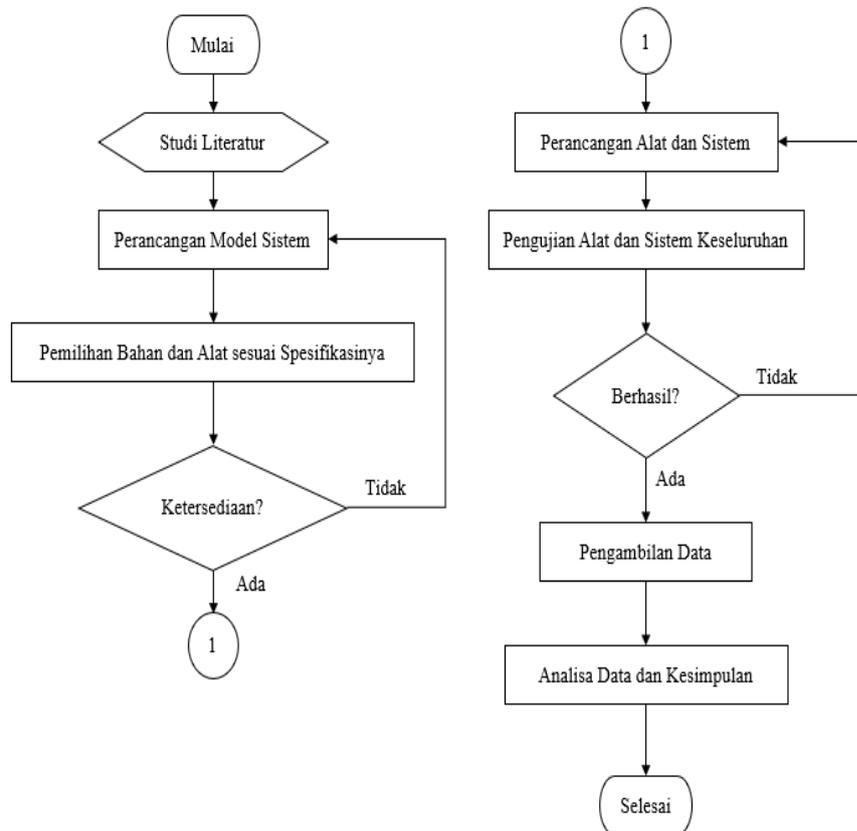
Bagian ini digunakan untuk membantu pengembangan *code*. *Blynk Library* dapat ditemukan pada banyak *platform hardware*, sehingga semakin mempermudah *developer* IoT dengan fleksibilitas *hardware* yang didukung lingkungan *Blynk*.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 7 bulan, yaitu mulai pada bulan Oktober 2022 hingga Mei 2023 yang berlokasi di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Diagram Alir Penelitian

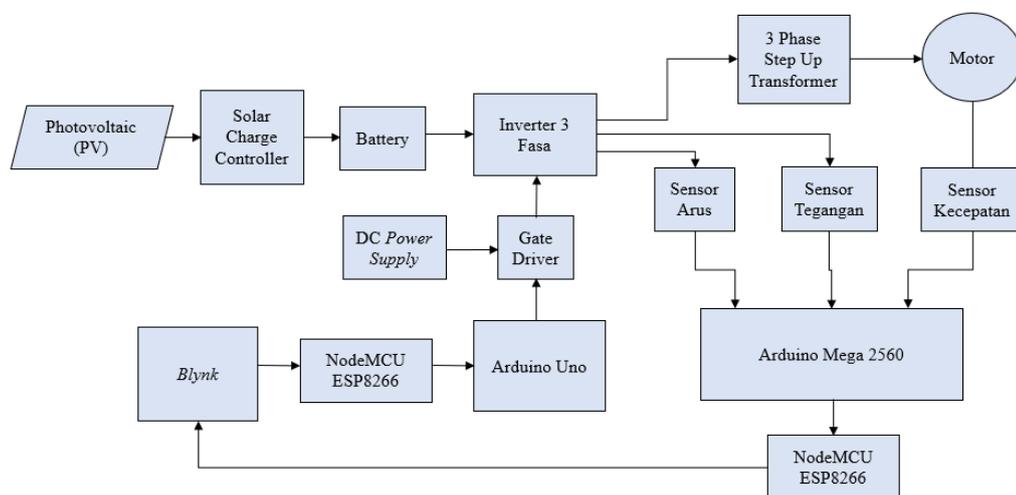


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, perancangan model sistem, pemilihan alat dan bahan, perancangan alat dan sistem, pengujian alat dan sistem keseluruhan, pengambilan data, serta analisis data dan kesimpulan.

3.3. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Adapun fungsi dari masing-masing blok yang terdapat pada diagram blok penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor Induksi

Pada penelitian ini, motor induksi digunakan sebagai objek yang dikendalikan.

2. Inverter 3 Fasa

Inverter 3 fasa digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa melalui perubahan nilai frekuensi.

3. Transformator 3 Fasa

Transformator 3 fasa yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran (*output*) inverter 3 fasa agar mampu memutar motor induksi 3 fasa.

4. *Photovoltaic* (PV)

Photovoltaic (PV) atau panel surya berfungsi sebagai alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan ke baterai yang kemudian akan menjadi sumber energi untuk inverter 3 fasa.

5. Baterai 12V

Accumulator atau baterai 12V berfungsi untuk menyimpan energi listrik untuk sumber tegangan inverter 3 fasa.

6. *Solar Charge Controller*

Solar charge controller digunakan untuk mengatur arus searah (DC) yang dihasilkan dari panel surya untuk pengisian ke baterai.

7. Arduino Uno

Arduino Uno berfungsi untuk menghasilkan sinyal PWM untuk diteruskan ke *gate driver* yang nantinya digunakan untuk mengatur pensaklaran pada *inverter* 3 fasa melalui aplikasi *Blynk*.

8. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 berfungsi untuk mengolah hasil pembacaan dari sensor tegangan, arus dan kecepatan, mengirim data ke modul NodeMCU ESP8266 untuk ditampilkan pada layar *monitoring* aplikasi *Blynk*.

9. *Gate Driver*

Gate driver berfungsi sebagai penguat tegangan pada Arduino Uno yang pada umumnya sebesar 5V kemudian akan menjadi tegangan yang memicu *gate* pada MOSFET di inverter.

10. DC *Power Supply*

DC *power supply* berfungsi untuk menyuplai daya ke rangkaian *gate driver*.

11. Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan yang dihasilkan dari keluaran inverter 3 fasa.

12. Sensor Arus

Sensor arus berfungsi untuk mengetahui nilai arus yang dihasilkan dari keluaran inverter 3 fasa.

13. Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan berfungsi untuk mengetahui nilai kecepatan dari motor induksi 3 fasa.

14. NodeMCU ESP8266

NodeMCU berfungsi untuk menerima data berupa nilai frekuensi yang diatur dari aplikasi *Blynk* yang kemudian data tersebut dikirimkan ke *board* Arduino Uno untuk diolah. Selain itu, NodeMCU berfungsi untuk menerima data berupa nilai arus, tegangan dan kecepatan putaran motor dari Arduino Mega yang kemudian data tersebut dikirimkan ke aplikasi *Blynk* melalui koneksi internet untuk ditampilkan pada layar *monitor Blynk*.

15. *Blynk*

Blynk sebagai *platform* IoT (*Internet of Things*) untuk memantau arus, tegangan dan kecepatan motor, serta melakukan kontrol kecepatan motor induksi 3 fasa.

3.4. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

3.4.1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor Induksi 3 Fasa Tipe 731404 Class 0.1
2. Rangkaian Inverter 3 Fasa
3. Rangkaian Catu Daya (*power supply*) 6 buah
4. Rangkaian *Gate Driver* 6 buah
5. *Accumulator* VRLA 12 V 5Ah 2 buah
6. *Microcontroller* Arduino Mega 2560
7. *Microcontroller* Arduino Uno

8. NodeMCU ESP8266 2 buah
9. *Photovoltaic* (PV) Polycrystalline 50W 2 buah
10. *Solar Charge Controller* Model W88-C 12V/24V
11. Rangkaian Transformator *Step Up* 9V/220V 2A
12. Modul Sensor Tegangan ZMPT101B
13. Modul Sensor Arus ACS712
14. Sensor Kecepatan LM393
15. Laptop Asus Vivobook Flip 14
16. *Smartphone* Samsung A52s
17. Multimeter Digital
18. Osiloskop Digital
19. Kabel USB
20. Tachometer

3.4.2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proteus 8.9
2. Microsoft Office 2016
3. Arduino IDE 1.8.19
4. EasyEDA
5. Blynk

3.5. Perancangan Sistem

Adapun tahapan-tahapan perancangan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, spesifikasi motor induksi yang digunakan, spesifikasi panel surya yang digunakan, perancangan rangkaian *gate driver*, perancangan rangkaian inverter 3 fasa, perancangan rangkaian catu daya DC (*power supply*), perancangan *wiring* panel surya, perancangan *wiring* mikrokontroler, perancangan *wiring* sensor arus, perancangan *wiring* sensor tegangan, perancangan *wiring* sensor kecepatan, perancangan *wiring* transformator *step up* 9/220V, perancangan pengendalian dan

pemantauan motor induksi berbasis IOT (*internet of things*), dan pemrograman mikrokontroler.

3.5.1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini akan dilakukan pengumpulan referensi yang akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan perancangan alat. Dari referensi - referensi tersebut akan dipelajari komponen, metode, rangkaian, dan hal - hal lainnya yang berhubungan dengan perancangan alat. Tahap ini juga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan karakteristik dan prinsip kerja dari komponen-komponen maupun program yang akan digunakan dalam merancang alat. Beberapa referensi yang dikumpulkan antara lain:

- a. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa.
- b. Prinsip kerja inverter 3 fasa.
- c. Pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa.
- d. Perancangan sistem kendali IoT (*Internet of Things*).
- e. Pemrograman Mikrokontroler Arduino Mega 2560, Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266.
- f. Rangkaian dan karakteristik komponen yang akan digunakan (*Datasheet*).

3.5.2. Spesifikasi Motor Induksi yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan motor induksi 3 fasa sebagai objek yang dikendalikan.



Gambar 3.3 Motor Induksi yang Digunakan pada Penelitian

Spesifikasi motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis motor : Motor induksi tiga fasa
2. Tipe : 731404 CLASS 0.1
3. *Rating* tegangan : 400V (Y) /230V (Δ)
4. *Rating* arus : 0.45A (Y) /0.78A (Δ)
5. *Rating* daya : 0.12 kW
6. *Rating* frekuensi : 50 Hz
7. *Rating* kecepatan : 1380 U/min
8. $\cos \varphi$: 0.67

3.5.3. Spesifikasi Panel Surya yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan panel surya dimana energi cahaya matahari akan dikonversi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan ke baterai yang kemudian akan menjadi sumber energi untuk inverter 3 fasa.



Gambar 3.4 Panel Surya yang Digunakan pada Penelitian

Spesifikasi dari panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

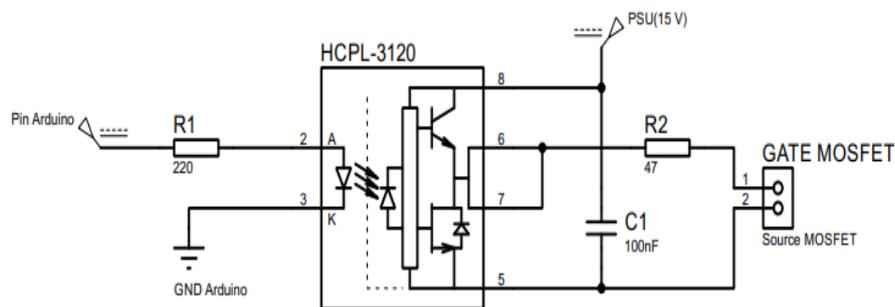
1. Jenis panel surya : *Polycrystalline*
2. *Rated Max Power*(p_{max}) : 50 (W)
3. *Voltage at Pmax*(V_{mp}) : 18.2 (V)
4. *Current at Pmax*(I_{mp}) : 2.75 (A)

5. *Open-Circuit Voltage(VOC)* : 22.3 (V)
6. *Short-Circuit Current(ISC)* : 2.91 (A)

3.5.4. Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian *gate driver*. Tegangan keluaran pada pin PWM Arduino Uno yaitu sebesar 5 Volt. Namun tegangan keluaran ini belum mampu untuk mengaktifkan MOSFET secara optimal. Besarnya tegangan *gate* pada MOSFET IRFP460 agar dapat bekerja secara optimal disarankan sekitar 15 Volt, sehingga diperlukan rangkaian *gate driver* untuk menguatkan tegangan keluaran Arduino menjadi 15 Volt agar dapat melakukan pensaklaran pada MOSFET. Pada penelitian ini, komponen-komponen yang digunakan pada rangkaian *gate driver* terdiri dari IC *Optocoupler* HCPL 3120, resistor 47 ohm, resistor 220 ohm dan kapasitor *Mylar* 0.1 μ F.

Jumlah rangkaian *gate driver* yang akan dibuat sesuai dengan jumlah MOSFET yang digunakan, sehingga pada penelitian ini akan dibuat rangkaian *gate driver* sebanyak 6 buah karena MOSFET yang akan digunakan pada proses pensaklaran sebanyak 6 MOSFET. Berikut merupakan rancangan rangkaian *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.5.

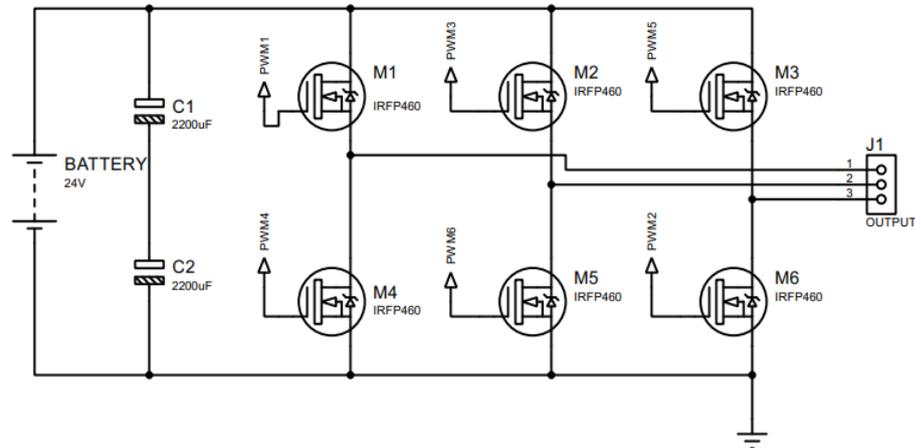


Gambar 3.5 Rangkaian *Gate Driver*

3.5.5. Perancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian inverter 3 fasa. Pada rangkaian inverter diperlukan beberapa komponen penyusun antara lain yaitu, MOSFET

IRFP460 sebanyak 6 buah, kapasitor Elco 2200 μ F 180V dan sumber DC 12 Volt sebanyak 2 buah. Adapun rangkaian inverter 3 fasa dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Perancangan Rangkaian Inverter 3 Fasa

Adapun urutan pensaklaran pada masing-masing MOSFET ditunjukkan pada tabel 3.1.

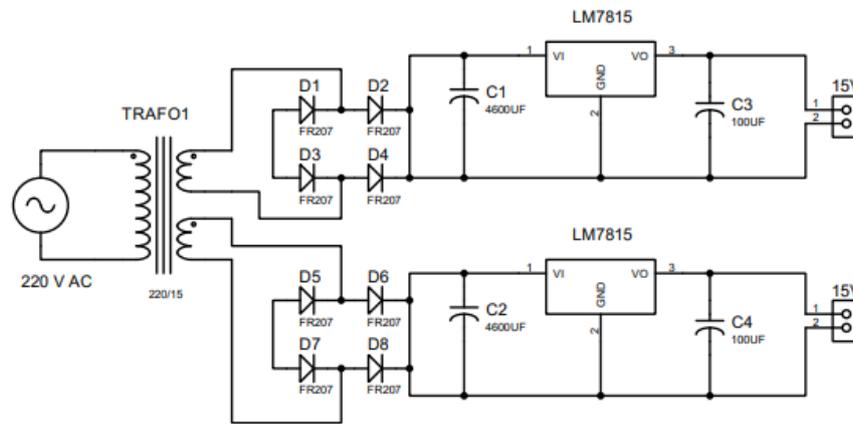
Tabel 3.1 Urutan Pensaklaran pada Masing-Masing MOSFET

Interval (degree)	Kondisi MOSFET					
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
0 – 60	1	0	0	0	1	1
60 – 120	1	1	0	0	0	1
120 – 180	1	1	1	0	0	0
180 – 240	0	1	1	1	0	0
240 – 300	0	0	1	1	1	0
300 – 360	0	0	0	1	1	1

3.5.6. Perancangan Rangkaian DC Power Supply

Pada penelitian ini rangkaian *gate driver* memerlukan suplai tegangan DC sebesar 15 Volt. Sehingga, dirancang rangkaian catu daya DC (*power supply*) 15V. Jumlah rangkaian catu daya DC yang dibuat pada penelitian ini berjumlah 6 buah menyesuaikan dengan jumlah rangkaian *gate driver*. Adapun komponen penyusun

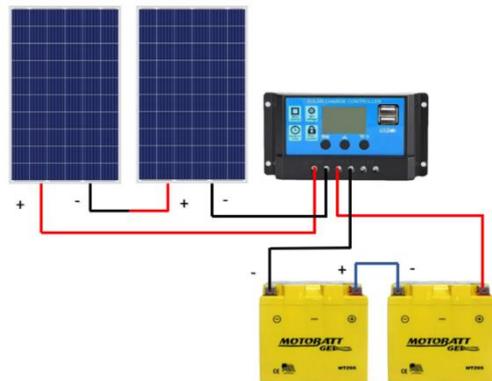
pada rangkaian catu daya antara lain yaitu transformator CT 220/15V 1 Ampere, dioda FR207, IC *Regulator* LM7815, kapasitor 4600 μF dan kapasitor 100 μF . Rancangan rangkaian catu daya DC yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rancangan Rangkaian DC Power Supply

3.5.7. Perancangan *Wiring* Panel Surya

Pada penelitian ini menggunakan panel surya jenis *polycrystalline* untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan ke baterai yang kemudian akan menjadi sumber energi untuk inverter 3 fasa.



Gambar 3.8 Perancangan *Wiring* Panel Surya

Pada penelitian ini akan menggunakan dua buah panel surya yang disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan yang cukup untuk mengisi baterai. Serta,

menggunakan *solar charge controller* untuk mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan. Adapun rancangan *wiring* pada panel surya ditunjukkan pada gambar 3.8.

3.5.8. Perancangan *Wiring* Mikrokontroler

Pada penelitian ini akan menggunakan empat buah *board microcontroller* yaitu satu buah *board* Arduino Uno, satu buah *board* Arduino Mega 2560, dan dua buah *board* NodeMCU ESP8266. Adapun fungsi kerja dari setiap *board microcontroller* akan berbeda. *Board* Arduino Uno akan digunakan untuk melakukan pengendalian kecepatan motor induksi melalui proses pensaklaran (*switching*) pada inverter. *Board* NodeMCU ESP8266 akan digunakan sebagai penghubung antara Arduino Uno dengan *smartphone* agar dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet. *Board* Arduino Uno akan terhubung dengan *board* NodeMCU agar dapat melakukan pengendalian kecepatan motor melalui aplikasi *Blynk*. *Board* Arduino Mega 2560 akan digunakan untuk melakukan proses pembacaan nilai dari sensor dan pengiriman data sensor ke NodeMCU. Kemudian, *board* NodeMCU akan menerima data-data pembacaan sensor dari Arduino Mega yang kemudian akan ditampilkan pada layar *monitor* aplikasi *Blynk* di *smartphone*.

Terdapat dua jenis perangkat keras (*hardware*) yang terhubung langsung dengan *board* Arduino Uno, yaitu rangkaian *gate driver* dan modul NodeMCU ESP8266. Sedangkan pada *board* Arduino Mega 2560, terdapat empat jenis perangkat keras yang terhubung langsung yaitu modul sensor arus ACS712, modul sensor tegangan ZMPT101B, modul sensor kecepatan LM393, dan modul NodeMCU ESP8266.

Pada Mikrokontroler Arduino Uno, rangkaian *gate driver* akan menggunakan pin PWM untuk melakukan proses pensaklaran (*switching*) inverter. Adapun pin yang digunakan yaitu pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9 dan pin GND. Konfigurasi pin Arduino Uno yang digunakan untuk proses pensaklaran ditunjukkan pada tabel 3.2. Pada *board* NodeMCU, pin D1 (TX) akan dihubungkan dengan pin digital 3 Arduino Uno, pin D2 (RX) akan dihubungkan dengan pin 2 Arduino, dan pin G

akan dihubungkan dengan pin GND. Pin-pin yang terhubung ini akan digunakan untuk komunikasi serial antara Arduino dengan NodeMCU maupun antara Arduino/NodeMCU dengan komputer. Konfigurasi pin Arduino Uno dengan NodeMCU yang digunakan untuk proses pengendalian kecepatan motor induksi melalui *smartphone* ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Arduino Uno untuk *Switching* MOSFET

Pin Arduino Uno	Saklar
Pin 4	MOSFET 1
Pin 5	MOSFET 2
Pin 6	MOSFET 3
Pin 7	MOSFET 4
Pin 8	MOSFET 5
Pin 9	MOSFET 6

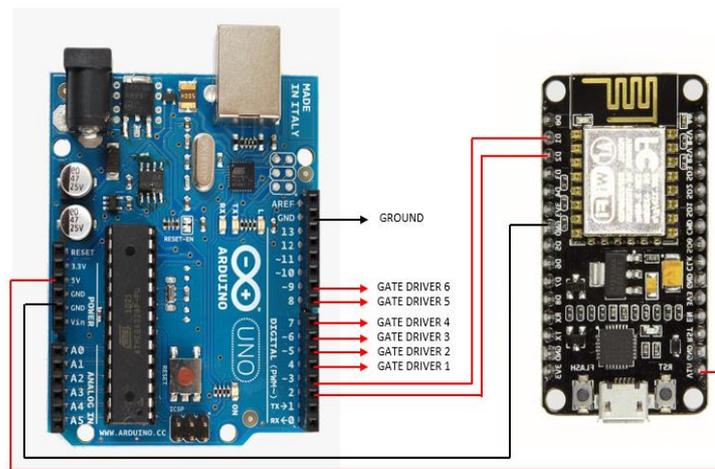
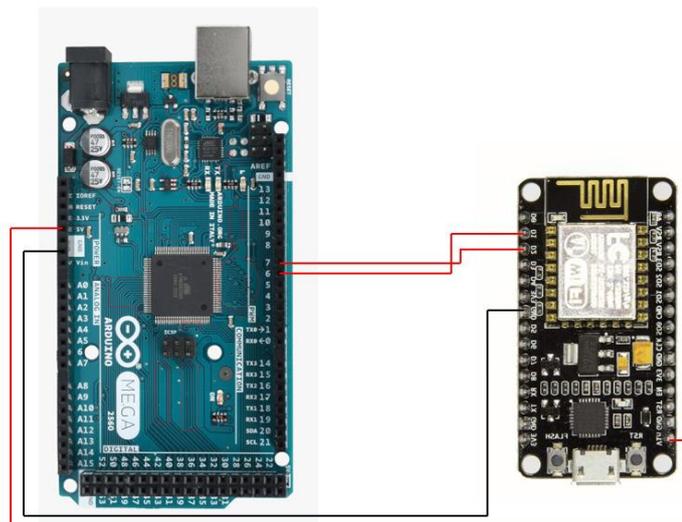
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Arduino Uno dengan NodeMCU ESP8266

Pin Arduino Uno	Pin NodeMCU ESP8266
Pin 2 (RX)	Pin D2 (TX)
Pin 3 (TX)	Pin D1 (RX)
Pin 5V	Pin Vin
Pin GND	Pin G

Pada Mikrokontroler Arduino Mega, modul sensor arus ACS712 terhubung dengan Arduino pada pin 5V, pin A5 dan pin GND. Pada modul sensor tegangan ZMPT101B, pin yang terhubung yaitu pin A6, pin 5V dan pin GND. Pada modul sensor kecepatan LM393, pin yang terhubung yaitu pin 5V, pin 2 dan pin GND. Kemudian, pada modul NodeMCU ESP8266, pin D1 akan dihubungkan dengan pin digital 7, pin D2 akan dihubungkan dengan pin digital 6, dan pin G akan dihubungkan dengan pin GND. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU yang digunakan untuk proses *monitoring* arus, tegangan dan kecepatan motor ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU ESP8266

Pin Arduino Mega 2560	Pin NodeMCU ESP8266
Pin 6 (RX)	Pin D2 (TX)
Pin 7 (TX)	Pin D1 (RX)
Pin 5V	Pin Vin
Pin GND	Pin G

Gambar 3.9 Perancangan *Wiring* Arduino Uno dengan NodeMCUGambar 3.10 Perancangan *Wiring* Arduino Mega 2560 dengan NodeMCU

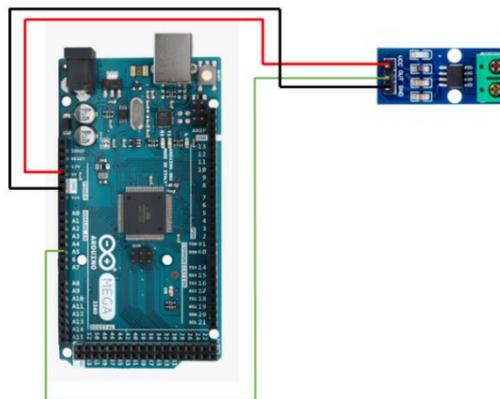
3.5.9. Perancangan *Wiring* Sensor Arus

Pada penelitian ini menggunakan modul sensor arus ACS712-30A untuk membaca arus pada keluaran (*output*) inverter. Sensor arus ini memiliki kemampuan pembacaan arus sampai 30 Ampere. Cara kerja sensor arus ini yaitu sensor arus diletakkan seri terhadap keluaran inverter.

Sensor ACS712 memiliki tiga pin utama yaitu VCC, GND, dan OUT. Pin OUT akan dihubungkan pada pin analog Arduino (A5), pin VCC akan dihubungkan pada *terminal block* yang terhubung dengan pin 5VDC Arduino, dan pin GND akan dihubungkan dengan *terminal block* yang terhubung dengan pin GND Arduino untuk dapat mengaktifkan sensor arus tersebut. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 yang digunakan untuk sensor arus ACS712 ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 untuk Sensor ACS712

Pin Modul ACS712	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5 V
GND	GND
OUT	A5



Gambar 3.11 Perancangan *Wiring* Sensor Arus dengan Arduino Mega 2560

Sensor arus akan langsung membaca besar nilai arus pada keluaran inverter saat sedang bekerja, kemudian akan mengirimkan data pembacaan arus tersebut ke

Arduino Mega untuk segera di proses. Perancangan *wiring* sensor arus dengan Arduino Mega 2560 pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.11 diatas.

3.5.10. Perancangan *Wiring* Sensor Tegangan

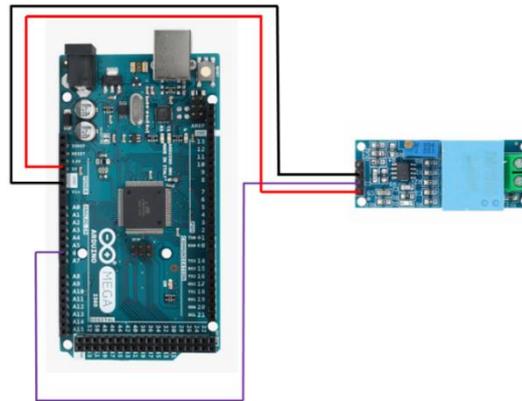
Pada penelitian ini menggunakan modul sensor tegangan ZMPT101B untuk membaca tegangan fasa ke netral pada keluaran (*output*) inverter. Sensor tegangan ini memiliki kemampuan pembacaan tegangan AC sampai 250 Volt. Cara kerja sensor tegangan ini yaitu sensor tegangan diletakkan paralel terhadap keluaran inverter. Perancangan *wiring* sensor arus dengan Arduino Mega 2560 pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.12.

Sensor ZMPT101B memiliki tiga pin utama yaitu VCC, GND, dan OUT. Pin OUT akan dihubungkan pada pin analog Arduino (A6), pin VCC akan dihubungkan pada *terminal block* yang terhubung dengan pin 5VDC Arduino, dan pin GND akan dihubungkan dengan *terminal block* yang terhubung dengan pin GND Arduino untuk dapat mengaktifkan sensor tegangan tersebut. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 yang digunakan untuk sensor tegangan ZMPT101B ditunjukkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 untuk Sensor ZMPT101B

Pin Modul ZMPT101B	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5 V
GND	GND
OUT	A6

Sensor tegangan akan langsung membaca besar nilai tegangan pada keluaran inverter saat sedang bekerja, kemudian akan mengirimkan data pembacaan tegangan tersebut ke Arduino Mega untuk segera di proses.

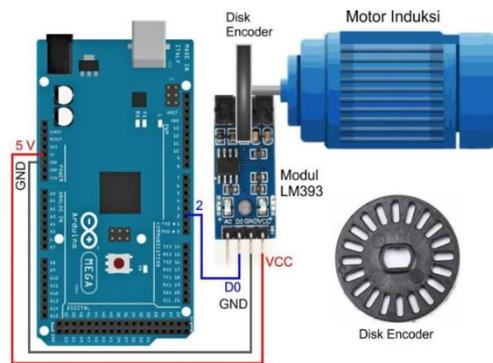


Gambar 3.12 Perancangan *Wiring* Sensor Tegangan dengan Arduino Mega 2560

3.5.11. Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Penelitian ini menggunakan modul sensor kecepatan LM393 untuk mendeteksi kecepatan putar motor berdasarkan picu cahaya optik. Cahaya inframerah yang dipancarkan akan dideteksi oleh *photoresistor* dan menyebabkan terjadinya hubungan atau *switch ON* pada *photoresistor*. Rangkaian sensor ini terdiri dari modul LM393 dan sebuah *disk encoder* yang ditempelkan pada batang rotor motor induksi. Sensor LM393 mendapatkan *input* tegangan dari Arduino Mega 2560 oleh pin 5VDC dan *output* dari sensor masuk kembali ke pin digital Arduino Mega 2560. Sensor ini mendeteksi kecepatan putar motor melalui pembacaan *disk encoder*. *Disk encoder* yang berputar akan menghasilkan pulsa *on* dan *off* pada modul LM393. Selanjutnya, pulsa *on* dan *off* akan dikirimkan melalui pin D0 modul LM393 dan akan diterima oleh pin digital 2 (pin *interrupt* 0) Arduino Mega untuk dikonversi menjadi nilai kecepatan.

Penempatan sensor sejajar dengan rotor pada motor induksi 3 fasa, yang menyebabkan bila terdapat perubahan pada kecepatan rotor, maka sensor akan mendeteksi besar dari perubahan tersebut melalui perubahan RPM. Perancangan *wiring* sensor kecepatan dengan Arduino Mega 2560 pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.13 dibawah ini. Pin *wiring* sensor kecepatan LM393 dengan Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada tabel 3.7 dibawah ini.



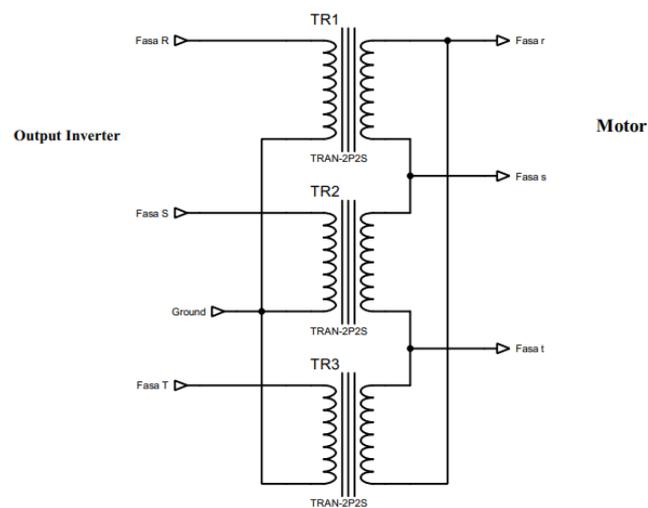
Gambar 3.13 Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan dengan Arduino Mega 2560

Tabel 3.7 Konfigurasi Pin Arduino Mega untuk Sensor LM393

Pin Modul LM393	Pin Arduino Mega 2560
VCC	5 V
GND	GND
D0	2

3.5.12. Perancangan *Wiring* Transformator *Step Up*

Pada penelitian ini tegangan keluaran inverter belum mencukupi tegangan input pada motor induksi 3 fasa, sehingga dirancang transformator 3 fasa untuk menaikkan tegangan keluaran inverter menjadi 220V agar dapat menggerakkan motor.

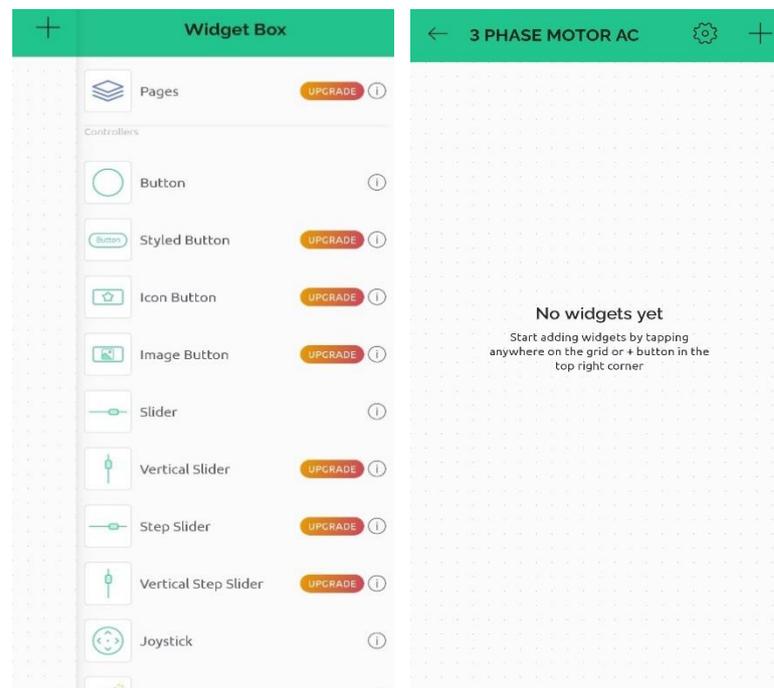


Gambar 3.14 Perancangan *Wiring* Transformator *Step Up*

Pada penelitian ini akan dirancangan transformator 3 fasa dengan hubung star-delta (Y- Δ) Perancangan *wiring* transformator *step up* pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.14 diatas.

3.5.13. Perancangan Pengendalian dan Pemantauan Motor Induksi Berbasis IoT (*Internet of Things*)

Proses pengendalian dan pemantauan motor induksi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan internet/*Wi-Fi* sehingga proses pengendalian dan pemantauan motor induksi 3 fasa dapat dilakukan melalui jarak jauh. Penelitian ini menggunakan *platform Blynk* untuk mengakses data pemantauan (*monitoring*) arus, tegangan dan kecepatan motor, serta untuk mengirimkan perintah pengendalian (*controlling*) kecepatan motor melalui perubahan frekuensi. *Software Blynk* dapat diakses melalui berbagai perangkat, salah satunya yaitu *smartphone*. Berikut merupakan tampilan pada *platform Blynk* ditunjukkan pada gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3.15 Tampilan pada Aplikasi *Blynk*

3.5.14. Pemrograman Mikrokontroler

Pada penelitian ini proses pemrograman Arduino Uno, Arduino Mega 2560, dan NodeMCU ESP8266 dilakukan menggunakan aplikasi Arduino IDE.

1. Pemrograman Arduino Uno

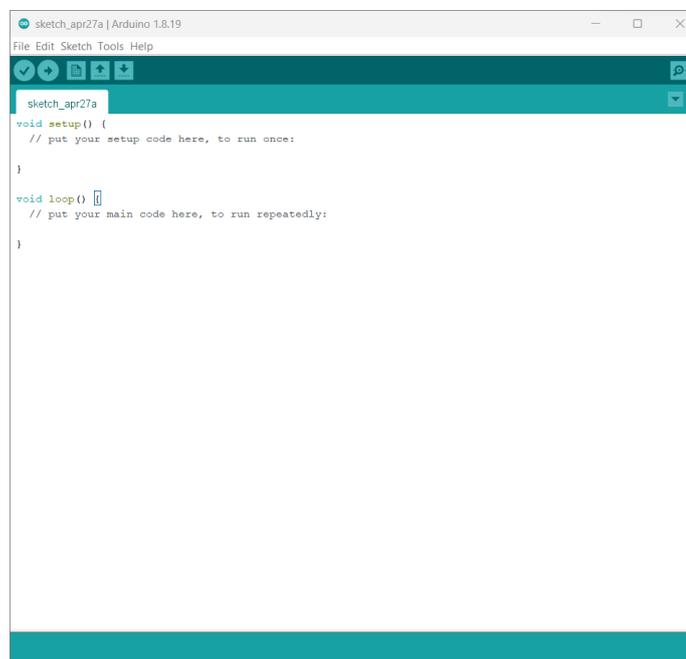
Pemrograman pada Arduino Uno terdiri dari:

- Pemrograman untuk pensaklaran (*switching*) MOSFET inverter 3 fasa.
- Pemrograman untuk menerima data dari NodeMCU dan untuk mengirim data ke NodeMCU.

2. Pemrograman Arduino Mega 2560

Pemrograman pada Arduino Mega 2560 terdiri dari:

- Pemrograman untuk pembacaan sensor arus ACS712.
- Pemrograman untuk pembacaan sensor tegangan ZMPT101B.
- Pemrograman untuk pembacaan sensor kecepatan LM393.
- Pemrograman untuk mengirim data pembacaan sensor ke NodeMCU dan untuk menerima data dari NodeMCU.



Gambar 3.16 Tampilan Aplikasi Arduino IDE

3. Pemrograman NodeMCU ESP8266

Pemrograman pada NodeMCU terdiri dari:

- Pemrograman untuk menerima data dari aplikasi *Blynk* dan untuk mengirim data ke Arduino Uno.
- Pemrograman untuk menerima data dari Arduino Mega 2560 dan menampilkan data ke layar *monitoring Blynk*.

3.6. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan tujuan untuk melihat keberhasilan alat yang telah dibuat sesuai dengan prinsip kerja dan referensi yang digunakan selama penelitian. Selain itu, pengujian alat dilakukan untuk mengambil data yang dihasilkan dari alat untuk dapat digunakan sebagai acuan untuk menganalisa hasil pengujian. Pengujian ini terdiri dari beberapa proses antara lain:

3.6.1. Pengujian Modul *Gate Driver*

Pengujian modul *gate driver* akan dilakukan dengan melihat gelombang keluaran dari hasil pemrograman inverter pada *microcontroller* Arduino Uno.

3.6.2. Pengujian Modul Inverter 3 Fasa

Pengujian modul inverter 3 fasa dilakukan dengan melihat pengaruh perubahan frekuensi pada kecepatan motor induksi yang diakibatkan oleh proses pensaklaran (*switching*) MOSFET pada inverter.

3.6.3. Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini merupakan pengujian tahap akhir dimana pengujian dilakukan secara menyeluruh. Pengujian ini dilakukan dengan melihat interaksi yang terjadi antara perubahan frekuensi yang dihasilkan inverter dengan aksi pada motor yaitu berupa kecepatan motor yang dihasilkan. Pengaturan perubahan frekuensi dilakukan melalui *smartphone*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan panel surya berhasil dilakukan dari mana saja selama rangkaian NodeMCU ESP8266 dan *smartphone* terhubung dengan internet. Panel surya dapat digunakan sebagai sumber listrik DC inverter dimana pada proses pengisian baterai, semakin besar intensitas cahaya maka tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya juga semakin besar.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, perubahan frekuensi pada proses *switching* inverter berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa dimana pada frekuensi 30 Hz kecepatan motor yaitu 1049 RPM, frekuensi 40 Hz kecepatan motor yaitu 1149 RPM, dan frekuensi 50 Hz kecepatan motor yaitu 1556 RPM. Hubungan antara frekuensi dan kecepatan motor induksi 3 fasa adalah berbanding lurus.
3. Berdasarkan hasil pemantauan tegangan dan arus pada aplikasi *Blynk*, pada frekuensi 30 Hz tegangan dan arus pada keluaran inverter yaitu 7,13 V dan 2,31 A, pada frekuensi 40 Hz tegangan dan arus pada keluaran inverter yaitu 7,52 V dan 2,39 A, dan pada frekuensi 50 Hz tegangan dan arus pada keluaran inverter yaitu 8,15 V dan 2,46 A. Hubungan frekuensi dengan tegangan pada inverter adalah berbanding lurus dan hubungan frekuensi dengan arus pada inverter adalah berbanding lurus.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan penambahan baterai untuk sumber inverter 3 fasa sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan saat sudah dinaikkan dengan transformator menjadi lebih besar dan sesuai dengan *rating* tegangan masukan motor.
2. Perlu dilakukan pengembangan pada kendali kecepatan motor induksi 3 fasa menjadi kendali *close loop* sehingga kecepatan putaran motor dapat menjadi stabil.
3. Perlu dilakukan pengembangan pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266 menjadi ESP32 atau mikrokontroler terbaru agar rangkaian menjadi lebih sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Maulidia, P. Dargusch, P. Ashworth, and F. Ardiansyah, "Rethinking renewable energy targets and electricity sector reform in Indonesia: A private sector perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 101, pp. 231–247, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.005.
- [2] T. Artiningrum and J. Havianto, "Meningkatkan Peran Energi Bersih Lewat Pemanfaatan Sinar Matahari," *Geoplanart*, vol. 2, no. 2, pp. 100–115, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.35138/gp.v2i2.185>.
- [3] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi," *J. Ris. Dan Teknol. Kelaut. JRTK*, vol. 10, no. 2, pp. 169–180, 2012.
- [4] M. H. Hasan, T. M. I. Mahlia, and H. Nur, "A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 2316–2328, May 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.12.007.
- [5] H. Asyari, U. Umar, and A. P. Irawan, "Desain Prototipe Kompor Listrik Tenaga Surya," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 19, no. 1, pp. 6–9, Mar. 2019, doi: 10.23917/emitor.v19i1.6997.
- [6] A. S. Irtawaty and M. Ulfah, "Perancangan Dan Implementasi PLTS Mini Kapasitas 20 Wp Untuk Teras Rumah Warga Di Kelurahan Mannggar Kota Balikpapan," vol. 1, no. 2, 2022.
- [7] H. Setiawan, "Implementasi Plts Sebagai Pengganti Sumber Energi Listrik Utama Rumah Tangga 1300va," p. 14.
- [8] I. S. Widharma, I. Sunaya, I. Sajayasa, and I. Sangka, "Perancangan Plts Sebagai Sumber Energi Pemanas Kolam Pendederan Ikan Nila," *J. Ilm. Vastuwidya*, vol. 3, no. 2, pp. 38–44, Aug. 2020, doi: 10.47532/jiv.v3i2.212.
- [9] A. Jaelani, N. Widaningsih, and M. Firman, "Mesin Tetas Tenaga Surya Pada Peternakan Itik Alabio Di Kecamatan Gambut Kabupaten Banjar," *J. Pengabd. Al-Ikhlas*, vol. 2, no. 2, May 2018, doi: 10.31602/jpai.v2i2.811.
- [10] R. I. Putri, M. Fauziyah, M. Rifa'i, and S. Adhisuwignjo, "Pemanfaatan Panel Surya Untuk Sistem Penerangan Kandang Ayam Di Kepanjen, Kabupaten Malang," vol. 4, 2021.
- [11] S. Sudarmono, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pembasmi Serangga Pada Tanaman Bawang Merah Di Kabupaten Brebes," *J. Appropriate Technol. Community Serv.*, vol. 1, no. 1, pp. 36–40, Jan. 2020, doi: 10.20885/jattec.vol1.iss1.art6.
- [12] N. F. Pratiwi, A. Pudind, and W. B. Mursanto, "Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163,8 kWp untuk Suplai Daya Industri Tekstil," *Pros. 13th Ind. Res. Workshop Natl. Semin.*, pp. 297–303, 2022.

- [13] R. Syahyuniar, "Pengaplikasian Panel Surya Pada Mobil Listrik," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 3, no. 1, Dec. 2016, doi: 10.34128/je.v3i1.10.
- [14] B. Fatkhurrozi, I. Nawawi, T. J. Saputra, U. Tidar, and J. K. Suparman, "Pemasangan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS Di Dusun Gentan Desa Purwosari Kecamatan Tegalrejo Kabupaten Magelang)," vol. 3, 2019.
- [15] N. Evalina and A. H. Azis, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [16] C. R. Harahap, E. Komalasari, and A. A. Clinton, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *ELECTRICIAN*, vol. 16, pp. 338–345, 2022.
- [17] C. R. Harahap, R. Saito, H. Yamada, and T. Hanamoto, "Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using FPGA for High Frequency SIC Mosfet Inverter," *J. Eng. Sci. Technol.*, no. 10, pp. 11–20, 2014.
- [18] N. Genc, "PV Based V/F Controlled Induction Motor Drive For Water Pumping," *IJTPE*, vol. 12, no. 45, pp. 103–108, 2020.
- [19] K. H. Wibowo *et al.*, "IoT-based Control and Monitoring for DC Motor Fed by Photovoltaic System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 588, no. 1, Aug. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/588/1/012017.
- [20] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [21] I Nyoman Bagia and I Made Parsa, *Motor-Motor Listrik*, 1st ed. CV. Rasi Terbit, 2018.
- [22] Nelly Safitri, Teuku Rihayat, and Shafira Riskina, *Teknologi Photovoltaic*. Yayasan Puga Aceh Riset, 2019.
- [23] B. P. Hartono and E. Nurcahyo, "Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *ELEKTRIKA*, vol. 01, pp. 8–16, Sep. 2017.
- [24] M. Ali, *Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: UNY Press, 2018.
- [25] S. Annisa, Azhar, and Muhaimin, "Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Motor Listrik Induksi Satu Fasa Dengan Pulse Width Modulation," *J. TEKTRONIKA*, vol. 1, Sep. 2017.
- [26] J. W. Leksono, H. K. W, E. Indahwati, N. Yanuansa, and I. Ummah, *Modul Belajar Arduino Uno*. Universitas Hasyim Asy'ari.
- [27] Mambang, *Buku Ajar Teknologi Komunikasi Internet (Internet of Things)*. Jawa Tengah: Pena Persada, 2021.
- [28] Fina Supegina and Eka Jovi Setiawan, "Rancang Bangun IoT Temperature Controller Untuk Enclosure BTS Berbasis Microcontroller Wemos dan Android," *J. Teknol. Elektro Univ. Mercu Buana*, vol. 8, pp. 145–150, Mei 2017.