

**MODIFIKASI *DIODE CLAMPED MULTILEVEL INVERTER* 9 TINGKAT
SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI**

(Skripsi)

Oleh

Allviando Prayoga Pratama

1715031033



FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

**MODIFIKASI *DIODE CLAMPED MULTILEVEL INVERTER* 9 TINGKAT
SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI**

Oleh:

Allviando Prayoga Pratama
1715031033

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

MODIFIKASI *DIODE CLAMPED MULTILEVEL INVERTER* 9 TINGKAT SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI

Oleh

Allviando Prayoga Pratama

Motor Induksi adalah salah satu alat listrik yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari memiliki beberapa kelemahan salah satunya adalah pengaturan kecepatannya. Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan cara mengubah jumlah kutub, mengubah tegangan, dan mengubah frekuensi input pada motor induksi. Dari beberapa cara tersebut yang paling mudah dan efisien dilakukan adalah mengubah frekuensi input motor induksi karena tidak memerlukan perubahan konstruksi motor. Salah satu cara mengubah frekuensi input motor induksi adalah dengan menggunakan inverter, Pada penelitian ini multilevel inverter tipe diode clamped yang mempunyai *Total Harmonik Distorsion* yang lebih rendah digunakan dibanding menggunakan inverter konvensional. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat sebagai pengatur kecepatan motor induksi dengan mengurangi jumlah komponen yang diperlukan dalam pembuatannya. Hasil Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat yang dimodifikasi dapat bekerja dengan baik. Perubahan Frekuensi masukan *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dapat mengatur kecepatan putaran Motor Induksi.

Kata Kunci : Motor Induksi, Multilevel Inverter, Diode Clamped Multilevel Inverter

ABSTRACT

MODIFICATION OF DIODE CLAMPED MULTILEVEL INVERTER 9 LEVELS AS A SPEED CONTROL OF INDUCTION MOTOR

By

Allviando Prayoga Pratama

Induction motor is one of the most frequently used electrical devices in everyday life has several weaknesses, one of which is its speed control. Induction motor speed control can be done by changing the number of poles, changing the voltage, and changing the input frequency on the induction motor. Of the several methods, the easiest and most efficient is to change the input frequency of the induction motor because it does not require changes to the motor construction. One way to change the input frequency of an induction motor is to use an inverter. In this study, a diode clamped multilevel inverter type that has a lower Total Harmonic Distortion is used compared to using a conventional inverter. In this study, a modification of a 9-level diode clamped multilevel inverter was carried out as an induction motor speed regulator by reducing the number of components needed in its manufacture. The test results showed that the modified 9-level diode clamped multilevel inverter could work well. The change of input frequency of diode clamped multilevel inverter 9 levels can regulate the speed of rotation of the Induction Motor.

Keywords: *Induction Motor, Multilevel Inverter, Diode Clamped Multilevel Inverter*

Judul Skripsi : **MODIFIKASI DIODE CLAMPED
MULTILEVEL INVERTER 9 TINGKAT
SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN
MOTOR INDUKS**

Nama Mahasiswa : *Allviando Prayoga Pratama*


Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031033

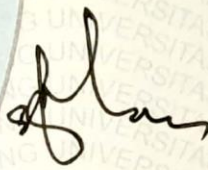
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI


1. Komisi Pembimbing


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

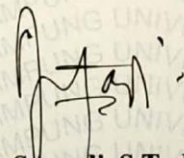

Syaiful Alam, S.T.,M.T.
NIP. 19690416 199803 1 004

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**


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

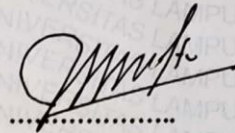
**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**


Sumadi, S.T., M.T.
NIP 19731104 200003 1 001

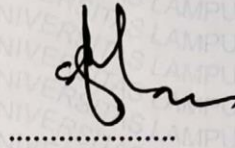
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

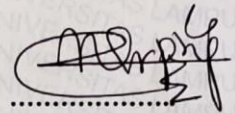
Ketua : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



Sekretaris : Syaiful Alam, S.T., M.T.



Penguji : Dr. Eng. Charles Ronald H, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Fr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**MODIFIKASI *DIODE CLAMPED MULTILEVEL INVERTER* 9 TINGKAT SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI**” merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Allviando Prayoga Pratama

1715031033

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukabumi, pada tanggal 27 Maret 2000, anak pertama dari tiga bersaudara, pasangan Bapak Supriyono dan Ibu Nik Amah. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Muhammadiyah Metro Pusat dan diselesaikan pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 4 Metro diselesaikan pada tahun 2015, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA N 1 Metro pada tahun 2017.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) pada tahun 2017. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan pada periode 2018 dan 2019. Pada semester 5 Penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL) sebagai fokus pada perkuliahan dan penelitian. Penulis juga menjadi Asisten pada Laboratorium Konnversi Energi Elektrik dan menjadi asisten pada mata kuliah Dasar Tenaga Listrik, Elektronika Daya, dan Mesin-mesin Listrik. Pada tahun 2020, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PLTG 100 MW MPP Tarahan dengan judul penelitian “Analisis Penaruh Sistem eksitasi Pada Generator 1 PLTG MPP Tarahan 100 MW”.

PERSEMBAHAN



Saya ucapkan puji syukur kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta shalawatku kepada Nabi Muhammad Shallallahu'alaihi wa sallam yang telah menjadi pedoman hidupku. Saya persembahkan karya ini dengan penuh rasa hormat, cinta dan kasih sayang.

Kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta

Ayah Supriyono dan Ibu Nik Amah

sebagai wujud bakti, cinta, kasih sayang dan terimakasih atas segala yang telah diberikan.

Saudara dan saudari tersayang

**Depriyanto Rizky Saputra
Naura Azallia Putri**

atas dukungan, doa dan kasih sayang yang telah diberikan.

Dosen Pembimbing, lembaga yang telah mendidik, mendewasakan, dan mencerdaskanku, dalam berpikir dan bertindak.

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Lampung**

MOTTO

"Dan Kami perintahkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua orang tuanya. Ibunya telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang bertambah-tambah, dan menyapihnya dalam usia dua tahun. Bersyukurlah kepada-Ku dan kepada kedua orang tuamu. Hanya kepada Aku kembalimu."

(QS Al-Luqman : 14)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.

(QS Al-Baqarah : 286)

Take responsibility for your own happiness, never put it in other people's hands.

(Roy T. Bennett)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Modifikasi *Diode Clamped Multilevel Inverter* 9 Tingkat Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi” yang merupakan salah satu syarat untuk dapat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, dorongan, bimbingan, kritik dan saran dari berbagai pihak. Maka, dengan segala kerendahan penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberika ilmu, bimbingan, bantuan, arahan, masukan, motivasi dalam penyusunan laporan skripsi.
5. Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik sekaligus pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak arahan dan motivasi dalam perkuliahan dan penyusunan laporan skripsi.
6. Dr. Eng. Charles Ronald H, S.T.,M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik untuk perbaikan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung atas segala ilmu yang diberikan baik dalam perkuliahan dan yang lainnya, dukungan, dan bantuan kepada penulis selama ini.

8. Ayah Supriyono, Ibu Nik Amah selaku Orang Tua dan adik-adikku Depriyanto Rizky Saputra , Naura Azallia Putri yang selalu ada dalam saat susah dan senang, serta tempat mencurahkan keluh kesahku,dan juga yang tiada henti-hentinya memberikan doa, dukungan, semangat dan nasihat selama menempuh perkuliahan ini.
9. Teknik Elektro dan Teknik Informatika Angkatan 2017 Universitas Lampung (HIRO 2017) selaku teman yang memberikan semangat, bantuan dan motivasi serta canda tawa selama masa kuliah ini.
10. Teman teman kontrakanku (Kontrakan Budiman) M. Harbi Rai Pangestu, M. Ilham Rahmat Dithya, Willy Kambel Damanik, Riyan Chandra Kurniawan, Olgery Fahrel Rabbani, Bagas Saputra, Alif Athamufid atas bantuan, doa dan motivasi serta kebersamaannya selama ini.
11. Teman-teman Kost Gendut Malik Pangestu, Rio Nurman Saputra, Asri Fajar S., M. Farid Ammar,Arya Dillah, dan Abdul Rahman Malik.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan baru kepada setiap orang yang membacanya.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024

Allviando Prayoga Pratama
NPM.1715031033

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	5

BAB II.	6
2.1. Motor Induksi	6
2.1.1. Jenis Motor Induksi	6
2.1.2. Struktur Motor Induksi	7
2.1.3 Prinsip Kerja Motor Induksi	9
2.1.4. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi	10
2.2. Multilevel Inverter	11
2.2.1. Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter	13
2.2.2. Flying Capacitor Multilevel Inverter	13
2.2.3. Diode Clamped Multilevel Inverter	14
2.3 Pulse Width Modulation (PWM)	15
2.4 Gate Driver	18
2.5. Mikrokontroler	19
BAB III.	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.2.1. Perangkat Keras	21
3.2.2. Perangkat Lunak	22
3.3. Prosedur Penelitian	22
3.3.1. Studi Literatur	23
3.3.2. Perancangan Alat dan Sistem	23

3.4. Diagram Alir Penelitian	26
3.5. Diagram Blok Penelitian.....	27
BAB IV	29
4.1. Hasil Perancangan Simulasi	29
4.1.1 Komparasi <i>Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat Konvensional</i> dan <i>Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat Modifikasi</i>	30
4.1.2 Proses Pensklaran <i>Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat Yang Sudah Dimodifikas</i>	31
4.1.3 Rangkaian pembangkitan PWM pada diode clamped multilevel inverter.....	38
4.1.4 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan diodeclamped multilevel inverter 9 tingkat dengan metode PWM.....	44
4.2 Pengujian Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan diodeclamped multilevel inverter 9 tingkat	44
4.3 Hasil Perancangan Rancang Bangun	53
4.4 Mikronkontroler Arduino Mega 2560.....	54
4.6 Gate Driver	55
4.7 Power Supply	56
4.8 Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat	56
4.9 Rangkaian Keseluruhan Pengujian	57
4.10 Output Gelombang Multilevel Inverter	58

4.11 Perhitungan Hasil Pengujian	63
BAB V.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Motor Induksi.....	7
Gambar 2. 2 Stator Motor Induksi	8
Gambar 2. 3 Rotor Motor Induksi.....	9
Gambar 2. 4 Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter	13
Gambar 2. 5 Flying Capacitor Multilevel Inverter.....	14
Gambar 2. 6 Diode Clamped Multilevel Inverter	15
Gambar 2. 7 Pulse-width modulation (PWM)	16
Gambar 2. 8 Ic HCPL 31210.....	18
Gambar 2. 9 Arduino Atmega2560	19
Gambar 3. 1 Rangkaian Gate Driver MOSFET	24
Gambar 3. 2 Rangkaian Power Supply	25
Gambar 3. 3 Rangkaian Diode Clamped Multilevel inverter 9 tingkat dengan Efisiensi Komponen	26
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 5 Diagram Blok Penelitian	28
Gambar 4. 1 Tampilan awal Simulink 2021a	29
Gambar 4. 2 Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat Konvensional.....	30

Gambar 4. 3 Rangkaian simulasi Diode Clamped Multilevel inverter 9 tingkat dengan Efisiensi Komponen	31
Gambar 4. 4 Kondisi switching mosfet dalam polaritas positif , (a) kondisi switching 1,(b) kondisi switching 2,(c) kondisi switching 3, dan (d) kondisi switching 4.....	34
Gambar 4. 5 Kondisi switching mosfet dalam keadaan off, kondisi switching 5.	35
Gambar 4. 6 Kondisi switching mosfet dalam polaritas negatif (a) kondisi switching 6, (b) kondisi switching 7, (c) kondisi switching 8,dan d kondisi switching 9.....	37
Gambar 4. 7 Rangkaian pembangkitan PWM pada diode clamped multilevel inverter	39
Gambar 4. 8 Perbandingan sinyal referensi dan sinyal carrier.....	40
Gambar 4. 9 Input PWM tiap MOSFET	43
Gambar 4. 10 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan diodeclamped multilevel inverter 9 tingkat.....	44
Gambar 4. 11 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan 30 HZ, (a) Respon Kecepatan,(b) Output Tegangan (c) Presentase THD	46
Gambar 4. 12 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan 40 HZ, (a) Respon Kecepatan,(b) Output Tegangan (c) Presentase THD	47
Gambar 4. 13 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan 50 HZ, (a) Respon Kecepatan,(b) Output Tegangan (c) Presentase THD	48
Gambar 4. 14 Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan 60 HZ, (a) Respon Kecepatan,(b) Output Tegangan (c) Presentase THD	50
Gambar 4. 15 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap Kecepatan Motor (rpm).....	51
Gambar 4. 16 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap Output Tegangan (volt).....	52

Gambar 4. 17 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap THD (%)	53
Gambar 4. 18 Rancang Gate Driver	56
Gambar 4. 19 Rancangan Power Supply	56
Gambar 4. 20 Diode Clamped Multilevel Inverter 9 Tingkat	57
Gambar 4. 21 Output Diodeclamped Multilevel Inverter 30 Hz	58
Gambar 4. 22 Output Diodeclamped Multilevel Inverter 40 Hz	59
Gambar 4. 23 Output Diodeclamped Multilevel Inverter 50 Hz	59
Gambar 4. 24 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap Kecepatan Motor (rpm).....	60
Gambar 4. 25 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap Output Tegangan (volt).....	61
Gambar 4. 26 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap THD (%)	62
Gambar 4. 27 Pengaruh Frekuensi (Hz) terhadap Slip	64
Gambar 4. 28 Pengaruh THD (%) terhadap Slip	65

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1Proses Pensaklaran diode clamped multilevel inverter	32
Tabel 4. 2 Data Hasil Simulasi Pengaturan kecepatan Motor.....	51
Tabel 4. 3 Data Hasil Percobaan Pengaturan kecepatan Motor	60
Tabel 4. 4 Data hasil perhitungan kecepatan motor induksi	64

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor Listrik merupakan salah satu alat listrik yang paling sering digunakan dalam kehidupan manusia, baik untuk keperluan rumah tangga skala kecil maupun skala untuk keperluan industri skala besar. Salah satu jenis motor listrik yang paling sering digunakan adalah motor induksi, hal ini disebabkan oleh kelebihan yang dimiliki motor induksi, yaitu konstruksinya yang sederhana, perawatannya yang mudah, dan memiliki harganya yang relatif murah dan memiliki efisiensi yang tinggi. Namun pada aplikasinya, walaupun motor induksi memiliki kelemahan yaitu fluktuasi pada saat pengaturan kecepatannya, sehingga diperlukan sebuah pengatur kecepatan motor induksi[1].

Pengatur kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan mengatur frekuensi dan mengubah jumlah kutub motor induksi. Dari kedua cara tersebut pengaturan kecepatan motor induksi dengan cara mengatur frekuensi yang tanpa merubah konstruksi motor lebih mudah dilakukan dibanding mengubah jumlah kutub karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi,. Pengaturan kecepatan motor induksi dengan mengatur frekuensi dapat dilakukan menggunakan *inverter* [1].

Inverter adalah alat yang berfungsi untuk mengubah listrik arus searah (arus DC) menjadi listrik arus bolak-balik (arus AC). Namun, *inverter* juga dapat juga digunakan untuk mengatur nilai frekuensi dengan menggunakan kontruksi tertentu[2].

Inverter konvensional pada umumnya hanya menghasilkan dua level/tingkat tegangan keluaran. Hal ini menyebabkan timbulnya distorsi harmonik yang dapat menimbulkan panas pada peralatan yang dapat mengurangi masa pakai dan keandalan dari peralatan [2]. Harmonik ini tidak dapat dihilangkan, tetapi bisa untuk dikurangi. Cara untuk mengurangi distorsi harmonik pada *inverter* adalah dengan menambah level/tingkat tegangan yang dihasilkan. Penambahan level/tingkat tegangan ini dilakukan dengan mengubah topologi dari *inverter* konvensional. Topologi ini disebut dengan *multilevel inverter*. Terdapat beberapa jenis *multilevel inverter* salah satunya *diode clamped multilevel inverter*. Pada *multilevel inverter*, jika semakin banyak level/tingkat tegangan yang dihasilkan, maka THD (*Total Harmonics Distorsion*) yang dihasilkan akan semakin berkurang dan akan menghasilkan keluaran yang semakin baik ,tetapi jika menambah jumlah tingkat maka komponen yang diperlukan dalam proses pembuatannya juga akan bertambah sesuai dengan tingkatannya [3].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis berencana untuk membuat suatu *inverter* berjenis *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dengan modifikasi

komponen untuk mengendalikan kecepatan motor induksi satu fasa yang dapat diatur dengan THD yang rendah dan jumlah komponen yang seminimal mungkin.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat suatu *inverter* dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah dan dapat mengatur kecepatan motor induksi satu fasa?
2. Bagaimana membuat suatu *inverter* dengan menggunakan komponen seminimal mungkin dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Membuat rancang bangun *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah dan dapat mengatur kecepatan motor induksi satu fasa.
2. Membuat rancang bangun *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah menggunakan komponen yang seminimal mungkin.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Menghasilkan suatu *inverter* dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah dan dapat mengatur kecepatan motor induksi satu fasa.
2. Menghasilkan *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah menggunakan komponen yang seminimal mungkin.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor induksi yang digunakan berjenis motor induksi satu fasa.
2. *Inverter* yang dirancang berjenis *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega

1.6. Hipotesis

Diode clamped multilevel inverter 9 tingkat dapat menghasilkan keluaran dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang rendah dan dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi satu fasa. Proses *switching* pada *inverter* diatur dengan menggunakan mikrokontroler Arduino ATmega. Sistem kendali *loop* terbuka digunakan untuk kecepatan motor induksi satu fasa agar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang mendukung penelitian yang dilakukan.

III. METODE PENELITIAN

Menjelaskan metode serta proses perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak terkait penelitian yang dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil pengujian serta pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

Motor induksi adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau energi kinetik yang berupa putaran. Motor induksi merupakan motor arus searah AC (*Alternating Current*). Motor AC dibagi menjadi dua tipe, yaitu motor sinkron dan motor asinkron. Motor induksi merupakan motor AC tipe asinkron. Hal ini karena putaran pada poros motor tidak sinkron atau tidak sama dengan putaran medan putar stator. Perbedaan atau selisih putaran ini disebut dengan slip[1].

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor yang umum dan sering digunakan pada keperluan rumah tangga dalam skala kecil maupun industri dengan skala besar. Hal ini tentunya tidak terlepas dari keunggulan yang dimiliki oleh motor induksi, antara lain konstruksinya yang sederhana, mudah diperoleh, perawatannya yang mudah, harga yang relatif murah, dan memiliki efisiensi yang cukup tinggi[1].

2.1.1. Jenis Motor Induksi

Adapun motor induksi dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan fasanya, yaitu:

a. Motor Induksi Satu Fasa

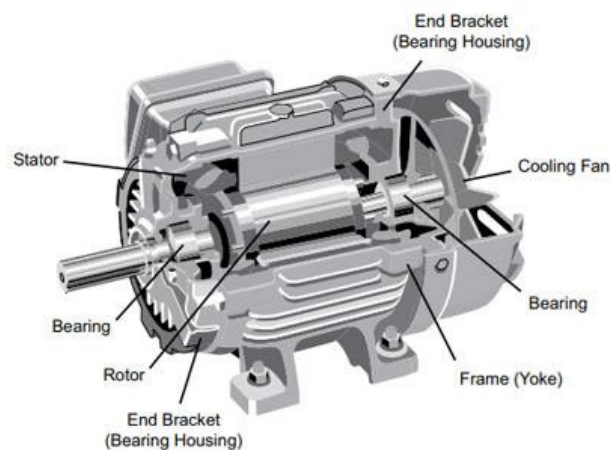
Motor induksi satu fasa merupakan motor induksi yang bekerja dengan menggunakan sumber listrik satu fasa. Motor induksi satu fasa biasanya digunakan pada keperluan rumah tangga, seperti pada mesin cuci, kipas angin, pompa air, lemari es, dan lain-lain.

b. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan motor induksi yang bekerja dengan menggunakan sumber listrik tiga fasa. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada keperluan industri, seperti pada pompa, kompresor, konveyor, dan lain-lain.

2.1.2. Struktur Motor Induksi

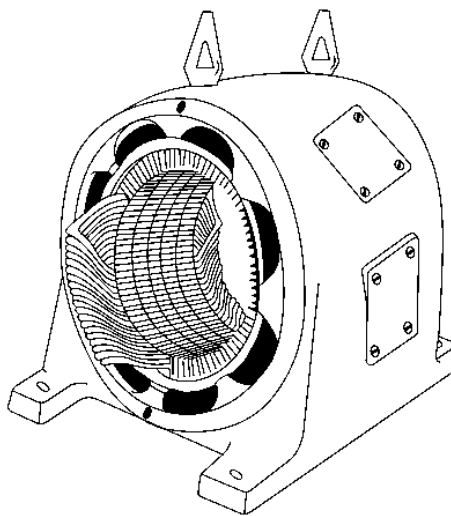
Motor induksi satu fasa memiliki bagian yang hampir sama dengan motor induksi tiga fasa, di mana keduanya terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor.



Gambar 2. 1 Struktur Motor Induksi

2.1.2.1. Stator

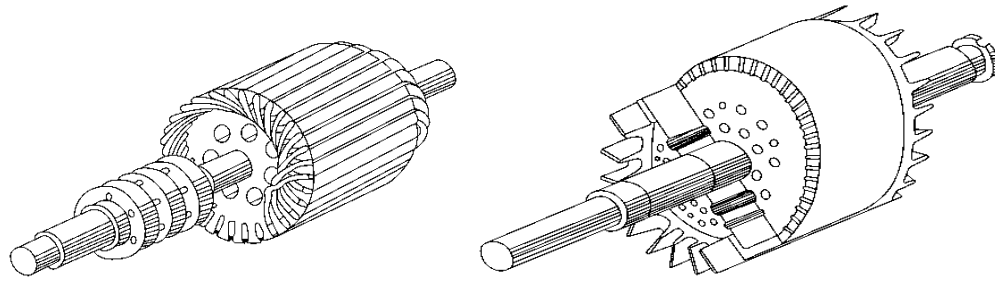
Stator merupakan bagian motor induksi yang bersifat statis atau bagian yang diam. Stator terdiri dari beberapa bagian, antara lain: Inti Stator yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya kumparan stator. Kumparan Stator yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet atau medan putar stator. Badan Stator yang berfungsi sebagai rangka, dan sebagai area pelepasan panas ketika motor beroperasi, [4].



Gambar 2. 2 Stator Motor Induksi

2.1.2.2. Rotor

Rotor merupakan bagian motor induksi yang bersifat dinamis atau bagian yang berputar. Rotor terdiri dari inti rotor, alur rotor, dan kumparan. Pada umumnya terdapat dua jenis rotor yang sering digunakan pada motor induksi, yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*).



Rotor Belitan

Rotor Sangkar Tupai

Gambar 2. 3 Rotor Motor Induksi

2.1.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja dari motor induksi adalah ketika stator diberi sumber tegangan, maka pada stator akan timbul medan putar (fluks yang berputar) dengan kecepatan tertentu. Kecepatan medan putar stator ini disebut dengan kecepatan sinkron dan dirumuskan dengan:

$$n_s = \frac{120}{P} f \quad [4] \quad (2.1)$$

di mana: n_s = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

Pada stator terdapat kumparan stator yang diletakkan pada slot-slotnya dan kemudian dililitkan membentuk sejumlah kutub. Jumlah dari kutub ini dapat menentukan kecepatan medan putar stator. Semakin banyak jumlah kutub, maka kecepatan medan putar stator menjadi semakin kecil dan sebaliknya [1].

Tegangan induksi atau ggl (gaya gerak listrik) akan dihasilkan di rotor ketika kumparan rotor terpotong oleh medan putar stator. Karena batang konduktor atau kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus pada rotor.

Rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis-garis fluks yang dihasilkan kumparan stator, sehingga akan timbul gaya Lorentz pada rotor. Gaya ini menghasilkan torsi yang akan menggerakkan rotor searah dengan pergerakan medan putar stator.

Tegangan induksi atau ggl hanya dapat dihasilkan jika terjadi perpotongan antara medan putar stator dengan rotor, akibatnya kecepatan rotor tidak akan sama dengan kecepatan medan putar stator. Oleh karena itu, dibutuhkan selisih antara kecepatan rotor dengan kecepatan medan putar stator (kecepatan sinkron) di mana kecepatan rotor harus lebih rendah daripada kecepatan sinkron.

Selisih atau perbedaan kecepatan ini disebut slip (S) dan dinyatakan dengan:

$$S = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times 100\% \quad [4] \quad (2.2)$$

di mana: S = slip (%)

n_r = kecepatan rotor (rpm)

2.1.4. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara, antara lain sebagai berikut:

1. Pengaturan Jumlah Kutub Motor

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa kecepatan motor berbanding terbalik dengan jumlah kutub, sehingga bila semakin sedikit jumlah kutub, maka putaran motor induksi akan menjadi semakin cepat. Jumlah kutub dapat diatur dengan mendesain kumparan stator sedemikian rupa sehingga dihasilkan jumlah kutub yang diinginkan. Pada praktiknya, pengendalian kecepatan motor

induksi dengan cara mengubah jumlah kutub cukup sulit dilakukan karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi..

2. Pengaturan Tegangan Sumber

Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah tegangan sumber. Bila semakin besar tegangan sumber pada motor, maka putaran motor akan menjadi semakin cepat. Namun, pengaturan tegangan sumber menghasilkan putaran yang terbatas dikarenakan area pengaturan yang sempit [12].

3. Pengaturan Tahanan Luar

Pengendalian kecepatan motor induksi juga dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai tahanan luar motor induksi jenis rotor belitan. Pengaturan tahanan luar dapat menghasilkan nilai torsi yang berbeda-beda. Pada pengendalian ini, motor induksi jenis rotor belitan dihubungkan dengan tahanan luar. Tahanan luar ini akan mempengaruhi putaran motor induksi, sehingga putaran motor dapat berubah-ubah [12].

4. Pengaturan Frekuensi Sumber

Pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan *inverter* dengan desain tertentu. Selain untuk mengubah listrik arus searah menjadi listrik arus bolak-balik, *inverter* dengan desain tertentu juga dapat digunakan untuk menghasilkan frekuensi yang berubah-ubah sesuai keinginan[12].

2.2. Multilevel Inverter

Inverter merupakan suatu perangkat elektronika daya yang dapat mengubah listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC) [2]. Pada awalnya, hanya

dua level/tingkat *inverter* yang digunakan dan menghasilkan keluaran hanya dengan dua tingkat tegangan yang berbeda. Keluaran tegangan yang dihasilkan ini memiliki rugi-rugi *switching* serta tegangan harmonik yang menyebabkan aliran arus harmonik pada rangkaian dan akan menghasilkan rugi-rugi. Oleh karena itu, diperlukan suatu cara untuk mengatasi hal tersebut. Cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambah level/tingkat tegangan *inverter* menjadi lebih dari dua. Penambahan level atau tingkat ini akan menghasilkan gelombang keluaran yang mendekati bentuk gelombang sinusoidal murni, sehingga harmonik pada keluaran dapat ditekan dan rugi-rugi dapat dikurangi. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan perubahan atau modifikasi pada *inverter* konvensional menjadi topologi tertentu. Topologi ini disebut dengan multilevel *inverter* [3].

Multilevel inverter merupakan suatu perangkat elektronika daya yang dapat mengubah listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC) di mana keluaran (*output*) yang dihasilkan berupa lebih dari dua level/tingkat tegangan. Tegangan keluaran yang dihasilkan multilevel *inverter* bertingkat-tingkat seperti tangga mendekati bentuk gelombang sinusoidal. Bila semakin tinggi level/tingkat tegangan yang dihasilkan, maka distorsi harmonik yang dihasilkan menjadi semakin rendah [3]. Adapun kelebihan dari multilevel *inverter* antara lain sebagai berikut:

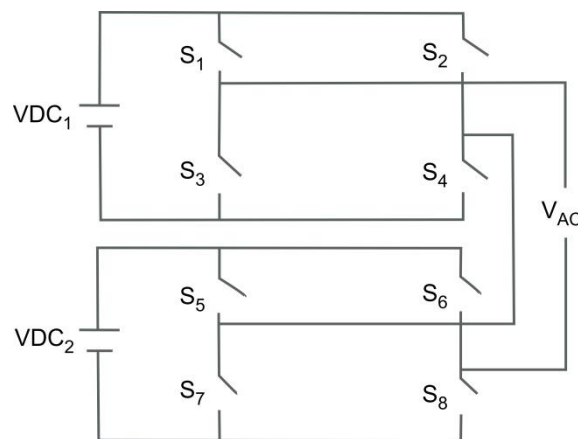
1. THD (*Total Harmonics Distorsion*) yang dihasilkan rendah.
2. Keluaran yang dihasilkan mendekati gelombang sinusoidal.
3. Frekuensi *switching* yang rendah.
4. Rugi-rugi *switching* berkurang.

5. Menghasilkan kualitas daya yang baik.
6. Tingkat perubahan tegangan yang rendah [5].

Terdapat tiga jenis topologi multilevel *inverter* yang umum dan banyak digunakan, antara lain:

2.2.1. Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter

Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter merupakan multilevel inverter yang mempunyai keluaran tegangan dengan menggunakan sumber DC yang terpisah. Keluaran tegangan multilevel inverter jenis ini berbentuk gelombang kotak yang bertingkat, yang dimana tingkatannya bergantung pada jumlah sumber DC yang digunakan. Sebuah n level/tingkat *cascaded H-bridge multilevel inverter* terdiri dari $(n - 1) \times 2$ saklar dan $(n - 1)/2$ sumber tegangan DC[6].

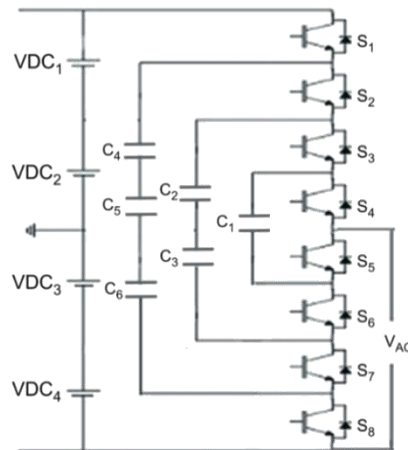


Gambar 2. 4 *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter*

2.2.2. Flying Capacitor Multilevel Inverter

Flying capacitor multilevel inverter merupakan tipe multilevel inverter yang memiliki satu sumber tegangan DC untuk menghasilkan keluaran tegangan . *Flying*

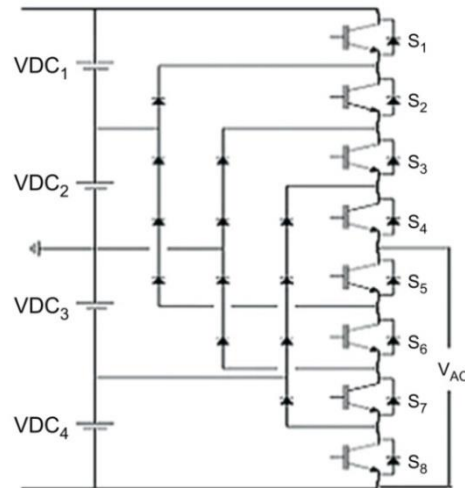
capacitor multilevel inverter menghasilkan gelombang kotak bertingkat dengan menggunakan kapasitor sebagai penyuplai tegangannya . Pada n level *flying capacitor multilevel inverter* terdiri dari $(2n - 2)$ saklar dengan $((n - 1) \times (n - 2)) / 2$ kapasitor untuk membatasi tegangan dan $(n - 1)$ sumber tegangan DC [6].



Gambar 2. 5 *Flying Capacitor Multilevel Inverter*

2.2.3. Diode Clamped Multilevel Inverter

Diode Clamped multilevel inverter merupakan tipe multilevel inverter yang memiliki satu sumber tegangan DC untuk menghasilkan keluaran tegangan . *Diode Clamped multilevel inverter* menghasilkan gelombang kotak bertingkat dengan menggunakan diode sebagai penyearah dan pembatas tegangan sehingga ,menghasilkan gelombang seperti gelombang sinus. Pada *inverter* ini, n level/tingkat *diode clamped multilevel inverter* membutuhkan $(2n - 1)$ saklar, $(n - 1)$ sumber tegangan *input* DC, dan $(n - 1) \times (n - 2)$ dioda [6].



Gambar 2. 6 *Diode Clamped Multilevel Inverter*

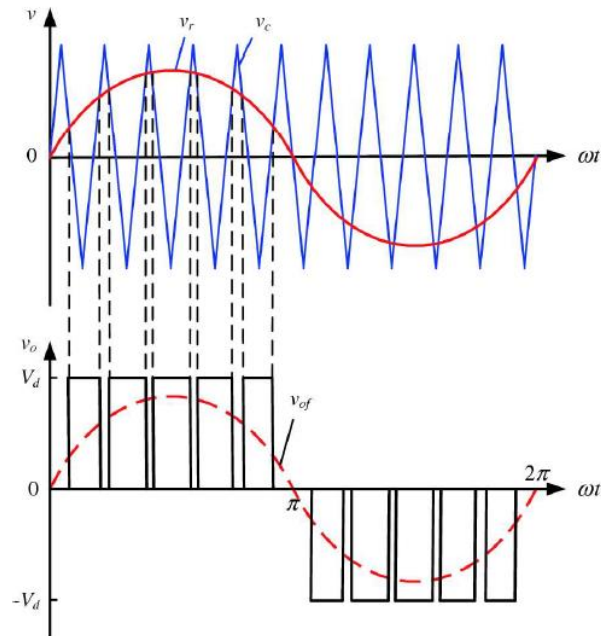
2.3 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) atau modulasi lebar pulsa merupakan suatu Teknik yang membandingkan sinyal referensi (V_r) dengan sinyal Carrier (V_c). Sinyal carrier yang biasa digunakan berupa gelombang segitiga ataupun gelombang gigi gergaji[7].

Prinsip dasar dari teknik PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi (V_r) lebih besar dari amplitudo sinyal carrier (V_c) maka dihasilkan sinyal high atau on dan jika besar amplitudo sinyal referensi (V_r) berada lebih kecil dari amplitude sinyal carrier (V_c) maka dihasilkan sinyal *low* atau *off*[8].

Proses membandingkan sinyal referensi dengan sinyal carrier terlihat pada Gambar 2.7 sehingga dapat menghasilkan nilai *duty cycle* pada PWM dari perbandingan kedua gelombang tersebut. *Pulse-width modulation (PWM)* merupakan cara untuk

mengurangi THD dari arus beban. Dimana keluaran PWM inverter, umumnya dapat memperkecil THD dari *switching* gelombang persegi (kotak)[8].



Gambar 2. 7 *Pulse-width modulation (PWM)*

T_{on} pada gambar di atas menunjukkan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi 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 perioda gelombang.

$$T_{Total} = T_{on} + T_{off} \quad [8] \quad (2.4)$$

Dari besarnya T_{on} dan T_{off} ini 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.

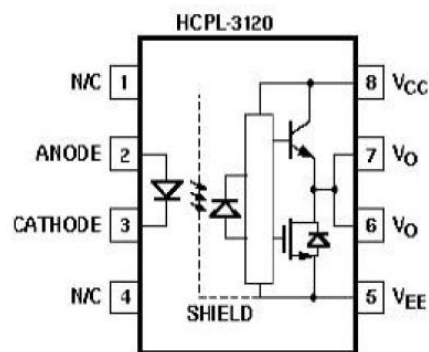
$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% [8] \quad (2.5)$$

Duty cycle inilah yang akan menentukan waktu kerja pada komponen saklar semikonduktor sehingga akan menjadi pulsa penyalan yang mengontrol keadaan on dan off pada saklar. Oleh karena itu prinsip kerja dari PWM untuk mengontrol kerja dari saklar semikonduktor adalah ketika $V_{control}/V_{reff}$ memiliki amplitudo lebih besar dari gelombang segitiga maka PWM akan mengeluarkan kondisi *high* yang menyebabkan saklar dalam keadaan on sehingga saklar menutup, sebaliknya ketika $V_{control}/V_{reff}$ memiliki amplitudo lebih kecil dari gelombang segitiga maka PWM akan mengeluarkan kondisi *low* yang menyebabkan saklar dalam keadaan off sehingga saklar akan membuka. Sinyal PWM pada *inverter* dihasilkan dari dua jenis komponen, yaitu komponen analog dan komponen digital. Salah satu contoh komponen analog adalah dari beberapa jenis IC (*Integrated Circuit*) sedangkan komponen digital salah satunya dihasilkan oleh *mikrokontroler*[9].

Pulse-width modulation (PWM) memiliki karakteristik dimana *duty cycle* dari pulsa meningkat secara gradual dan kemudian menurun secara gradual dalam deretan pulsa proporsional terhadap nilai sudut sinus dalam setengah gelombang gelombang sinus.

2.4 Gate Driver

Gate driver merupakan suatu rangkaian elektronika yang berperan sebagai gerbang (pemisah) antara driver daya dengan *mikrokontroler*. *Gate driver* berfungsi sebagai penguat tegangan pada mikrokontroler yang umumnya sebesar 5V menjadi tegangan yang memicu gate pada saklar daya (MOSFET) sesuai dengan *datasheet* yang digunakan. Pada *gate driver* sendiri menggunakan ic dengan tipe HCPL, yaitu dengan menggunakan *optocoupler*. *Optocoupler* sendiri bekerja berdasarkan cahaya optik, yang dimana terdapat bagian utama yaitu *transmitter* yang berfungsi sebagai pengirim cahaya optik dan receiver yang berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya. Masing-masing bagian *optocoupler* (*Transmitter dan receiver*) tidak memiliki hubungan konduktif rangkaian secara langsung tetapi dibuat dalam satu kemasan. Berikut rangkaian terpadu pada IC HCPL, yang dapat dilihat pada gambar 2.8



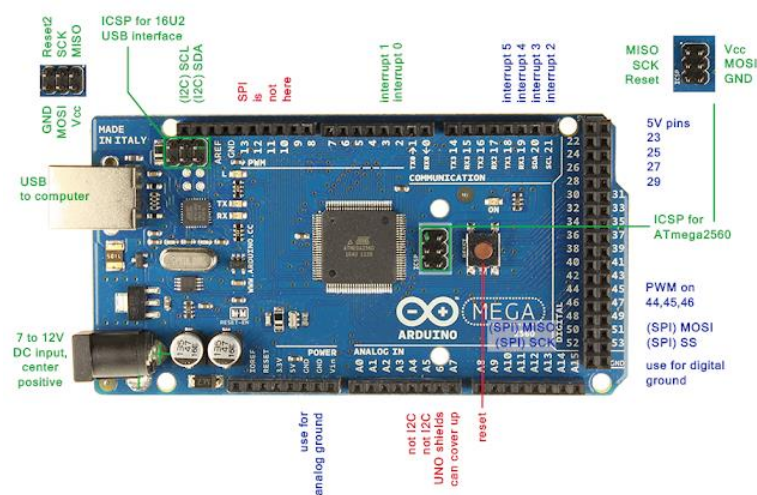
Gambar 2. 8 Ic HCPL 31210

Pada prinsipnya *optocoupler* terdiri dari komponen LED yang memancarkan cahaya inframerah (IR LED) dan sebuah komponen semikonduktor yang peka

terhadap cahaya (*phototransistor*) sebagai bagian yang digunakan untuk mendeteksi cahaya infra merah yang dipancarkan oleh IR LED [10]. Dengan cahaya inframerah tersebut yang menyebabkan switch menjadi ON pada transistor. Dengan cahaya inframerah tersebut ketahanannya menjadi lebih baik. Digunakannya ic tipe hcpl adalah banyak digunakan sebagai *driver* pada rangkaian mikrokontroler dan driver motor dc.

2.5. Mikrokontroler

Arduino ATmega2560 merupakan papan elektronik yang dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega2560 di dalamnya. Pada beberapa aplikasi, Arduino dapat dipergunakan sebagai pendeteksi lingkungan dengan cara menerima *input* dari berbagai macam sensor ataupun tombol (sensor suhu, cahaya, inframerah, jarak, kelembaban, tekanan, ultrasonik, dan lain-lain) serta dapat digunakan untuk mengontrol perangkat lainnya, seperti menyalakan LED, mengendalikan kecepatan dan arah putaran motor, dan sebagainya [11].



Gambar 2. 9 Arduino Atmega2560

Arduino Mega 2560 yang terdapat mikrokontroler ATmega 2560 didalamnya. Mikrokontroler ini memiliki beberapa jumlah pin yang terdiri atas 54 pin input/output digital (14 diantaranya dapat digunakan sebagai Output PWM), 16 pin analog, dan 4 UART (port serial perangkat keras). Selain itu mikrokontroler ini memiliki osilator kristal 16 MHz, kabel USB dan power jack. Pada penelitian ini dipakai microcontroller Arduino jenis Arduino Mega 2560.

BAB III.

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dikerjakan dari Januari 2023 sampai dengan April 2024. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

3.2.1. Perangkat Keras

Adapun perangkat keras (*hardware*) yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Motor Induksi 1 Fasa
2. Papan PCB
3. Trafo CT
4. Dioda *Bridge*
5. Kapasitor
6. IC Regulator LM1815

7. Aki 12 VIC 4N25
8. Resistor
9. N-Channel MOSFET IRF540
10. Arduino Atmega 2560
11. Kabel Penghubung
12. Laptop Thinkpad x260
13. Multimeter Digital
14. Osiloskop Digital

3.2.2. Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Proteus 8.9
2. MATLAB R2021a
3. Microsoft Office 2010
4. Arduino IDE 1.8.13
5. DipTrace 4.0
6. Blynk *App*
7. Eagle

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dari tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

3.3.1. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan berbagai referensi atau sumber yang akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan pembuatan alat. Berdasarkan referensi-referensi yang telah dikumpulkan, akan dipelajari mengenai komponen, rangkaian, metode, serta hal-hal lain yang berkaitan dengan pembuatan alat. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan prinsip kerja serta karakteristik dari komponen-komponen yang akan digunakan dalam pembuatan alat. Adapun topik referensi yang dikumpulkan antara lain:

- a. Motor Induksi 1 Fasa
- b. Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa
- c. *Multilevel Inverter*
- d. Mikrokontroler Arduino Atmega
- e. *Gate Driver* MOSFET
- f. Karakteristik dan spesifikasi dari komponen yang digunakan (*datasheet*)

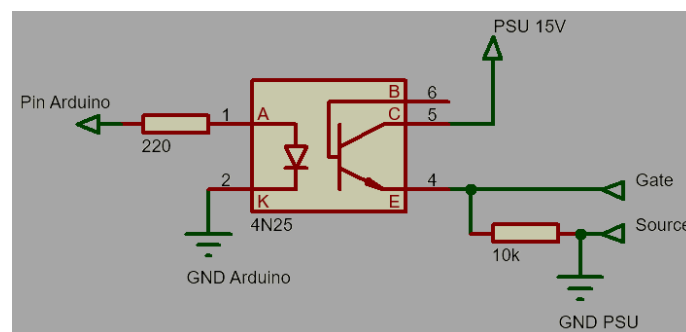
3.3.2. Perancangan Alat dan Sistem

Adapun proses perancangan alat dan sistem terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

- a. Perancangan Rangkaian *Gate Driver* MOSFET
- b. Perancangan Rangkaian *Power Supply*
- c. Perancangan Rangkaian *Inverter*
- d. Pemrograman Arduino Atmega 2560

3.3.2.1. Perancangan Rangkaian Gate Driver MOSFET

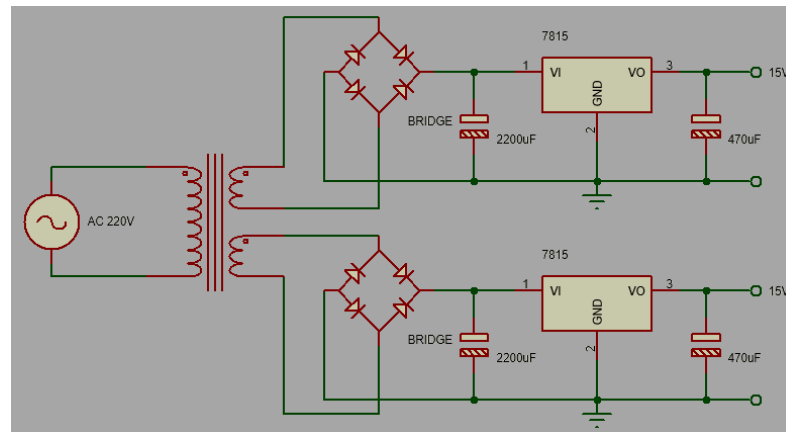
Tegangan keluaran dari pin mikrokontroler Arduino adalah sebesar 5 V. Tegangan ini belum mampu mengaktifkan MOSFET secara optimal. Nilai tegangan *gate* pada MOSFET IRF540 agar dapat bekerja secara optimal adalah sekitar 15 V, sehingga diperlukan suatu rangkaian *driver* yang mampu menguatkan tegangan keluaran Arduino menjadi 15 V. Rangkaian *driver* ini menggunakan IC *Optocoupler* 4N25 dan beberapa resistor. Selain berguna untuk rangkaian *driver*, IC *Optocoupler* 4N25 juga dapat berfungsi sebagai proteksi antara mikrokontroler dengan rangkaian *inverter*. Adapun rangkaian dari *gate driver* MOSFET yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Rangkaian Gate Driver MOSFET

3.3.2.2. Perancangan Rangkaian Power Supply

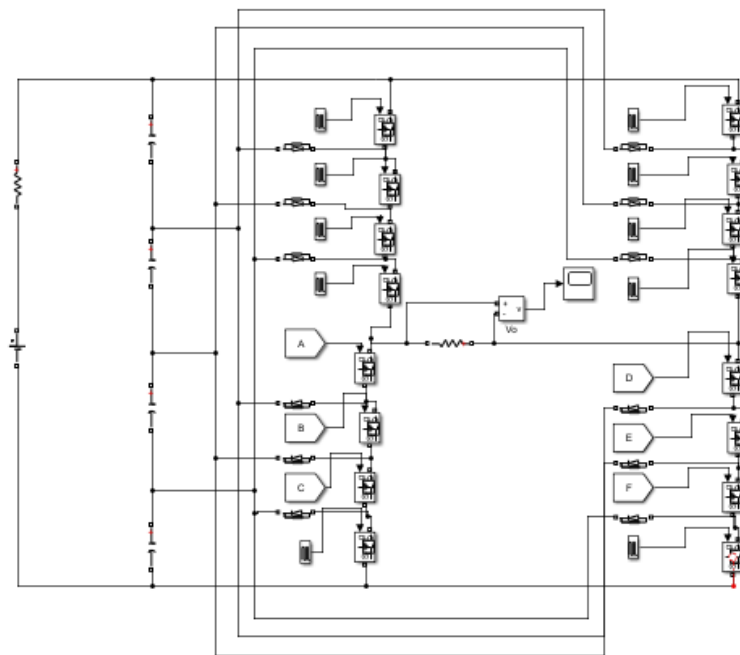
Rangkaian *gate driver* MOSFET memerlukan suplai tegangan DC sebesar 15 V. Oleh karena itu, dirancang suatu rangkaian power supply 15 V. Rangkaian power supply ini terdiri dari Trafo CT, dioda *bridge*, IC *Regulator* LM1815, dan beberapa kapasitor. IC *Regulator* LM1815 berfungsi untuk menstabilkan tegangan agar tetap konstan 15 V dan juga berfungsi sebagai pengaman. Adapun rangkaian *power supply* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Rangkaian *Power Supply*

3.3.2.3. Perancangan Rangkaian Inverter

Jenis inverter yang dirancang pada penelitian ini adalah *diode clamped multilevel inverter* 9 tingkat dengan jumlah komponen yang dikurangi. *diode clamped multilevel inverter* konvensional memerlukan komponen untuk n level inverter sejumlah $(2n - 1)$ saklar, $(n - 1)$ sumber tegangan *input* DC, dan $(n - 1) \times (n - 2)$ tetapi pada penelitian ini jumlah yang dibutuhkan untuk membuat 9 tingkat multilevel inverter hanya memerlukan 16 saklar, 1 tegangan input, dan 12 dioda. Inverter ini menghasilkan 9 tingkat tegangan keluaran mendekati bentuk gelombang sinusoidal dengan THD yang rendah, sehingga akan menghasilkan kualitas daya yang cukup baik terutama untuk pengendalian kecepatan motor induksi. Adapun rangkaian *inverter* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.



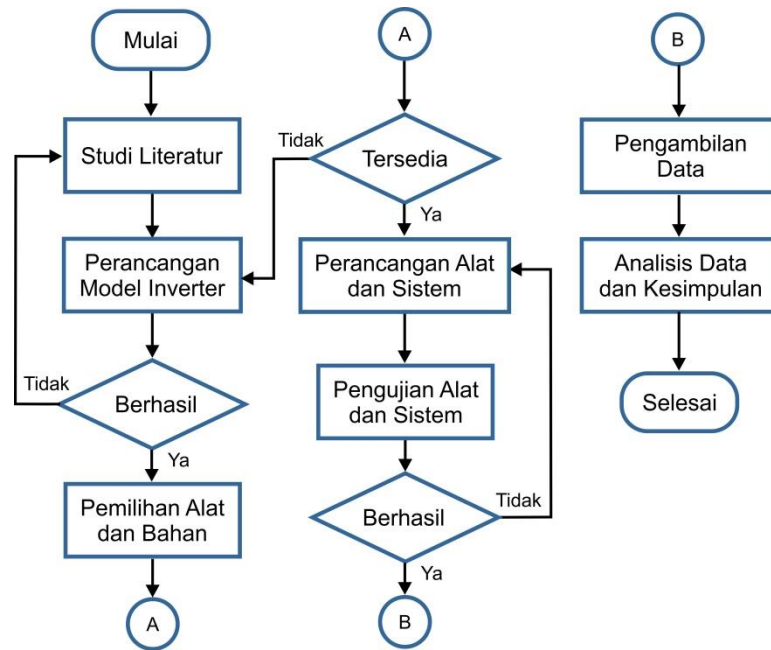
Gambar 3. 3 Rangkaian *Diode Clamped Multilevel inverter* 9 tingkat dengan Efisiensi Komponen

3.3.2.4. Pemrograman Arduino AtMega

Proses pemrograman Arduino AtMega diperlukan untuk mengatur beberapa perangkat yang digunakan pada penelitian ini. Proses pemrograman pada Arduino terdiri dari pemrograman untuk rangkaian *inverter* yang dilakukan dengan cara mengubah frekuensi masukan, Proses pemrograman ini dilakukan melalui aplikasi Arduino IDE 1.8.13.

3.4. Diagram Alir Penelitian

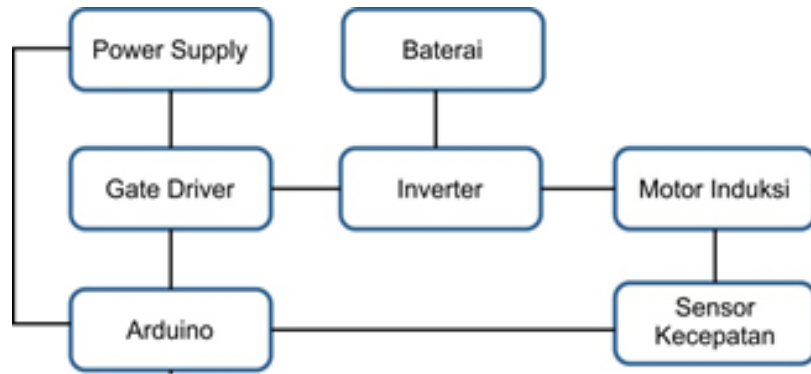
Tahap perancangan alat dan sistem pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir penelitian dan ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

3.5. Diagram Blok Penelitian

Pada penelitian ini pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan cara memberikan sebuah pengaturan pada Arduino dan arduino memberikan trigger ke rangkaian gate driver lalu ke rangkaian inverter, maka inverter akan melakukan pengaturan dengan mengubah nilai frekuensi. Tegangan satu fasa yang dihasilkan inverter akan masuk ke beban motor. Lalu pengaturan kecepatan motor akan dilakukan berdasarkan frekuensi yang diberikan oleh inverter. Diagram blok pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 5 Diagram Blok Penelitian

BAB V.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Diode Clamped multilevel inverter 9 tingkat yang diefisiensi dapat digunakan dalam pengaturan kecepatan motor induksi.
2. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai frekuensi masukan maka kecepatan motor induksi yang dihasilkan akan semakin tinggi dengan Didapat perubahan kecepatan yang linear pada perubahan kecepatan motor induksi. Dimana kecepatan motor sebesar berturut-turut 788 rpm pada frekuensi 30 Hz, 880 rpm pada frekuensi 40 Hz, dan 988 rpm pada frekuensi 50 Hz.
3. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara frekuensi dan tegangan adalah berbanding lurus karena semakin besar frekuensi ,maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Didapat bahwa tegangan pada saat frekuensi masukan 30 Hz yaitu sebesar 114,5 volt saat frekuensi masukan 40 Hz yaitu sebesar 120,5 volt, saat frekuensi masukan 50 Hz yaitu sebesar 133,5 volt.

4. Dapat disimpulkan bahwa nilai persentase THD_v akan semakin tinggi saat berada pada frekuensi kerja motor induksi semakin tinggi. dengan nilai Persentase THD mengalami nilai terendah pada saat frekuensi masukan 30 Hz yaitu sebesar 7,89% dan nilai persentase THD tertinggi 34,68 saat frekuensi masukan sebesar 50 Hz.

5.2 Saran

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

1. Perlu dilakukan penambahan level tegangan *multilevel inverter* menjadi 11 tingkat atau lebih untuk menghasilkan THD yang lebih rendah dan kualitas yang lebih baik.
2. Diperlukan rangkaian *gate driver* dengan tegangan keluaran yang sesuai dengan tegangan *gate* MOSFET agar MOSFET dapat membuka dan menutup secara penuh. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari MOSFET menjadi panas

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. W. Hart, *Power Electronics*, Valparaiso, Indiana: Mc Graw Hill, 2010
- [2] N. Soedjarwanto, O. Zebua, M. H. Lazuardy, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Multilevel Inverter Dengan Mengatur Frekuensi," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan*, Vol. 03, ISSN: 2581-0049, 2019
- [3] D. D. Khaimar dan V. M. Deshmukh, "Performance Analysis of Diode Clamped 3 Level MOSFET Based Inverter," *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)*, vol. 5, No.7, pp. 1484-1489, 2014.
- [4] A. R. Nugraha, Rahmadwati, Retnowati, "Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Alat Pengaduk Adonan Dodol Menggunakan Kontroler PID," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol.2 No.2, 2014
- [5] Anzari, J. Meenakshi, and V. T. Sreedevi, "Simulation of a transistor clamped H-bridge multilevel inverter and its comparison with aconventional H-bridge multilevel inverter," *2014 International Conferenceon Circuits, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2014*, pp. 958–963, 2014.
- [6] G. Singh and V. K. Garg, "THD analysis of cascaded H-bridge multi-levelinverter," *4th IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control, ISPPC 2017*, vol. 2017-January, pp. 229–234, 2017.

- [7] V. Tipsuwanporn, W. Sawaengsinkasikit, A. Numsomran, and K. Somsamai, "9-Level inverter for induction motor control," ICCAS 2010 - International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 2462–94 2466, 2010.
- [8] K. Semarang, "Optimalisasi Penggunaan Alat Praktikum Power Supply Switching dengan Menggunakan Topologi Half Bridge Konverter sebagai Alat Bantu Praktikum Elektronika Analog," vol. 12, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [16] H. Sutriharjo, "Rancang Bangun Inverter Full Bridge Satu Fasa Menggunakan Teknik Dynamic Evolution Control," Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 2017.
- [9] T. Darmana dan W. Sya'ban, "Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Putaran Motor Dan Pendeteksi Kestabilan Putaran Pada Porosnya," Jurnal Energi & Kelistrikan, vol. 7, no. 1, p. 71, 2015.
- [10] F.Y. Rahmat " Rancang Bangun *Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter* 9 Tingkat Dengan Pengendali Pid Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Via *Smartphone*" Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas lampung 2021.
- [11] A. farhan " Rancang Bangun *Diode Clamped Multilevel Inverter* 7 Tingkat Untuk Kontrol dan Monitoring Motor Induksi Satu Fasa Berbasis *Internet of Things*" Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas lampung 2021
- [12] R. Indiatama, "Visualisasi Monitoring Performance Pada Motor Listrik Ac 1 Fasa Berbasis Visual Augmented Reality," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 2019.