

**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* DENGAN
FILTER PASIF L-C-L DAN TEKNOLOGI IOT UNTUK
MEMANTAU PERUBAHAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI SATU FASA**

(Skripsi)

**Oleh
Gesang Amar Ruberto K.
1755031020**



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2023

**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* DENGAN
FILTER PASIF L-C-L DAN TEKNOLOGI IOT UNTUK
MEMANTAU PERUBAHAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI SATU FASA**

Oleh

GESANG AMAR RUBERTO K.

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* DENGAN FILTER PASIF L-C-L DAN TEKNOLOGI IOT UNTUK MEMANTAU PERUBAHAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA

Oleh

Gesang Amar Ruberto K

Multilevel inverter merupakan jenis inverter yang digunakan untuk menghasilkan sinyal AC yang frekuensinya dapat diatur. Filter pasif L-C-L digunakan untuk menghilangkan harmonik pada sinyal AC yang dihasilkan. Sedangkan teknologi IoT digunakan untuk memantau kecepatan motor secara jarak jauh melalui aplikasi *mobile*. Pada skripsi ini, perancangan *flying capacitor multilevel inverter* digunakan sebagai pengatur kecepatan motor induksi dengan Distorsi Harmonik Total (THD) yang dihasilkan dapat dikurangi jika menambahkan tingkatan pada inverter. Kemudian, filter pasif L-C-L dirancang untuk menghilangkan harmonik pada sinyal AC yang dihasilkan. Selanjutnya, implementasi teknologi IoT dilakukan dengan menggunakan *platform* IoT Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *multilevel inverter* dengan filter pasif L-C-L berhasil menghasilkan sinyal AC dengan kualitas yang lebih baik dibanding tanpa menggunakan filter pasif L-C-L. Selain itu, teknologi IoT berhasil diimplementasikan dengan baik dan memungkinkan pengguna untuk memantau kecepatan motor secara jarak jauh melalui aplikasi *mobile*. Dengan demikian, penggunaan *multilevel inverter* dengan filter pasif L-C-L dan teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi dan pengendalian motor induksi satu fasa secara efektif.

Kata kunci: *multilevel inverter*, filter pasif L-C-L, *internet of things*, motor induksi, dan total harmonik distorsi.

ABSTRACT

Design of Multilevel Inverter with L-C-L Passive Filter and IoT Technology for Monitoring Speed Changes in Single-Phase Induction Motor

By

Gesang Amar Ruberto K.

Multilevel inverter is a type of inverter used to generate AC signals with adjustable frequency and better quality. L-C-L passive filter is used to eliminate harmonic distortion in the generated AC signals. Meanwhile, IoT technology is used to remotely monitor and control the speed of the motor through a mobile application. In this thesis, the design of a flying capacitor multilevel inverter is used as an induction motor speed controller with the resulting Total Harmonic Distortion (THD) can be reduced if you add a level to the inverter. Then, L-C-L passive filter is designed to eliminate harmonic distortion in the generated AC signals. Furthermore, the implementation of IoT technology is carried out using Blynk IoT platform. The test results show that the multilevel inverter with L-C-L passive filter successfully generates AC signals with better quality compare without L-C-L passife filter. In addition, IoT technology is successfully implemented and allows users to remotely monitor and control the speed of the motor through a mobile application. Thus, the use of multilevel inverter with L-C-L passive filter and IoT technology can effectively increase the efficiency and control of single-phase induction motor.

Keywords: *multilevel inverter, L-C-L passive filter, IoT, induction motor, total harmonic distortion.*

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN MULTILEVEL
INVERTER DENGAN FILTER PASIF
L-C-L DAN TEKNOLOGI IOT UNTUK
MEMANTAU PERUBAHAN
KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU
FASA**

Nama Mahasiswa : **Gesang Amar Ruberto K.**

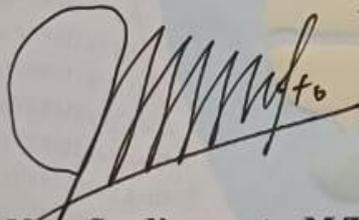
No. Pokok Mahasiswa : 1755031020

Jurusan : Teknik Elektro

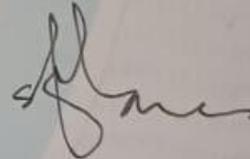
Fakultas : Teknik

MENGESAHKAN

1. Komisi Pembimbing



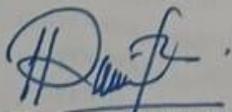
Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP. 19631114 199903 1 001



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

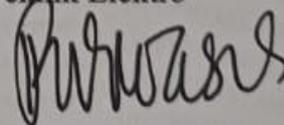
2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., 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

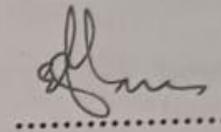
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

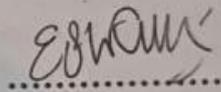
Ketua : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



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



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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Mei 2023

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 16 Juni 2023



Gesang Amar Ruberto K.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang, 9 juli 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Bagyo Harto dan Ibu Mariana. Pendidikan penulis SDIT BIAS Cilacap pada tahun 2004 hingga 2010, SMPN 2 Cilacap pada tahun 2010 hingga 2013, dan SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta pada tahun 2013 hingga 2016. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Mandiri. Saat menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL). Selama perkuliahan penulis tergabung dalam HIMATRO (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) Universitas Lampung departemen Kominfo pada periode 2018/2019 dan departemen Pengembangan Keteknikan Periode 2019/2020. Penulis melakukan kerja praktik di PT. PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang pada 14 Oktober 2020 hingga 14 November 2020 dengan mengangkat judul “Penggunaan Pemutus Tenaga (PMT) Gas SF6 Sebagai media Pemadaman Busur Api Pada Kubikel MV 20 Kv”.



Karya ini Kupersembahkan untuk

Ayahanda Tercinta dan Ibunda Tercinta

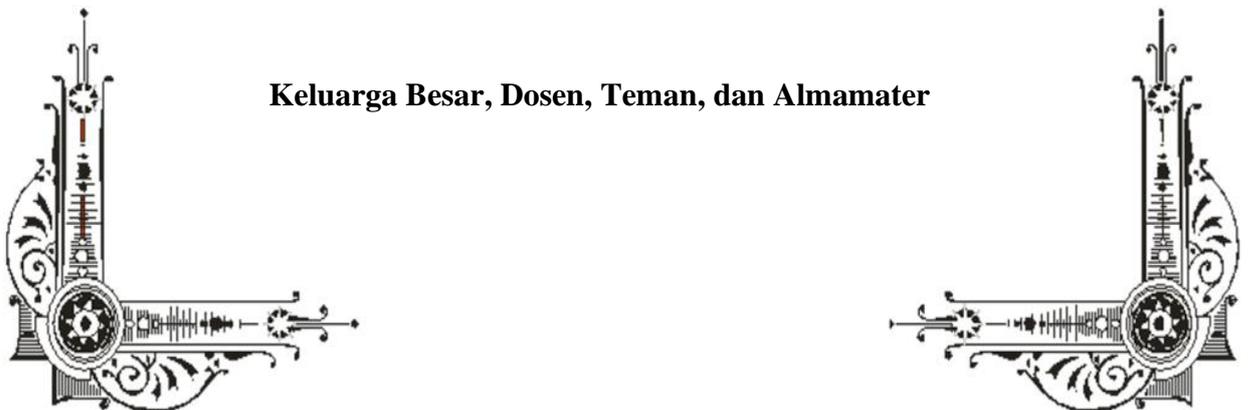
Bambang Bagyo Harto dan Mariana

Terima kasih atas kasih sayang dan segala hal yang telah tulus ikhlas kalian berikan dan lakukan untukku. Terimakasih sensatiasa bersabar dan berkorban dalam mendidiku, 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 Tersayang

Bima Oddorick Khayat dan Tetuko Wilton Khayat

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater





MOTTO

“Dan boleh jadi kamu membenci sesuatu tetapi ia baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu tetapi ia buruk bagimu, dan Allah mengetahui dan kamu tidak mengetahui”

(QS. Al-Baqarah : 216)

“Amalan yang lebih dicintai Allah adalah amalan yang terus menerus dilakukan walaupun sedikit”

(Nabi Muhammad SAW)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak. Rahasia kesuksesan adalah mengetahui yang orang lain tidak ketahui”



SANWACANA

Segala Puji bagi Allah, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun *Multilevel Inverter* Dengan Filter Pasif L-C-L Dan Teknologi Iot Untuk Memantau Perubahan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. Selaku Kepala Jurusan Teknk Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Syaiful Alam, 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 Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.

8. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, 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. Dwi Noor Fadlillah dan seluruh teman-teman yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan segala kebaikan dalam bentuk apapun.

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

Bandar Lampung, 16 Juni 2023

Gesang Amar Ruberto Khayat

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR.....	XV
---------------------------	-----------

DAFTAR TABEL	XIX
---------------------------	------------

BAB I PENDAHULUAN.....	1
-------------------------------	----------

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
-------------------------------------	----------

2.1. Motor Induksi.....	6
2.2. <i>Inverter</i>	14
2.3. <i>Multilevel Inverter</i>	15
2.4. Prinsip Kerja <i>Flying capacitor multilevel inverter</i> (FCMI).....	18
2.5. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	19
2.6. <i>Gate driver</i>	21
2.7. Mikrokontroler	23
2.8. Filter Pasif	23
2.9. Filter L-C-L.....	26
2.10. Harmonisa	26
2.11. NodeMCU ESP8266	28
2.12. Modul Sensor Kecepatan LM393	28
2.13. <i>Internet of Things</i> (IoT).....	29
2.14. Blynk.....	30

BAB III METODE PENELITIAN	31
--	-----------

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Alat dan Bahan.....	32
3.3. Prosedur Penelitian.....	33
3.4. Diagram alir penelitian.....	43
3.5. Diagram Blok Perancangan Alat.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Hasil Rancangan.....	46
4.2. Pengujian Hasil Rancangan.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran.....	80

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Motor Induksi [2]	7
Gambar 2. 2 Konstruksi motor induksi [1]	9
Gambar 2. 3 Motor induksi rotor sangkar [1]	10
Gambar 2. 4 Konstruksi motor induksi rotor belitan [1].....	11
Gambar 2. 5 Karakteristik Perubahan Frekuensi[3].....	13
Gambar 2. 6 Karakteristik Perubahan Tegangan[3].....	13
Gambar 2. 7 Karakteristik Perubahan Tahanan Luar terhadap Kecepatan [3]	14
Gambar 2. 8 Rangkaian Cascaded Multilevel Inverter	16
Gambar 2. 9 Rangkaian Diode Clamped Multilevel Inverter	17
Gambar 2. 10 Rangkaian Flying capacitor multilevel Inverter	18
Gambar 2. 11 Rangkaian Flying capacitor multilevel Inverter.....	18
Gambar 2. 12 Pulse Width Modulation	20
Gambar 2. 13 Rangkaian IC HCPL-3120	22
Gambar 2. 14 Arduino Mega 2560	23
Gambar 2. 15 Respon frekuensi LPF	24
Gambar 2. 16 Respon frekuensi HPF.....	25
Gambar 2. 17 Respon frekuensi BPF.....	25
Gambar 2. 18 Respon frekuensi BSF.....	26
Gambar 2. 19 Gelombang arus yang terdistorsi.....	27
Gambar 2. 20 gelombang beban linear dan tidak linear.....	27
Gambar 2. 21 Modul NodeMCU ESP8266	28
Gambar 2. 22 Modul Sensor Kecepatan LM393	29
Gambar 2. 23 Server Blynk.....	30
Gambar 3. 1 Perancangan Rangkaian <i>Gate driver</i>	34
Gambar 3. 2 Rancangan Rangkaian DC <i>Power supply</i>	35
Gambar 3. 3 Rangkaian <i>Flying capacitor multilevel Inverter</i> 5 tingkat satu fasa	36

Gambar 3. 4 Rangkain Filter L-C-L.....	37
Gambar 3. 5 Arduino Mega 2560	38
Gambar 3. 6 <i>Board</i> NodeMCU	40
Gambar 3. 7 <i>Interface</i> Pada <i>Platform Blynk</i>	41
Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 3. 9 Diagram blok perancangan alat.....	45
Gambar 4. 1 Wiring Arduino Mega 2560	47
Gambar 4. 2 Rangkaian Gate driver.....	48
Gambar 4. 3 Rancangan Power supply	48
Gambar 4. 4 Sumber DC.....	49
Gambar 4. 5 Rangkaian Flying Capacitor Multilevel Inverter 5 tingkat satu fasa	50
Gambar 4. 6 Rangkaian Filter Pasif LCL	50
Gambar 4. 7 Rangkaian Penaik Tegangan	51
Gambar 4. 8 Rangkaian Sensor Kecepatan	52
Gambar 4. 9 Rangkaian Sensor Arus	53
Gambar 4. 10 Wiring NodeMCU ESP8266.....	54
Gambar 4. 11 Rancangan Aplikasi Smartphone	55
Gambar 4. 12 Rancangan Keseluruhan Rangkaian.....	56
Gambar 4. 13 Gelombang Output Gate driver 1	57
Gambar 4. 14 Gelombang Output Gate driver 2	57
Gambar 4. 15 Gelombang Output Gate driver 3	57
Gambar 4. 16 Gelombang Output Gate driver 4	58
Gambar 4. 17 Gelombang Output Gate driver 5	58
Gambar 4. 18 Gelombang Output Gate driver 6	58
Gambar 4. 19 Gelombang Output Gate driver 7	59
Gambar 4. 20 Gelombang Output Gate driver 8.....	59
Gambar 4. 21 Gelombang Output inverter tanpa menggunakan filter pada frekuensi 40 Hz.....	60
Gambar 4. 22 Gelombang Output inverter tanpa menggunakan filter pada frekuensi 45 Hz.....	61
Gambar 4. 23 Gelombang Output inverter tanpa menggunakan filter pada frekuensi 50 Hz.....	61

Gambar 4. 24 Gelombang Output inverter tanpa menggunakan filter pada frekuensi 55 Hz	62
Gambar 4. 25 Gelombang Output inverter tanpa menggunakan filter pada frekuensi 60 Hz	62
Gambar 4. 26 Gelombang Output inverter dengan menggunakan filter pada frekuensi 40,72 Hz	63
Gambar 4. 27 Gelombang Output inverter dengan menggunakan filter pada frekuensi 45,05 Hz	63
Gambar 4. 28 Gelombang Output inverter dengan menggunakan filter pada frekuensi 50,10 Hz	64
Gambar 4. 29 Gelombang Output inverter dengan menggunakan filter pada frekuensi 55,46 Hz	64
Gambar 4. 30 Gelombang Output inverter dengan menggunakan filter pada frekuensi 60,66 Hz	65
Gambar 4. 31 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 40 hz	66
Gambar 4. 32 Gelombang Output perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 40 hz	66
Gambar 4. 33 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 45 Hz	67
Gambar 4. 34 Gelombang Output Perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 45 Hz	67
Gambar 4. 35 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 50 hz	68
Gambar 4. 36 Gelombang Output Perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 50 Hz	68
Gambar 4. 37 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 55 hz	69
Gambar 4. 38 Gelombang Output Perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 55 Hz	69
Gambar 4. 39 Perbandingan total harmonik distorsi (THD) pada frekuensi 60 hz	70
Gambar 4. 40 Gelombang Output Perbandingan dengan filter dan tanpa filter pada 60Hz	70
Gambar 4. 41 Tampilan pemantauan kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk pada frekuensi 40 hz	75

Gambar 4. 42 Tampilan pemantauan kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk pada frekuensi 45 hz	76
Gambar 4. 43 Tampilan pemantauan kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk pada frekuensi 50 hz	77
Gambar 4. 44 Tampilan pemantauan kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk pada frekuensi 55 hz	78
Gambar 4. 45 Tampilan pemantauan kecepatan dan arus motor induksi pada platform Blynk pada frekuensi 60 hz	79

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	31
Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin Output Arduino Untuk Proses Switching	38
Tabel 3. 3 Konfigurasi Pin Arduino Mega Untuk Sensor LM393.....	39
Tabel 3. 4 Pin Wiring NodeMCU dan Arduino Mega	40
Tabel 4. 1 Tabel Penurnan THD tanpa filter dan dengan filter per frekuensi.....	71
Tabel 4. 2 Data hasil kecepatan motor induksi pada masing-masing frekuensi ...	73
Tabel 4. 3 Data hasil arus motor induksi pada masing-masing frekuensi.....	73

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi satu fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi rumahan dan industri kecil. Namun, masalah yang sering dihadapi dalam penggunaan motor induksi ini adalah fluktuasi kecepatan. Untuk mengatur fluktuasi kecepatan bisa dilakukan dengan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan *inverter*. Namun *inverter* masih menghasilkan *Total Harmonic Distortion* (THD) yang lumayan besar sehingga perlu digunakannya *Multilevel inverter* yang mampu menghasilkan *Output THD* yang lebih baik dan dapat dikontrol dengan mudah.

Flying capacitor multilevel inverter (FCMI) merupakan salah satu jenis *multilevel inverter* yang saat ini sedang dikembangkan. FCMI digunakan untuk menghasilkan THD yang lebih rendah dibanding dengan *inverter* konvensional, filter pasif L-C-L dapat digunakan pada sistem FCMI yang diharapkan dapat lebih menekan THD yang di hasilkan oleh FCMI. Selain itu, teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat digunakan untuk memantau perubahan kecepatan motor secara *real-time*.

Implementasi FCMI dengan filter pasif L-C-L dan teknologi IoT dapat dilakukan dengan menghubungkan beberapa level *inverter* secara seri menggunakan *flying capacitor*. Filter L-C-L digunakan untuk mengurangi

harmonisa. Teknologi IoT digunakan untuk memantau kecepatan motor secara *real-time* dengan menghubungkannya ke jaringan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara merancang Filter L-C-L agar dapat mengurangi *total harmonic distortion* pada motor induksi satu fasa?
- b. Bagaimana cara mengubah kecepatan putaran motor induksi satu fasa dengan mengubah – ubah frekuensi keluaran menggunakan *Flying capacitor multilevel inverter*?
- c. Bagaimana cara pemantauan kecepatan motor induksi dari jarak dekat maupun jauh?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Membuat rancang bangun *Flying capacitor multilevel inverter* 5 tingkat yang dapat mengatur perubahan kecepatan motor induksi satu fasa.
- b. Merancang filter pasif L-C-L yang digunakan untuk dapat menurunkan THD (*total harmonic distortion*) sehingga putaran motor lebih halus dan rugi – rugi pada motor dapat dikurangi.
- c. Membuat aplikasi yang dapat pemantauan kecepatan motor induksi dari jarak dekat maupun jauh

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan alat berupa prototipe pengatur perubahan kecepatan motor AC satu fasa dengan memanfaatkan *Flying capacitor multilevel inverter* dengan menggunakan filter L-C-L.
- b. Menjadi referensi dibidang riset atau pengembangan dari aplikasi motor induksi satu fasa yang menggunakan filter pasif L-C-L untuk mengurangi harmonisa.
- c. Menghasilkan sebuah aplikasi *smartphone* yang dapat mengontrol dan pemantauan kecepatan motor induksi dari jarak dekat maupun jauh.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan – batasan masalah sebagai berikut:

- a. Motor yang digunakan adalah motor kapasitor satu fasa
- b. Jenis *inverter* yang dirancang adalah *Flying capacitor multilevel inverter* 5 tingkat
- c. Sensor yang digunakan adalah modul LM393 dan modul ACS712
- d. Menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2566 dan NodeMCU ESP8266
- e. Rangkaian *loop* terbuka
- f. *Software* yang digunakan untuk membuat aplikasi *smartphone* adalah Blynk.

1.6 Hipotesis

Di dalam penelitian ini akan dilakukan rancang bangun suatu alat untuk memantau dan mengatur kecepatan putaran motor induksi satu fasa. Cara mengatur kecepatan motor induksi tersebut dengan menggunakan *Flying capacitor multilevel inverter* satu fasa dan cara memantau kecepatan motor induksi tersebut dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT) sebagai pengatur frekuensi. Kemudian filter L-C-L akan dirancang untuk memfilter hasil keluaran dari *Flying capacitor multilevel inverter* sehingga *harmonic* dapat diredam dan persentase *total harmonic distortion* akan semakin kecil oleh karena itu dapat mengurangi rugi-rugi yang timbul saat motor induksi berputar, sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian motor induksi satu fasa. Dengan teknologi IoT kecepatan motor induksi dapat dipantau di mana saja dan kapan saja dari jarak dekat maupun jauh secara *real time* melalui *smartphone* yang terkoneksi ke internet

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan secara umum tentang teori dasar yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian.

III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan penelitian yang meliputi waktu, tempat, alat, bahan, spesifikasi alat, dan metode penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil pengujian dan pembahasan terhadap hasil dari penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk referensi dalam melanjutkan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II TINJAUAN PUSTAKA

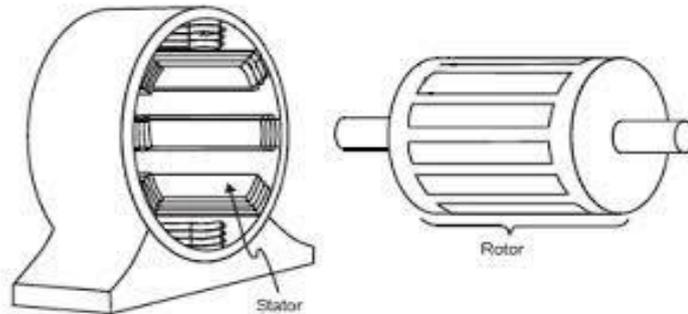
2.1. Motor Induksi

Motor induksi adalah suatu peralatan yang dapat berfungsi mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik ataupun tenaga gerak, di mana tenaga gerak tersebut berupa putaran pada poros motor. Motor AC memiliki dua macam tipe yaitu *synchronous* motor dan *asynchronous* motor. Motor induksi sendiri termasuk dalam tipe *asynchronous* motor atau motor tak serempak dikarenakan putaran poros motor yang tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa putaran antara rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut dengan slip.

Motor induksi merupakan salah satu motor yang paling umum digunakan pada berbagai macam peralatan industri. Popularitas motor induksi karena rancangannya yang sederhana, harga yang relatif murah dan mudah di dapat. Motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator, di mana arus rotor pada motor ini merupakan arus yang terinduksi sebagai karena adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [1].

Rotor merupakan bagian yang berputar pada motor induksi tiga fasa. Rotor terdiri dari susunan belitan jangkar yang disusun sedemikian rupa. Medan putar stator akan memotong belitan pada kumparan rotor. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup maka akan terdapat arus akan mengalir pada belitan rotor. Arus

tersebut akan menimbulkan gaya yang dapat menggerakkan rotor searah dengan medan stator. Adapun rotor dan stator motor induksi ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Motor Induksi [2]

2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Berputarnya rotor pada motor induksi ditimbulkan karena adanya medan putar yang dihasilkan oleh kumparan statornya. Medan putar tersebut akan terjadi ketika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan AC. Adapun prinsip kerja motor induksi adalah sebagai berikut:

1. Ketika sumber tegangan AC dihubungkan pada kumparan stator, maka akan

timbul medan putar stator dengan kecepatan: $N_s = \frac{120}{p} f$ (2.1)

N_s = Kecepatan motor (RPM)

f = Frekuensi (Hz)

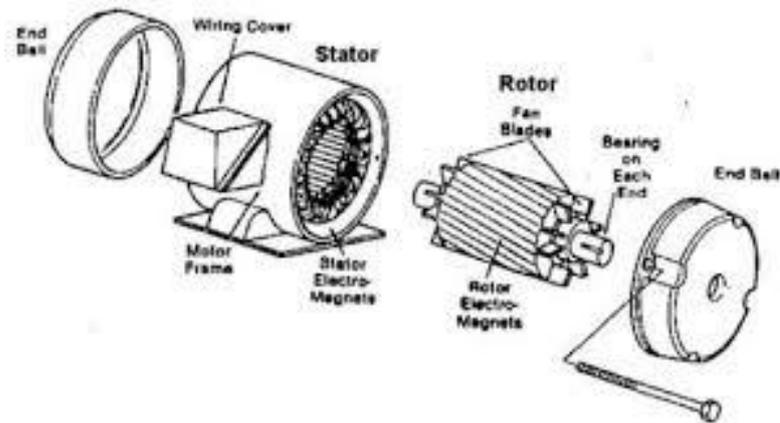
p = Kutub

2. Medan putar stator yang dihasilkan akan memotong konduktor pada rotor oleh karena itu pada kumparan rotor akan timbul GGL Induksi.

3. Dikarenakan kumparan rotor adalah rangkaian tertutup, maka akan timbul arus yang mengalir (I). Kawat penghantar tersebut dialiri arus yang berada dalam medan magnet maka akan timbul gaya (F) pada rotor.
4. Jika kopel awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk dapat memikul beban, maka rotor tersebut dapat berputar searah dengan medan putar statornya.
5. Seperti yang telah dibahas pada point nomor 3 bahwa tegangan induksi akan ditimbulkan karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar statornya. Sehingga agar tegangan terinduksi diperlukan adanya suatu perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator atau *synchronous speed* (N_s) dengan kecepatan berputar rotor atau *actual speed* (N_r).
6. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (S) [2].

2.1.2 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi adalah salah satu motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan, dikarenakan konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerjanya yang baik. Pada umumnya motor induksi terdiri atas rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang bergerak, sedangkan stator adalah bagian yang diam. Di antara stator dengan rotor terdapat celah udara yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Konstruksi motor induksi [1]

Gambar 2.2 menunjukkan konstruksi dari motor induksi. Stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari tumpukan laminasi inti yang memiliki alur tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Pada tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian pada tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang berbentuk silindris. Antara stator dan rotor terdapat celah udara yang sangat kecil yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara tersebut lewat fluks induksi stator memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor dapat berputar. Celah udara yang ada antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa agar didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Apabila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar dapat mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sedangkan bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran pada mesin akibat gesekan [1].

2.1.3 Klasifikasi Motor Induksi

Terdapat dua jenis motor induksi satu fasa berdasarkan jenis rotornya, yaitu

1. Motor induksi sangkar tupai (*squirrel-cage motor*)
2. Motor induksi rotor belitan (*wound-rotor motor*)

Pada kedua jenis motor ini memiliki prinsip kerja yang sama dan juga konstruksi stator yang sama hanya saja berbeda pada konstruksi rotor [1].

1. Motor Induksi Sangkar Tupai

Pada penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang cukup sederhana. Di mana inti stator pada jenis motor sangkar tupai terdiri dari lapisan–lapisan plat baja yang beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan–lilitan pada kumparan stator ini diletakkan dalam alur stator, berikut bentuk dari rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.3.



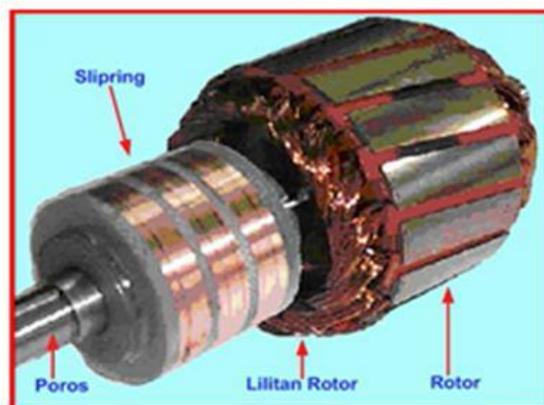
Gambar 2. 3 Motor induksi rotor sangkar [1]

Bentuk batang rotor dan cincin ujung pada motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng inti rotor. Pada motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor tetapi dibenamkan ke dalam alur rotor yang kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar

tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah.

1. Motor Induksi Rotor Belitan

Pada motor rotor belitan (motor cincin slip) cukup berbeda dengan motor sangkar tupai pada konstruksi rotornya. Sesuai namanya, rotor dililit menggunakan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Selama proses pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan dapat menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan rotor sangkar. Adapun konstruksi Rotor belitan ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Konstruksi motor induksi rotor belitan [1].

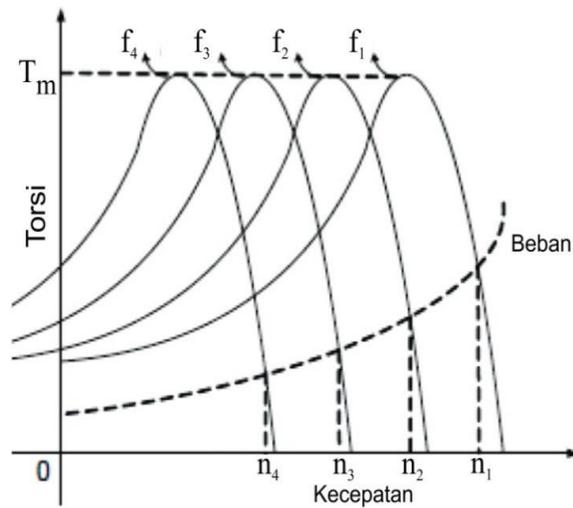
2.1.4 Prinsip Dasar Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara, antara lain yakni pengaturan jumlah kutub motor, pengaturan frekuensi sumber, pengaturan tegangan sumber dan pengaturan tahanan luar.

$$N_s = \frac{120}{p} f \quad (2.2)$$

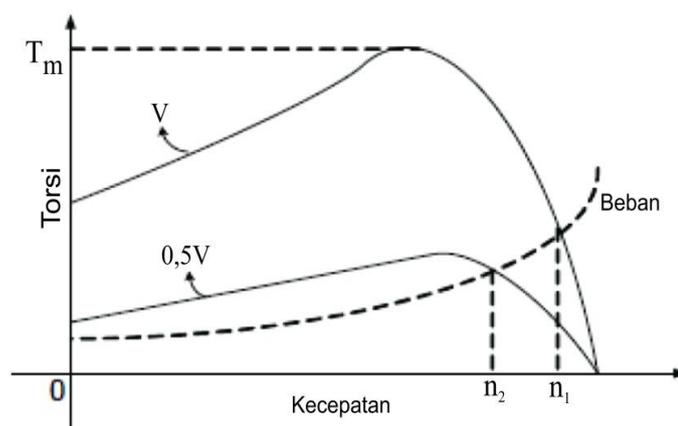
Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa kecepatan motor berbanding terbalik dengan jumlah kutub, sehingga bila semakin sedikit jumlah kutub, maka putaran motor induksi akan menjadi semakin cepat. Jumlah kutub dapat diatur dengan mendesain kumparan stator sedemikian rupa sehingga dihasilkan jumlah kutub yang diinginkan. Pada praktiknya, pengendalian kecepatan motor induksi dengan cara mengubah jumlah kutub cukup sulit dilakukan karena perlu mengubah konstruksi dari motor induksi.

Selain itu, berdasarkan persamaan 2.2 menunjukkan bahwa kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi sumber, sehingga dengan semakin besarnya frekuensi, maka putaran motor induksi menjadi semakin cepat. 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. Adapun karakteristik perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.5.



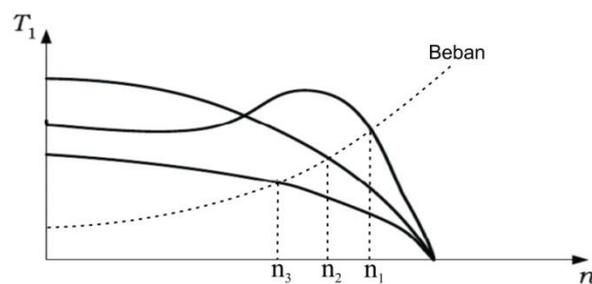
Gambar 2. 5 Karakteristik Perubahan Frekuensi[3].

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 [3]. Adapun karakteristik perubahan tegangan terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 6 Karakteristik Perubahan Tegangan[3].

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 [8]. Adapun karakteristik perubahan tahanan luar terhadap kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Karakteristik Perubahan Tahanan Luar terhadap Kecepatan [3].

2.2. *Inverter*

Inverter adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). *Inverter* dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti untuk mengubah listrik yang dihasilkan oleh panel surya menjadi listrik AC yang dapat digunakan di rumah, atau untuk mengubah listrik DC dari baterai mobil menjadi listrik AC yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan elektronik di dalam mobil.

Prinsip kerja *inverter* adalah dengan menggunakan rangkaian elektronik yang disebut sebagai *inverter bridge* atau rangkaian jembatan *inverter*. Rangkaian

ini terdiri dari beberapa transistor dan dioda yang diatur dengan urutan tertentu sehingga dapat mengubah arus DC menjadi AC.

Ada beberapa jenis *inverter* yang tersedia, seperti *inverter* murni (*pure sine wave*), *inverter* modifikasi (*modified sine wave*), dan *inverter* gelombang kotak (*square wave*). *Inverter* murni menghasilkan gelombang AC yang lebih stabil dan bersih, sehingga lebih cocok untuk digunakan pada peralatan elektronik sensitif seperti komputer, televisi, dan peralatan medis. Sedangkan *inverter* modifikasi dan *inverter* gelombang kotak lebih cocok untuk digunakan pada peralatan listrik yang kurang sensitif seperti lampu dan kipas angin.

Kelebihan dari penggunaan *inverter* adalah fleksibilitasnya dalam mengubah arus listrik sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, *inverter* juga dapat digunakan untuk menyimpan energi dari panel surya atau baterai untuk digunakan pada saat listrik dari jaringan PLN tidak tersedia atau terjadi pemadaman listrik.

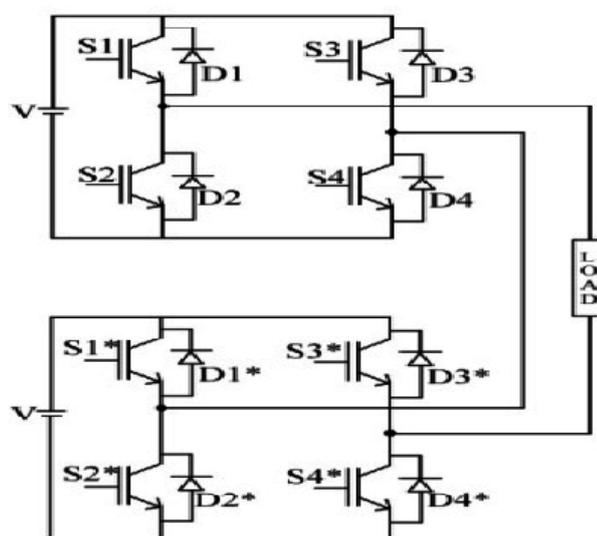
Namun, penggunaan *inverter* juga memiliki kelemahan, yaitu adanya kerugian THD yang dihasilkan saat mengubah arus DC menjadi AC. Selain itu, penggunaan *inverter* yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik.

2.3. *Multilevel Inverter*

Multilevel inverter merupakan salah satu jenis *inverter* yang gelombang keluaran tegangannya memiliki tingkatan atau level yang disesuaikan dengan jumlah sumber tegangan DC yang digunakan. Berdasarkan topologinya *multilevel inverter* dibagi menjadi tiga jenis:

2.3.1. Cascaded Multilevel Inverter (CMI)

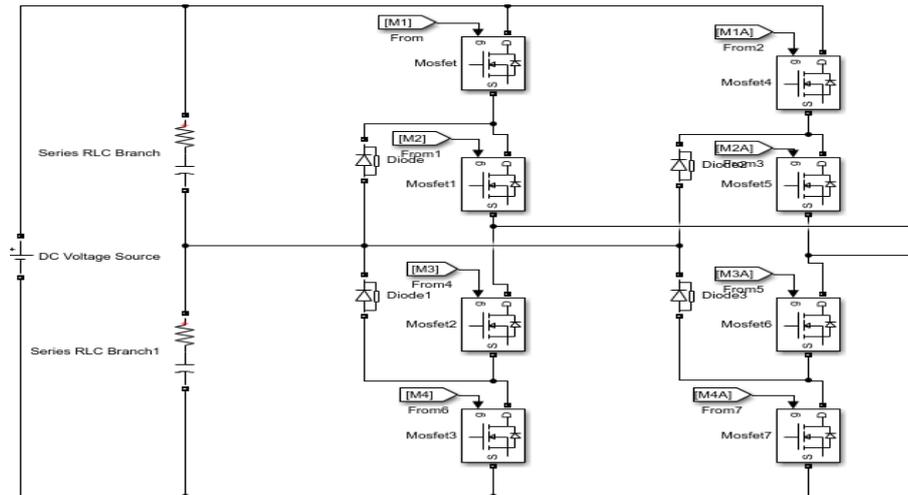
Cascaded Multilevel Inverter merupakan jenis *multilevel inverter* yang dimana keluaran tegangannya dihasilkan dari sumber DC yang terpisah. Keluaran tegangan dari jenis *multilevel inverter* ini berbentuk gelombang kotak yang bertingkat, dan keluaran tegangan tersebut akan semakin bertingkat sejalan dengan sumber DC yang digunakan pada *multilevel inverter* ini.



Gambar 2. 8 Rangkaian *Cascaded Multilevel Inverter*

2.3.2. Diode Clamped Multilevel Inverter (DCMI)

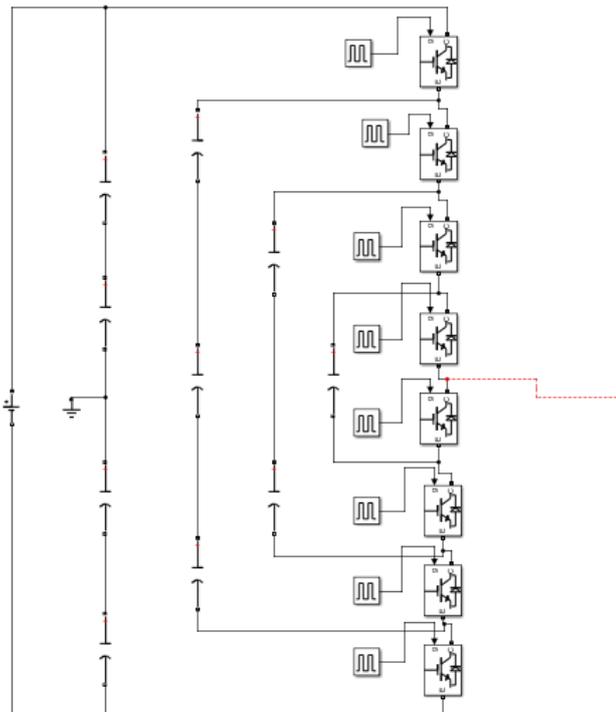
Diode Clamped Multilevel Inverter merupakan jenis *inverter* yang dimana keluaran tegangan dihasilkan dari satu sumber tegangan DC. *Diode Clamped Multilevel Inverter* ini menggunakan komponen dioda sebagai penyearah dan pembatas arus agar dihasilkan bentuk keluaran gelombang yang menyerupai gelombang sinusoidal [2].



Gambar 2. 9 Rangkaian *Diode Clamped Multilevel Inverter*

2.3.3. *Flying capacitor multilevel inverter (FCMI)*

Flying capacitor multilevel inverter merupakan jenis *inverter multilevel* yang prinsip kerjanya hamper sama dengan *Diode Clamped Multilevel Inverter*. keluaran gelombang kotak bertingkat. *Multilevel* ini dihasilkan dari variasi topologi *inverter* yang menggunakan kapasitor sebagai suplai tegangan



Gambar 2. 10 Rangkaian *Flying capacitor multilevel Inverter*

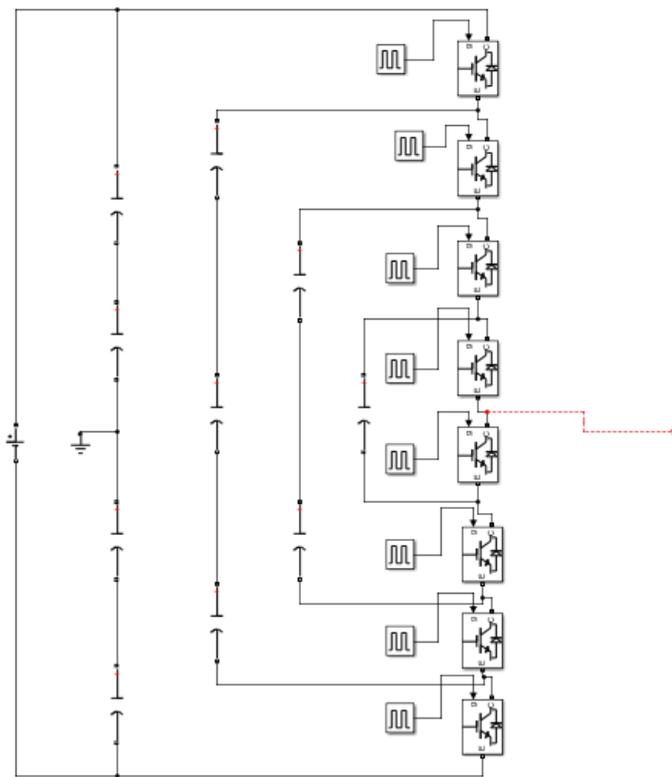
2.4. Prinsip Kerja *Flying capacitor multilevel inverter* (FCMI)

FCMI merupakan salah satu dari jenis *multilevel inverter* yang dimana dalam menentukan komponen dalam rangkaian tergantung pada tingkatan yang ingin di dihasilkan (n) dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah } \textit{capacitor} \textit{ pengganti sumber} = (n - 1)$$

$$\text{Jumlah } \textit{capacitor} \textit{ balancing} = \frac{(n-1)(n-2)}{2}$$

$$\text{Jumlah MOSFET} = (n - 1)2$$

Gambar 2. 11 Rangkaian *Flying capacitor multilevel Inverter*

Topologi FCMI ini menggunakan satu sumber tegangan DC sebagai *supply*, mosfet yang berfungsi sebagai media pensaklaran untuk FCMI ini, dan kapasitor yang dimana ada yang berfungsi sebagai menyimpan tegangan dan menjadi *balancing* pada rangkaian FCMI [4].

Langkah-langkah untuk menjalankan FCMI tingkat 5 sebagai berikut:

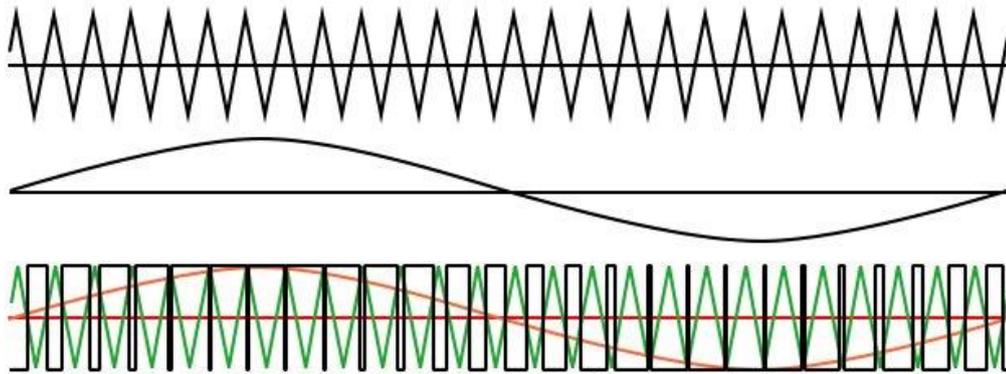
Untuk mendapatkan level tegangan keluaran $V_{a_0} = \frac{1}{2} V_{dc}$: Nyalakan semua sakelar setengah bagian atas S_{a_1} sampai S_{a_4} . Lalu Untuk level tegangan keluaran $V_{a_0} = \frac{1}{4} V_{dc}$: Nyalakan tiga sakelar atas S_{a_1} hingga S_{a_3} & satu sakelar bawah S_{a_5} . Lalu Untuk level tegangan keluaran $V_{a_0} = 0$: Nyalakan dua sakelar atas S_{a_1} , S_{a_2} & dua sakelar bawah S_{a_5} , S_{a_6} . Lalu Untuk level tegangan keluaran $V_{a_0} = -\frac{1}{4} V_{dc}$: Nyalakan satu sakelar atas S_{a_1} & tiga sakelar bawah S_{a_5} hingga S_{a_7} . Dan yang terakhir Untuk level tegangan keluaran $V_{a_0} = -\frac{1}{4} V_{dc}$: Nyalakan semua sakelar setengah bagian bawah S_{a_5} hingga S_{a_8} .

2.5. *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.

Prinsip dasar dari 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 amplitudo sinyal *carrier* (V_c) maka dihasilkan sinyal *low* atau *off* [9].

Proses membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier* terlihat pada Gambar 2.5 sehingga dapat menghasilkan nilai *duty cycle* pada PWM dari perbandingan kedua gelombang tersebut. *Pulse-width modulation* (PWM) merupakan cara untuk mengurangi THD (*total harmonic distortion*) dari arus beban. Dimana keluaran PWM *inverter*, dengan menggunakan *filter*, umumnya dapat memperkecil THD dari *switching* gelombang persegi [9].



Gambar 2. 12 *Pulse Width Modulation*

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 periode gelombang.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off}$$

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.

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\%$$

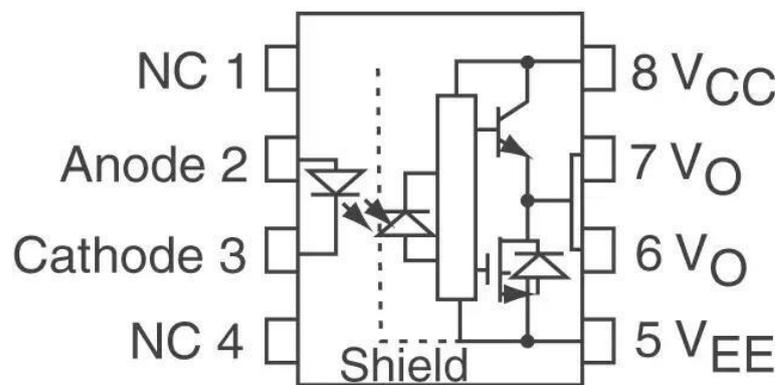
Duty cycle yang akan berguna untuk menentukan waktu kerja pada komponen saklar semikonduktor sehingga akan menjadi pulsa penyalaan yang dapat mengontrol keadaan *on* dan *off* pada saklar. Oleh karena itu prinsip kerja dari PWM untuk mengontrol kerja dari saklar semikonduktor adalah ketika $V_{control}/V_{ref}$ 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. Salah satu contoh hasil analog adalah dari beberapa jenis IC (*Integrated Circuit*) sedangkan komponen digital salah satunya dihasilkan oleh mikrokontroler.

PWM memiliki karakteristik tertentu 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.

2.6. *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 pada umumnya sebesar 5V kemudian akan 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* akan bekerja berdasarkan cahaya optic, dimana terdapat bagian utama dari *optocoupler* yaitu *transmitter* yang akan berfungsi sebagai pengirim cahaya optic 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 2.13

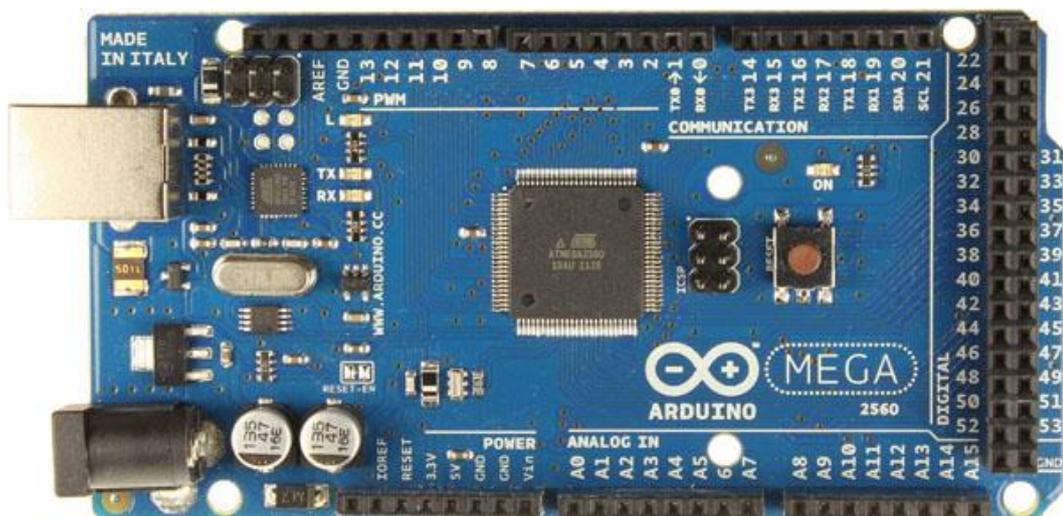


Gambar 2. 13 Rangkaian IC HCPL-3120

Prinsip kerja dari *optocoupler* terdiri dari komponen LED yang akan memancarkan cahaya inframerah (IR LED) dan sebuah komponen semikonduktor yang peka terhadap cahaya yaitu *phototransistor* sebagai bagian yang digunakan untuk mendeteksi cahaya infra merah yang dipancarkan oleh IR LED [9]. Dengan cahaya inframerah tersebut yang menyebabkan *switch* menjadi *ON* pada transistor. Dengan cahaya inframerah tersebut ketahanannya menjadi lebih baik. Digunakanya IC tipe HCPL adalah banyak digunakan sebagai *driver* pada rangkaian mikrokontroler dan *driver* motor DC [1].

2.7. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu rangkaian terpadu elektronik yang berfungsi sebagai pengendali yang mengatur jalanya proses kerja dari suatu rangkaian elektronik. Didalam sebuah rangkaian, Arduino merupakan suatu modul mikrokontroler yang sangat populer saat ini, terdapat beberapa macam arduino sesuai kebutuhan. Pada penelitian ini, menggunakan 2 Arduino yaitu Arduino Mega dan Arduino Nano. Arduino Mega merupakan salah satu papan mikrokontroler berdasarkan Atmega 2560. Arduino MEGA memiliki 54 pin digital keluaran / masukan yang mana 15 diantaranya dapat digunakan sebagai PWM, 16 masukan, dan osilator Kristal 16 MHz. Arduino MEGA menggunakan kabel koneksi USB, sebuah *power jack*, *ICSP header*, serta tombol *reset* [3].



Gambar 2. 14 Arduino Mega 2560

2.8. Filter Pasif

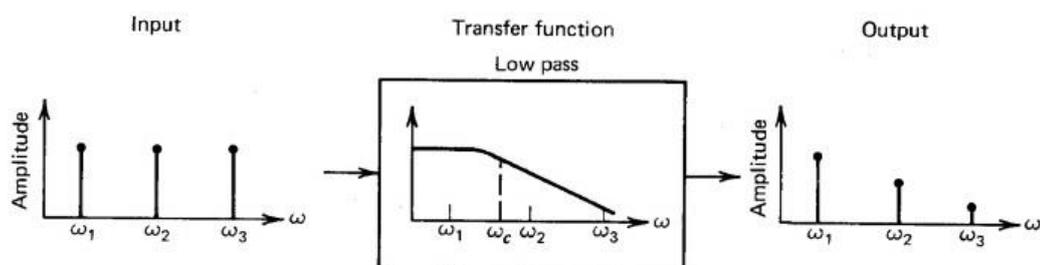
Filter merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menyaring atau melewati tegangan keluaran pada frekuensi tertentu yang telah ditentukan dan untuk membuang atau menyalurkan ke *ground* tegangan keluaran pada frekuensi

tertentu yang tidak diperlukan. Filter pada dasarnya dibagi dalam dua jenis yaitu filter pasif dan filter aktif. Disebut filter pasif karena komponen yang digunakan merupakan komponen pasif sebaliknya disebut filter aktif karena menggunakan komponen elektronika aktif. Oleh karena itu untuk membuat suatu filter pasif dapat menggunakan komponen pasif (R, L, C). Sedangkan untuk membuat filter aktif dapat menggunakan rangkaian (R, L, C dan transistor atau Op-Amp). Pada umumnya filter pasif ataupun filter aktif dapat dibedakan berdasarkan respon frekuensi yang di saring menjadi 4 kelompok.

- Filter Lolos Bawah (*Low Pass Filter*, LPF)
- Filter Lolos Atas (*High Pass Filter*, HPF)
- Filter Lolos Rentang (*Band Pass Filter*, BPF)
- Filter Tolak Rentang (*Band Stop Filter* atau *Notch Filter*)

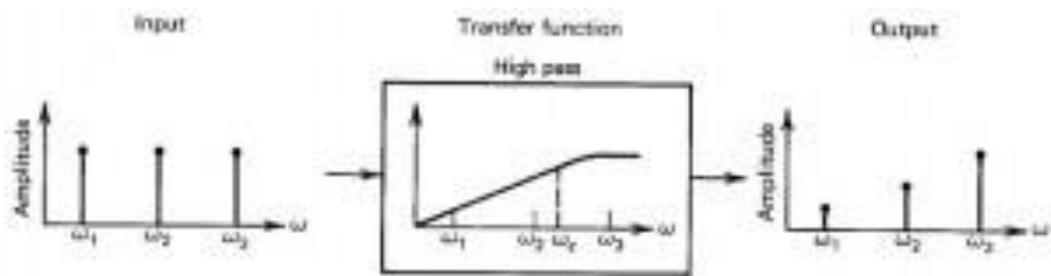
Untuk dapat membuat filter diatas dapat menggunakan konfigurasi R dan C, L dan C ataupun RLC. Penggunaan induktor sering dihindari karena bentuk fisik induktor yang besar. Sehingga pada umumnya filter yang sering dijumpai adalah filter dengan komponen resistor (R) dan kapasitor (C) atau disebut RC.

Low pass filter (LPF) atau biasa disebut filter lolos bawah merupakan filter yang berfungsi untuk meredam frekuensi tinggi dan meloloskan atau melewati frekuensi rendah [8]. Berikut adalah grafik respon frekuensi dari *Low pass filter*



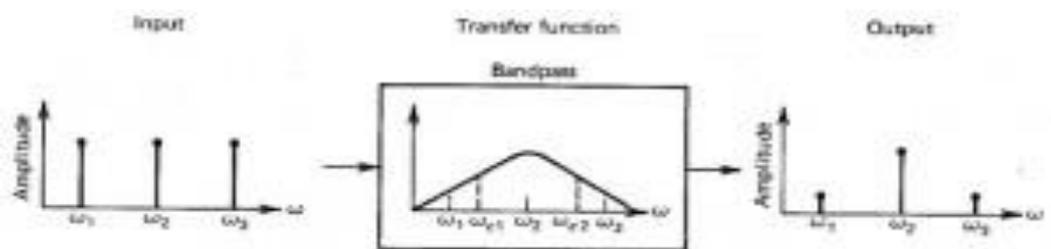
Gambar 2. 15 Respon frekuensi LPF

High pass filter (HPF) merupakan filter yang berfungsi untuk meredam frekuensi rendah dan melewatkan frekuensi atas. Berikut adalah grafik frekuensi dan HPF.



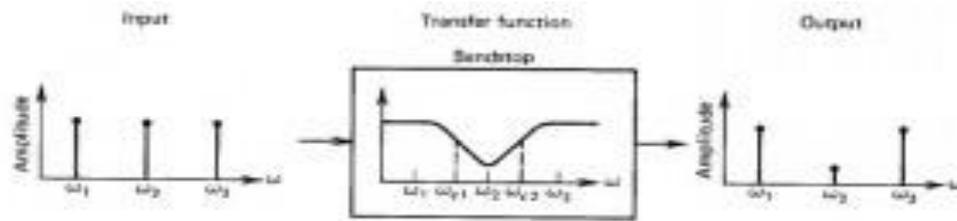
Gambar 2. 16 Respon frekuensi HPF

Band pass filter (BPF) merupakan filter yang digunakan untuk melewatkan frekuensi dari *range* tertentu yang telah di tentukan sehingga frekuensi diluar *range* akan di redam dan diteruskan menuju ke *ground* berikut adalah respon frekuensi dari BPF.



Gambar 2. 17 Respon frekuensi BPF

Band stop filter (BSF) merupakan filter yang prinsipnya bertolak belakang dengan BPF dimana jika BPF melewatkan frekuensi dari *range* yang ditentukan maka BSF meredam frekuensi dari *range* yang ditentukan dan melewatkan frekuensi di luar *range* tersebut. Berikut adalah respon frekuensi dan BSF.



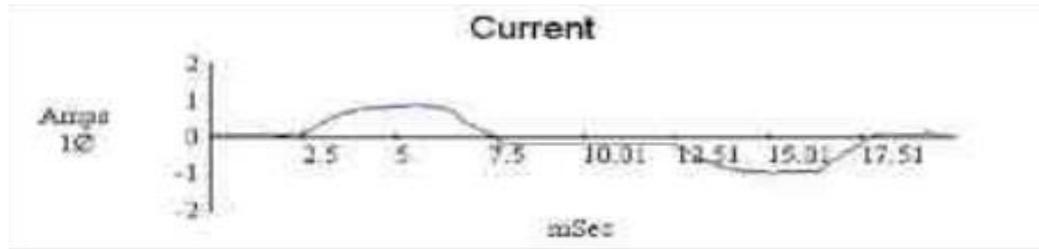
Gambar 2. 18 Respon frekuensi BSF

2.9. Filter L-C-L

Filter L-C-L dirancang khusus untuk mengurangi harmonisa arus dan tegangan yang akan diserap oleh beban, dengan masukan penyearah. Filter L-C-L terbuat dari kombinasi induktor dan kapasitor seri paralel yang disesuaikan untuk mengurangi THD (*total harmonic distortion*). Filter L-C-L dirancang khusus untuk mengurangi THD (I) ke nilai sekitar 8%, agar sesuai Standar IEC-61000-3.4 dan IEEE-519.

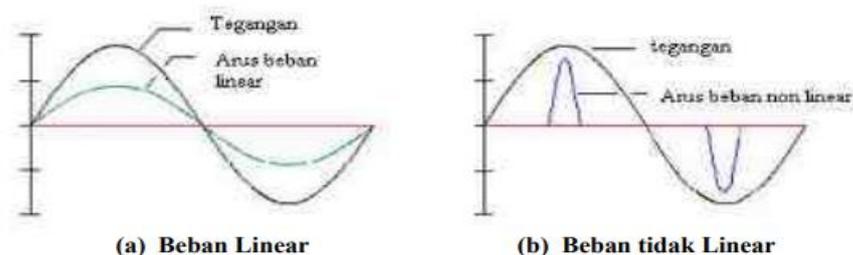
2.10. Harmonisa

Harmonisa dapat didefinisikan sebagai berikut yaitu cacat gelombang sinus yang terjadi diakibatkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem dengan gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi inti atau fundamentalnya. Gelombang lain tersebut menumpang pada gelombang aslinya sehingga mengakibatkan bentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang asli dengan gelombang harmoniknya.



Gambar 2. 19 Gelombang arus yang terdistorsi

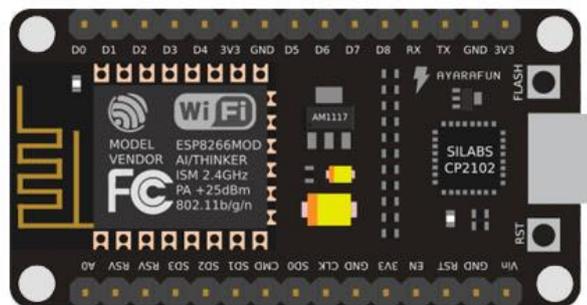
Dalam sistem tenaga listrik terdapat dua jenis beban yaitu beban linier dan beban tidak linier. Disebut beban linear yang berarti mengeluarkan gelombang berbentuk linear pada keluarannya artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, sehingga gelombangnya bisa disebut bersih dan tidak terdistorsi. Tidak semua beban yang terpasang merupakan beban linier bahkan banyak sebagian besar beban yang terpasang merupakan beban tidak linier. Disebut beban tidak linear karena gelombang keluaran yang dihasilkan dari beban tidak bersih dan tidak proporsional akibat distorsi gelombang lain. Penggunaan beban tidak linier akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal. Akibatnya akan terbentuk gelombang terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa. Perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh beban linier dan beban tidak linier dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 20 gelombang beban linear dan tidak linear

2.11. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah *open source platform* IoT dan pengembangan kit yang menggunakan bahasa pemrograman Lua untuk membantu dalam membuat prototipe produk IoT atau bisa dengan memakai *sketch* dengan arduino IDE. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul ESP8266, yang mengintegrasikan GPIO, PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC, 1-Wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*) semua dalam satu *board*.



Gambar 2. 21 Modul NodeMCU ESP8266

2.12. 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*.



Gambar 2. 22 Modul Sensor Kecepatan LM393

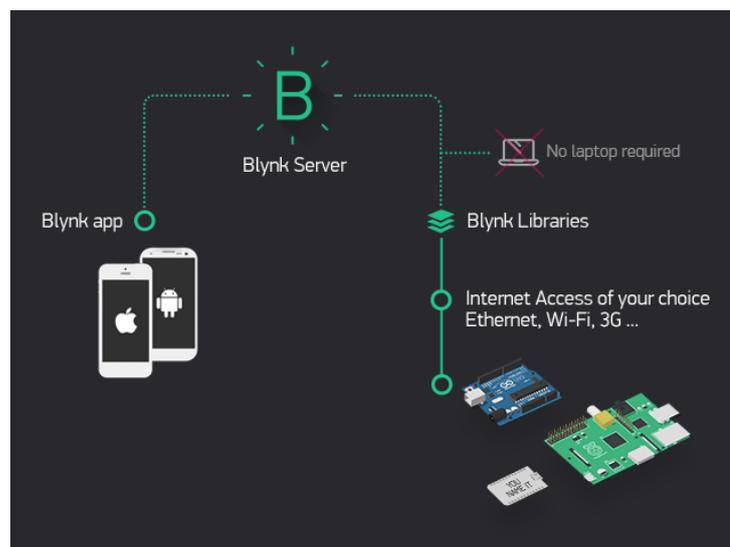
2.13. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang merujuk pada koneksi dan komunikasi antara berbagai jenis perangkat elektronik melalui internet. IoT memungkinkan perangkat seperti *smartphone*, mobil, perangkat rumah tangga, dan bahkan sensor di jalan raya untuk terhubung dan berkomunikasi dengan satu sama lain untuk bertukar informasi dan melakukan tugas-tugas tertentu.

Struktur dasar dari IoT melibatkan tiga komponen utama, yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan konektivitas. Perangkat keras umumnya mencakup berbagai jenis perangkat yang memiliki kemampuan untuk terhubung ke internet, seperti sensor, mikrokontroler, dan perangkat cerdas. Perangkat lunak biasanya merujuk 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, biasanya melalui teknologi nirkabel seperti Wi-Fi atau *Bluetooth*.

2.14. 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.



Gambar 2. 23 *Server* Blynk

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dengan rincian sebagai berikut.

Perangkat keras yang digunakan:

1. Rangkaian catu daya (*power supply*)
2. Motor kapasitor tipe 73134 Class 0.1
3. Rangkaian *flying capacitor multilevel inverter* (FCMI) 5 Tingkat satu fasa
4. Rangkaian *gate driver* Mosfet
5. Arduino Mega 2560
6. Laptop HP 14s-cf0062TU
7. Osiloskop digital
8. Komponen induktor dan kapasitor untuk filter L-C-L
9. NodeMCU ESP8266
10. *Smartphone*
11. Modul LM393
12. Modul ACS712

Perangkat lunak yang digunakan, yaitu:

1. Matlab 2019a
2. Eagle
3. Microsoft Office 2019
4. Arduino IDE
5. Blynk

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa tahap / prosedur yang akan dilakukan antara lain:

3.3.1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan pengumpulan referensi dan literatur dari berbagai sumber resmi dan terpercaya yang akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan perancangan alat. Dari referensi atau literatur tersebut kemudian akan dipelajari komponen, metode, rangkaian, dan hal lainnya yang berhubungan dengan perancangan alat pada penelitian ini. Prosedur ini juga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan prinsip kerja dari komponen komponen yang akan digunakan dalam merancang alat. Beberapa referensi yang dikumpulkan antara lain:

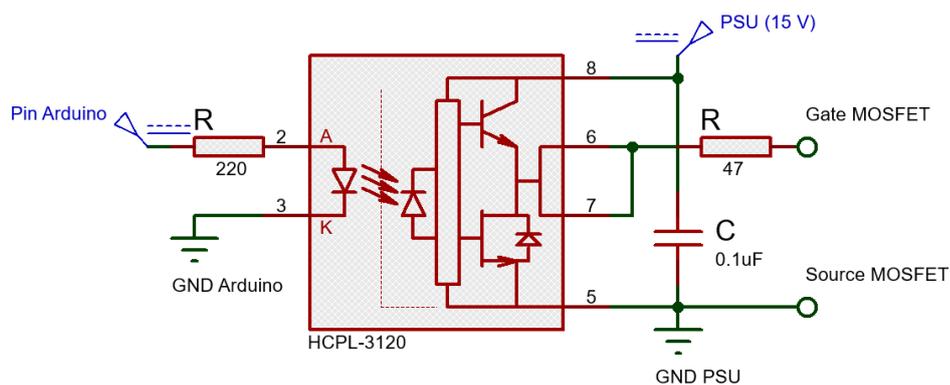
- a. Prinsip kerja motor induksi kapasitor
- b. Prinsip kerja *flying capacitor multilevel inverter* 5 tingkat satu fasa
- c. Pengaturan kecepatan motor kapasitor satu fasa
- d. Pemrograman Arduino
- e. Rangkaian dan karakteristik komponen yang akan digunakan (*Data sheet*).
- f. Prinsip kerja filter pasif L-C-L
- g. Desain filter L-C-L untuk beban satu fasa
- h. Pemrograman NodeMCU ESP8266
- i. Prinsip kerja sensor kecepatan LM393
- j. Prinsip kerja sensor arus ACS712
- k. Perancangan aplikasi *smartphone*

3.3.2. Perancangan Alat dan Sistem

Dalam tahap perancangan alat ini terdiri dari beberapa tahap yang akan dilakukan antara lain:

3.3.2.1. Perancangan Rangkaian *Gate driver*

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian *gate driver*. Rangkaian *gate driver* dibutuhkan untuk melakukan pensaklaran pada mosfet dikarenakan tegangan keluaran Arduino hanya sebesar 5 Volt, sedangkan dalam proses pensaklaran mosfet dibutuhkan tegangan sebesar antara 12 hingga 20 Volt. Rangkaian *gate driver* yang dibuat pada penelitian ini akan menghasilkan tegangan *Output* sebesar 15 Volt sehingga dapat digunakan pada proses pensaklaran mosfet. Adapun komponen penyusun dari rangkaian *gate driver* ini antara lain yaitu, IC *Optocoupler* HCPL 3120, resistor 47ohm, resistor 220 ohm, serta kapasitor Mylar 0,1 μ F. Berikut merupakan rancangan rangkaian *gate driver* ditunjukkan pada gambar 3.1.



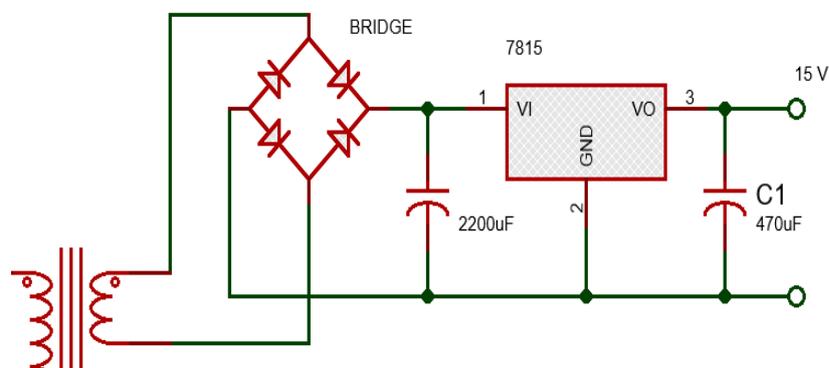
Gambar 3. 1 Perancangan Rangkaian *Gate driver*

Gambar 3.1 menunjukkan rancangan rangkaian *gate driver* yang akan dibuat. Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian *gate driver* sebanyak 8 buah, dikarenakan terdapat 8 buah mosfet yang akan dilakukan proses pensaklaran.

3.3.2.2. Perancangan Rangkaian DC Power supply

Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian DC *power supply* sebanyak 8 buah dengan *Output* tegangan 15 Volt yang dibutuhkan untuk mensuplai rangkaian *gate driver*.

Adapun komponen penyusun pada rangkaian DC *power supply* antara lain yaitu, transformator CT 220/15 Volt 1 Ampere, dioda *bridge*, IC *Regulator* LM1815, kapasitor 2200 μF , dan kapasitor 470 μF . Rancangan rangkaian DC *power supply* yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.

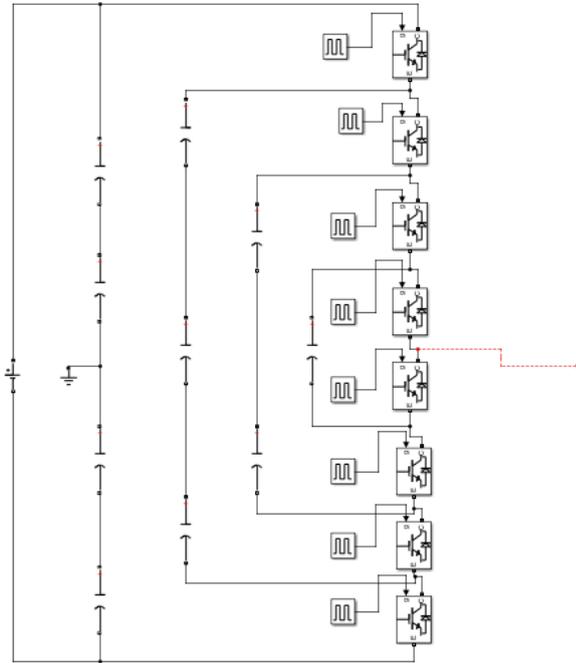


Gambar 3. 2 Rancangan Rangkaian DC *Power supply*

3.3.2.3. Perancangan Rangkaian *Flying Capacitor Multilevel Inverter* 5 Tingkat Satu Fasa

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rangkaian *inverter* dengan jenis *Flying capacitor multilevel inverter* 5 tingkat satu fasa. Pada rangkaian *inverter* tersebut dibutuhkan beberapa komponen penyusun antara lain yaitu, mosfet IRF460

sebanyak 8 buah, kapasitor 3300 uF sebanyak 10 buah dan sumber DC 36 Volt sebanyak 1 buah yang di hasilkan dari 3 buah Aki 12 V yang di seri.



Gambar 3. 3 Rangkaian *Flying capacitor multilevel Inverter* 5 tingkat satu fasa

Gambar 3. 3 menunjukkan rangkaian *Flying capacitor multilevel inverter* 5 tingkat satu fasa yang akan dibuat. Adapun urutan pensaklaran pada masing-masing mosfet ditunjukkan pada tabel 3.1.

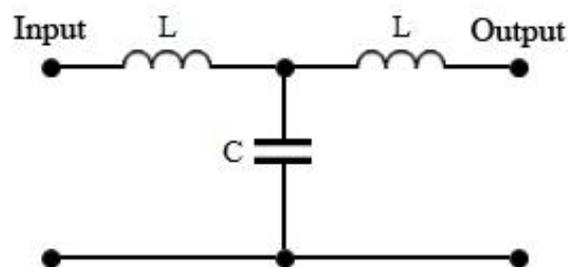
Tabel 3.1 Urutan Pensaklaran Pada Masing-masing Mosfet

V_{AC}	Kondisi Mosfet							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
0	1	1	0	0	1	1	0	0
$\frac{1}{4}V_{DC}$	1	1	1	0	1	0	0	0
$\frac{1}{2}V_{DC}$	1	1	1	1	0	0	0	0

V_{AC}	Kondisi Mosfet							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
$\frac{1}{4}V_{DC}$	1	1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0
$-\frac{1}{4}V_{DC}$	1	0	0	0	1	1	1	0
$-\frac{1}{2}V_{DC}$	0	0	0	0	1	1	1	1
$-\frac{1}{4}V_{DC}$	1	0	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0

3.3.2.4. Perancangan Rangkaian Filter L-C-L

Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian filter pasif dengan jenis filter pasif LCL. Pada rangkaian filter ini di perlukan komponen penyusun berupa 1 buah kapasitor 470 uF dan 2 buah induktor yang dimana 1 buah induktor 0,5 mH di sisi *input* dan 1 buah induktor 33 uH di sisi *Output* sesuai seperti Gambar 3.3.



Gambar 3. 4 Rangkain Filter L-C-L

3.3.2.5. Perancangan *Wiring* Arduino

Pada penelitian ini digunakan sebuah *board* mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang dibutuhkan pada proses pensaklaran mosfet, pembacaan sensor, serta pengendalian dan pemantauan. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 memiliki pin *Output* cukup banyak sehingga meruopakan pilihan yang tepat untuk dapat diaplikasikan pada penelitian ini.



Gambar 3. 5 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 terhubung dengan sensor kecepatan LM393 pada pin 2, pin 5 Volt dan pin GND. Selain itu Arduino Mega 2560 juga terhubung dengan *board* NodeMCU yang terkoneksi melalui pin 10 dan pin 11 yang akan digunakan sebagai komunikasi serial. Sedangkan untuk melakukan proses *switching* akan digunakan 8 pin digital pada Arduino Mega 2560 dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin *Output* Arduino Untuk Proses *Switching*

Pin Arduino Mega	Saklar
Pin 22	MOSFET 1
Pin 26	MOSFET 2
Pin 30	MOSFET 3

Pin Arduino Mega	Saklar
Pin 34	MOSFET 4
Pin 38	MOSFET 5
Pin 42	MOSFET 6
Pin 46	MOSFET 7
Pin 50	MOSFET 8

3.3.2.6. Perancangan *Wiring* Sensor Kecepatan

Pada penelitian ini digunakan sebuah sensor kecepatan untuk membaca kecepatan dari motor induksi. Sensor kecepatan yang digunakan adalah sensor LM393 yang akan terhubung dengan pin 2 Arduino (pin *interrupt*). Sensor LM393 akan mengirimkan pulsa *on* atau *off* yang kemudian akan terbaca pada pin 2 Arduino. Pulsa hasil pembacaan sensor tersebut akan dikonversikan menjadi nilai kecepatan sesuai dengan persamaan 3.1 berikut:

$$n = \frac{P}{H} \times \frac{60}{t} \quad (3.1)$$

di mana:

n = kecepatan (rpm)

P = jumlah pulsa yang dihasilkan sensor

H = jumlah lubang (*hole*) *disk encoder*

t = waktu sampling (detik)

Untuk konfigurasi pin Arduino Mega 2560 yang digunakan untuk sensor kecepatan LM393 ditunjukkan lebih detail pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 3 Konfigurasi Pin Arduino Mega Untuk Sensor LM393

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

3.3.2.7. Perancangan NodeMCU ESP8266

Pada penelitian ini digunakan *board* NodeMCU ESP8266 yang akan digunakan pada proses pengendalian dan memantau dari jarak jauh menggunakan internet. *Board* NodeMCU akan saling berkomunikasi dengan Arduino Mega menggunakan komunikasi serial untuk mengirimkan perintah maupun menerima data dan juga digunakan untuk membaca sensor arus. *Board* NodeMCU ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 6 *Board* NodeMCU

Untuk konfigurasi pin *wiring* yang digunakan pada Arduino Mega dan NodeMCU ditunjukkan pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Pin *Wiring* NodeMCU dan Arduino Mega

Pin NodeMCU	Pin Arduino Mega
D1	10
D2	11
GND	GND
A0	Sensor Arus

3.3.2.8. Perancangan Pemantauan Berbasis IoT (*Internet of Things*)

Proses pemantauan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan akses internet sehingga proses pemantauan dapat dilakukan dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan internet. Pada penelitian ini memanfaatkan sebuah *platform* IoT yaitu Blynk yang digunakan untuk mengakses data pemantauan. *Platform* Blynk dapat diakses dari berbagai perangkat yang menyediakan aplikasi untuk mengakses Blynk. Blynk akan terkoneksi dengan *board* NodeMCU melalui jaringan internet sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara *realtime*. Berikut merupakan *interface* pada *platform* Blynk ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 *Interface* Pada *Platform* Blynk

3.3.3. Pengujian alat

Tahap pengujian ini akan dilakukan untuk melihat keberhasilan alat sesuai dengan hipotesa atau tidak sesuai prinsip kerja dan referensi yang digunakan. Selain itu, saat pengujian berlangsung akan dilakukan pengambilan data, data yang akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa hasil pengujian. Tahap pengujian ini terdiri dari beberapa proses antara lain:

a. Pengujian Mikrokontroler Arduino

Pengujian Mikrokontroler ini dilakukan dengan melihat keluaran gelombang PWM yang dihasilkan dari Mikrokontroler.

b. Pengujian modul *gate driver*

Gate driver merupakan penghubung antara Mikrokontroler dan rangkaian daya. Dengan rangkaian ini maka amplitudo sinyal kontrol dari Mikrokontroler akan dikuatkan sehingga dapat mengendalikan komponen *switching* yaitu mosfet. Pengujian modul *gate driver* ini akan dilakukan dengan melihat gelombang keluaran dari hasil pemrograman mikrokontroler arduino uno.

c. Pengujian *flying capacitor multilevel inverter*

Pengujian ini dilakukan dengan melihat pengaruh perubahan frekuensi yang diakibatkan oleh proses *switching* mosfet. Proses *switching* mosfet akan menghasilkan aliran arus searah yang direkayasa sehingga menjadi arus bolak – balik dengan frekuensi tertentu.

d. Pengujian rangkaian filter L-C-L

Pengujian ini dilakukan dengan melihat kinerja komponen – komponen filter apakah dapat berfungsi sesuai kinerja seharusnya dengan melihat berapa THD yang dihasilkan ketika filter disambungkan.

e. Pengujian NodeMCU

Pengujian ini dilakukan dengan melihat apakah kinerja antara Arduino Mega dengan *smartphone* agar dapat saling berkomunikasi dengan baik dan dapat berfungsi sesuai kinerja seharusnya dengan melihat data yang dihasilkan oleh sensor ACS712

f. Pengujian *smartphone*

Pengujian ini dilakukan dengan melihat apakah aplikasi Blynk dapat melakukan memantau dengan baik dengan melihat di aplikasi Blynk tersebut.

g. Pengujian sensor kecepatan

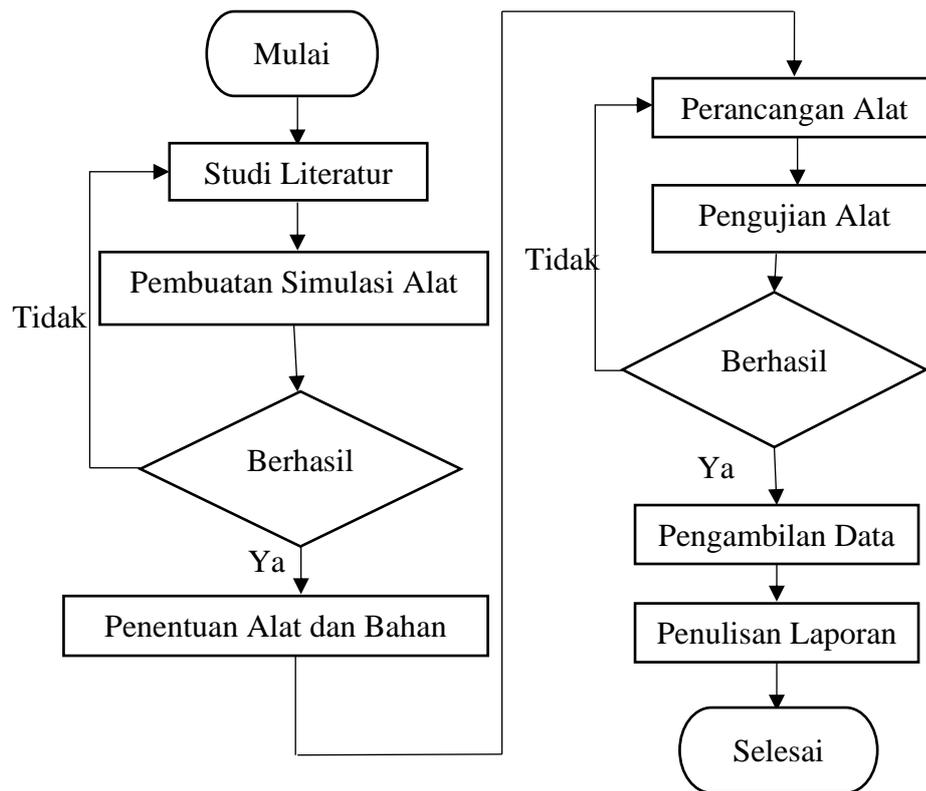
Pengujian ini dilakukan dengan melihat apakah sensor menghasilkan data pulsa *on* dan *off* yang dikonversi pada Arduino Mega untuk mengetahui nilai kecepatan yang dihasilkan.

h. Pengujian keseluruhan

Pengujian ini merupakan pengujian tahap akhir dimana pengujian dilakukan secara menyeluruh. Pengujian ini dilakukan dengan melihat interaksi dan keselarasan yang terjadi antara perubahan frekuensi yang dihasilkan *inverter* dengan aksi pada motor yaitu berupa kecepatan yang dihasilkan juga mengukur berapa besar THD yang didapatkan.

3.4. Diagram alir penelitian

Penyelesaian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap, secara umum tahap tahap tersebut dijelaskan pada Gambar 3.8 berikut:

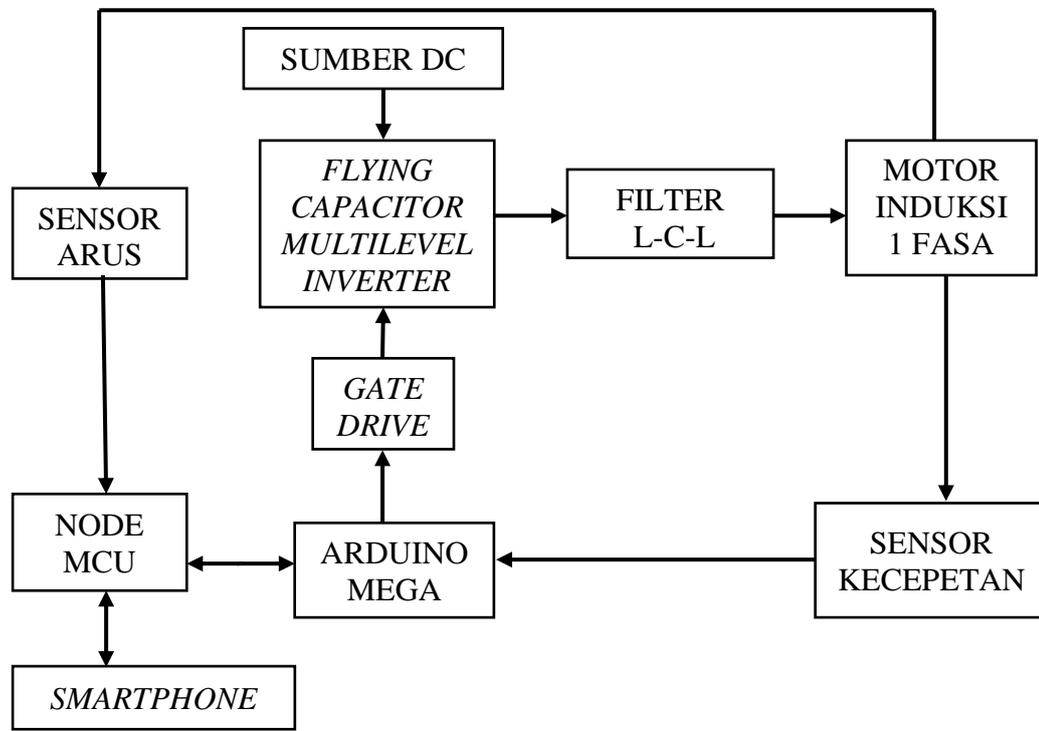


Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian

3.5. Diagram Blok Perancangan Alat

Ketika arduino memberikan *trigger* ke rangkaian *gate driver* yang kemudian ke rangkaian *multilevel inverter*, maka *multilevel inverter* akan melakukan pengaturan dengan mengubah nilai frekuensi. Tegangan satu fasa yang dihasilkan *multilevel inverter* akan masuk ke filter yang kemudian akan ke beban motor. Lalu pengaturan kecepatan motor akan dilakukan berdasarkan frekuensi yang dapat diubah-ubah yang diberikan oleh *multilevel inverter*. Motor induksi 1 fasa menghasilkan arus yang di kirimkan ke sensor arus yang lalu mengirimkan data yang sudah di olah ke nodeMCU yang selanjutnya data dikirimkan ke *Smartphone* dan menghasilkan kecepatan yang dikirimkan ke sensor kecepatan yang lalu dikirimkan lagi data yang sudah di olah ke Arduino Mega dan dikirimkan

lagi ke nodeMCU untuk dikirimkan ke *smartphone*. Diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Diagram blok perancangan alat

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, perubahan nilai frekuensi pada proses *switching inverter* berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi, dimana hubungan antara frekuensi dengan kecepatan motor induksi yang dihasilkan adalah berbanding lurus.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat penurunan THD pada hasil gelombang tanpa menggunakan filter lcl dan pada saat menggunakan filter lcl.
3. Sistem pemantauan berhasil dilakukan secara *real time* yang berbasis IoT (*Internet of Things*) sehingga pemantauan dapat dilakukan dari mana saja selama dapat terkoneksi dengan jaringan internet.

5.2. Saran

Adapun masukan dan saran yang dapat dilakukan untuk melakukan pengembangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penambahan PID untuk mengurangi *error* dan mendapatkan keluaran yang lebih sempurna.

2. Diperlukan transformator dengan efisiensi yang tinggi untuk meminimalisasi rugi-rugi daya pada transformator sehingga daya yang disalurkan dapat maksimal
3. Diperlukan pengembangan pada *coding* mikrokontroler agar lebih praktis dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khadse, S., Mendole, R. And Pandey, A. (2017) ‘A 5-Level Single Phase *Flying capacitor multilevel Inverter*’, International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET), 4(2), pp. 336–352.
- [2] D. W. Hart, *Power Electronics*, Valparaiso, Indiana: Mc Graw Hill, 2010
- [3] Anonim, “Arduino Mega 2560 rev3”, *Arduino Store*, [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Diakses 30 September 2020]
- [4] 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
- [5] Y. Tang, P. C. Loh, P. Wang and F. H. Choo, “Generalized Design of High Performance Shunt Active Power Filter with *Output LCL Filter*,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 3, pp. 1443–1452, 2012.
- [6] A. Reznik, M. Simoes, A. Aldurra and S. Muyeen, “LCL Filter Design and Performance Analysis for Small Wind Turbine Systems,” in IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications (PEMWA), pp.1– 7, 2012
- [7] Fei Liu, Yan Zhou, Shanxu Duan, Jinjun Yin, Bangyin Liu and Fangrui Liu, “Parameter Design of a Two-Current-Loop Controller Used in a Grid-Connected *Inverter* System With LCL Filter,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 11, November 2009.

- [8] M. Liserre, F. Blaabjerg, S. Hansen, "Design and Control of an LCLFilter-Based Three-Phase Active Rectifier" in IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 41, no. 5, 2005.
- [9] Adzim, M. S. (2018). Perancangan Sistem Kendali Otomatis Smart Home Berbasis Android Menggunakan Teknologi Wifi (Esp8266) Dan Arduino Uno. Skripsi STIMIK Batam.
- [10] Kamran Jalili and Steffen Bernet, "Design of LCL Filters of ActiveFront-End Two-Level Voltage-Source Converters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 5, May 2009