

**ANALISA DAMPAK PENGGUNAAN FILTER L-C-L
TERHADAP KINERJA PENGATUR KECEPATAN MOTOR
INDUKSI**

(SKRIPSI)

Oleh

M. Fawwaz Rizaldy

1715031060



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

**ANALISA DAMPAK PENGGUNAAN FILTER L-C-L
TERHADAP KINERJA PENGATUR KECEPATAN MOTOR
INDUKSI**

Oleh

M. FAWWAZ RIZALDY

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE USE OF L-C-L FILTER ON THE PERFORMANCE OF THE INDUCTION MOTOR SPEED

By

M. Fawwaz Rizaldy

Motor speed controller is done by changing the input voltage, or frequency contained in the motor. So what is more likely to be done is to change the motor speed by changing the frequency at the stator source. The inverter can be used as a controller that can adjust the speed of the induction motor, the inverter topology used is a diode clamped multilevel inverter but the inverter still contains high enough harmonics, so the inverter requires a filter to reduce the amount of harmonics. The filter used is a passive L-C-L filter, the capacity or size of the filter required will be greater in direct proportion to the amount of power used.

Key words : Diode clamped multilevel inverter, Harmonisa, Filter, Speed controller.

ABSTRAK

ANALISA DAMPAK PENGGUNAAN FILTER L-C-L TERHADAP KINERJA PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI

Oleh

M. Fawwaz Rizaldy

Pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan mengubah tegangan input, ataupun frekuensi yang terdapat pada motor. Maka hal yang lebih mungkin dilakukan adalah dengan mengubah kecepatan motor dengan mengubah frekuensi pada sumber stator. Inverter bisa digunakan sebagai pengontrol yang dapat mengatur kecepatan pada motor induksi, topologi inverter yang digunakan adalah *diode clamped multilevel inverter* tetapi inverter masih mengandung harmonisa yang cukup tinggi, sehingga inverter memerlukan filter untuk mengurangi besarnya harmonisa. Filter yang digunakan adalah filter pasif L-C-L, Kapasitas atau ukuran dari filter yang dibutuhkan akan semakin besar berbanding lurus dengan besar daya yang digunakan.

Kata kunci : *Diode clamped multilevel inverter*, *Harmonisa*, *Filter*, **Pengaturan kecepatan.**

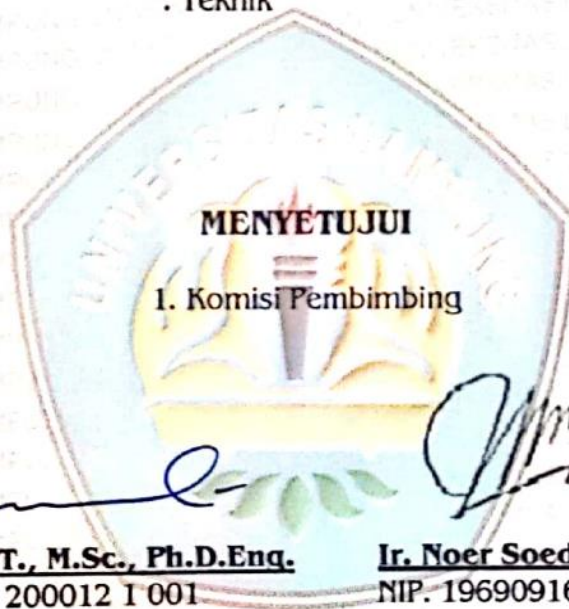
Judul Skripsi : **ANALISA DAMPAK PENGGUNAAN FILTER
L-C-L TERHADAP KINERJA MOTOR
INDUKSI PENGATUR KECEPATAN**

Nama Mahasiswa : **M. Fawwaz Rizaldy**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031060

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.
NIP. 19700719 200012 1 001

Ir. Noer Soedjarwanto, M.T
NIP. 19690916 199803 1 004

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

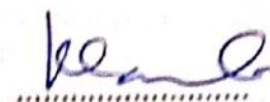
Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.
NIP. 19700719 200012 1 001

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

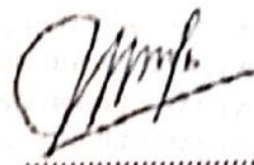
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

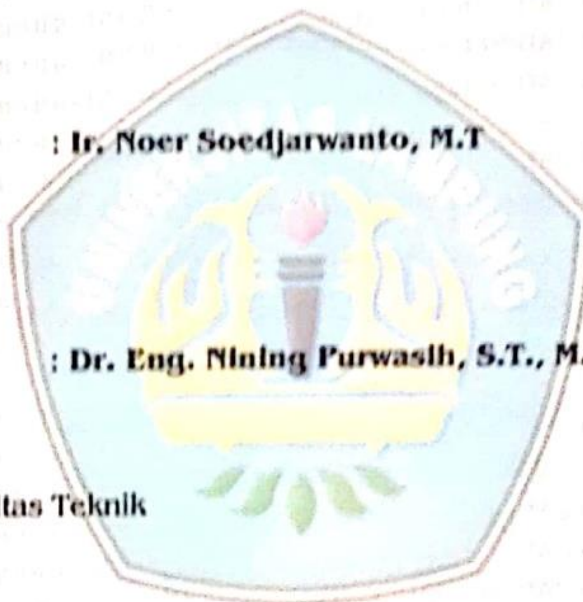
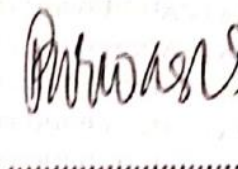
Ketua : Khalrudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.



Sekretaris : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T



Penguji : Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU, ASEAN, Eng.
NIP. 196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 1 Desember 2021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Serang Banten, pada tanggal 14 Juni 1999. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sholahuddin dan Ibu Rt. Erlina Gentari. Pendidikan penulis di mulai dari TK Putra II, SDN 8 Kota Serang, MTsN 1 Kota Serang, dan SMAN 3 Kota Serang.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten laboratorium Pengukuran Besaran Listrik dari tahun 2018 sampai dengan 2020 Selain itu, penulis pernah menjadi asisten laboratorium konversi energi elektrik dari tahun 2020 sampai 2021. Penulis juga tergabung dalam lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro (Himatro) sebagai anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan pada periode 2018 dan 2019. Pada 1 Juli – 31 Juli 2020, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. MULTIFAB bertempat di Cilegon dengan mengangkat judul “ PURIFIKASI TRANSFORMATOR BBC 1600 KVA PT. MULTI FABRINDO GEMILANG (PT. MULTIFAB) TAHUN 2020 KAWASAN INDUSTRI KIEC CILEGON BANTEN. ”

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, 20 November 2021



METERAI
KAMPUS
05 006724
M Fawwaz Rizaloy

Bismillaahirrahmaanirrahím

Kuucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta shalawatku kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi pedoman hidupku

Kupersembahkan karyaku ini kepada kedua orang tuaku Bapak Sholahuddin dan Ibu Erlina Gentari sebagai wujud bakti, cinta, kasih sayang dan terimakasihku atas segala yang telah diberikan, untuk kedua adikku M. Naufal Rizaldo serta Rasikha Najwa Andita atas dukungan, doa dan kasih sayang yang telah diberikan.

Lembaga yang telah mendidik, mendewasakan, dan mencerdaskanku dalam berpikir dan bertindak

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Dan untuk

INDONESIA

"Barang siapa yang bersungguh sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk
kebaikan dirinya sendiri"

(QS. Al-Ankabut: 6)

"Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan
itu ada kemudahan."

(Qs. Asy Syarh: 5-6)

"Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Maka nikmat Tuhan-mu yang manakan yang kamu dustakan"

(Qs. Ar-Rahman: 13)

"Tidaklah seseorang menempuh jalan dalam rangka mencari ilmu, kecuali Allah
akan mempermudah jalan baginya menuju ke surga"

(HR. Abu Daud)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat dan nikmat yang diberikan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam tidak lupa juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan yang baik seluruh umat manusia dan senantiasa mengharapkan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Skripsi dengan judul “Analisa Dampak Penggunaan Filter L-C-L Terhadap Kinerja Pengatur Kecepatan Motor Induksi” disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis ingin sampaikan rasa terima kasih kepada kedua orang tua, yaitu Bapak Sholahuddin dan Ibu Erlina Gentari beserta adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungannya. Nabila Putri yang telah membantu dan memberikan semangat setiap harinya. *Squad* Nitro: Rahmat Fajar, Dira Sanjaya, Arsy Hasyir Nursidiq, Restu widoyono, Danu Danudara, dan Rischo Alfredo, Gesang khayat yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian. Keluarga besar Teknik Elektro Angkatan 2017 yang semoga selalu kompak dan luar biasa.

Penulis juga ingin sampaikan rasa terima kasih kepada Bapak Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng. selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa membimbing, mendukung, memberikan nasihat dan menyempatkan waktu, dan tenaganya. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T selaku dosen pembimbing pendamping yang memberikan bimbingan dan arahan mengenai skripsi maupun kegiatan akademik serta non akademik kepada penulis dengan baik dan ramah. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis selama pengerjaan skripsi ini. Bapak Dr. Eng.,

Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan yang membangun bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis, serta segenap *Staff* di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi maupun hal-hal lainnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang Teknik Elektro.

Bandar Lampung, 2021



M. Fawwaz Rizaldy

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Motor Kapasitor.....	5
2.1.1. Motor kapasitor <i>start (starting capacitor motor)</i>	6
2.1.2. Motor kapasitor tetap/ <i>running (permanent capacitor motor)</i>	6
2.1.3. Motor kapasitor <i>start-running (start running capacitor motor)</i>	7
2.2. <i>Multilevel Inverter</i>	8
2.2.1. <i>Cascaded multilevel inverter (CMI)</i>	8
2.2.2. <i>Flying capacitor multilevel inverter (FCMI)</i>	9
2.2.3. <i>Diode clamped multilevel inverter (DCMI)</i>	9
2.3. <i>Diode clamped multilevel inverter (DCMI)</i>	10
2.4. <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	11
2.5. <i>Gate driver</i>	13
2.6. Mikrokontroler	14
2.7. Filter Pasif	15
2.8. Harmonisa	18
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Spesifikasi Alat dan Bahan	21
3.4. Prosedur Penelitian	22
3.4.1. Studi Literatur.....	22

3.4.2.	Perancangan Alat dan Sistem.....	23
3.4.3.	Pengujian alat	23
3.5.	Diagram alir penelitian	24
3.6.	Diagram Blok Perancangan Alat	25
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1.	Hasil Pembuatan Rancang Bangun.....	26
4.1.1.	<i>Gate driver</i>	26
4.1.2.	Arduino Mega 2560.....	27
4.1.3.	Diode Clamped Multilevel Inverter.....	28
4.1.4.	Filter L-C-L.....	32
4.1.5.	Rangkaian Keseluruhan	34
4.2.	Data Hasil Tegangan dan Gelombang Keluaran	35
4.2.1.	Tegangan dan Gelombang Keluaran Tanpa Filter.....	36
4.2.2.	Tegangan dan Gelombang Keluaran saat Menggunakan Filter	37
4.3.	Data Hasil Kecepatan Dengan Menggunakan Motor AC 1 Fasa	38
4.3.1.	Data Hasil Kecepatan Motor Tanpa Filter	40
4.3.2.	Data Hasil Kecepatan Motor Dengan Menggunakan Filter.....	41
4.3.3.	Analisa Kecepatan Motor.....	41
4.4.	Manfaat Menggunakan Filter	42
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
	DAFTAR PUSTAKA	44
	LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor kapasitor start	6
Gambar 2. 2 Motor kapasitor running.....	6
Gambar 2. 3 Motor kapasitor start-running.....	7
Gambar 2. 4 Rangkaian Cascaded Multilevel Inverter.....	9
Gambar 2. 5 Rangkaian Flying Capacitor Multilevel Inverter.....	9
Gambar 2. 6 Rangkaian Diode clamped Multilevel Inverter	10
Gambar 2. 7 Prinsip kerja diode clamped multilevel inverter (a) siklus penuh positif (b) siklus setengah positif (c) siklus penuh negatif (d) siklus setengah negatif	11
Gambar 2. 8 Pulse width Modulation	12
Gambar 2. 9 Rangkaian IC HCPL-3120	14
Gambar 2. 10 Arduino Mega 2560.....	15
Gambar 2. 11 Respon frekuensi LPF	16
Gambar 2. 12 Respon Frekuensi High Pass Filter.....	16
Gambar 2. 13 Respon Frekuensi BPF.....	17
Gambar 2. 14 Respon Frekuensi BSF.....	17
Gambar 2. 15 Fundamental dan harmonisa ke 3	18
Gambar 2. 16 gelombang beban linear dan tidak linear	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Alat	25
Gambar 4. 1 Rangkain Gate driver.....	27
Gambar 4. 2 Diode Clamped Multilevel Inverter.....	28
Gambar 4. 3 Kondisi Switching 1.....	29
Gambar 4. 4 Kondisi Switching 2.....	29
Gambar 4. 5 Kondisi Switching 3.....	30
Gambar 4. 6 Kondisi Switching 4.....	30
Gambar 4. 7 Kondisi Switching 5.....	30
Gambar 4. 8 Kondisi Switching 6.....	31

Gambar 4. 9 Kondisi Switching 7.....	31
Gambar 4. 10 Kondisi Switching 8.....	32
Gambar 4. 11 Filter LCL.....	33
Gambar 4. 12 Gelombang dan THD Simulasi Tanpa Filter L-C-L.....	34
Gambar 4. 13 Gelombang dan THD Simulasi Menggunakan Filter L-C-L	34
Gambar 4. 14 Rangkaian Keseluruhan	35
Gambar 4. 15 Uji Coba Alat.....	35
Gambar 4. 16 Gelombang Tanpa Filter	36
Gambar 4. 17 Tegangan Output Tanpa Filter.....	36
Gambar 4. 18 Gelombang Keluaran Saat Menggunakan Filter	37
Gambar 4. 19 Tegangan Keluaran saat menggunakan Filter	37
Gambar 4. 20 Perbandingan Gelombang Dengan Filter dan Tanpa Filter.....	38
Gambar 4. 21 Sensor Kecepatan FC-03IR.....	39
Gambar 4. 22 Proses Pengambilan Data Kecepatan.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	20
Tabel 4. 1 Data Hasil Kecepatan Tanpa Filter.....	40
Tabel 4. 2 Data Hasil Kecepatan Dengan Filter	41
Tabel 4. 3 Perbandingan Data Hasil Kecepatan Saat Menggunakan dan Tanpa Menggunakan filter.....	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dari tahun ke tahun semakin pesat sehingga memberikan perubahan yang besar terhadap kehidupan masyarakat baik dalam segala bidang terutama pada bidang industri. Salah satu alat yang sering digunakan pada bidang industri adalah motor induksi. Motor induksi merupakan alat yang bermanfaat, tetapi masih terdapat kekurangan pada motor induksi yaitu terutama dalam hal pengaturan kecepatannya. Secara aplikasinya kecepatan motor induksi dapat diatur dengan mengubah tegangan input, ataupun frekuensi yang terdapat pada motor. Maka hal yang lebih mungkin dilakukan adalah dengan mengubah kecepatan motor dengan mengubah frekuensi pada sumber stator.

Inverter merupakan alat yang dapat mengubah arus searah menjadi bolak – balik. Selain itu, inverter juga dapat digunakan untuk mengubah frekuensi yang terdapat pada tegangan outputnya. Maka dari itu inverter bisa digunakan sebagai pengontrol yang dapat mengatur perubahan pada motor induksi. Akan tetapi, inverter masih mengandung harmonisa yang cukup tinggi, sehingga inverter memerlukan filter untuk mengurangi besarnya harmonisa tegangan. Kapasitas atau ukuran dari filter yang dibutuhkan akan semakin besar berbanding lurus dengan besar daya yang digunakan. Untuk mengatasi kendala tersebut dibuat multilevel inverter jenis DCMI (*diode clamped multilevel inverter*). DCMI adalah tipe inverter yang besar harmonisa tegangannya dapat dikurangi dengan menambah tingkatan pada inverter. Sehingga bisa didapatkan inverter dengan nilai harmonisa yang kecil meski tidak menggunakan filter.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian tersebut melakukan perancangan sistem untuk mengendalikan kecepatan motor AC satu fasa dengan menggunakan multilevel inverter 3 tingkat tipe DCMI (*diode clamped multilevel inverter*) sebagai

alat yang digunakan untuk mengatur besaran frekuensi pada tegangan outputnya, tetapi pada pengontrolan tersebut menimbulkan THD yang tinggi sehingga putaran motor tidak halus dan menimbulkan rugi – rugi pada motor, oleh karena itu timbul suatu ide untuk membuat rancang bangun sistem kendali motor AC satu fasa dengan menggunakan *diode clamped multilevel inverter* menggunakan filter L-C-L. filter L-C-L diharapkan berguna untuk menurunkan THD (*total harmonic distortion*) sehingga putaran motor akan lebih halus dan rugi – rugi pada motor bisa dikurangi. Pada penelitian sebelumnya tahun 2019 dengan no ISSN 2581 – 0049 dengan judul Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Multilevel Inverter dengan Mengatur Frekuensi. Penelitian tersebut tidak menggunakan filter oleh karena itu pada penelitian ini akan dibangun filter untuk mendapatkan putaran motor yang diinginkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain dan melakukan simulasi *multilevel inverter* pada Simulink.
2. Membuat rancang bangun *multilevel inverter* yang dapat mengatur perubahan kecepatan motor induksi satu fasa.
3. Merancang filter pasif L-C-L yang digunakan untuk mereduksi THD (*total harmonic distortion*).
4. Menganalisis pengaruh filter terhadap putaran motor induksi.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan alat berupa prototipe pengatur perubahan kecepatan motor AC satu fasa dengan memanfaatkan *diode clamped 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 .

1.4 Rumusan Masalah

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 *diode clamped multilevel inverter*
- c. Bagaimana cara merancang *diode clamped multilevel inverter* satu fasa sebagai alat yang dapat mengubah – ubah frekuensi keluaran.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan – batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak menghitung harmonisa pada alat.
2. Tidak menggunakan system control.
3. Kondisi tanpa beban.

1.6 Hipotesis

Didalam penelitian ini akan dilakukan rancang bangun suatu alat untuk monitoring dan mengendalikan kecepatan putaran motor induksi satu fasa. Cara pengendalian kecepatan motor induksi tersebut adalah dengan menggunakan *multilevel inverter* satu fasa sebagai pengatur frekuensi. Kemudian filter L-C-L akan dirancang untuk memfilter hasil keluaran dari *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.

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

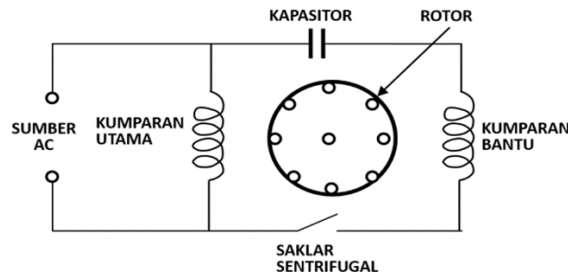
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Kapasitor

Salah satu jenis motor arus bolak balik satu fasa adalah motor kapasitor. Motor kapasitor memiliki konstruksi yang sangat mirip dengan motor fasa belah, hanya pada jenis kapasitor ini di tambah satu buah kapasitor. Motor kapasitor bekerja untuk tegangan bolak balik AC satu fasa dan umumnya banyak digunakan untuk pompa air, refrigerator, compressor udara, mesin cuci dan lainnya. Tempat kedudukan kapasitor pada motor terletak pada bagian atas, ada juga yang di dalam kerangka motor itu sendiri. Kapasitor ini berguna untuk mempertinggi kopel awal dan mengurangi arus start pada motor kapasitor dan geseran fasa antara belitan utama dan bantu lebih dipertajam.

Menurut hubungan kapasitornya jenis motor kapasitor dapat dibagi menjadi tiga macam, berikut adalah salah satu jenis motor kapasitor yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

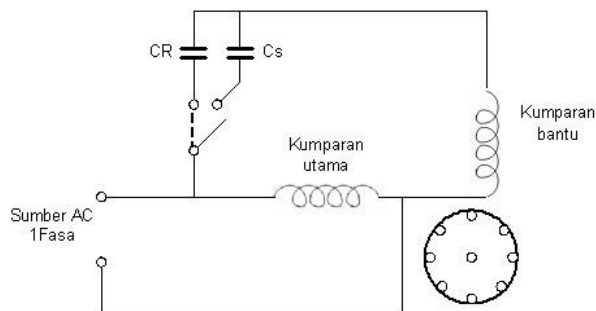
2.1.1. Motor kapasitor *start* (*starting capacitor motor*)



Gambar 2. 1 Motor kapasitor *start*

Motor kapasitor *start* kurang lebih sama dengan motor induksi tipe *split-phase*. Perbedaannya terdapat pada *switch* yang dipasang antara salah satu stator winding dan kapasitor. Kondisi *switch* berubah ubah *switch* akan menjadi *close* saat motor mulai berputar dan menjadi *open* ketika motor mulai mencapai kecepatan yang ditentukan. Pada umumnya belitan pada *winding* yang diserikan dengan kapasitor dibuat lebih banyak untuk mencegah panas berlebihan pada *winding* tersebut. Motor jenis ini dipakai pada alat elektronik yang memakan daya tinggi seperti AC. Selanjutnya jenis motor kapasitor tetap pada Gambar 2.2.

2.1.2. Motor kapasitor tetap/ *running* (*permanent capacitor motor*)

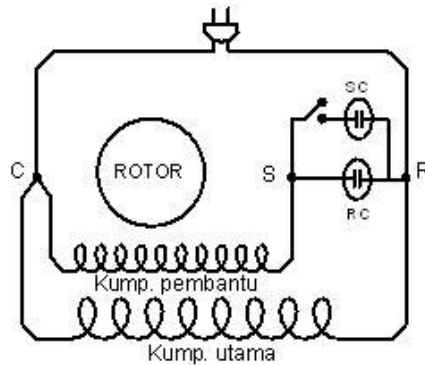


Gambar 2. 2 Motor kapasitor *running*

Motor kapasitor tetap merupakan motor yang memiliki perbedaan dengan motor sebelumnya terdapat pada kapasitor yang besar yang di-paralel dengan *switch* dan kapasitor lainnya (yang lebih kecil). Motor induksi tipe ini biasanya bekerja pada

torsi yang lebih tinggi sama seperti motor sebelumnya, hanya saja arus yang mengalir motor cukup kecil. Selanjutnya motor kapasitor *start-running* yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

2.1.3. Motor kapasitor *start-running* (*start running capacitor motor*)



Gambar 2. 3 Motor kapasitor *start-running*

Motor kapasitor *start-running* ini mempunyai dua kapasitor, satu berfungsi pada saat motor dihidupkan (C_s) dan kapasitor kedua (C_r) akan bekerja terus –menerus. Sketika putaran motor mencapai 70 – 80 % dari putaran nominalnya, kapasitor *starting* terlepas dan kapasitor *running* tetap terhubung. Maka beda fase antara flux utama dan bantu akan menurun sehingga fase antara flux utama dan bantu menurun dan mengakibatkan torsi motor juga menurun. Motor jenis ini penggunaannya sama seperti motor kapasitor *start*, hanya saja perbedaanya terdapat pada torsi dan efisiensi yang lebih besar. Selain itu dapat mempertinggi kemampuan motor dari beban lebih dan putarannya lebih halus.

Kecepatan putaran motor atau disimbolkan dengan (n) adalah jumlah putaran untuk suatu periode waktu tertentu. Kecepatan putaran motor diukur dalam satuan revolusi per menit (rpm) atau revolusi per detik (rps), kecepatan putaran motor listrik pada umumnya menggunakan satuan revolusi per menit (rpm). Motor induksi biasanya akan berputar dengan kecepatan konstant, mendekati kecepatan sinkronnya. Kecepatan putaran motor dapat dihitung dengan menggunakan rumus.

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Dimana :

n_s = kecepatan motor (RPM)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub motor

Pada motor induksi emf diinduksikan oleh induksi yang sama dengan transformator, seperti berikut

$$E \text{ or } V = 4,44\Phi K T f \text{ or } \Phi = \frac{V}{4,44 K T f} \quad (2)$$

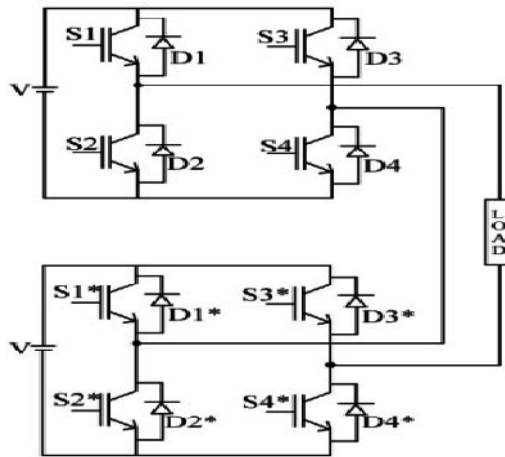
Dimana nilai K adalah konstanta, T adalah jumlah putaran per fasa dan f adalah frekuensi. Dari persamaan diatas, ketika merubah nilai frekuensi maka kecepatan sinkron akan ikut berubah, tetapi saat penurunan fluks menyebabkan frekuensi akan meningkat [1].

2.2. 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 :

2.2.1. Cascaded multilevel inverter (CMI)

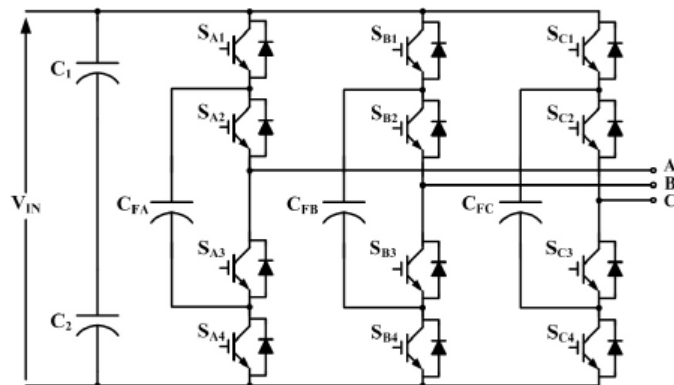
Cascaded multilevel inverter merupakan jenis multilevel inverter yang dimana keluaran tegangannya dihasilkan dari sumber DC yang terpisah. Keluaran tegangan dari jenis multilevel inverter ini berbentuk gelombang kotak yang bertingkat, dan keluaran tegangan tersebut akan semakin bertingkat sejalan dengan sumber DC yang digunakan pada multilevel inverter ini. Rangkaian CMI dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Rangkaian Cascaded Multilevel Inverter

2.2.2. Flying capacitor multilevel inverter (FCMI)

Flying capacitor multilevel inverter merupakan jenis inverter multilevel yang dimana keluaran tegangan dihasilkan dari satu sumber tegangan DC. Keluaran gelombang kotak bertingkat dari multilevel ini dihasilkan dari variasi topologi inverter yang menggunakan kapasitor sebagai suplai tegangan. Rangkaian FCMI dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Rangkaian Flying Capacitor Multilevel Inverter

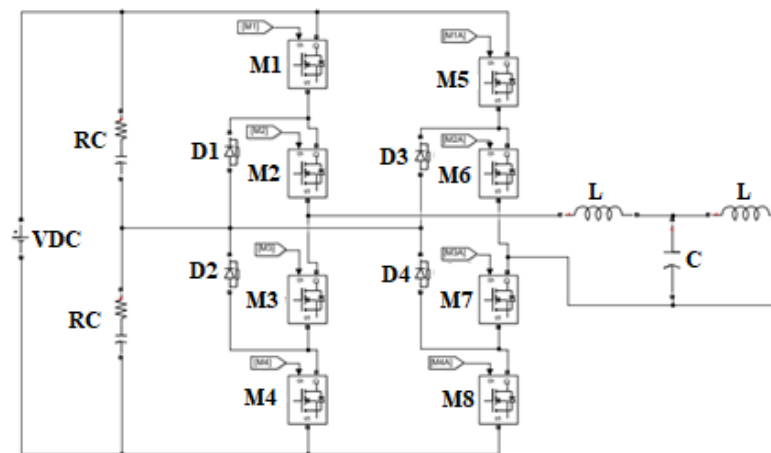
2.2.3. Diode clamped multilevel inverter (DCMI)

Diode clamped multilevel inverter merupakan jenis inverter yang prinsip kerjanya hampir sama dengan *flying capacitor multilevel inverter*. Hanya saja *diode clamped multilevel inverter* ini menggunakan komponen dioda sebagai penyearah

dan pembatas arus agar dihasilkan bentuk keluaran gelombang yang menyerupai gelombang sinusoidal [2].

2.3. Diode clamped multilevel inverter (DCMI)

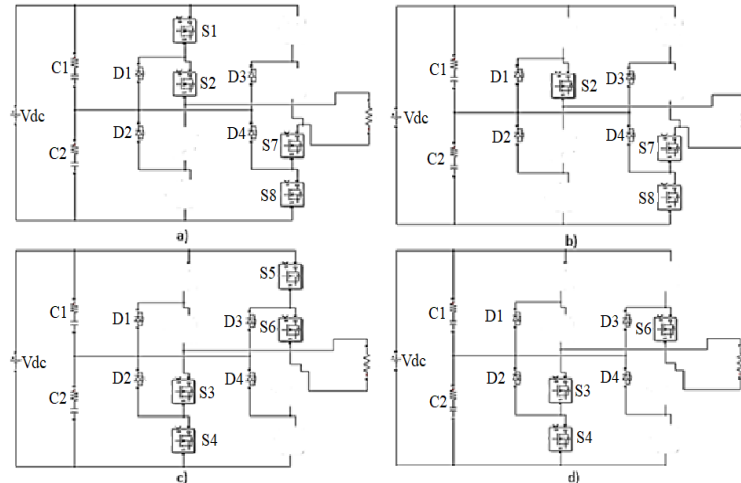
DCMI merupakan salah satu dari jenis multilevel inverter yang cara penggunaannya menggunakan prinsip pembagi tegangan pada sumber tegangan DC dengan variasi topologi inverter yang menghasilkan gelombang keluaran yang menyerupai gelombang sinusoidal. Rangkaian DCMI dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Rangkaian *Diode clamped Multilevel Inverter*

Topologi DCMI ini menggunakan satu sumber tegangan DC sebagai *supply*, kapasitor berfungsi sebagai pembagi tegangan yang diberikan dari sumber tegangan DC, mosfet yang berfungsi sebagai media pensaklaran untuk DCMI ini, dioda yang berfungsi membatasi tegangan yang masuk ke komponen mosfet, dan resistor sebagai beban yang ada pada rangkaian DCMI [4].

Prinsip kerja DCMI ini menyerupai prinsip kerja inverter *full bridge*, dimana masing – masing komponen mosfet berpasangan dengan komponen mosfet lainnya. Prinsip kerja inverter ini dicontohkan menggunakan topologi *diode clamped multilevel inverter* satu fasa 3 tingkat yang memiliki gelombang output 5 tingkatan. Rangkaian prinsip kerja DCMI dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Prinsip kerja diode clamped multilevel inverter (a) siklus penuh positif (b) siklus setengah positif (c) siklus penuh negatif (d) siklus setengah negatif

Dari gambar a) diatas dapat dilihat agar mendapatkan keluaran penuh positif maka S1 dan S2 akan mendapatkan suplai dari tegangan DC yang bernilai VDC dan diarahkan ke beban. Keluaran setengah positif pada gambar b) didapat dari kapasitor bawah yang bernilai $\frac{1}{2}$ VDC yang diarahkan ke S2 lalu ke arah beban.

Begitu pula untuk mendapatkan keluaran penuh negatif dan keluaran setengah negatif. Prinsip kerja yang digunakan dalam mendapatkan nilai keluarannya adalah sama, hanya saja metode pensaklarannya yang berbeda. Jadi saklar yang akan bekerja adalah saklar S5, S6, S3, dan S4.

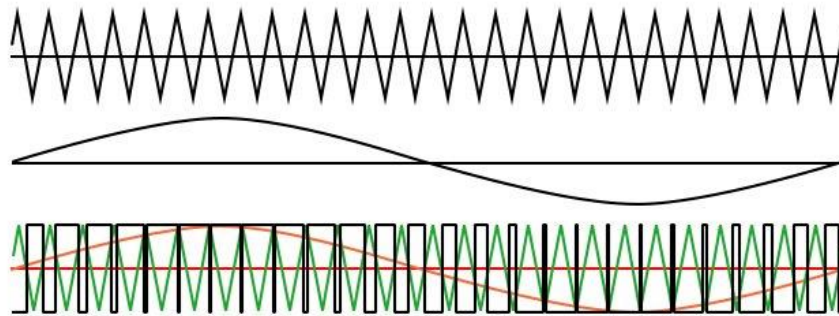
2.4. *Pulse Width Modulation (PWM)*

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]. PWM (*pulse width modulation*) merupakan teknik modulasi lebar pulsa, dimana kondisi *on*, *off* serta lebar pulsa dapat diatur sedemikian rupa sesuai yang diinginkan. gambar gelombang PWM dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 *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.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (3)$$

Besarnya T_{on} dan T_{off} maka dapat ditentukan besarnya *duty cycle* yaitu perbandingan antara waktu ketika gelombang berada dalam keadaan *on* dibagi dengan total waktu antara gelombang dalam keadaan *on* dan gelombang dalam keadaan *off* sehingga *duty cycle* dapat ditulis seperti pada persamaan di bawah ini.

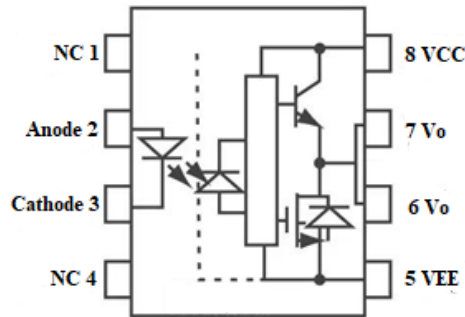
$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\% \quad (4)$$

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.

2.5. *Gate driver*

Gate driver merupakan suatu rangkaian elektronika yang berperan sebagai gerbang pemisah antara driver daya dengan *microcontroller*. *Gate driver* berfungsi sebagai penguat tegangan pada *microcontroller* 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 2.9.

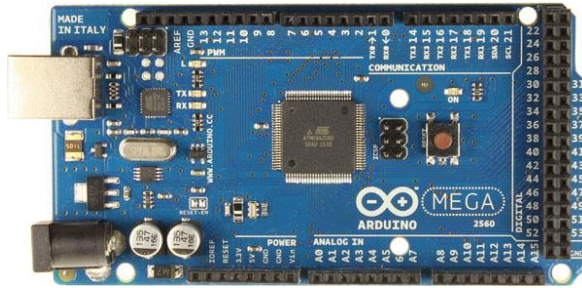


Gambar 2. 9 Rangkaian IC HCPL-3120

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. Digunakannya IC tipe HCPL adalah banyak digunakan sebagai driver pada rangkaian *microcontroller* dan driver motor DC [1].

2.6. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu rangkaian terpadu elektronik yang berfungsi sebagai pengendali yang mengatur jalannya 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 dua buah 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 arduino mega dapat dilihat pada 2.10.



Gambar 2. 10 Arduino Mega 2560

2.7. Filter Pasif

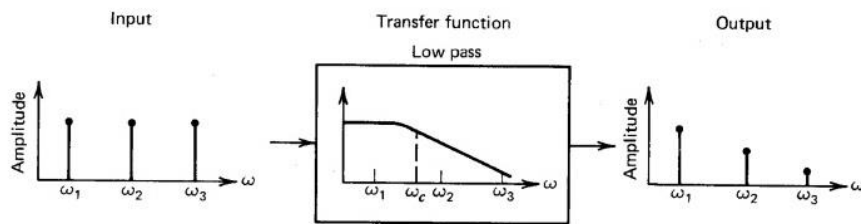
Filter merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menyaring atau melewatkan tegangan output pada frekuensi tertentu yang telah ditentukan dan untuk membuang atau menyalurkan ke ground tegangan output pada frekuensi tertentu yang tidak diperlukan. Filter pada dasarnya dibagi dalam dua jenis yaitu 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.

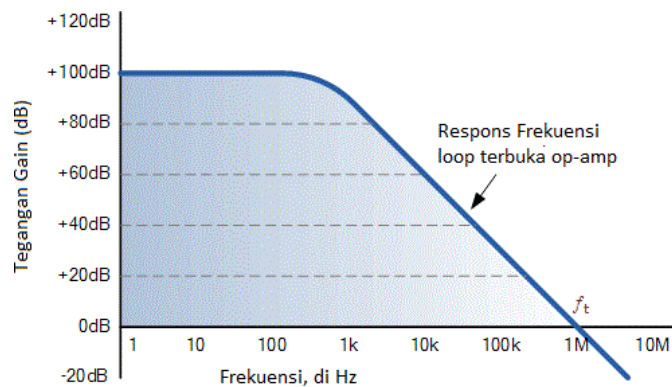
Low pass filter (LPF) atau biasa disebut filter lolos bawah merupakan filter yang berfungsi untuk meredam frekuensi tinggi dan meloloskan atau melewatkan

frekuensi rendah[8]. Berikut adalah grafik respon frekuensi dari *Low pass filter* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



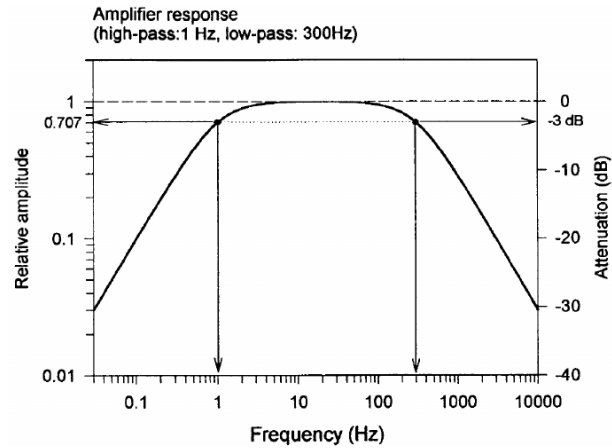
Gambar 2. 11 Respon frekuensi LPF

High pass filter (HPF) merupakan filter yang berfungsi untuk mereedam frekuensi rendah dan melewatkan frekuensi atas. Berikut adalah grafik frekuensi dan HPF. Respon frekuensi HPF dapat dilihat pada Gambar 2.12.



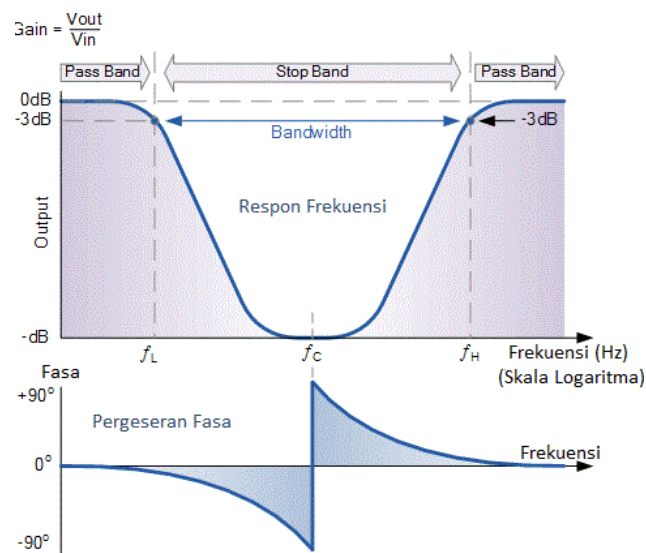
Gambar 2. 12 Respon Frekuensi High Pass Filter

Band pass filter (BPF) merupakan filter yang digunakan untuk melewatkan frekuensi dari range tertentu yang telah ditentukan sehingga frekuensi diluar range akan di redam dan diteruskan menuju ke ground berikut adalah respon frekuensi dari BPF. Respon Frekuensi BPF dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Respon Frekuensi BPF

Band stop filter (BSF) merupakan filter yang prinsipnya bertolak belakang dengan BPF dimana jika BPF melewati frekuensi dari range yang ditentukan maka BSF meredam frekuensi dari range yang ditentukan dan melewati frekuensi di luar range tersebut. Berikut adalah respon frekuensi dan BSF. Respon frekuensi BSF dapat dilihat pada Gambar 2.14.



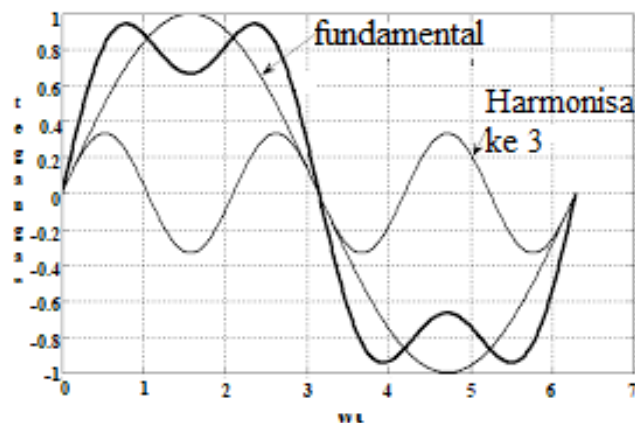
Gambar 2. 14 Respon Frekuensi BSF

Filter L-C-L dirancang khusus untuk mengurangi harmonisa arus yang akan diserap oleh konverter daya, dengan input penyearah. Filter L-C-L terbuat dari kombinasi

induktor dan kapasitor seri paralel yang disesuaikan untuk mengurangi THD (*total harmonic distortion*) (I) penyearah. Filter L-C-L dirancang khusus untuk mengurangi THD (I) ke nilai sekitar 8%, agar sesuai Standar IEC-61000-3.4 dan IEEE-519.

2.8. Harmonisa

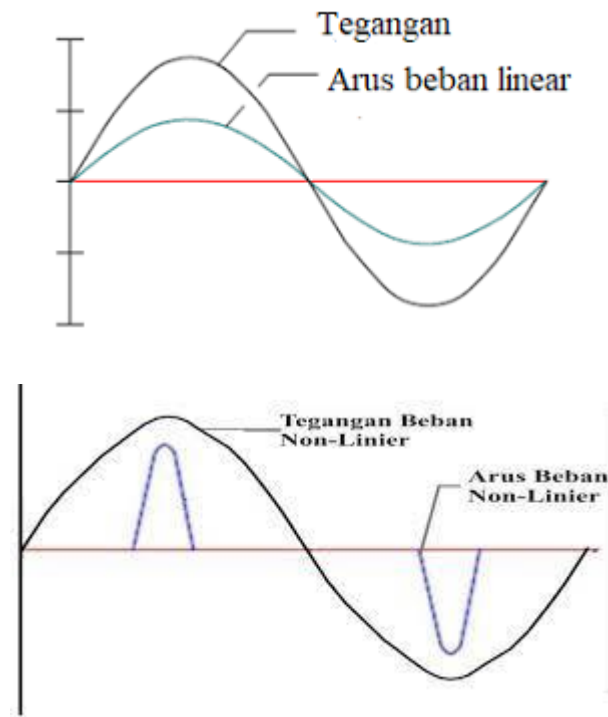
Harmonisa dapat didefinisikan sebagai berikut yaitu cacat gelombang sinus yang terjadi diakibatkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem dengan gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi inti atau fundamentalnya. Gelombang lain tersebut menumpang pada gelombang aslinya sehingga mengakibatkan bentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang asli dengan gelombang harmoniknya. Berikut adalah gambar gelombang fundamental dan harmonisa ketiga dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Fundamental dan harmonisa ke 3

Dalam sistem tenaga listrik terdapat dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Disebut beban linear yang berarti mengeluarkan gelombang berbentuk linear pada outputnya 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 output 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 2.16.



Gambar 2. 16 gelombang beban linear dan tidak linear

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2020 sampai dengan Mei 2021 seperti yang tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

NO	Jenis Kegiatan	Bulan				
		Des	Jan	Feb	Mar	Apr
1.	Studi Literatur	■				
2.	Seminar Proposal		■	■		
3.	Perancangan Alat dan Sistem		■	■		
4.	Pengujian Alat dan Sistem			■	■	
5.	Analisis Data dan Laporan Akhir				■	
6.	Seminar Hasil					■

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 *diode clamped multilevel inverter* (DCMI) 3 Tingkat satu fasa
4. Rangkaian *gate driver* mosfet
5. Arduino Mega 2560
6. Laptop ACER E5-475G-58WK
7. Osiloskop digital
8. Komponen induktor dan kapasitor untuk filter L-C-L

Perangkat lunak yang digunakan, yaitu:

1. Matlab
2. Diptrace 2.3
3. Microsoft Office 2013
4. Arduino IDE

3.3. Spesifikasi Alat dan Bahan

Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan:

1. Menggunakan rangkaian catu daya dengan *output* 5 volt, 15 volt, dan 100 volt untuk mensuplai tegangan ke arduino, *gate driver* mosfet, dan *diode clamped* multilevel inverter.
2. Menggunakan motor kapasitor 73134 class 0.1 dengan rating tegangan 220 V, arus 1.4 A, $\cos \phi$ 0.87, dan frekuensi 50 Hz.
3. Menggunakan rangkaian *diode clamped* multilevel inverter untuk mengubah sumber arus DC menjadi sumber arus ac.
4. Menggunakan rangkaian *gate driver* mosfet dengan IC HCPL 3120 sebanyak delapan buah untuk memberi sudut penyalan pada *gate driver* mosfet agar mosfet dapat berfungsi sebagai saklar elektronik.
5. Menggunakan arduino mega 2560 untuk mengolah perintah berupa sinyal PWM dan memberi *trigger* ke perangkat keras *gate driver* yang diperintahkan.

6. Menggunakan filter L-C-L yang dihubungkan dengan multilevel inverter DCMI dan juga motor kapasitor bertujuan untuk mengurangi harmonisa pada beban.
7. Menggunakan laptop ACER E5-475G-59WK digunakan untuk merancang alat dan system secara keseluruhan dan juga untuk mengerjakan laporan tugas akhir serta file presentasi.
8. Menggunakan osiloskop untuk melihat bentuk dari gelombang pada *gate driver* dan fasa pada stator motor.

Spesifikasi perangkat lunak yang digunakan:

2. Menggunakan aplikasi *Matlab* untuk membuat simulasi rangkaian.
3. Menggunakan aplikasi diptrace 2.3 untuk membuat *layout* pcb untuk inverter, *gate driver* mosfet, dan *power supply*.
4. Menggunakan aplikasi Microsoft Office 2013 untuk membuat laporan penelitian dan file presentasi penelitian.
5. Menggunakan *software* Arduino IDE untuk memprogram arduino

3.4. Prosedur Penelitian

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

3.4.1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan pengumpulan referensi dan literature 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 *diode clamped multilevel inverter*

- 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

3.4.2. Perancangan Alat dan Sistem

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

- a. Perancangan modul kontrol *gate driver*
- b. Perancangan modul *diode clamped multilevel inverter*
- c. Perancangan filter L-C-L
- d. Pemrograman arduino

3.4.3. 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 *output* 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 *diode clamped 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

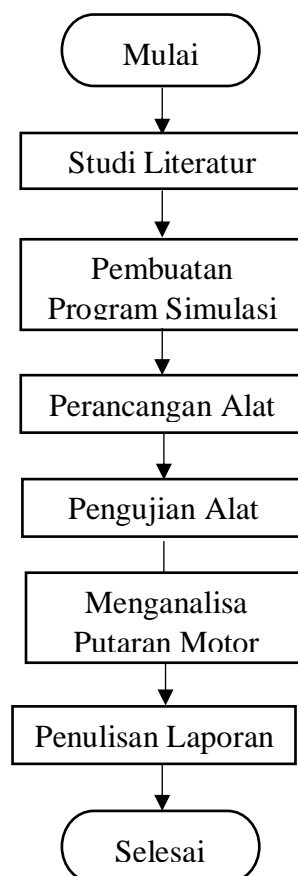
Pengujian ini dilakukan dengan melihat kinerja komponen – komponen filter apakah dapat berfungsi sesuai kinerja seharusnya dengan melihat berapa THD yang dihasilkan ketika filter disambungkan.

e. Pengujian keseluruhan

Pengujian ini merupakan pengujian tahap akhir dimana pengujian dilakukan secara menyeluruh.

3.5. Diagram alir penelitian

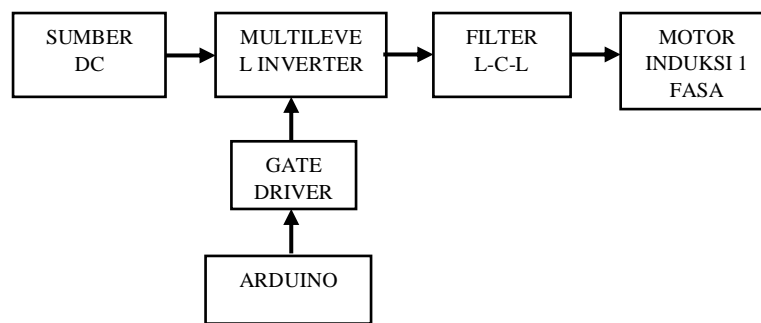
Penyelesaian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap, secara umum tahap tahap tersebut dijelaskan pada Gambar 3.1 beriku



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.6. Diagram Blok Perancangan Alat

Ketika arduino memberikan *trigger* ke rangkaian *gate driver* yang kemudian ke rangkaian inverter, maka inverter akan melakukan pengaturan dengan mengubah nilai frekuensi. Tegangan satu fasa yang dihasilkan 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 inverter. Diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.2:



Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Alat

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada percobaan yang dilakukan THD dapat direduksi sebesar 89.59%. Kecepatan motor yang dihasilkan ketika menggunakan filter dan tanpa menggunakan filter tidak ada perbedaan yang signifikan. Putaran kecepatan menggunakan filter dibawah frekuensi 50Hz lebih besar dibanding tanpa filter. Putaran kecepatan diatas frekuensi 50Hz antara menggunakan filter dan tanpa filter sama, terdapat perbedaan putaran kecepatan dikarenakan *noise* tetap yang dihasilkan dari proses *switching* mosfet berada dibawah frekuensi 50Hz sehingga saat motor berputar diatas frekuensi 50Hz dihasilkan putaran kecepatan yang sama.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan jenis filter yang lain dan lebih akurat agar dihasilkan putaran kecepatan motor yang lebih optimal dan tahan perubahan frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [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] Santoso, Surya, "*Electrical power system quality*", 2002.

- [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] Rohit G. Ramteke, Dr. U. V. Patil, "Comparative study of various PWM Techniques for Diode Clamped Multi-level Inverter (DCMLI)", International conference on Computer, Electrical & Electronics Engg. (IETE-2013), Dr. Babasaheb Ambedkar Technological University, Lonere on 26th-27th, Dec-2013.
- [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