

**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* SATU FASA TIPE
FLYING CAPACITOR 5 - TINGKAT
(Skripsi)**

OLEH

ARNOLD PARULIAN SIPANGKAR



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* SATU FASA TIPE *FLYING CAPACITOR 5 - TINGKAT*

Oleh

ARNOLD PARULIAN SIPANGKAR

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengubah tegangan arus searah menjadi tegangan arus bolak-balik dengan memiliki 3 (tiga) level tegangan yaitu $+V_{dc}$, $-V_{dc}$, dan nol. Inverter Multilevel pada prinsipnya merupakan susunan dari beberapa inverter yang disusun secara bertingkat. Kelebihan utama inverter jenis ini adalah nilai harmonisa kecil dibandingkan inverter biasa atau tidak bertingkat, komponen switching berkerja pada frekuensi yang rendah, dan dapat digunakan untuk catu daya yang besar.

Penelitian tugas akhir ini membuat rangkaian simulasi *multilevel inverter flying capacitor* satu fasa dengan keluaran gelombang 3, 5, dan 7 tingkat dan membuat rancang bangun *multilevel inverter flying capacitor* satu fasa untuk keluaran gelombang 5 tingkat. Penentuan jumlah mosfet yang digunakan pada setiap tingkat inverter diketahui dengan menggunakan persamaan $N_{Sc} = 2(n-1)$, dimana n adalah jumlah tingkat inverter. Setiap tingkat inverter akan berbeda jumlah switching mosfetnya dan pulse generator pembangkit sinyal input untuk gate mosfet.

Pengujian rangkaian simulasi *multilevel inverter flying capacitor* satu fasa dengan keluaran gelombang 3, 5, dan 7 tingkat disimulasikan menggunakan perangkat lunak *simulink* MATLAB dengan kondisi berbeban dan tanpa beban. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi beban R dan beban L untuk melihat perbedaan harmonisa yang terjadi. Berdasarkan hasil percobaan mengenai variasi tanpa pembebanan *multilevel inverter flying capacitor* satu fasa tingkat 5 harmonisa yang didapat pada simulasi adalah sebesar 42.78% dan pada rancang bangun alat sebesar 45.3%. Sedangkan ketika diberikan beban harmonisa yang didapat diatas 49%.

Kata kunci: Inverter, Multilevel inverter, Harmonisa, *simulink* MATLAB.

ABSTRACT

THE DESIGN OF SINGLE PHASE MULTILEVEL INVERTER TYPE FLYING CAPACITOR 5 - LEVEL

By

ARNOLD PARULIAN SIPANGKAR

The inverter is an electronic circuit that functions as a converter of direct current voltage into alternating current voltage by having 3 (three) voltage levels, such as + Vdc, - Vdc, and 0. Multilevel inverters are in principle an arrangement of several inverters arranged in stages. The main advantages of this type of inverter are small harmonic values compared to ordinary or non-level inverters, switching components work at low frequencies, and can be used for large power supplies.

This final project research makes a simulation circuit of a single-phase multilevel inverter flying capacitor with 3, 5, and 7-level output waves and makes a single-phase multilevel inverter flying capacitor design for a 5-level wave output. The determination of the number of mosfet used at each inverter level is known by using the equation $N_{Sc} = 2(n-1)$, where n is the number of inverter levels. Each inverter level will have a different number of switching mosfet and pulse generator input signal generator for the gate mosfet.

Testing of a single-phase multilevel inverter flying capacitor simulation circuit with 3, 5, and 7 level output waves is simulated using the MATLAB simulink software under load and no-load conditions. occur. Based on the experimental results regarding the variation without loading multilevel inverter flying capacitor single phase level 5 harmonics obtained in the simulation is 42.78% and in the design of the tool is 45.3%. Meanwhile, when given a harmonic load, the obtained is above 49%

Keywords: *Inverter, Multilevel inverter, Harmonics, MATLAB simulink*

**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL INVERTER* SATU FASA TIPE
FLYING CAPACITOR 5 - TINGKAT**

OLEH:

ARNOLD PARULIAN SIPANGKAR

1515031052

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

**Judul Skripsi : RANCANG BANGUN MULTILEVEL
INVERTER SATU FASA TIPE FLYING
CAPACITOR 5 - TINGKAT**

Nama Mahasiswa : Arnold Parulian Sipangkar

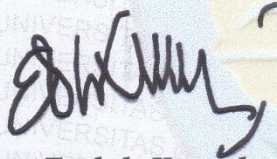
Nomor Pokok Mahasiswa : 1515031052

Jurusan : Teknik Elektro

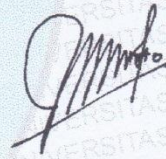
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



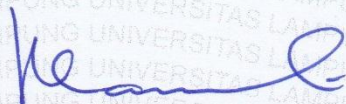
Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.
NIP 19730215 199903 2 003



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

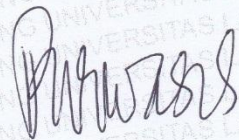
2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**



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

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**



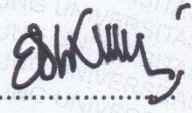
Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

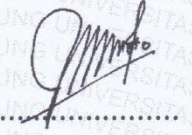
Ketua

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



Sekretaris

: **Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing

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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Juli 2021**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis 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 dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 Juli 2021



Arnold Parulian Sipangkar
NPM. 1515031052

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi pada tanggal 02 Juni 1996, sebagai anak ke dua dari empat bersaudara, dari Bapak Aman Sipangkar dan Ibu Rama Saragih. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Xaverius Kotabumi dari tahun 2002 dan diselesaikan pada tahun 2008. Sekolah Menengah Pertama Xaverius Kotabumi dari tahun 2008 dan diselesaikan pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Abung Selatan dari tahun

2011 dan diselesaikan pada tahun 2014.

Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri(SBMPTN). Pada semester 5 penulis memilih konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL) sebagai fokus dalam perkuliahan dan penelitian. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif diberbagai kegiatan antara lain:

1. Anggota Departemen Sosial dan Wirausaha Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2016)
2. Anggota Departemen Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2017)
3. Kerja Praktik pada bulan Agustus 2019 di PLTGU Keramasan Sumatera Selatan dan membuat laporan tentang “ **Karakteristik OCR, GFR, Dan Differential Relay Pada Generator PLTGU 2 x 40MW PT. PLN PERSERO SEKTOR PEMBANGKITAN KERAMASAN**”
4. Anggota Asisten Lab Konversi Energi Elektrik Teknik Elektro Universitas Lampung (2018)

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ini untuk

Ayah dan Ibu Terkasih

AMAN SIPANGKAR dan

RAMA SARAGIH

Kakak Dan Adik Tercinta

THERESIA SIPANGKAR

MARIA BUNGAULI SIPANGKAR

FERDINANDUS SIPANGKAR

Serta seluruh keluarga besarku, Dosen, dan Sahabat.

Moto Hidup :

“Pencobaan – pencobaan yang kamu alami ialah pencobaan yang biasa, yang tidak melebihi kekuatan manusia. Sebab Allah setia dan karena itu Ia tidak akan membiarkan kamu dicobai melampaui kekuatanmu. Pada waktu kamu dicobai Ia akan memberikan kepadamu jalan keluar, sehingga kamu dapat menanggungnya.”

(1 Kor 10 : 13)

**“ Aku diciptakan untuk menang . Bukan untuk kalah apalagi menyerah”
(Komando)**

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN MULTILEVEL INVERTER SATU FASA TIPE FLYING CAPACITOR 5 – TINGKAT**” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan banyak hal lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;

3. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung;
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
5. Ibu Dr. Eng. Nining Puwaningsih, S.T., M.T selaku Kepala Program Studi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
6. Ibu Dr.Eng.Endah Komalasari. S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
7. Bapak Ir.Noer Soedjarwanto. M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
8. Bapak Dr. Eng. Charles R.Harahap.S.T.,M.T. selaku Dosen Penguj Utama. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran dari seminar proposal sampai penyelesaian skripsi ini
9. Bapak Dr. Lukmanul Hakim, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik
10. Bapak, Mamak, Yanti, Maria, dan Ferdi, terima kasih yang telah memberikan dukungan sepenuh hati hingga menyelesaikan perkuliahan.
11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan
12. Bapak dan Ibu Staff Laboratorium Terpadu Teknik Elelktro dan juga Staff Administrasi Teknik Elektro Unila

13. Keluargaku Electrical Informatic Engineering (EIE) Angkatan 2015. Terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaan yang telah kalian berikan semoga kita selalu bersatu semakin erat
14. Teman rumah rafi squad (RRS) Wira, Arnold, Rafi, Dias, Ikhwan, dan Alifiah terima kasih telah berjuang Bersama dari awal kuliah hingga penulis menyelesaikan skripsi.
15. Teman Lab Konversi Bang Yayan, Bang Paian ,Helmi, Rizki, Anjas, Farhan, Faisal, Tiok, Sandi, Bagawi, Aan, Yosa, Aby, Rahmat, Arnel, Bangkit, Bramantio, yang telah berjuang bersama dalam segala urusan didalam lab konversi.
16. Persekutuan Mahasiswa Cumlaude, Indra S.T, Rekh Zakaria S.T,dan Andrew S.T. terima kasih telah memberikan support kepada penulis hingga menyelesaikan skripsi.
17. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu hingga terselesaikan laporan skripsi ini.

Bandar lampung 24 Juli 2021

Penulis

Arnold Parulian Sipangkar

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesis	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 7
2.1 Inverter.....	7
2.1.1 Prinsip Kerja Inverter	7

2.2 <i>Multilevel Inverter</i>	10
2.2.1 <i>Cascaded H - Bridges</i>	10
2.2.2 <i>Diode Clamps Multilevel inverter</i>	11
2.2.3 <i>Flying Capacitor Multilevel inverter</i>	11
2.3 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	12
2.4 <i>Harmonisa</i>	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Prosedur Penelitian	18
3.3.1 Studi Literatur	19
3.3.2 Perancangan Alat	19
3.3.3 Pengujian	20
3.4 Analisa Data Hasil Pengujian	22
3.5 Diagram Alir Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Hasil Perancangan Simulasi	24
4.2 Rangkaian Simulasi MIFC	24
4.3 Alat MIFC Tingkat 5	31
4.4 Pengujian Simulasi MIFC 3, 5, dan 7 Tingkat	36
4.4.1 Pengujian pembebanan Simulasi Matlab MIFC	36

4.4.2 Pengujian Harmonisa Simulasi Matlab MIFC	47
4.5 Pengujian Alat MIFC 5 Tingkat	52
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 SIMPULAN.....	63
5.2 SARAN.....	64
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Model Rangkaian Inverter 4 <i>Switch</i>	8
Gambar 2.2 Gelombang Keluaran <i>Inverter</i> Pada Keadaan S1 dan S2 <i>on</i>	8
Gambar 2.3 Gelombang Keluaran Inverter Pada Keadaan S3 dan S4 <i>on</i>	9
Gambar 2.4 Gelombang Keluaran Inverter dengan Beban Resistif.....	9
Gambar 2.5 <i>Multilevel inverter</i> tipe <i>Flying Capacitor</i>	12
Gambar 2.6 <i>Pulse width Modulation</i>	13
Gambar 2.7 Gelombang Harmonisa.....	15
Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Alat.....	20
Gambar 3.2 Diagram blok penelitian	23
Gambar 4.1 Rangkaian simulasi MIFC 3 tingkat.....	25
Gambar 4.2 Rangkaian simulasi MIFC 5 tingkat.....	25
Gambar 4.3 Rangkaian simulasi MIFC 7 tingkat.....	26
Gambar 4.4 Rangkaian Multilevel Inverter Flying Capacitor 3 tingkat	29
Gambar 4.5 Skematik aliran arus MIFC 3 tingkat	30
Gambar 4.6 Skematik aliran arus saat tegangan keluaran 0.....	30
Gambar 4.7 Rangkaian MIFC 5 tingkat.....	31

Gambar 4.8 Rangkaian Inverter	32
Gambar 4.9 Rangkaian Skematik Inverter	33
Gambar 4.10 Rangkaian Gate Driver	34
Gambar 4.11 Rangkaian Skematik Gate Driver	34
Gambar 4.12 Mikrokontroler	35
Gambar 4.13 Gelombang tegangan tanpa beban simulasi MIFC 3 tingkat. 37	
Gambar 4.14 Gelombang tegangan tanpa beban simulasi MIFC 5 tingkat . 37	
Gambar 4.15 Gelombang tegangan tanpa beban simulasi MIFC 7 tingkat . 38	
Gambar 4.16 Gelombang output tegangan beban R 20 ohm	40
Gambar 4.17 Gelombang output tegangan beban R 250 ohm	40
Gambar 4.18 Gelombang output tegangan beban R 630 ohm	40
Gambar 4.19 Gelombang output tegangan beban R 20 ohm	41
Gambar 4.20 Gelombang output tegangan beban R 250 ohm	41
Gambar 4.21 Gelombang output tegangan beban R 650 ohm	41
Gambar 4.22 Gelombang output tegangan beban R 20 ohm	42
Gambar 4.23 Gelombang output tegangan beban R 250 ohm	42
Gambar 4.24 Gelombang output tegangan beban R 650 ohm	42
Gambar 4.25 Gelombang output beban L 50mH	44
Gambar 4.26 Gelombang output beban L 100mH	45
Gambar 4.27 Gelombang output beban L 50mH	45
Gambar 4.28 Gelombang output beban L 100mH	45
Gambar 4.29 Gelombang output beban L 50mH	46

Gambar 4.30 Gelombang output beban L 100mH	46
Gambar 4.31 THD MIFC 3 tingkat tanpa beban.....	48
Gambar 4.32 THD MIFC 5 tingkat tanpa beban.....	48
Gambar 4.33 THD MIFC 7 tingkat tanpa beban.....	49
Gambar 4.34 Gelombang Harmonisa MIFC 3 tingkat tanpa beban	49
Gambar 4.35 Gelombang Harmonisa MIFC 5 tingkat tanpa beban	50
Gambar 4.36 Gelombang Harmonisa MIFC 7 tingkat tanpa beban	50
Gambar 4.37 Gelombang output tegangan tanpa beban pada alat	53
Gambar 4.38 Gelombang output tegangan beban R 20 Ohm	55
Gambar 4. 39 Gelombang output tegangan beban R 250 Ohm	55
Gambar 4.40 Gelombang output tegangan beban R 630 Ohm	55
Gambar 4.41 Gelombang output tegangan beban L 50mH.....	57
Gambar 4. 42 Gelombang output tegangan beban L 100mH.....	58
Gambar 4. 43 Grafik perbandingan THDv simulasi dengan alat beban R...	60
Gambar 4. 44 Grafik perbandingan THDv simulasi dan THDv alat beban L 50mH dan 100 mH.....	61

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1 Nilai Duty Cycle dan Phase Delay Pulse Generator MIFC 3 tingkat	26
Tabel 4.2 Nilai Duty Cycle dan Phase Delay Pulse Generator MIFC 5 tingkat	27
Tabel 4.3 Nilai Duty Cycle dan Phase Delay Pulse Generator MIFC 7 tingkat	27
Tabel 4.4 Pensaklaran MIFC tingkat 3	29
Tabel 4.5 Nilai Duty Cycle dan Phase Delay tiap pin mikrokontroler	35
Tabel 4.6 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban R	39
Tabel 4.7 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban L	43
Tabel 4.8 Data hasil THDv dan THDi beban R	51
Tabel 4.9 Data Hasil THDv dan THDi pada Beban L	52
Tabel 4.10 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban R	50
Tabel 4.11 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban L	54
Tabel 4.12 Data hasil THDv dan THDi beban R	59
Tabel 4.13 Data Hasil THDv dan THDi pada Beban L	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inverter Multilevel merupakan inverter dengan memiliki tegangan keluaran yang bertingkat – tingkat berdasarkan banyak levelnya. Tegangan sinusoidal yang dihasilkan oleh inverter multilevel lebih bagus dan tidak membutuhkan frekuensi switching yang tinggi dibandingkan dengan inverter biasa, sehingga rugi-rugi daya pada switch juga kecil. Inverter multilevel dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan bentuk dan komponen penyusun rangkaiannya atau yang disebut dengan topologi. Topologi-topologi inverter yang umum digunakan pada saat ini adalah seperti : Cascaded, Diode Clamps, dan Flying Capacitor. Setiap topologi mempunyai kelebihan dan kekurangannya tersendiri. Kelebihan inverter multilevel antara lain ; tegangan keluaran inverter multilevel memiliki distorsi yang kecil, inverter multilevel dapat mengambil arus masukan dengan distorsi yang rendah, dan inverter multilevel dapat beroperasi pada frekuensi switching fundamental dan frekuensi switching PWM yang tinggi. Sedangkan kekurangan inverter multilevel adalah membutuhkan penyaklaran semikonduktor dalam jumlah

yang besar. Hal ini dapat menyebabkan sistem secara keseluruhan menjadi lebih mahal dan kompleks.

Seiring dengan perkembangan zaman, para ahli dibidang elektronika daya terus melakukan penelitian untuk pengembangan topologi inverter ini. Penelitian sebelumnya “*A general circuit topology of Multilevel Inverter*” oleh N.S.Choi, J.G.Cho, dan G.H.Cho. Topologi topologi inverter ada 3 seperti *Cascaded, Diode Clamps, Flying Capacitor*. Inverter multilevel memiliki keunggulan dalam tegangan sinusoidal yang dihasilkan serta tidak memerlukan frekuensi *switching* yang tinggi dibandingkan dengan inverter biasa, sehingga rugi – rugi daya pada switch juga kecil.[1]

Pada penelitian “Simulasi dan Analisa Gelombang Harmonisa Multilevel Inverter Satu Fasa Tipe H-Bridge” yang dilakukan oleh Aji Penetrapp Raga juga meneliti tentang multilevel inverter. Namun pada penelitian tersebut hanya menjelaskan tentang desain inverter dengan multilevel inverter satu fasa tipe H-Bridge menggunakan software Simulink MATLAB. Untuk mengurangi gelombang harmonisa dengan menggunakan Fast Fourier Transform sebagai pembanding dari hasil simulasi rangkaian multilevel inverter. Penggunaan metode Fourier dalam menganalisa gelombang harmonisa dan Total Harmonic Distortion yang dihasilkan pada keluaran multilevel inverter. Pada jenis multilevel inverter CMI, keluaran tegangannya dihasilkan dari sumber DC yang terpisah. Keluaran tegangan dari jenis multilevel inverter ini berbentuk kotak yang bertingkat, dimana keluaran tegangan tersebut akan semakin bertingkat sejalan dengan sumber DC yang digunakan pada multilevel inverter ini.

Pada penelitian selanjutnya “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Multilevel Inverter Satu Fasa Dengan Mengatur Frekuensi” yang dilakukan oleh Mochamad Hardy Lazuardy tentang multilevel inverter. Penelitian tersebut menjelaskan pengaruh proses switching mosfet pada tegangan output inverter dan kecepatan putar motor, serta perubahan nilai frekuensi yang berkaitan dengan pengaturan switching inverter. Multilevel Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis Diode Clamps Multilevel Inverter satu fasa 5 tingkat. Pada jenis multilevel inverter DCMI ini, keluaran tegangan yang dihasilkan dari satu sumber tegangan DC. Hanya saja DCMI ini menggunakan diode sebagai penyearah dan pembatas arus agar dihasilkan bentuk keluaran yang menyerupai gelombang sinusoidal.

Dari latar belakang sebelumnya timbul suatu ide untuk merancang sebuah topologi flying capacitor, yang dengan judul “Rancang Bangun Multilevel Inverter Satu Fasa Tipe Flying Capacitor 5 - Tingkat” untuk mengetahui prinsip kerja dan performansi. Dengan membuat desain dari Multilevel inverter satu fasa flying capacitor menggunakan Simulink Matlab kemudian melakukan rancang bangun untuk Multilevel inverter satu fasa flying capacitor tingkat 5 yang dapat menghasilkan keluaran gelombang kotak 5 tingkat menyerupai gelombang sinusoidal dengan beban R dan L.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dapat diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.1 Memodelkan MIFC satu fasa menggunakan Simulink Matlab

1.2 Merancang bangun MIFC tingkat 5

1.3 Menganalisis efek pembebanan R dan L pada MIFC

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan tercapai dari penelitian ini adalah dihasilkannya prototype MIFC 5 tingkat. Dari penelitian ini juga diharapkan dapat mengetahui dampak pembebanan terhadap keluaran gelombang harmonisa dari inverter agar menghasilkan nilai harmonisa yang kecil.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain MIFC pada aplikasi Matlab 2013 mulai dari tingkat 3, 5, dan 7
2. Bagaimana merancang MIFC tingkat 5
3. Apa dampak pembebanan dengan menggunakan beban R dan L yang bervariasi pada multilevel inverter satu fasa topologi flying capacitor.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membuat rancangan simulasi MIFC tingkat 3, tingkat 5 dan tingkat 7.
2. Penelitian ini membuat rancang bangun MIFC tingkat 5 dengan variasi beban R dan L.

3. Membandingkan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) keluaran dari rancangan simulasi terhadap rancangan bangun MIFC tingkat 5.

1.6 Hipotesis

Rancangan simulasi yang dilakukan pada MIFC baik pada masing masing level memiliki kemampuan dalam mengatasi permasalahan harmonisa gelombang yang ada pada keluaran gelombang.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori secara garis besar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil pengujian dan pembahasan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

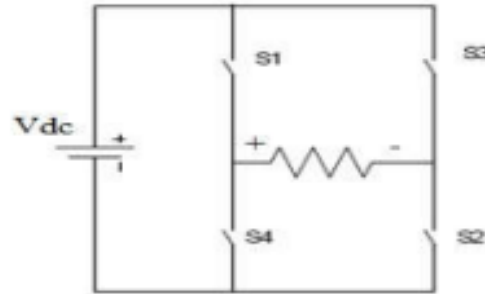
2.1 Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengkonversikan listrik *Direct Current* (DC) menjadi bentuk daya listrik *Alternating Current* (AC). Di dalam rangkaian *inverter* terdapat beberapa komponen penting yang digunakan seperti saklar semikonduktor, induktor, kapasitor dan resistor. Saklar yang digunakan pada inverter harus mempunyai respon cepat untuk berubah dari keadaan *on* menjadi *off* ataupun sebaliknya, oleh karena itu digunakan saklar semikonduktor jenis *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (mosfet). [1]

2.1.1 Prinsip Kerja Inverter

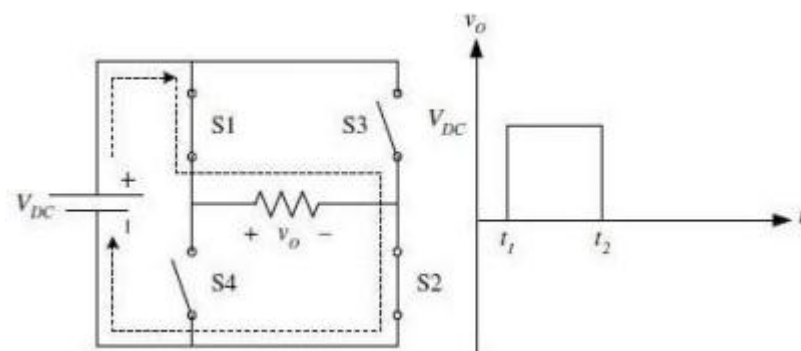
Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 2.1 dengan sumber masukan tegangan DC dan memiliki empat saklar yang telah dirangkai seperti dibawah ini dengan pengoperasian waktu saklar yang telah diatur yaitu waktu operasi saklar 1 (S1) dan saklar 2 (S2) sama, waktu operasi saklar 3 (S3) dan saklar 4

(S4) sama, dan antara saklar 1 (S1) saklar 2 (S2) dan saklar 3 (S3) saklar 4 (S4) memiliki waktu operasi yang berbeda.



Gambar 2.1 Model Rangkaian Inverter 4 Switch [2]

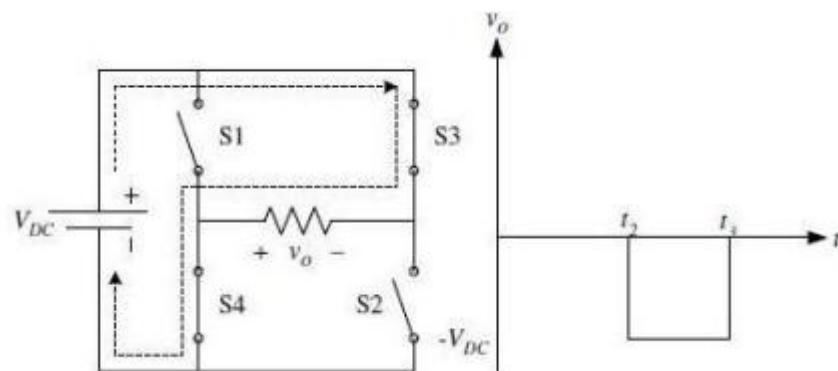
Perbedaan waktu operasi saklar tersebut yang menimbulkan rekayasa aliran listrik yang mengalir pada rangkaian di atas. Ketika S1 dan S2 dalam keadaan *on (Close)* dan S3 serta S4 dalam keadaan *off (Open)* maka aliran dari DC supply akan mengalir melalui S1 kemudian melewati positif beban setelah itu mengalir melalui S2 dan menuju DC supply, aliran listrik pada rangkaian saat keadaan ini ditunjukkan oleh gambar 2.2 sehingga pada keadaan tersebut keluaran gelombang pada beban akan berada diposisi positif.



Gambar 2.2 Gelombang Keluaran Inverter Pada Keadaan S1 dan S2 *on*

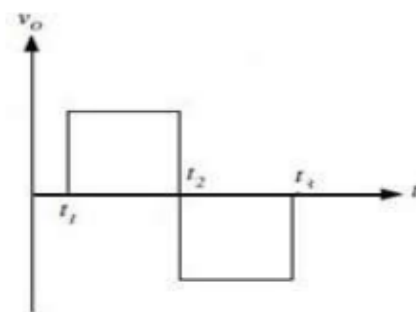
[3]

Dan sebaliknya ketika S3 dan S4 dalam keadaan *on* dan S1 serta S2 dalam keadaan *off* maka aliran dari sumber tegangan DC akan mengalir melalui S3 kemudian menuju negatif beban selanjutnya mengalir melalui S4 dan menuju sumber tegangan DC, aliran listrik pada rangkaian saat keadaan ini ditunjukkan oleh Gambar 2.3 sehingga pada keadaan tersebut keluaran gelombang pada beban akan berada di posisi negatif.



Gambar 2.3 Gelombang Keluaran Inverter Pada Keadaan S3 dan S4 *on* [3]

Oleh karena itu ketika keadaan empat saklar tersebut bekerja secara terus menerus sesuai dengan waktu operasi yang telah diatur maka gelombang keluaran yang dimiliki inverter dengan beban bersifat resistif maka akan berbentuk seperti yang terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Gelombang Keluaran Inverter dengan Beban Resistif[3]

Bekerjanya saklar mosfet pada inverter diatur oleh PWM (*Pulse Width Modulation*) yang mengeluarkan sinyal berupa tegangan untuk mengatur *gate* mosfet agar dapat berubah kondisi baik *on* maupun *off*.

2.2.Multilevel Inverter

Multilevel Inverter merupakan converter yang mengubah besaran DC menjadi besaran AC dimana keluaran yang dihasilkan memiliki beberapa (lebih dari dua) level tegangan atau arus. *Multilevel inverter* ini tidak diperlukan frekuensi *switching* yang tinggi untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal. *Multilevel inverter* dengan sumber DC sendiri atau terpisah akan menghasilkan keluaran tegangan yang sesuai dengan level tingkatan inverter tersebut. Dimana untuk inverter dengan dua sumber DC, tegangan keluaran (V_o) akan memiliki lima level tegangan yaitu $+2V_{dc}$, V_{dc} , 0 , $-V_{dc}$, dan $-2V_{dc}$. [6]

Inverter multilevel memiliki keunggulan dalam tegangan sinusoidal yang dihasilkan serta tidak memerlukan frekuensi *switching* yang tinggi dibandingkan dengan inverter biasa, sehingga rugi – rugi daya pada switch juga kecil. Inverter multilevel dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk dan komponen penyusun rangkaianannya sehingga disebut dengan topologi. Topologi topologi inverter ada 3 seperti *Cascaded H –Bridges*, *Diode Clamps*, *Flying Capacitor*.

2.2.1 Cascaded H –Bridges

Cascade H –Bridge multilevel inverter merupakan jenis multilevel inverter dimana keluaran tegangannya dihasilkan dari sumber DC yang

terpisah. Keluaran tegangan dari jenis multilevel inverter ini berbentuk gelombang kotak yang bertingkat, dimana keluaran tegangan tersebut akan semakin bertingkat sejalan dengan sumber DC yang digunakan pada multilevel inverter ini.

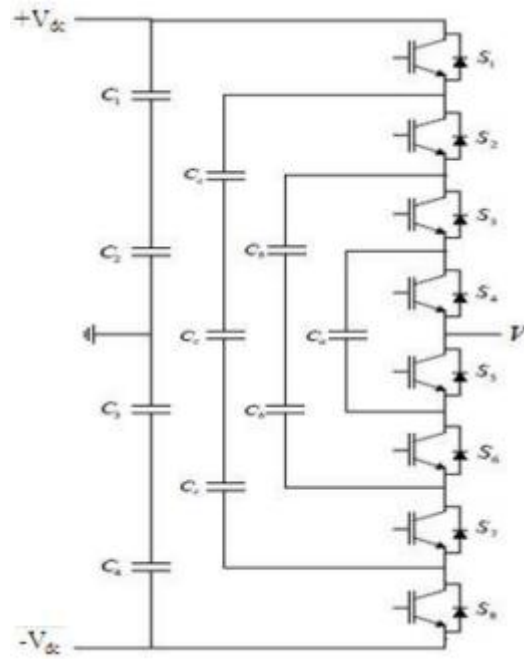
Cascade H-Bridge Multilevel inverter memiliki konstruksi yang paling sederhana dan pengaturan yang sederhana juga. Namun memiliki output gelombang yang baik seiring dengan tingkat level yang tinggi. Pada multilevel inverter ini tidak diperlukan frekuensi *switching* yang tinggi untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal.

2.2.2 Diode Clamps Multilevel inverter

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 dioda sebagai penyearah dan pembatas arus agar dihasilkan bentuk keluaran gelombang yang menyerupai gelombang sinusoidal.

2.2.3 Flying Capacitor Multilevel inverter

Flying capacitor multilevel inverter merupakan jenis inverter 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 penyuplai tegangan.



Gambar 2.5 *Multilevel inverter tipe Flying Capacitor*[5]

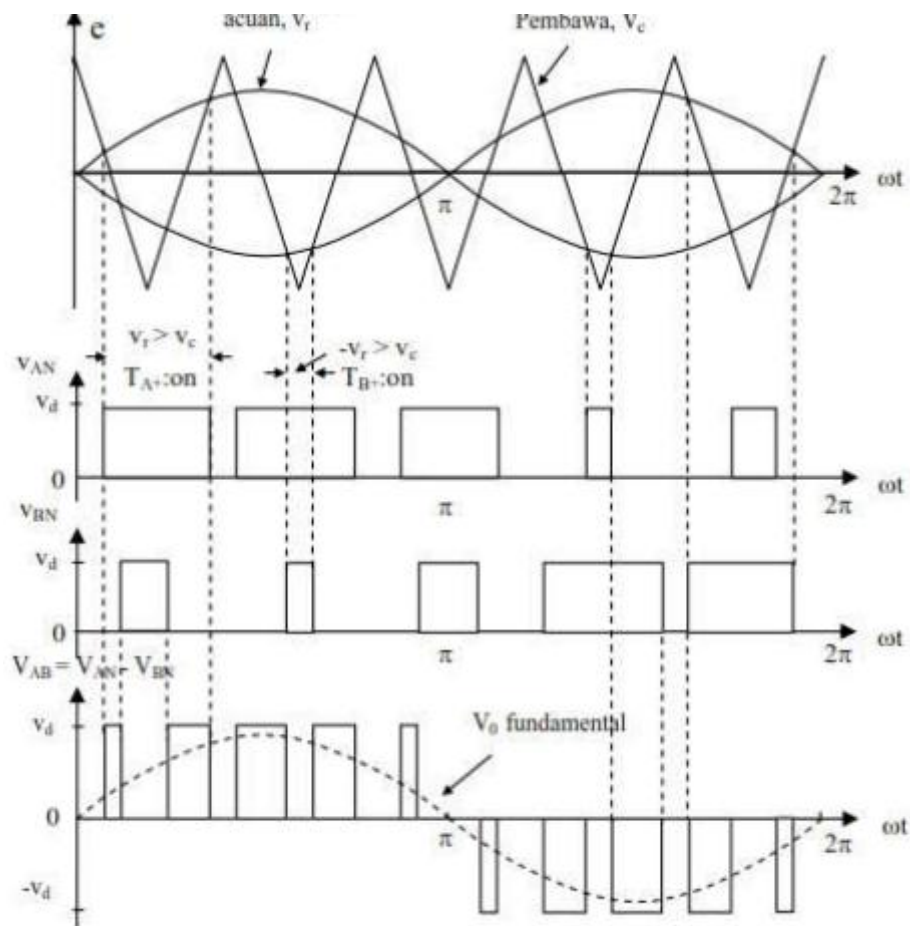
Gambar 2.5 menjelaskan rangkaian komponen dari *Multilevel inverter Flying Capacitor tingkat 5*. Besar tegangan keluaran pada *multilevel inverter* ini adalah penjumlahan dari tegangan keluaran inverter tiap tingkat.

$$V_{out} = \frac{1}{2} V_{ac} \quad 2.1$$

2.3 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) atau modulasi lebar pulsa merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi (V_r) dengan sinyal *Carrier* (V_c). Sinyal *carrier* yang biasa digunakan berupa gelombang segitiga ataupun gelombang gigi gergaji. Prinsip dasar dari teknik PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi (V_r) lebih besar dari amplitudo sinyal *carrier* (V_c) maka dihasilkan sinyal *high* atau *on* dan jika besar amplitudo sinyal referensi

(V_r) berada lebih kecil dari amplitudo sinyal carrier (V_c) maka dihasilkan sinyal *low* atau *off*. Proses membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier* terlihat pada Gambar 2.6 sehingga dapat menghasilkan nilai *duty cycle* pada PWM dari perbandingan kedua gelombang tersebut. *Pulse-width modulation* (PWM) merupakan cara untuk mengurangi THD dari arus beban. Dimana keluaran PWM inverter, dengan menggunakan *filter*, umumnya dapat memperkecil THD dari *switching* gelombang persegi (kotak).[7]



Gambar 2.6 *Pulse width Modulation* [8]

T_{on} pada gambar di atas menunjukkan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *high* atau *on* sedangkan T_{off} merupakan lama waktu tegangan keluaran

berada di posisi *low* atau *off*. Penjumlahan lama waktu dari T_{on} dengan T_{off} disebut dengan T_{total} yang biasa dikenal dengan satu perioda gelombang.[8]

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad 2.2$$

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

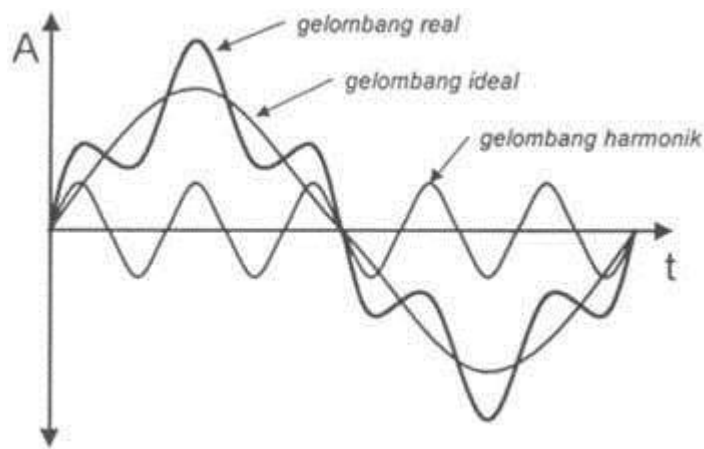
$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\% \quad 2.3$$

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

2.4 Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus, maupun daya pada sistem energi listrik. Bentuk gelombang harmonisa yaitu gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya (f , $2f$, $3f$, dan seterusnya).

Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa (h_1 , h_2 , dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya



Gambar 2.7 Gelombang Harmonisa[9]

Hubungan antara frekuensi harmonik dan fundamental dapat ditulis sebagai berikut:

$$f_h = n f_i \quad 2.4$$

f_h adalah frekuensi harmonic,

n adalah kelipatan gelombang (bilangan bulat),

f_i adalah frekuensi fundamental.

Gelombang harmonik ini akan menumpang pada gelombang fundamental sehingga akan terbentuk gelombang yang terdistorsi. Ini dikarenakan efek penjumlahan dari gelombang harmonisa dengan gelombang fundamentalnya. Pengaruh harmonisa pada sistem tenaga listrik cukup besar, dimana harmonisa ini akan menimbulkan beberapa efek seperti panas berlebih pada generator dan transformator karena harmonik cenderung mengalir ke peralatan dengan impedansi yang lebih rendah. Besarnya nilai harmonik pada sistem tenaga listrik dinyatakan dalam *Total Harmonic Distortion* (THD) dengan persamaan sebagai berikut [9];

- *Total Harmonic Distortion* (THD) Voltage :

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_n^2}}{V_1^2} 100\% \quad 2.5$$

- *Total Harmonic Distortion* (THD) Current ;

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_n^2}}{I_1^2} 100\% \quad 2.6$$

Penyebab terjadinya gelombang harmonisa ini adalah penggunaan bebanbeban non linier pada sistem tenaga yang menimbulkan distorsi pada bentuk gelombang sinus. Beban non-linier dapat sebagai sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem tenaga. Dimana semakin banyak peralatan elektronika yang digunakan seperti: televisi, komputer, dan alat penghemat daya, maka akan semakin menambah harmonisa pada arus listrik, sehingga THD yang dihasilkan akan semakin besar.

THD merupakan total dari gelombang yang terdistorsi akibat dari penjumlahan gelombang-gelombang harmonisa yang dihasilkan oleh inverter. Gelombang yang dihasilkan pada harmonisa pertama, harmonisa kedua, harmonisa ketiga, dan seterusnya akan menyebabkan gelombang keluaran pada inverter terdistorsi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.7 dimana terlihat bahwa gelombang real yang dihasilkan pada inverter akan terdistorsi akibat penjumlahan dari gelombang-gelombang harmonisa yang dihasilkan.

Beban non linier akan menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang arus dan tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Gangguan gelombang yang diakibatkan dari distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebut dengan harmonisa [10]. Akibat yang akan timbul pada peralatan listrik apabila terdapat arus atau tegangan harmonisa yaitu:

- Terjadinya kerusakan pada peralatan listrik.
- Terbakarnya kabel penghantar (konduktor).
- Terjadinya *losses* pada transformator.
- Terjadi *overheat* pada peralatan motor listrik.
- Terjadinya kesalahan pengukuran pada alat ukur kWh meter elektromekanis.
- Terjadinya kegagalan fungsi kerja relay.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini akan mulai dilaksanakan pada bulan Desember 2019 – Maret 2021, bertempat di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Laptop
- 2) Arduiono ATMEGA 2560
- 3) Sumber DC 24V
- 4) Rangkaian gate driver
- 5) Rangkaian MIFC 1 fasa tingkat 5
- 6) *Software: Matlab (Simulink)*

3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan proses yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 3.2. Tahapan proses penyelesaian tugas akhir ini meliputi beberapa bagian, yaitu studi literatur, perancangan simulasi, pengujian, analisa data hasil pengujian dan kesimpulan.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan cara mengumpulkan beberapa sumber referensi. Referensi-referensi yang didapat akan dipelajari tentang bagaimana cara mengerjakannya, dan seberapa berbeda penelitian yang akan dilakukan, sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang kita inginkan. Berikut beberapa referensi yang dikumpulkan, yaitu:

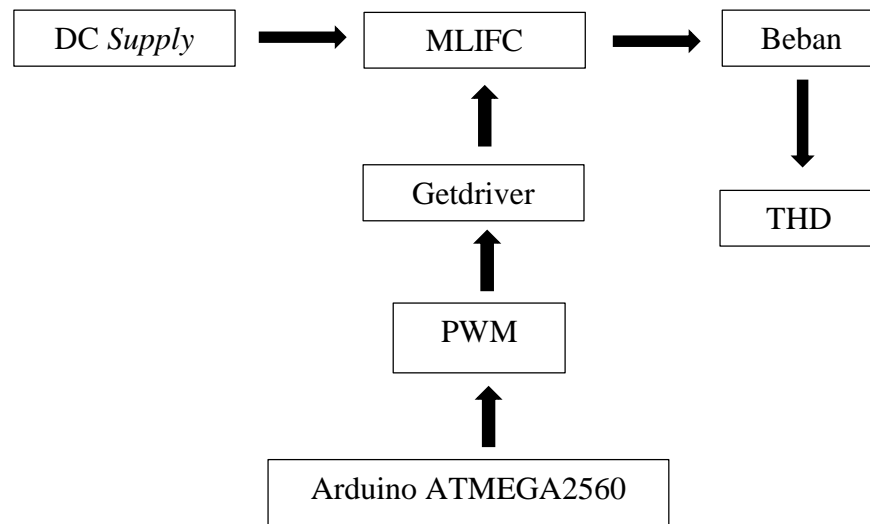
- a. *Design Multilevel Inverter*
- b. *Total Harmonic Distortion (THD)*
- c. *Simulink MATLAB*

3.3.2 Perancangan Alat

Tahap perancangan alat pada penelitian ini merupakan tahap penentuan desain rangkaian dan nilai-nilai komponen yang akan digunakan. Perancangan simulasi ini akan dilakukan menggunakan *software Simulink MATLAB* dengan mendesain jenis *multilevel inverter* manakah yang sesuai untuk digunakan dan menganalisis setiap perubahan desain multilevel inverter yang disimulasikan terhadap tingkat keluaran gelombang harmonisa yang dihasilkan. Berikut adalah beberapa tahapan yang akan dilakukan pada perancangan simulasi,

yaitu pembuatan desain inverter, pemasangan variasi beban, dan melihat keluaran gelombang harmonik.

Berikut merupakan blok diagram perancangan alat:



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Alat

3.3.3 Pengujian

Dalam tahap pengujian ini akan dilakukan untuk melihat keberhasilan alat sesuai dengan prinsip kerjanya 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 ArduinoATMEGA 2560

Pengujian ini dilakukan dengan memperhatikan 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 MIFC

Tahapan pengujian inverter ini diawali dengan merancang desain multilevel inverter ini digunakan persamaan matematis dengan beberapa parameter masukan yang digunakan yaitu tegangan dan sudut penyalaan *inverter*. Tegangan masukan *inverter* berupa tegangan DC serta tegangan referensi sebagai *setpoint* yang diinginkan sehingga akan diperoleh *duty cycle* pada sinyal PWM sebagai pemicu *gate* mosfet yang membuat keluaran *inverter* akan sesuai dengan tegangan referensi yang diberikan.

Sebelum melakukan perancangan alat dibuat terlebih dahulu pada *Simulink* MATLAB perlu dilakukan perhitungan untuk membuat persamaan dari *inverter* yang digunakan.

Pengujian ini dilakukan dengan melihat apakah hasil alat yang dibuat menghasilkan keluaran yang diinginkan atau tidak. Proses switching mosfet akan menghasilkan aliran arus searah yang direkayasa sehingga menjadi arus bolak – balik.

d. Pengujian Gelombang Harmonisa

Tahap pengujian ini dilakukan analisa mengenai gelombang harmonisa pada sisi *output multilevel inverter*. Dengan menggunakan *multilevel inverter* tipe *Flying Capacitor* dengan keluaran gelombang 3,5,dan 7 tingkat pada simulasi.

e. Pengujian Pembebanan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat efek pemasangan variasi beban R dan L. pada *multilevel inverter* satu fasa tipe *Flying Capacitor* terhadap keluaran gelombang harmonisa. Pengujian ini juga untuk membandingkan pengaruh besar atau kecilnya perubahan gelombang harmonisa yang dihasilkan dan menganalisa faktor yang mempengaruhi gelombang harmonisa dari setiap perubahan jenis pembebanan.

3.4 Analisa Data Hasil Pengujian

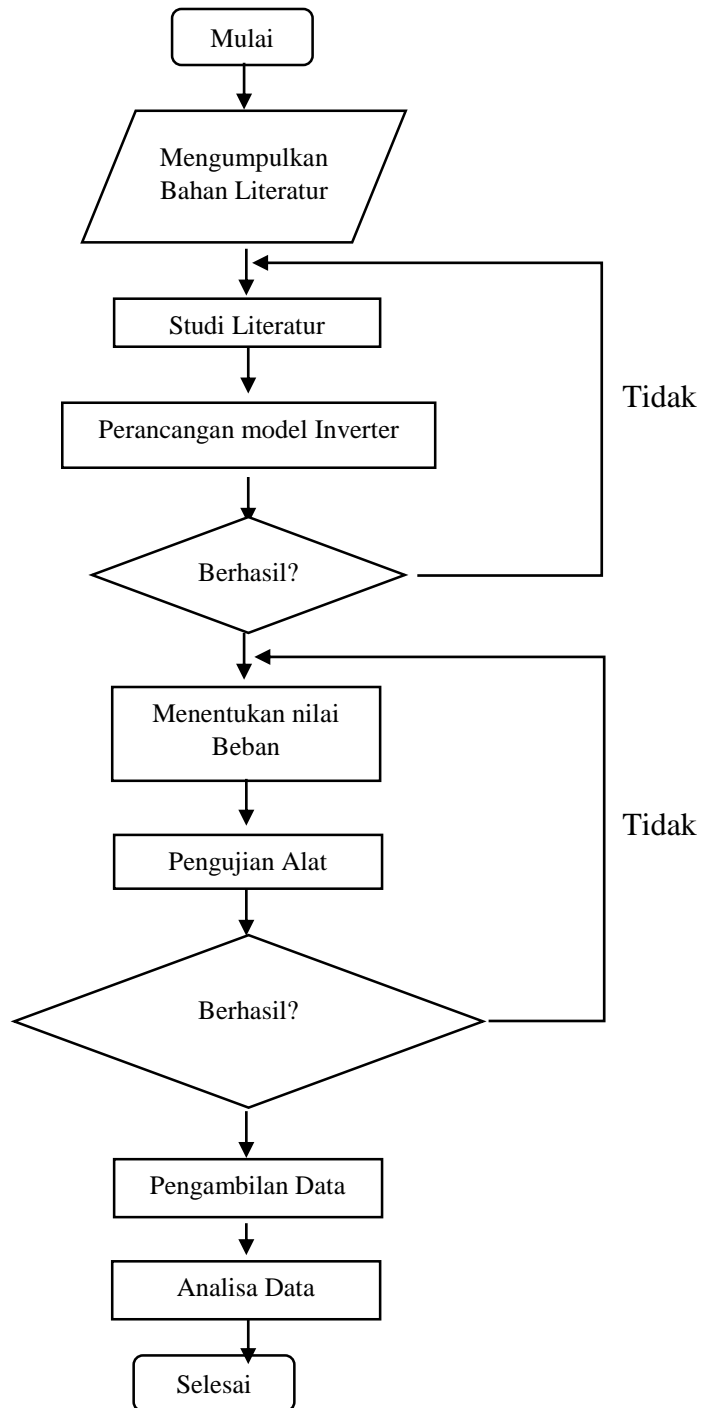
Setelah dilakukan pengujian dan pengambilan data, tahap selanjutnya adalah menganalisa hasil pengujian alat dan perhitungan. Data-data yang telah didapat ini akan dianalisa dan dibandingkan dengan teori yang ada sehingga penelitian ini dapat dikatakan berhasil atau tidak. Kemudian pada akhirnya dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan yang sesuai dengan teori yang ada.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari penelitian yang dilakukan yaitu dimulai dari studi literatur, perancangan model inverter, menentukan nilai komponen, pengujian simulasi, dan diakhiri dengan analisa hasil dari pengambilan data. Semua tahapan ini

dilakukan agar penelitian berjalan dengan teratur sesuai dengan tahapan yang telah dibuat sehingga meminimalisir terjadinya kesalahan dikemudian hari.

Adapun *flowchart* dari diagram alir pada penelitian ini adalah :



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

Dari serangkaian penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Telah berhasil dirancang bangun alat MIFC tingkat 5 dan MIFC pada Simulink MATLAB dengan level 3,5, dan 7.
2. Pemberian beban yang bervariasi baik beban R dan L, berpengaruh pada besar arus yang dihasilkan. Semakin besar nilai beban yang diberikan, arus yang dihasilkan MIFC akan semakin mengecil.
3. Berdasarkan hasil data rangkaian FCMI 3,5,7 tingkat simulasi MATLAB, nilai THD yang dihasilkan akan semakin kecil jika tingkat inverter semakin bertambah.

5.2 Saran

Sebagai masukan dan memudahkan dalam penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, berikut ini saran yang perlu diperhatikan:

1. Untuk mengaplikasikannya masih perlu adanya filter pada keluaran multilevel inverter untuk meredam gelombang harmonisa yang dihasilkan agar tidak merusak peralatan listrik yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.S.Choi, J.G.Cho, and G.H.Cho, “A genral circuit topology of Multilevel Inverter”, Proc.IEEE PESC”91,1991,pp.96-103..
- [2] W. Hart, D. “*Power Electronics*”. McGraw-Hill Companies, New York, 2011
- [3] J. Rodriguez, J.S.Lai F.Z.Peng, ”*Multilevel inverter survey of topologi control and Applications* “”, IEEE Trans.Ind.Electron,Vol 49, pp 724-728,2002.
- [4] Mr. N. A Sawalakhe, Miss. R Singh, “*Performance Analysis of Flying Capacitor Multilevel Inverter*”, IJAEMS, Special Issue: 1, 2017, ISSN: 2454-1311.
- [5] Theraja, B.L., dan Theraja, A.K.2005. ”*Electrical Technology Volume II: AC – Dc Machines*”. New Delhi: S. Chand & Company.
- [6] H. Rashid, M. 1993. Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications (2nd Edition). Prentice Hall, New York
- [7] Amarjeet.S.Pandey,”A 5 levels Single Phase Flying Capacitor Multilevel Inverter(FCMI)”, International Journal of Scientific and Engineering Research, Volume 5, Issue 4, April - 2014

- [8] E. Jhonson. D, R. Jhonson. J, L. Jhon. H.”*Electric Circuit Analysis*”. Prentice. Hall, New Jersey, 1989
- [9] Peter McGrath ,Brendan. 2002. “Multicarrier PWM Strategies for Multilevel Inverters”. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICSVOL. 49, NO. 4
- [10] K, Surya Suresh and M.Vishnu Prasad,”*Analysis and Simulation of New Seven level Inverter topology,*” IJSRP, Vol 2, Issue 4, April 2012 ISSN 2250-3153