

**SIMULASI DAN ANALISA GELOMBANG
HARMONISA *MULTILEVEL INVERTER* SATU FASA
TIPE *H-BRIDGE***

(Skripsi)

Oleh

AJI PENETRAP RAGA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

SIMULASI DAN ANALISA GELOMBANG HARMONISA *MULTILEVEL* *INVERTER* SATU FASA TIPE *H-BRIDGE*

Oleh

AJI PENETRAP RAGA

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengkonversi listrik *Direct Current* (DC) menjadi bentuk daya listrik *Alternating Current* (AC). Inverter pada dasarnya menghasilkan distorsi harmonisa yang cukup besar. *Multilevel inverter* dapat mengurangi distorsi harmonisa inverter dengan menambah jumlah tingkat inverter. Pada penelitian ini dirancang simulasi *multilevel inverter* satu fasa dengan *3 stage*, *5 stage*, dan *7 stage*. *Output* tegangan pada *multilevel inverter* adalah resultan tegangan dari tiap tingkat inverter penyusunnya. Penambahan tingkat *multilevel inverter* ini dapat mengurangi *Total Harmonic Distortion* (THD) sebesar 14.79% pada *3 stage*, 8.31% pada *5 stage*, dan 6.92% pada *7 stage* saat kondisi tanpa beban. Penambahan beban R, RC, dan RL menyebabkan nilai THD bertambah, hal ini disebabkan karakteristik beban yang digunakan merubah bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan. Penambahan tingkat inverter pada penambahan beban dapat menurunkan nilai THD yang dihasilkan, namun besarnya nilai THD masih diatas 17%. Metode yang digunakan dalam menghitung THD menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Dengan menggunakan software Simulink MATLAB dan *Function* MATLAB didapatkan koefisien Fourier untuk membandingkan hasil simulasi dan hasil perhitungan nilai THD secara manual. Besarnya *error* data Simulink MATLAB terhadap analisa manual dengan metode analisis Fourier pada penelitian ini yaitu sebesar 0.11% pada sampel gelombang *multilevel inverter 3 stage* beban R 100 ohm.

Kata Kunci : inverter, *multilevel inverter*, harmonisa, THD, *Fast Fourier Transform*

ABSTRACT

SIMULATION AND ANALYSIS OF HARMONIC WAVES MULTILEVEL

INVERTER ONE PHASE TYPE H-BRIDGE

By

AJI PENETRAP RAGA

Inverter is a series of power electronics that serves to convert the electricity of Direct Current (DC) into the form of electric power Alternating Current (AC). Inverters basically produce considerable harmonic distortion. Multilevel inverter can reduce inverter harmonic distortion by increasing the number of inverter levels. In this research, multilevel inverter simulation is designed with phase 3 stage, 5 stage, and 7 stage. The output voltage of the multilevel inverter is the resultant voltage of each level of the composing inverter. The addition of multilevel inverter this can reduce Total Harmonic Distortion (THD) as big as 14.79% on 3 stages, 8.31% on 5 stages, and 6.92% on 7 stages during the no-load conditions. The addition of loads R, RC, and RL causes of the THD value to increase, this is due to the load characteristics used to change the resulting of output waveform. The addition of inverter level at the addition of load can reduce the value of THD generated, but the value of THD is still above 17%. The method that is used in calculating the value of THD is Fast Fourier Transform. By using MATLAB Simulink softwere and MATLAB Function we got Fourier coefficient to compare simulation result and THD value calculation result manually. In this research the amount of MATLAB Simulink data error on manual analysis with Fourier analysis method is 0.11% in multilevel inverter wave sample on 3 stage load R 100 ohm.

Keywords: *inverter, multilevel inverter, harmonic, THD, Fast Fourier Transform*

**SIMULASI DAN ANALISA GELOMBANG
HARMONISA *MULTILEVEL INVERTER* SATU FASA
TIPE *H-BRIDGE***

Oleh

AJI PENETRAP RAGA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **SIMULASI DAN ANALISA GELOMBANG
HARMONISA MULTILEVEL INVERTER
SATU FASA TIPE H-BRIDGE**

Nama Mahasiswa : **AJI PENETRAP RAGA**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1215031008**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



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

Ir. Abdul Haris, M.T.
NIP. 19630801 199603 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP : 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

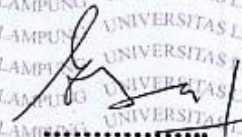
Ketua

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



Sekretaris

Ir.Abdul Harris, M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T.,M.Sc.



2. **Dekan Fakultas Teknik**



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D

NIP 19620717-198703-1-002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan 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, 13 Juni 2017



Aji Penetrup Raga
NPM 1215031008

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Umbul Rejo, Lampung pada tanggal 24 Oktober 1994 sebagai anak kedua dari empat bersaudara, dari bapak Harjo Suwito dan ibu Intan. Pendidikan sekolah dasar diselesaikan di SDN 4 Wates pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Padang Cermin diselesaikan pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Padang Cermin diselesaikan pada tahun 2012. Pada tahun 2012, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) Tes Tertulis 2012. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik Universitas Lampung pada tahun 2014-2017. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Kaderisasi pada tahun 2014-2015 dan Anggota Divisi Kerohanian pada tahun 2013-2014. Penulis aktif dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik sebagai Kepala Dinas Sosial Dan Politik periode 2015/2016. Pada bulan September 2015, Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PERUM JASA TIRTA II JATILUHUR (PERUM PJT II).

PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawat kepada Nabi Muhammad

Shalallahu Alaihi Wassalam Karya tulis ini kupersembahkan untuk:

*Ayah dan Ibuku Tercinta
Harjo Suwito dan Intan (Almh)*

*Kakakku Tersayang
Bayu Grendo Sigarete*

*Serta Adikku Tersayang
Gigih Setia Abih Pambela dan Justine Bagih Jaga Segoro*

*Teman-teman tercinta
Rekan-rekan Jurusan Teknik Elektro*

*Almamaterku
Universitas Lampung*

*Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia*

*Terima-kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. Jazzakallah
Khairan.*



MOTTO

“Berani hidup harus berani menghadapi masalah, jangan takut dan jangan gentar, hadapi dengan benar dan tawakal, karena setiap masalah sudah diukur Allah sesuai kemampuan kita.”

(Aa Gym)

*“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)

“Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula)”

(Al-Quran, Surat Ar – Rahman, 55 : 60)

“Apabila manusia telah meninggal dunia maka terputuslah semua amalannya kecuali tiga amalan : shadaqah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak sholih yang mendoakan dia.”

(HR. Muslim)

*“Manusia yang berakal ialah
manusia yang suka menerima dan meminta nasihat.”*

(Umar bin Khatab RA)



SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini. Shalawat serta salam disanjungkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam yang dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Skripsi yang berjudul “**SIMULASI DAN ANALISA GELOMBANG HARMONISA MULTILEVEL INVERTER SATU FASA TIPE H-BRIDGE**” digunakan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama perkuliahan dan penelitian, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis juga telah mendapat bantuan baik moril, materil, bimbingan, petunjuk serta saran dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor
Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas
Lampung.

3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku kepala Jurusan Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Dr.Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing Utama. Terimakasih atas kesedian waktunya untuk membimbing dan memberikan ilmu.
5. Bapak Ir.Abdul Haris, M.T. selaku pembimbing kedua. Terimakasih atas waktu dan bimbinganya selama mengerjakan tugas akhir
6. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T.,M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir. Terimakasih atas masukan guna membuat tugas akhir ini menjadi lebih baik lagi.
7. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik.
8. Seluruh Dosen Teknik Elektro, Terimakasih atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama menuntut ilmu di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
9. Mbak Ning atas semua bantuannya menyelesaikan urusan administrasi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung selama ini.
10. Ayah dan Ibu, Harjo Suwito dan Intan (Almh). Tiada kata yang dapat tertulis atas segala pengorbanan yang kalian lakukan untuk hidupku, hanya terimakasih yang tak terkira atas segala yang telah dilakukan untukku.
11. Kakakku Bayu Grendo Sigarete terimakasih atas do'a, motivasi, dan semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
12. Adiku Gigih Setia Abih Pambela dan Justine Bagih Jaga Segoro terimakasih atas motivasi dan dukunganya agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.

13. Kakekku Suyadi terimakasih atas motivasi dan dukungannya agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Kepada Adik adik ELANG 12' Bella Nurbaity S, Ratih Ningtyas, Windy Selviana, Gusti Robiatul A, Desi Purnama Sari, Dika Fauzia , dan Risdawati Hutabarat terimakasih atas do'a, motivasi, serta hal-hal yang telah membuat semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
15. Kak Nanang Hadi Sodikin, S.T, Kak Jaya Pralatama, S.T, Kak Adit Hartanto, S.T.,Kak Denny Firmansyah Z, S.T., Kak Apriwan Rizki, S.T. dan Kak Habib Sutriharjo, S.T. Terimakasih telah banyak membantu dalam mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga selesai dengan baik.
16. Sahabat Konversi (Guntur, Rio, Dharma, Ipan , Panji, Yayan, Gusti, Hardy, Agung DS, Hekson, Paian, Andre BA , Pitia , Nabilla, Riski, Salam dan Rendi) terimakasih atas kebersamaanya, motivasi dan dukungannya agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini. selama ini.
17. Kawan Kosan YOKOHAMA Nugraha dan Arif yang memberi semangat dan motivasi di saat masa sulit awal-awal perkuliahan.
18. Kawan kontrakan Perum Glora Persada Eduar, Edi, dan Manto yang memotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
19. Kepada Annisa Rizka, S.Si. Amalia terima kasih atas motivasi, semangat, dan waktunya menemani saat masa-masa sulit untuk menyelesaikan perkuliahan.
20. Kepada Annisa Wulansari, S.T. terimakasih atas motivasi, semangat, dan waktunya menemani serta membantu dalam menyelesaikan KKN dan Kerja Praktek.

21. Kepada Maulida Purnama Sari, S.Pd. terimakasih atas motivasi, semangat, dan waktunya menemani serta membantu dalam menyelesaikan perjalanan Seminar Usul dan Hasil tugas akhir ini.
22. Terkhusus untuk Winda Styani Yuliawati, S.T, terimakasih atas motivasi, semangat, senyum canda tawa, dan waktunya yang selalu ada untuk menemani serta membantu dalam perjalanan terakhir dalam menyelesaikan tugas akhir ini hingga mendapat gelar S.T.
23. Partner BEM FT Unila periode 15/16 (Salam, Yolan, Lidya, Surya, Didi, Shoultan, Chandra, Lihardi, Fahmi, Wira, Dedi, Wahyu, Agung, Rafi, Sigit, Winda, Mustika, Kiki, Carta, dan Faqqih) terimakasih atas ilmu organisasi, semangat dan motivasi yang menunjang untuk masa depan.
24. Partner dan anak-anak Dinas Sosial dan Politik BEM FT Unila (Agung, Bachtiar, Suwanto, Deka, Jefri, Farizi, Galang, Kholil, Defri, Dhafin, Fedra, Heni, Klara, Ciul) terimakasih kebersamaan dan kerjasamanya serta motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
25. Teman-teman Clash Royale, Clan Thunder Scream (Fadel, Bagus, Wahyu, Ricko, Moch, Alan, Madun, dan Fakhri) yang memberikan hiburan, tawa, dan semangat disaat lelah ini menyerang dalam mengerjakan tugas akhir.
26. Teman-teman kopi kyay (bang Sate, bang Geri, bang Dedi, bang Danu, kak Najib, Yayan, Bachtiar, Mahendra, mbah Munif) yang menemani saat bosan dan terimakasih atas semangat dan motivasinya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
27. Teman-teman keluarga besar ELANG '12 (Elektro Angkatan 2012) terimakasih atas segala yang telah diberikan.

Semoga kebersamaan ini membawa kebaikan, keberkahan, kemurahan hati, serta bantuan dan do'a yang telah diberikan seluruh pihak akan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga kita menjadi manusia yang berguna dan berkembang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar lampung, 13 Juni
2017

Penulis,

Aji Penetrap Raga

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR PERSAMAAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Manfaat.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Hipotesis.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Studi Literatur.....	8
2.2 Inverter.....	9
2.2.1 Prinsip Kerja Inverter.....	10

2.2.2	Konfigurasi Inverter.....	13
2.2.3	<i>Multilevel</i> Inverter.....	15
2.3	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	16
2.4	Harmonisa.....	19
2.5	<i>Fast Fourier Transform</i>	22

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2	Alat dan Bahan.....	24
3.3	Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1	Studi Literatur.....	25
3.3.2	Perancangan Simulasi.....	25
3.3.3	Pengujian.....	26
3.4	Analisa dan Hasil Pengujian.....	29
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Perancangan Simulasi.....	31
4.1.1	Rangkaian Simulasi <i>Multilevel Inverter</i>	32
4.1.2	Rangkaian Simulasi <i>Multilevel Inverter</i> dengan Beban.....	37
4.2	Analisa Data Hasil Pengujian.....	43
4.2.1	Pengujian Inverter.....	43

4.2.2 Pengujian Gelombang Harmonisa.....	49
4.2.3 Pengujian Pembebanan.....	56
4.2.3 Pengujian <i>FFT Analysis</i>	88

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rangkaian Inverter <i>Full Bridge</i>	10
Gambar 2.2 Ilustrasi Rangkaian Inverter 4 <i>Switch</i>	10
Gambar 2.3 Gelombang Keluaran <i>Inverter</i> Pada Keadaan S1 & S2 <i>on</i>	11
Gambar 2.4 Gelombang Keluaran Inverter Pada Keadaan S3 & S4 <i>on</i>	12
Gambar 2.5 Gelombang Keluaran Inverter dengan Beban Resistif.....	12
Gambar 2.6 Inverter sentral.....	14
Gambar 2.7 <i>String Inverter</i>	14
Gambar 2.8 <i>Multilevel inverter</i> tipe H-bridge.....	15
Gambar 2.9 <i>Pulse width Modulation</i>	17
Gambar 2.10 Gelombang Harmonisa.....	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Simulasi.....	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	30

Gambar 4.1 Rangkain <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i>	32
Gambar 4.2 Rangkaian Inverter Dalam <i>Subsystem</i>	33
Gambar 4.3 Rangkain <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i>	34
Gambar 4.4 Rangkain <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i>	36
Gambar 4.5 Rangkain <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> dengan Beban R.....	38
Gambar 4.6 Rangkain <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> dengan Beban R.....	38
Gambar 4.7 Rangkain <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> dengan Beban R.....	39
Gambar 4.8 Rangkain <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> dengan Beban RC.....	40
Gambar 4.9 Rangkain <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> dengan Beban RC.....	40
Gambar 4.10 Rangkain <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> dengan Beban RC.....	41
Gambar 4.11 Rangkain <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> dengan Beban RL.....	42
Gambar 4.12 Rangkain <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> dengan Beban RC.....	42
Gambar 4.13 Rangkain <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> dengan Beban RC.....	43
Gambar 4.14 Gelombang <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i>	44
Gambar 4.15 Gelombang <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i>	46
Gambar 4.16 Gelombang <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i>	48
Gambar 4.17 THD <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i>	50

Gambar 4.18 Gelombang Harmonisa <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i>	50
Gambar 4.19 THD <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i>	51
Gambar 4.20 Gelombang Harmonisa <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i>	52
Gambar 4.21 THD <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i>	53
Gambar 4.22 Gelombang Harmonisa <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i>	54
Gambar 4.23 Grafik Pengujian Gelombang Harmonisa.....	56
Gambar 4.24 Gelombang <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	58
Gambar 4.25 Gelombang <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	59
Gambar 4.26 Gelombang <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	59
Gambar 4.27 THDv <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	62
Gambar 4.28 THDv <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	62
Gambar 4.29 THDv <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	63
Gambar 4.30 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	64
Gambar 4.31 THDi <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	64
Gambar 4.32 THDi <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm.....	65
Gambar 4.33 Gelombang <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	67

Gambar 4.34 Gelombang <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	68
Gambar 4.35 Gelombang <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	68
Gambar 4.36 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	71
Gambar 4.37 THDv <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	71
Gambar 4.38 THDv <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	72
Gambar 4.39 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	73
Gambar 4.40 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	73
Gambar 4.41 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan C 22uF.....	74
Gambar 4.42 Grafik THDv <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100Ohm dan C 22uF/47uF.....	75

Gambar 4.43 Gelombang <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	78
Gambar 4.44 Gelombang <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	78
Gambar 4.45 Gelombang <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	79
Gambar 4.46 THDv <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	82
Gambar 4.47 THDv <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	83
Gambar 4.48 THDv <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	83
Gambar 4.49 THDi <i>Multilevel Inverter 3 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	85
Gambar 4.50 THDi <i>Multilevel Inverter 5 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	86
Gambar 4.51 THDi <i>Multilevel Inverter 7 Stage</i> Beban R 100 Ohm dan L 100mH.....	86
Gambar 4.52 Gelombang Keluaran <i>Multilevel inverter 3 Stage</i> R 100ohm.....	90
Gambar 4.53 Persamaan Fourier pada <i>Function</i> MATLAB.....	91

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Nilai <i>Duty Cycle</i> dan <i>Phase Delay</i> pada <i>Pulse Generator Multilevel Inverter 3 Stage</i>	33
Tabel 4.2 Nilai <i>Duty Cycle</i> dan <i>Phase Delay</i> pada <i>Pulse Generator Multilevel Inverter 5 Stage</i>	35
Tabel 4.3 Nilai <i>Duty Cycle</i> dan <i>Phase Delay</i> pada <i>Pulse Generator Multilevel Inverter 5 Stage</i>	37
Tabel 4.4 Data Hasil THD <i>Multilevel Inverter</i>	55
Tabel 4.5 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban R.....	57
Tabel 4.6 Data Hasil THD _v dan THD _i pada Beban R.....	61
Tabel 4.7 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban RC.....	66
Tabel 4.8 Data Hasil THD _v dan THD _i pada Beban RC.....	70
Tabel 4.9 Data Hasil Tegangan dan Arus pada Beban RL.....	77
Tabel 4.10 Data Hasil THD _v dan THD _i pada Beban RL.....	81

DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 2.1.....	15
Persamaan 2.2.....	18
Persamaan 2.3.....	18
Persamaan 2.4.....	20
Persamaan 2.5.....	20
Persamaan 2.6.....	20
Persamaan 2.7.....	22
Persamaan 2.8.....	23
Persamaan 2.9.....	23
Persamaan 2.10.....	23
Persamaan 2.11.....	23
Persamaan 2.12.....	23
Persamaan 2.13.....	23

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi konversi energi kini semakin berkembang dengan teknologi elektronika daya. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah *inverter* yang berfungsi sebagai konverter untuk mengkonversikan daya listrik searah (*Direct Current / DC*) dalam bentuk daya listrik bolak-balik (*Alternating Current / AC*). *Inverter* digunakan dalam sumber energi terbarukan seperti *Solar Cell* untuk mengkonversi daya DC ke AC agar dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Prinsip kerja *inverter* menggunakan *switching* elektronik untuk menghasilkan gelombang keluaran berupa gelombang sinusoidal. Akibat dari pensaklaran elektronik pada *inverter* ini mengakibatkan gelombang keluaran sinusoidal mengalami distorsi atau gangguan dan juga menimbulkan harmonisa. Harmonisa yang timbul akan mengakibatkan daya keluaran pada *inverter* mengalami *losses* dan juga dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan.

Harmonisa yang dihasilkan dari *inverter* dapat dikurangi dengan menggunakan desain *inverter* yang sesuai. Salah satu desain *inverter* untuk mengurangi

harmonisa adalah dengan mendesain *inverter* dengan metode *multilevel inverter* tipe *H-bridge*. *Multilevel inverter* menghasilkan bentuk gelombang berupa gelombang tangga atau *staircase*. Dengan *multilevel inverter* diperoleh bentuk gelombang yang baik, dimana semakin banyak level tegangan yang dihasilkan akan menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang semakin baik pula. Pada *multilevel inverter* tidak diperlukan frekuensi *switching* yang tinggi untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal.

Penggunaan metode *multilevel inverter* merupakan metode untuk meredam gelombang harmonisa tanpa menggunakan filter. Keunggulan dari *multilevel inverter* ini adalah ukuran alat yang lebih kecil dengan kemampuan daya yang lebih besar dibandingkan dengan inverter menggunakan filter. Karena penggunaan filter pada peralatan inverter membuat ukuran inverter menjadi lebih besar. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian untuk membuat desain *multilevel inverter* untuk meredam gelombang harmonisa dan melihat bagaimana efek yang dihasilkan pada saat diberi beban.

Pada penelitian sebelumnya untuk melihat gelombang harmonisa dan besarnya *Total Harmonic Distortion* (THD) dibuat desain *inverter* yang terintegrasi ke grid. Penelitian yang dilakukan oleh Oscar Lopez, Remus Teodorescu, Francisco Freijedo, dan Jesus Doval Gandoy berjudul "*Leakage Current Evaluation Of A Singlephase Transformerless PV Inverter Connected To The Grid*" telah membuat desain *inverter* untuk melihat besarnya THD dan efisiensi dari rangkaian inverter tersebut. Pada penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan PV dengan daya 630 WP dan 1260 WP. Pada hasil penelitian

didapatkan nilai harmonisa hingga harmonisa ke 11 (11fs) dengan desain inverter yang digunakan adalah inverter satu tingkat satu fasa yang dihubungkan ke grid.[1]

Pada penelitian “Inverter Multi Level Tipe Jembatan Satu Fasa Tingkat Dengan Mikrokontroler AT89S51” yang dilakukan oleh Eko Aptono Tri Yuwona, Agung Warsito dan Mochammad Facta juga meneliti tentang *multilevel inverter* dengan metode analisis Fourier.[2]. Namun pada penelitian tersebut tidak dijelaskan dengan rinci bagaimana penggunaan metode Fourier dalam menganalisis gelombang harmonisa dan THD yang dihasilkan pada keluaran inverter. Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan analisis gelombang harmonisa dan THD yang dihasilkan pada keluaran inverter dengan metode Fourier dan bagaimana cara pembacaan gelombang dengan metode Fourier.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan tersebut maka akan dilakukan penelitian untuk membuat desain inverter dengan *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge* menggunakan *software Simulink* MATLAB untuk mengurangi gelombang harmonisa yang dihasilkan. Dari hasil simulasi akan dilakukan perhitungan koefisien harmonisa dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* sebagai pembandingan dari hasil-hasil simulasi rangkaian *multilevel inverter* menggunakan *software Simulink* MATLAB. Dan juga penggunaan metode Fourier dalam menganalisa gelombang harmonisa dan THD yang dihasilkan pada keluaran *multilevel inverter*.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Mendesain *inverter* dengan metode *multilevel inverter* tipe *H-bridge* satu fasa untuk mengurangi gelombang harmonisa menggunakan *Simulink* MATLAB.
- b. Mengetahui efek penggunaan metode *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-bridge* terhadap pengaruh keluaran gelombang harmonisa.
- c. Mengetahui efek pembebanan R, RL, dan RC pada *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge* terhadap keluaran gelombang harmonisa.
- d. Mengetahui hasil *Total Harmonic Distortion (THD)* dengan melakukan analisis menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* sebagai pembanding.

1.3 Manfaat

Manfaat yang diharapkan tercapai dari penelitian ini adalah dihasilkannya desain sebuah *inverter* dengan metode *multilevel inverter* tipe *H-bridge* satu fasa untuk mengurangi gelombang harmonisa menggunakan *Simulink* MATLAB. Dari penelitian ini juga diharapkan dapat mengetahui efek dari pembebanan terhadap keluaran gelombang harmonisa dari inverter agar meminimalisir adanya kerusakan pada peralatan listrik akibat gelombang harmonisa tersebut.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang desain dari *inverter* dengan metode *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-bridge* untuk mengurangi gelombang harmonisa menggunakan *Simulink* MATLAB.
2. Bagaimana efek dari penggunaan *inverter* dengan metode *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-bridge* pada *Simulink* MATLAB dan melihat keluaran gelombang harmonisa.
3. Bagaimana efek pembebanan R, RL, dan RC pada *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge* terhadap keluaran gelombang harmonisa.
4. Bagaimana melakukan analisis *Total Harmonic Distortion (THD)* menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *inverter* dengan metode *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge*.
2. Menggunakan *software* *Simulink* MATLAB.
3. Menggunakan variasi beban R, RL, dan RC.
4. Menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk analisis harmonisa.

1.6 Hipotesis

Dengan desain *inverter* menggunakan metode *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-bridge* dapat mengurangi gelombang harmonisa dan dihasilkan gelombang harmonisa yang lebih baik dibandingkan menggunakan *inverter* satu tingkat.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Eko Aptono Tri Yuwono, dkk dari UNDIP Semarang dengan judul “*Inverter Multilevel Tipe Jembatan Satu Fasa Tingkat Dengan Mikrokontroler AT89S51*”. Pada penelitian tersebut menggunakan inverter satu fasa dengan metode *multilevel inverter* tipe jembatan (*H-Bridge*). Dengan pembahasan nilai harmonisa pada sisi beban atau keluaran inverter.

Pengujian pertama yang dilakukan yaitu pengujian sinyal picu atau input pada komponen *switching (mosfet)*. Pengujian tersebut untuk melihat sinyal input yang masuk pada *gate mosfet* untuk menghasilkan gelombang keluaran yang sesuai dengan tingkat *multilevel inverter*. Pengujian kedua yaitu pengujian keluaran inverter, dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan, arus, dan harmonisa pada sisi keluaran inverter. Pengujian ketiga yaitu pengujian harmonisa, dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa yang terjadi pada keluaran inverter. Pengukuran nilai harmonisa

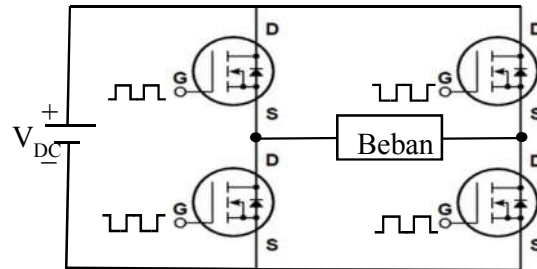
dilakukan dengan menggunakan alat ukur digital HIOKI 3286-20. Dengan nilai harmonisa yang dihasilkan sampai harmonisa ke 20. Pengujian keempat yaitu pengujian efisiensi inverter, dimana efisiensi inverter yang dihasilkan bernilai dari 46.98% - 71.85% pada beban R dan 37.76% - 51.51% pada beban RL. Efisiensi pada beban RL pada inverter lebih kecil dibandingkan dengan beban R disebabkan karena factor daya pada beban RL lebih kecil.

Pada penelitian ini menggunakan *Fast Fourier Transform* dalam menyelesaikan masalah THD yang dihasilkan. Namun tidak ada penjelasan yang termuat dalam jurnal penelitian ini dalam menganalisis nilai THD menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Sehingga tidak diketahui dengan jelas pemanfaatan dan penggunaan metode tersebut dalam menyelesaikan THD yang dihasilkan oleh inverter.

2.2 Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengkonversi 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). Gambar 2.1 menjelaskan

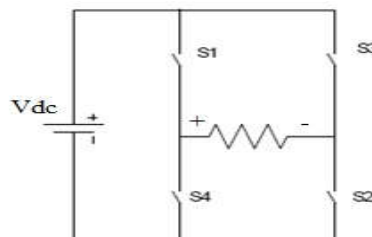
rangkaian *inverter* jenis jembatan penuh (*Full bridge inverter*) yang menggunakan 4 saklar mosfet.[2]



Gambar 2.1 Rangkaian Inverter *Full Bridge*[3]

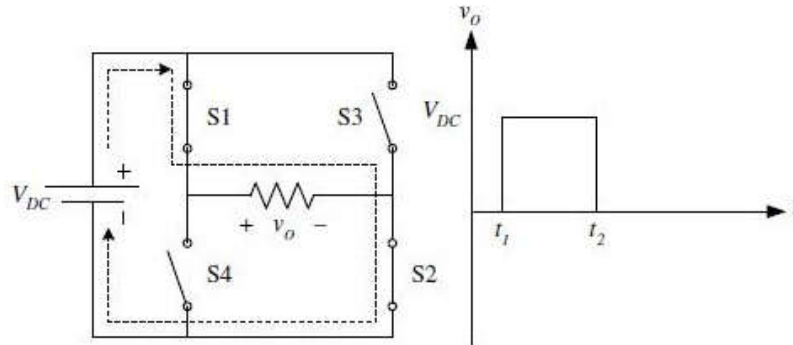
2.2.1 Prinsip Kerja Inverter

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 2.2 dengan sumber masukan tegangan DC dan memiliki empat saklar yang telah dirangkai seperti di bawah 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.



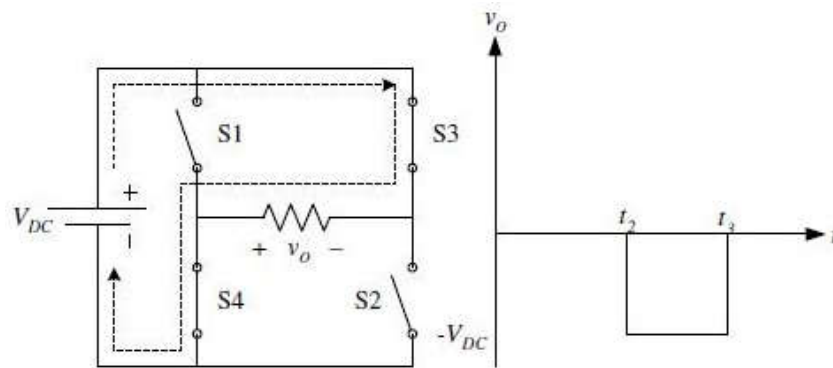
Gambar 2.2 Ilustrasi Rangkaian Inverter 4 *Switch*[3]

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 2.3 sehingga pada keadaan tersebut keluaran gelombang pada beban akan berada di posisi positif.



Gambar 2.3 Gelombang Keluaran *Inverter* Pada Keadaan S1 & S2 *on*[3]

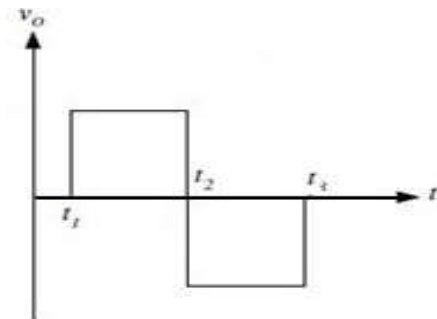
Dan sebaliknya ketika S3 dan S4 dalam keadaan *on* dan S1 serta S2 dalam keadaan *off* maka aliran dari sumber tegangan DC akan mengalir melalui S3 kemudian menuju negatif beban selanjutnya mengalir melalui S4 dan menuju sumber tegangan DC, aliran listrik pada rangkaian saat keadaan ini ditunjukkan oleh Gambar 2.4 sehingga pada keadaan tersebut keluaran gelombang pada beban akan berada di posisi negatif.



Gambar 2.4 Gelombang Keluaran Inverter Pada Keadaan S3 & 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 2.5.



Gambar 2.5 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*.

2.2.2 Konfigurasi Inverter

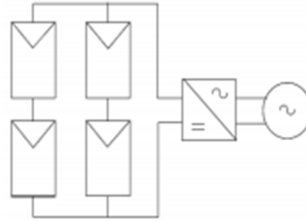
Konsep konfigurasi inverter menjelaskan tentang bentuk rangkaian inverter pada suatu sistem PLTS terhadap pembangkitan daya listrik oleh panel surya, dan hubungan antara inverter dengan beban atau jaringan. Secara umum ada dua kelas inverter yaitu, inverter sentral atau disebut *central inverters* dan *string inverters*.

a. Inverter Sentral (*Central Inverters*)

Inverter sentral (*central inverters*) biasanya digunakan pada berbagai sistem PLTS skala menengah dan skala besar. Inverter sentral menyajikan instalasi yang lebih handal dan sederhana, namun memiliki kekurangan yaitu ketidaksepadanan rugi-rugi (*mismatch losses*) meningkat yang disebabkan variasi profil tegangan dan arus dari modul surya pada array yang sama, dan ketiadaan dari *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk setiap *string*. Hal ini mungkin menyebabkan masalah pada *array* yang memiliki kemiringan dan sudut orientasi beragam, berkaitan dengan iradiasi, bayangan atau tipe modul surya yang berbeda.

Central inverter biasanya merupakan sistem tiga fasa dan dilengkapi transformator frekuensi jaringan (*grid frequency transformer*). Selain itu *central inverters* menggunakan konfigurasi *master slave* yaitu beberapa inverter tidak akan bekerja/padam ketika iradiasi dalam keadaan rendah, sedangkan inverter lainnya tetap bekerja

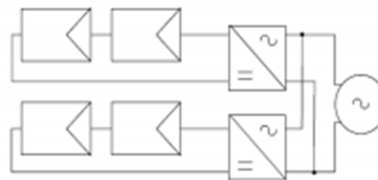
sesuai/mendekati pembebanan yang optimal. Ketika iradiasi tinggi, semua beban dibagikan dan ditanggung oleh semua inverter.



Gambar 2.6 Inverter sentral[4]

b. *String Inverter*

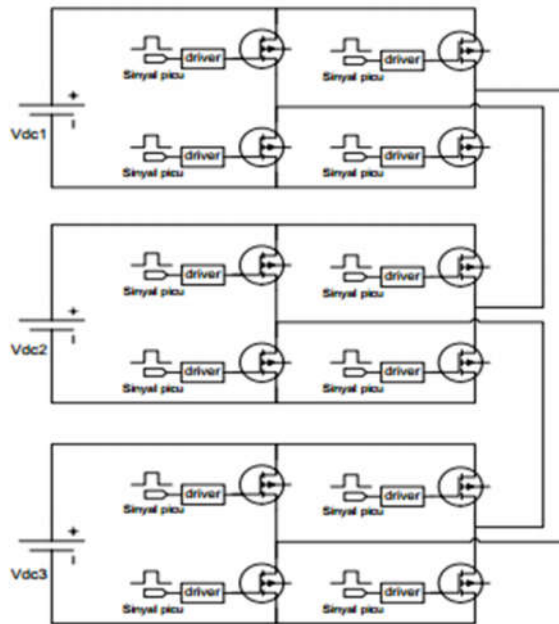
String inverter menggunakan inverter yang berlipat ganda untuk *string array* yang berlipat ganda juga. Penggunaan *string inverter* sangat banyak dan meningkat karena *string inverter* dapat mengatasi batasan daya yang luas dan lebih murah dalam proses pabrikasinya daripada jenis inverter sentral. Sistem ini sangat cocok untuk kondisi modul surya yang tidak bisa dipasang pada orientasi yang sama, berbeda spesifikasi, atau perbedaan iradiasi yang diterima. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan penggantian, karena tidak diperlukan personil dan spesialis, dan waktu yang dibutuhkan tidak selama sistem sentral, jadi tidak banyak hasil produksi energi yang terbuang saat perbaikan.



Gambar 2.7 *String Inverter*[4]

2.2.3 *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.[2]



Gambar 2.8 *Multilevel inverter* tipe H-bridge[2]

Besar tegangan keluaran pada *multilevel inverter* ini adalah penjumlahan dari tegangan keluaran inverter tiap tingkat.

$$V_{out} = \sum_{i=1}^P V_{aci} \quad (2.1)$$

Dimana p adalah jumlah inverter yang disusun secara bertingkat.

Multilevel inverter tipe *H-bridge* memiliki konstruksi yang paling sederhana dan pengaturan yang 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.

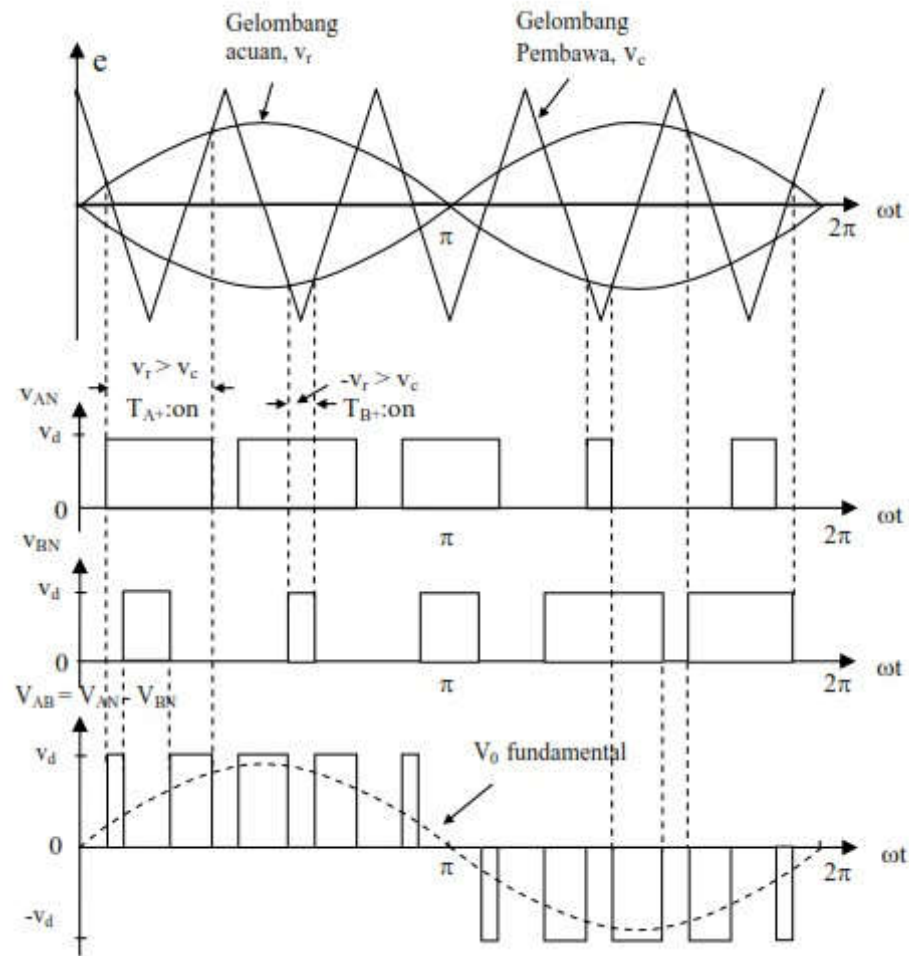
Pada *multilevel inverter* dengan sumber DC sendiri atau terpisah akan menghasilkan keluaran tegangan yang sesuai dengan level tingkatan inverter tersebut. Dimana untuk inverter dengan dua sumber DC, tegangan keluaran (V_o) akan memiliki lima level tegangan yaitu $+2V_{dc}$, V_{dc} , 0 , $-V_{dc}$, dan $-2V_{dc}$. [3]

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 2.9 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).[3]



Gambar 2.9 Pulse width Modulation[3]

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.[5]

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

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

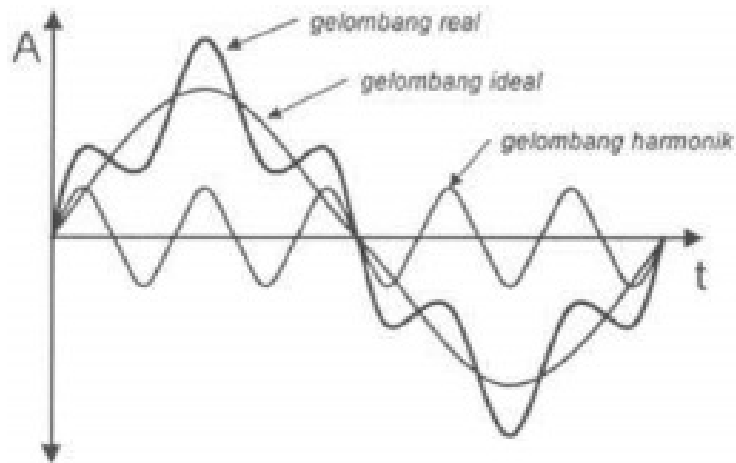
$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \quad (2.3)$$

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)[2]. 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 2.10 Gelombang Harmonisa[4]

Hubungan antara frekuensi harmonik dan fundamental dapat ditulis sebagai berikut:

$$f_h = n f_i \quad (2.4)$$

Dengan :

f_h adalah frekuensi harmonik,

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 haromonik pada sistem tenaga listrik dinyatakan dalam *Total Harmonic Distortion* (THD) dengan persamaan sebagai berikut[6]:

- *Total Harmonic Distortion* (THD) *Voltage*:

$$THD_V = \frac{\sqrt{v_2^2 + v_3^2 + v_4^2 + \dots + v_n^2}}{v_1} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

- *Total Harmonic Distortion* (THD) *Current*:

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

Penyebab terjadinya gelombang harmonisa ini adalah penggunaan beban-beban 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 2.10 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.

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.

2.5 Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu persamaan algoritma untuk menghitung transformasi *Fourier* diskrit dengan cepat dan efisien. *Fast Fourier Transform (FFT)* diterapkan dalam beragam bidang, seperti:

- Pengolahan sinyal digital
- Memecahkan persamaan differensial parsial
- Mengalikan bilangan bulat besar
- Menghitung *Total Harmonic Distortion (THD)*

Trasnformasi Fourier dapat digunakan untuk merubah suatu sinyal periodik dari domain waktu kedalam domain frekuensi. Fungsi Periodik $f(t)$ dengan periode $T=2\pi/\omega$ dapat dinyatakan sebagai berikut[2]:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t] \quad (2.7)$$

Persamaan diatas dikenal sebagai deret Fourier, yaitu jumlah gelombang sinusoidal frekuensi tunggal. Sebuah gelombang seismik dapat dihasilkan dengan penjumlahan beberapa gelombang sinusoidal frekuensi tunggal. Frekuensi ω disebut frekuensi dasar dan frekuensi $2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$ adalah frekuensi harmonik. Koefisien a_n dan b_n akan berbeda-beda sesuai dengan bentuk kurvanya, dimana penentuan koefisien a_n, b_n , dan a_0 disebut analisis Fourier.

Dengan kata lain analisis Fourier adalah metode untuk mendekomposisi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda-beda. Dengan rumus yang digunakan:

$$a_n = \frac{4}{T} \int_{-T}^T f(t) \cos n\omega t dt, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2.8)$$

$$b_n = \frac{4}{T} \int_{-T}^T f(t) \sin n\omega t dt, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2.9)$$

Dari persamaan 2.4 dapat dijabarkan menggunakan deret Fourier berikut ini

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} \{ a_h \cos(\omega_0 t) + b_h \sin(n\omega_0 t) \} \quad (2.10)$$

Dengan :

$$\bullet \quad a_0 = \frac{4}{T} \int_{-T}^T f(t) dt \quad (2.11)$$

$$\bullet \quad a_h = \frac{4}{T} \int_{-T}^T f(t) \cos(\omega t) dt \quad (2.12)$$

$$\bullet \quad b_h = \frac{4}{T} \int_{-T}^T f(t) \sin(\omega t) dt \quad (2.13)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan penulisa laporan tugas akhir ini mulai dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 dan direncanakan akan selesai pada bulan April 2017. Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan serta perangkat kerja yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Komputer atau Laptop
- b. Software MATLAB (*Simulink*)

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini akan dilakukan beberapa tahapan, yaitu:

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan cara mengumpulkan beberapa 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:

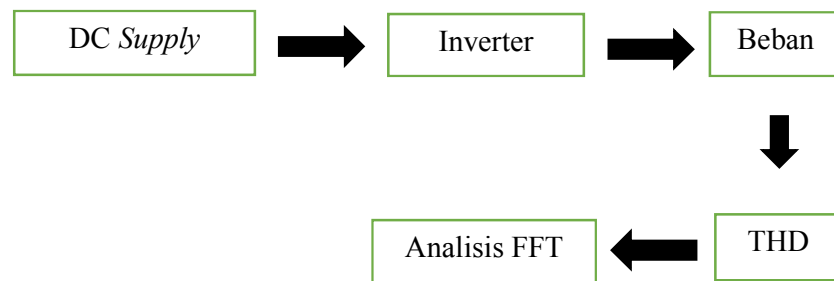
- a. *Design Inverter*
- b. *Total Harmonic Distortion (THD)*
- c. *Analisis Fast Fourier Transform (FFT)*
- d. *Simulink MATLAB*

3.3.2 Perancangan Simulasi

Tahap perancangan simulasi 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, serta melakukan analisis *Fast Fourier Transform*.

Berikut merupakan blok diagram perancangan simulasi:



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Simulasi

3.3.3 Pengujian

Tahap pengujian dilakukan pada simulasi rangkaian yang telah dibuat dengan menggunakan *Simulink* MATLAB apakah simulasi yang dibuat berhasil atau tidak.

a. Pengujian Inverter

Pada tahap pengujian inverter ini diawali dengan merancang desain multilevel inverter ini digunakan persamaan matematis dengan beberapa parameter masukan yang digunakan yaitu tegangan dan

sudut penyalaaan *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 pada *Simulink* MATLAB perlu dilakukan perhitungan untuk membuat persamaan dari *inverter* yang digunakan. Persamaan sistem pada *inverter* yang digunakan dibagi menjadi dua keadaan yaitu keadaan 1 dimana mosfet 1 dan mosfet 4 dalam keadaan *on* sedangkan mosfet 2 dan mosfet 3 dalam keadaan *off* kemudian keadaan 2 dimana mosfet 2 dan mosfet 3 dalam keadaan *on* sedangkan mosfet 1 dan mosfet 4 dalam keadaan *off*.

Pengujian ini dilakukan dengan melihat apakah hasil simulasi yang dibuat menghasilkan keluaran yang diinginkan atau tidak. Pengujian dilakukan dengan memberi masukan sumber DC dan merubah menjadi tegangan AC dengan tingkat nilai harmonisa yang kecil.

b. Pengujian Gelombang Harmonisa

Pada tahap pengujian ini dilakukan analisa mengenai gelombang harmonisa pada sisi *output multilevel inverter*. Dengan

menggunakan *multilevel inverter* tipe *H-Bridge* dengan tingkatan yang berbeda dapat mengurangi gelombang harmonisa.

c. Pengujian Pembebanan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat efek pemasangan variasi beban R, RL, dan RC pada *multilevel inverter* satu fasa tipe *H-Bridge* 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.

d. Pengujian *FFT Analysis*

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan hasil THD yang dihasilkan pada rangkaian *Simulink* MATLAB *Multilevel Inverter* satu fasa *type H-Bridge* dengan perhitungan menggunakan *Fast Fourier Transform*. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa nilai THD pada *Simulink* MATLAB sesuai dengan perhitungan FFT, sehingga meminimalisir kesalahan (*error*) pada penggunaan *software*.

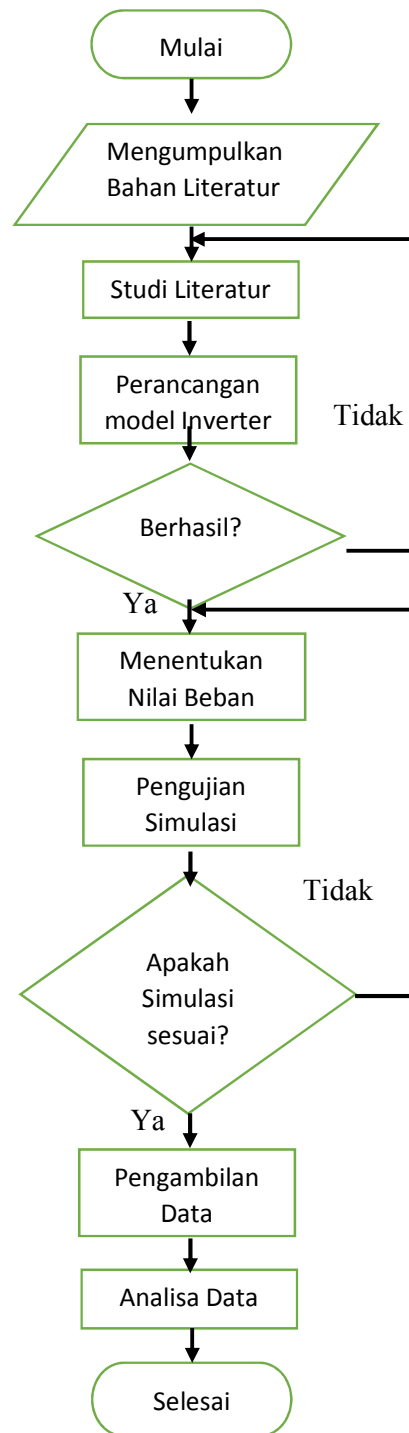
3.4 Analisa Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian dan pengambilan data, tahap selanjutnya adalah menganalisa hasil pengujian simulasi 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 tugas akhir ini adalah :



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Penambahan tingkat *multilevel inverter* dapat mengurangi *Total Harmonic Distortion (THD)* dengan besarnya nilai THD 14.79% pada 3 *stage*, 8.31% pada 5 *stage*, dan 6.92% pada 7 *stage* saat kondisi tanpa beban.
2. Pengaturan nilai *Duty Cycle* dan *Time Phase Delay* sangat mempengaruhi hasil gelombang keluaran dan *Total Harmonic Distortion (THD)* pada *multilevel inverter*.
3. Hasil *Total Harmonic Distortion (THD)* pada *multilevel inverter* 3 *stage*, 5*stage* dan 7 *stage* saat diberi beban R, RL dan RC masih menghasilkan nilai persentase THD diatas 17%.
4. Bentuk gelombang yang dihasilkan pada *multilevel inverter* merupakan resultan dari tiap tingkat inverter sehingga nilai tegangan *output (Vout)* adalah resultan *Vout* dari tiap tingkat inverter penyusunnya.

5. Pengaruh beban resistif (R) pada gelombang keluaran *multilevel inverter* yaitu meredam tingkat gelombang karena karakteristik beban R yang mengkonsumsi energi listrik. Dimana beban R merubah bentuk gelombang namun tidak menyebabkan pergeseran fasa arus atau tegangan.
6. Pengaruh beban kapasitif (C) pada gelombang harmonisa yaitu memperkecil nilai THDv pada gelombang keluaran inverter. Namun tidak memperkecil nilai THDi karena beban C hanya memotong *ripple* gelombang tegangan. Berlaku sebaliknya pada pengaruh beban induktif (L).
7. Metode analisis Fourier dapat digunakan untuk menganalisa besarnya nilai THD pada *multilevel inverter* dengan pembacaan bentuk gelombang yang dihasilkan untuk menentukan nilai konstanta *Fourier*.
8. Besarnya *error* data *Simulink* MATLAB terhadap analisa manual dengan metode analisis Fourier pada penelitian ini yaitu sebesar 0.11% pada sampel gelombang *multilevel inverter 3 stage* beban R 100ohm.

5.2 Saran

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

1. Untuk mengaplikasikannya masih perlu adanya penambahan filter pada keluaran *multilevel inverter* untuk meredam gelombang harmonisa yang dihasilkan agar tidak merusak peralatan listrik yang digunakan.
2. Perlunya pengembangan pemrograman pada *Function* MATLAB untuk dapat melakukan analisis gelombang harmonisa dengan metode Fourier agar dapat membaca secara *realtime* saat melakukan *run* program matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Lopez, R. Teodorescu, F. Freijedo and J. DovalGandoy, "*Leakage current evaluation of a singlephase transformerless PV inverter connected to the grid,*" *APEC 07 - Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Anaheim, CA, USA, 2007, pp. 907-912
- [2] Aptono Tri Yuwono, E, Warsito. A, dan Facta. M. "Inverter Multi Level Tipe Jembatan Satu Fasa Tingkat Dengan Mikrokontroler AT89S51". *E-Jurnal UNDIP*, 2011, Vol. 13, No. 4; pp.135-140
- [3] W. Hart, D. "*Power Electronic*". McGraw-Hill Companies, New York, 2011
- [4] H. Rashid, M. "*Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications (2nd Edition)*". Prentice Hall, New York, 1993
- [5] Kocalmis Bilham. A, Akbal. E. "*Modeling and Simulation of Two-Level Space Vector PWM Inverter Using Photovoltaic Cells As DC Source*". *International Journal Of Electronic*, 2015, Vol. 2, No. 4, pp. 311-317.
- [6] E. Johnson. D, R. Johnson. J, L. John. H." *Electric Circuit Analysis*". Prentice Hall, New Jersey, 1989