

TUGAS AKHIR

**OPTIMALISASI DAYA PEMBANGKIT TENAGA SURYA
MENGUNAKAN TPVI (TRANSFORMERLESS
PHOTOVOLTAIC INVERTER)**

*Diajukan Sebagai Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Program Strata-1
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

Muhammad Ardiansyah

1607220084



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ardiansyah

NPM : 160722084

Program Studi: Teknik Elektro

Judul Skripsi : Optimalisasi Daya Pembangkit Tenaga Surya Menggunakan
TPVI (*Transformerless Photovoltaic Inverter*)

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 05 Oktober 2021

Mengetahui dan Meyetujui :

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



Partaonan Harahap, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro



Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad ardiansyah
Tempat /Tanggal Lahir : Perdamaian/03 Agustus 1998
NPM : 1607220084
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Optimalisasi Daya Pembangkit Tenaga Surya Menggunakan TPVI (Transformerless Photovoltaic Inverter)”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 Agustus 2021

Saya yang menyatakan,



Muhammad Ardiansyah



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD ARDIANSYAH

NPM : 1607220084

Judul Tugas Akhir : **OPTIMALISASI DAYA PEMBANGKIT TENAGA SURYA MENGGUNAKAN TVPI (TRANSFORMERLESS PHOTOVOLTAIC INVERTER)**

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	25/6/2020	Penyerahan Surat bimbingan Dosen	
	5/7/2020	Bimbingan proposal BAB I	
	15/7/2020	Bimbingan proposal BAB II	
	25/7/2020	Lanjutan bimbingan BAB II	
	5/8/2020	Bimbingan pembuatan proposal BAB II	
	8/8/2020	UCC sempoa 8/8 2020	

Pembimbing I

Rimbawati., S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD ARDIANSYAH
NPM : 1607220084
Judul Tugas Akhir : OPTIMALISASI DAYA PEMBANGKIT TENAGA SURYA MENGGUNAKAN TVPI (TRANSFORMERLESS PHOTOVOLTAIC INVERTER)

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	08/08/20	- Jelaskan Rumusan Masalah - Batasan Masalah Perbaiki	
	09/08/20	- Perbaiki Bab II	
	15/09/20	- Tambah Jurnal - Rancangan Sistem	
	30/09/20	- Flow chart Perbaiki	
	15/01/20	- Tambah gambar hasil - Perbaiki Kesimpulan & saran	
		UCC Seminar Hasil 26/10 2020	
		UCC sidang 21/8 2021	

Pembimbing I

Rimbawati., S.T., M.T

ABSTRAK

Transformerless photovoltaic inverter (TPVI) merupakan jenis *inverter* yang di rancang tanpa menggunakan *transformator* pada keluaran *inverter*, sebagai gantinya rangkaian *L-C filter* dipilih menjadi *filter* untuk menyempurnakan gelombang. Dalam mengubah tegangan DC menjadi keluaran AC *inverter* kali ini memanfaatkan modulasi gelombang MPWM (*multiple pulse width modulation*) yaitu teknik penggandaan keluaran PWM per setengah siklus, dengan lebar sinyal berbeda berdasarkan nilai indeks modulasi dari gelombang sinusoidal yang diinginkan. Inverter dengan metode MPWM dapat menghasilkan tegangan dengan mengubah lebar pulsa dan keluaran tegangan AC tergantung pada frekuensi *switching transistor* pada rangkaian *full bridge*. Perancangan sistem TPVI terbagi atas tiga bagian besar yaitu perancangan *pulse drive cicuit*, *full bridge circuit* dan *L-C filter circuit*. Pada modulasi yang dilakukan dengan metode MPWM jumlah gelombang PWM yang di hasilkan adalah sebesar 160 dengan V_{pp} nilai 0,006 v dan frekuensi sebesar 45,45 hz. Modulasi tersebut berhasil dilakukan pada rangkaian *full bridge* dengan menghasilkan gelombang sinusoidal yang siap di sempurnakan menggunakan *L-C filter* dengan besar tegangan rata-rata 14,05 v dan frekuensi *switching* sebesar 58,82 hz serta adanya selisih tegangan yang timbul senilai 1,18 v. Pada proses *filter* tegangan di pilih nilai kapasitor sebesar 100 μF dan *inductor* senilai 47 mH yang di anggap dapat menyempurnakan bentuk gelombang menjadi sinusoidal murni.

Kata Kunci : PLTS, MPWM, *Full Bridge Inverter*, *L-C Filter*

ABSTRACT

Transformerless photovoltaic inverter (TPVI) is a type of inverter that is designed without using a transformer at the output of the inverter, instead the L-C filter circuit is selected as a filter to improve the waveform. In converting DC voltage to AC output, this time the inverter utilizes MPWM (multiple pulse width modulation) wave modulation, which is a technique of doubling the PWM output per half cycle, with different signal widths based on the modulation index value of the desired sinusoidal wave. The inverter with the MPWM method can generate a voltage by changing the pulse width and the AC output voltage depending on the switching frequency of the transistor in a full bridge circuit. The design of the TPVI system is divided into three major parts, namely the design of the pulse drive circuit, the full bridge circuit and the L-C filter circuit. In the modulation carried out by the MPWM method, the number of PWM waves produced is 160 with a V_{pp} value of 0.006 v and a frequency of 45.45 hz. The modulation was successfully carried out in a full bridge circuit by producing a sinusoidal wave that is ready to be perfected using an L-C filter with an average voltage of 14.05 v and a switching frequency of 58.82 hz and a voltage difference that arises of 1.18 v. In the voltage filter process, the capacitor value is 100 μ F and the inductor is 47 mH which is considered to be able to perfect the waveform to be pure sinusoidal.

Keyword : PLTS, MPWM, Full Bridge Inverter, L-C Filter

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Optimalisasi Daya Pembangkit Tenaga Surya Menggunakan TPVI (Transformerless Photovoltaic Inverter)**” dengan lancar. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tugas akhir ini tidak mungkin tersusun dengan baik dan benar tanpa adanya bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT dengan segala Rahmat serta karunianya yang memberikan kekuatan, pengetahuan, kesabaran, serta kesehatan lahir batin pada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Kepada kedua orang tua penulis, yakni Ayahanda Misnarto dan Ibunda Supiyanti yang tercinta tanpa lelah mengasuh, mendo'akan, membimbing dan mendukung dalam situasi apapun juga senantiasa berada di sisi penulis memberi dukungan moral dan material sejak nol hingga saat ini yang sampai sekarang belum dapat penulis bahagiakan.

3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T ,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., S.Pd., M.T, selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap S.T., M.T, selaku Ketua Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibunda Rimbawati S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang sangat menyusahkan ini, serta selaku tempat memberi segala solusi baik dalam urusan ekonomi dan beban hidup.
7. Saudara penulis Muhammad Hakan Qowi dan Raisa Azzahara yang telah memberikan bantuan berupa dukungan moral dan selalu menghibur takkala penulis dalam kondisi tertekan yang sangat membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Staf Pengajar/Pegawai Program Studi Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
9. Duta Udon Indonesia yaitu Putri Mekar Insani Simajuntak S.Si yang selalu mendukung segala kegiatan penulis.Terima kasih juga selama ini telah banyak di repotkan dan dalam keadaan yang sesadar-sadarnya selalu membantu, menemani juga mendengar semua keluhan penulis dalam keadaan apapun, serta selalu memberikan motivasi-motivasi keramat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

10. Sahabat seperjuangan keluarga besarkelas A-1 pagi Fatek Elektro UMSU stambuk 2016 yang telah menerima dan membawa cerita baru dalam hidup penulis, serta memberikan banyak pelajaran tentang arti persahabatan juga telah berbagi pengalaman pahit dan berharga selama ini. Ucapan terima kasih juga Terkhusus penulis ucapkan kepada sahabat-sahabat yang sangat disiplin dalam mengerjakan segala hal yang ucapannya senantiasa indah jika didengar telinga yaitu Ridho Ananda S.T ,Wira Agus Lexmana S.T, Heri Setiadi S.T, Aslam Ridho Effendy S.T,Andre Dwicahyo S.T dan Agung Tajali Ramadhan S.T, sehingga menjadi tauladan bagi penulis,terimakasih telah menjadi sahabat terbaik bagi Penulis yang telah banyak sekali membantu dan berbagi kisah selama ini.Ada banyak hal yang ingin penulis curahkan namun tragedi malam hujan badai yang menyadarkan penulis dan Ridho Ananda bahwasanya Allah maha pengasih lagi maha penyayang, trauma tersebut tidak akan pernah penulis lupakan sampai kapan pun.
11. Bapak Juman, selaku ketua BUMDes Pematang Johar.
12. Abangda dan adik- adik keluarga besar Ikatan Mahasiswa Teknik Elektro, yang telah memberikan banyak ilmu dan membuka pola fikir penulis dalam hidup serta banyak mengajarkan pelajaran berharga baik dalam hal kekeluargaan, akademik, tanggung jawab dan agama yang banyak mengubah penulis menjadi pribadi yang lebih baik.
13. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 24 Juli 2021

Penulis,

MUHAMMAD ARDIANSYAH

NPM. 1607220084

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5 Sistematika Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan pustaka relevan.....	6
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 Radiasi Matahari (<i>Solar Irradiation</i>).....	12
2.2.2 Potensi Sinar Radiasi Matahari (<i>Solar Radiation Potential</i>)	14
2.2.3 <i>Solar Irradiation Application</i>	17
2.2.4 <i>Solar Photovoltaic</i>	20
2.2.5 <i>Transformerless Photovoltaic Inverter</i>	22
2.2.6 <i>Pulse Width Modulation Technique</i>	25
2.2.7 <i>Single Pulse Width Modulation</i>	28
2.2.8 <i>Multiple Pulse Width Modulation</i>	29
2.2.9 <i>Mickrokontroller Arduino Nano</i>	31
2.2.10 <i>Arduino IDE</i>	35
2.2.11 <i>Smart Sine</i>	36
2.2.12 <i>Metode Full Bridge</i>	37
2.2.12.1 <i>Transistor Mosfet</i>	39

2.2.13 <i>Software Proteuse</i>	42
2.2.14 <i>L-C Filter</i>	42
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	45
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	45
3.3 Bagan Alir Penelitian	46
3.4 Prosedur Penelitian.....	47
3.4.1 Pengumpulan Data.....	47
3.4.2 Analisis Bahan Dan Sistem.....	48
3.5 Perancangan Sistem	54
3.5.1 Perancangan <i>Pulse Drive Circuit</i>	55
3.5.2 Perancangan <i>Soft Ware Pulse Drive Circuit</i>	56
3.5.3 Perancangan <i>Full Bridge Inverter</i>	57
3.5.4 Perancangan <i>Hardware Rangkaian Full Bridge</i>	59
3.5.5 Perancangan <i>L-C Filter</i>	60
3.6 Simulasi Dan Pengujian Alat	60
3.6.1 Simulasi Sistem Mpwm Tpvi Menggunakan <i>Software Proteuse</i>	61
3.6.2 Pengujian Sistem Mpwm Tpvi	62
3.8 Flowchart Sistem TPVI.....	65
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1 Hasil penelitian.....	66
4.1.1 Hasil Simulasi Dan Pengujian <i>Pulse Drive Circuit</i>	66
4.1.2 Hasil Simulasi Dan Pengujian <i>Rangkaian Full Bridge</i>	75
4.1.3 Hasil Simulasi Dan Pengujian <i>L-C Filter</i>	83
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	88
5.1 Kesimpulan	88
5.2 Saran.....	89

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 H6 Inverter	8
Gambar 2.2 Radiasi Sorotan Dan Radiasi Sebaran Yang Mengenai Permukaan Bumi	13
Gambar 2.3 Panel Surya Disusun Secara Seri	20
Gambar 2.4 Desain Dasar Dari Inverter.....	22
Gambar 2.5 Gelombang Output Yang Di Hasilkan Oleh Masing-masing Inverter	24
Gambar 2.6 Pembentukan Sinyal PWM Dengan Membandingkan Sinyal Gergaji	26
Gambar 2.7 Perubahan <i>duty cycle</i>	27
Gambar 2.8 Modulasi PWM Berdasarkan Indeks Modulasi (0,8).....	28
Gambar 2.9 <i>Single Pulse Modulation</i>	28
Gambar 2.10 Gelombang Pulsa Dengan Nilai Priode Dan <i>Duty Cycle</i>	30
Gambar 2.11 <i>Multiple Pulse Width Modulation</i>	31
Gambar 2.12 <i>Arduino Nano</i>	32
Gambar 2.13 <i>Software Arduino IDE</i>	36
Gambar 2.14 <i>Software Smart Sine</i>	37
Gambar 2.15 Topologi Dasar Dari Prinsip <i>Full Bridge</i>	37
Gambar 2.16 <i>Full-Bridge Transformerless Inverter</i>	38
Gambar 2.17 Mosfet.....	40
Gambar 2.18 (a). <i>N-Chanel Depletion</i> (b). <i>P-Chanel Depletion</i>	40
Gambar 2.19 (a). <i>N-Chanel Enhancement</i> (b). <i>P-Chanel Enhancement</i>	41
Gambar 2.20 Tampilan Dari <i>Software Proteus</i>	42
Gambar 2.21 Hasil filter gelombang dengan nilai L=100 mH dan C=100 μ F.....	43
Gambar 2.21 Desain <i>L-C Filter</i> Yang Diterapkan Dengan Metode <i>Full Bridge</i>	44
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	45
Gambar 3.2 Block Diagram Alur Penelitian	47

Gambar 3.3 Arduino Nano.....	49
Gambar 3.4 Transistor <i>Mosfet</i> IRF5210.	50
Gambar 3.5 Transistor <i>Mosfet</i> IRF1010.	50
Gambar 3.6 IC TC4427.....	51
Gambar 3.7 Dioda IN4007.....	51
Gambar 3.8 Resistor.....	51
Gambar 3.9 Kapasitor	52
Gambar 3.10 Induktor.....	52
Gambar 3.11 Heatsink.....	53
Gambar 3.12 Papan PCB	53
Gambar 3.13 Terminal block	53
Gambar 3.14 Block Diagram Keseluruhan Komponen	54
Gambar 3.15 Skema Rangkaian <i>Transformerless Photovoltaic Inverter</i>	55
Gambar 3.16 Skema Rangkaian <i>Pulse Drive Circuite</i>	55
Gambar 3.17 Program Modulasi Sinyal Pulsa	57
Gambar 3.18 Skema Perancangan Rangkaian <i>Full Bridge Inverter</i>	58
Gambar 3.19 PCB Layout Rangkaian <i>Full Bridge</i>	58
Gambar 3.20 <i>Proses Print Layout</i>	59
Gambar 3.21 Hasil Pelarutan Klorida.....	59
Gambar 3.22 Skema Rangkaia <i>L-C Filter</i>	60
Gambar 3.23 Simulasi <i>Pulse Drive Circuite</i>	61
Gambar 3.24 Simulasi Rangkaian <i>Full Bridge</i>	62
Gambar 3.25 Pengujian <i>Pulse Drive Circuite</i>	63
Gambar 3.26 Rangkaian <i>Full Bridge Beserta L-C Filter</i>	64
Gambar 3.27 Flowchart Sistem <i>Full Bridge Transformerless Photovoltaic Inverter</i>	65
Gambar 4.1 Hasil Simulasi <i>Pulse Drive Circuit</i>	67
Gambar 4.2 Hasil Simulasi <i>Software Smart Sine</i>	69
Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Sinus Berdsarkan Pulsa Yang Dihasilkan....	70
Gambar 4.4 Perbandingan Pengaruh Nilai Indeks Terhadap Bentuk Gelombang PWM.....	74
Gambar 4.5 Simulasi Rangkaian Full Bridge	75

Gambar 4.6 Ilustrasi Sistem Kerja Rangkaian <i>Full Bridge</i>	76
Gambar 4.7 Kondisi Perubahan Pada Rangkaian <i>Full Bridge</i>	75
Gambar 4.8 Kondisi Perubahan Pada Rangkaian <i>Full Bridge</i>	77
Gambar 4.9 Kondisi Perubahan Pada Rangkaian <i>Full Bridge</i>	77
Gambar 4.10 Kondisi Perubahan Pada Rangkaian <i>Full Bridge</i>	77
Gambar 4.11 Perbandingan Square Wave Dan Modified Square Wave	78
Gambar 4.12 Hasil Modulasi <i>Modified Square Wave</i> Menggunakan Metode MPWM Pada Output (a)..	79
Gambar 4.13 Hasil Modulasi Modified Square Wave Menggunakan Metode MPWM Pada Output (b).....	80
Gambar 4.14 Hasil Modulasi MPWM Pada Modified Square Wave	82
Gambar 4.15 Hasil Gelombang Sinus Dengan Nilai (a) dan (b) $C = 80 \mu\text{F}$ dan $L = 30 \text{ mH}$	84
Gambar 4.16 Hasil Gelombang Sinus Dengan Nilai (a) dan (b) $C = 80 \mu\text{F}$ dan $L = 40 \text{ mH}$	85
Gambar 4.17 Hasil Gelombang Sinus Dengan Nilai (a) dan (b) $C = 100 \mu\text{F}$ dan $L = 47 \text{ mH}$	87
Gambar 4.18 Hasil filter gelombang dengan nilai $L = 100 \text{ mH}$ dan $C = 100 \mu\text{F}$	87

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Konfigurasi Pin Arduino Nano	35
Table 3.1 Alat Yang Digunakan.....	45
Table 3.2 Bahan - Bahan	46
Table 4.1 Tabel Hasil Pengujian Modulasi Gelombang Mpwm	73
Table 4.2 Tabel Switch Mosfet	76
Table 4.3 Tabel Hasil Pengujian Modulasi Rangkaian Full Bridge.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan sumber energi adalah masalah paling mendasar bagi pengembangan dan kesejahteraan masyarakat saat ini pada saat ini pengolahan sumber tenaga listrik masih menggunakan metode tradisional dan menggunakan bahan bakar fosil hal ini dirasa kurang efektif. Akibatnya muncul dua masalah utama yaitu sumber energi dan polusi yang dihasilkan dari residu sumber konvensional yang ada. Mempertimbangkan hal tersebut perlu dilakukannya pergantian sumber daya yang ada dengan menggunakan energi alternatif dan terbarukan yang ramah lingkungan. Mengingat masyarakat dan industri menuntut semakin banyaknya pemakain sumber daya listrik.

Pada kali ini sumber energi terbarukan yang di maksud meliputi energi surya, tenaga angin, arus air dan panas bumi yang ramah lingkungan serta merupakan proses alam yang jumlahnya tidak terbatas. Diketahui pada saat ini sebagian besar energi listrik di Indonesia masih berasal dari bahan bakar fosil, dimana pembangkit listrik tenaga uap merupakan penyumbang energi terbesar dari pembangkit lain yaitu sekitar 50% (Halim 2017). Pada kali ini peneliti melihat bahwasanya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu dari energi terbarukan yang paling mudah untuk dikonversikan menjadi energi listrik yang sumbernya berasal dari tenaga surya. Pembangkit listrik tenaga surya adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (*photovoltaic*) untuk mengubah radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga listrik dengan sistem *photovoltaic* memiliki tingkat

pertumbuhan yang sangat cepat karena dalam pemasangannya biaya yang dibutuhkan terus menurun sehingga menjadi sumber energi terbarukan yang kompetitif di antara sumber energi lainnya. Pada tahun 2017 diketahui tenaga surya yang terhubung ke jaringan ada sebesar 99,1 GW dan diperkirakan akan meningkat sebesar 1 TW pada tahun 2022 nantinya (Akpinar, 2018).

Namun, dalam proses pembangkitan listrik yang ada pada PLTS tersebut membutuhkan sebuah sistem kendali dan sebuah *solar inverter* untuk menghasilkan arus listrik yang nantinya dapat digunakan pada beban-beban listrik yang ada. *Solar inverter* adalah salah satu komponen utama pada sistem PLTS agar dapat menghasilkan daya yang dapat dikonsumsi oleh beban-beban yang ada nantinya. Solar inverter berfungsi untuk merubah tegangan DC yang dihasilkan oleh PLTS, menjadi AC sehingga nantinya dapat di suplai ke arah beban. Dalam hal ini diperlukan sistem kendali yang andal dalam proses perubahan inverter agar tegangan yang dihasilkan berkualitas (Fortunato *dkk.*, 2008).

Menurut perkembangan pada saat ini, inverter dapat dibagi menjadi tiga kelompok sesuai dengan opsi frekuensi yang ada yaitu 50 Hz *low frekuensi transformer*, 60 Hz *high frekuensi transformer* dan *transformerless inverter*. Keluaran suatu *inverter* adalah tegangan AC dengan bentuk gelombang yang berbeda-beda yaitu dapat berupa gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan gelombang sinus modifikasi (*sine wave modified*) (Husnaini 2019). Pada dasarnya sistem *photovoltaic* terdiri dari panel *photovoltaic* dan tahap perubahan daya. Dalam beberapa tahun terakhir sistem *photovoltaic* tanpa *transformator* banyak disarankan karena lebih efisien dari segi biaya, berat, dan ukuran. Namun demikian, masalah keselamatan dan arus bocor pada panel PV

melalui tanah adalah kelemahan utama dari menghilangkan transformator tersebut.

Tidak adanya transformator yang digunakan pada PV *inverter* dapat menghasilkan koneksi galvanic sehingga timbul arus bocor (Das dan Scholar, 2017). Masalah yang di timbulkan oleh arus bocor dapat mengarah kepada perubahan gelombang elektromagnetik, distorsi harmonik hingga masalah keamanan. VDE 0126-1-1 menetapkan bahwa sistem PV yang terpasang harus diputuskan dari jaringan dalam waktu 0,3 detik jika arus bocor yang ada melebihi 300mA. Oleh sebab itu, sangat penting untuk mengurangi arus bocor yang terjadi untuk memenuhi standar VDE 0126-1-1 (Guo, 2017). Telah terbukti bahwa kebocoran arus yang terjadi sangat tergantung pada CMV (*Common Mode Voltage*), dalam proses penghilangan arus bocor sepenuhnya, CMV haruslah konstan sepanjang inverter beroperasi. Selain itu, inverter juga harus mampu menyuntikkan sejumlah daya reaktif ke dalam grid untuk menghilangkan arus bocor dan menghasilkan gelombang sinusoida (Ahmad dan Singh, 2018).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Asriyadi, sumber energi baru dan terbarukan ramah lingkungan yang digunakan adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terintegrasi dengan sistem kelistrikan yang bersumber dengan PLN (*On Grid*) dengan *Back Up Battery* karena potensi sumber energi matahari yang tersedia melimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia (Asriyadi *dkk*, 2016). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peralatan yang dibutuhkan untuk mendukung sistem kelistrikan. PLTS *On Grid* 1500 Watt dengan *Backup Battery* adalah 6 buah *Photovoltaic* berkapasitas 250 Wp, *Solar Charge*

Controller jenis MPPT berkapasitas 1500 Watt, AKI basah 2 x 100 Ah dan 2 x 60 Ah dengan tegangan 24 Volt dan kapasitas 160 Ah, Inverter jenis *Pure Sine Wave* dengan kapasitas 1500 Watt dan KWH meter jenis piringan dengan 2 arah putaran (Naim dan Wardoyo, 2017). Persyaratan untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga surya memiliki radiasi matahari diatas 3 kWh/m². Dari data BMKG menyatakan bahwa Desa Pematang Johar memiliki radiasi matahari 4,5 kWh/m² sehingga sangat layak untuk dibangun PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di desa tersebut (Rimbawati, Siregar, Mohammad, and Qamari 2021).

Berdasarkan uraian di atas, Tugas Akhir ini akan dirancang sebuah teknologi tepat guna berupa *Transformerless Photovoltaic Inverter (TPVI)* akan di aplikasikan pada sistem PLTS *On-Grid* yang berada pada Desa Pematang Johar. TPVI yang dibuat akan memiliki fitur *pure-sine waved* dan regulasi *output* yang baik dengan cara modulasi melalui gelombang sinusoidal berupa *multiple pulse wave modulation (MPWM)*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana penerapan sistem MPWM TPVI untuk membangkitkan sebuah gelombang tegangan sinusoidal ?
2. Bagaimana pengaruh dari rangkaian *L-C filter* terhadap perubahan bentuk gelombang yang di hasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan penerapan sistem MPWM TPVI untuk membangkitkan gelombang sinusoidal.
2. Mengetahui pengaruh dari rangkaian *L-C filter* terhadap perubahan bentuk gelombang yang di hasilkan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan simulasi dan pengujian dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Melakukan penerapan sistem untuk membangkitkan sebuah gelombang tegangan sinusoidal menggunakan modulasi MPWM pada rangkaian *full bridge inverter*.
2. Modulasi MPWM pada rangkaian *full bridge* akan dilakukan melalui simulasi menggunakan *software Proteuse*.
3. Menentukan nilai dari rangkaian *L-C filter* sebagai pengganti *transformator* dalam sistem TPVI melalui simulasi yang dilakukan menggunakan *software Proteuse*.
4. Penentuan nilai dari *L-C filter* akan dilakukan secara manual dengan menggunakan simulasi dari *software Proteuse*.

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir yang disusun memiliki sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan merupakan bagian pertama yang menjabarkan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dari pengamatan yang dilakukan, dan sistematis penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas penjelasan tentang teori dasar yang digunakan pada pembuatan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas hasil pengujian alat dan menganalisa hasil percobaan dari alat tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan penulis tentang optimalisasi daya pembangkit tenaga surya menggunakan TPVI (*transformerless photovoltaic inverter*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

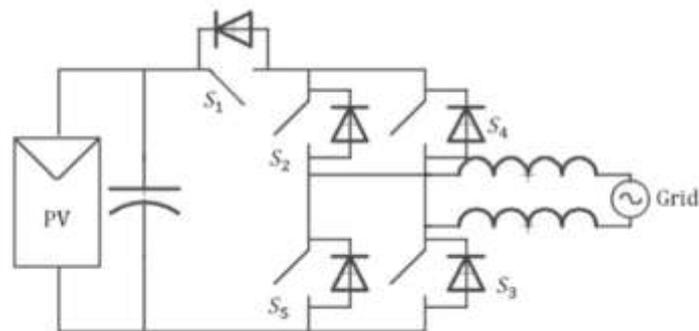
Belakangan ini studi tentang *transformerless photovoltaic inverter* yang terhubung ke jaringan telah mengalami peningkatan adapun aspek utama yang perlu diperhatikan dalam perancangan *inverter* tersebut adalah pola *switching*, topologi, filter, dan juga pengontrol. Kurangnya *transformator* pada inverter yang digunakan antara panel PV dapat menghasilkan koneksi galvanik dengan demikian timbul masalah berupa arus bocor, pengaruh dari kapasitansi dalam sistem *photovoltaic* yang menggunakan sistem *grounding* menimbulkan masalah yang sama. Dengan mengandalkan sistem *three-phase inverter*, *output L-C filter* serta di dukung dengan *inductor current control* memungkinkan untuk mengurangi arus bocor dari kapasitor yang ada pada panel PV. Ditemukan juga bahwa *Common Mode Voltage (CMV)* harus tetap konstan dengan demikian arus bocor yang ada dapat dikurangi (Das dan Scholar, 2017) dan (Espitia dkk., 2018).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad dan Singh, 2018) menjelaskan bahwa efek dari kapasitor terhadap banyaknya kebocoran arus sangat berpengaruh selama kondisi tegangan dari inverter sama dengan nol. Dalam beberapa topologi menggunakan metode *clamping* pada (CMV) yang di masukkan saat sumber tegangan DC *link* dalam kondisi tegangan inverter bernilai nol (*zero voltage stade of inverter*), sehingga arus bocor dapat dikurangi menjadi nilai yang sangat rendah dan tanpa terpengaruh oleh *junction capasitor*. Berikut adalah hasil analisis dari kinerja *transformerless* inverter menggunakan topologi H6 pada Matlab/Simulink yang di dapat adalah:

- a. *Total harmonic distortion* (THD) dari topologi yang digunakan berada dalam batas yang ditentukan dan mematuhi peraturan internasional di berbagai tingkat iradiasi surya sebesar (100-1000 W/), hal ini karena menggunakan modulasi sepeenuh unipolar dan metode *clamping* pada CMV. *Total harmonic distortion* yang di hasilkan lebih dari 5% pada tingkat radiasi matahari rendah, yang akan mengurangi pembangkitan listrik secara signifikan.
- b. Tidak diperlukan filter CMV tambahan untuk membatalkan efek sakelar kapasitor *junction*. Hal ini dapat meningkatkan kepadatan daya dan menghemat biaya serta dapat menghasilkan sistem PV yang terkoneksi dengan kinerja tinggi.

Sementara itu keluaran gelombang sinusoida dari *inverter* dikendalikan dengan menggunakan modulasi lebar pulsa (SPWM) dalam prosesnya. Untuk membangkitkan gelombang sinusoida pada inverter ini tergantung pada pengkopelan DC link dari sisi tegangan AC, selama level tegangan dalam keadaan nol dari tegangan *output inverter*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Qingyun Huang dan Qingxuan Ma, 2018) tentang *single phase dual mode four-switch transformerless pv inverter* di dapatkan hasil bahwa tegangan DC link untuk inverter yang disarankan harus lebih tinggi dua kali dari amplitudo tegangan grid dengan inverter berbasis setengah jembatan. Perpindahan yang halus diwujudkan dengan menerapkan metode SPWM unipolar *dual mode carrier* sehingga arus grid dapat dikontrol sebagai sinusoidal murni. Dalam keadaan faktor daya yang berbeda, penggunaan kapasitor penghubung DC tunggal disarankan sehingga dapat menghilangkan kemungkinan resonansi yang terjadi

terhadap *junction capacitor* dan osilasi pada CMV. Untuk meningkatkan performa dari *inverter* dengan topologi H6 seperti pada gambar 2.1 perlu digunakan dua kapasitor penghubung DC tunggal untuk diterapkan demi menghilangkan ketidakseimbangan voltase dan mengurangi kegagalan kapasitor elektrolitik dalam sistem. Dalam hal ini inverter sepenuhnya kompatibel dalam menggunakan *switching unipolar* sehingga penggunaan metode PWM sangat efektif dalam membangkitkan gelombang sinus yang ada dalam sistem (Akpinar 2018).



Gambar 2.1 H6 inverter

(Jana dkk, 2017)

Dasar dari topologi inverter bertingkat (*multilevel inverter*) terletak pada komponen semikonduktor dan komponen pasif inverter yang di atur sedemikian rupa sehingga level tegangan DC yang diperoleh sebesar tiga atau lebih pada output konverter daya. Inverter (*zero voltage transition*) ZVT-PWM mengalami tegangan dan arus yang relatif rendah. Konverter PWM dengan metode *hard-switching suffer* digunakan untuk mengurangi kerugian switching yang tinggi. Dalam hal ini baik perangkat *switching* aktif dan pasif beroperasi dengan *zero voltage switching* (ZVS), kedua perangkat *switching* menggunakan tegangan minimum dan tekanan arus yang sama dengan yang ada pada perangkat PWM

tersebut. Hal tersebut merupakan keunggulan dari metode PWM konvensional dan *hard-switching* inverter (Jana dkk, 2017).

Dalam pendesainan *filter output* pada PWM-voltage source inverter (VSI) dengan sistem fasa tunggal perlu mempertimbangkan respon dari pengontrol yang ada. Proses transfer tegangan output dari *uninterruptible power supply* (UPS) ke arus beban terjadi pada umumnya terjadi dalam waktu yang konstanta. Proses ini melibatkan kapasitansi *filter* sehingga menyebabkan respons kontrol terjadi. Menggunakan desain prosedur dari *L-C low pass filter* pada sistem PWM-VSI yang sangat sangat disarankan oleh (Kim dkk, 2000), hal ini dikarenakan kita dapat menentukan nilai *filter L-C* tanpa perlu mengganti-ganti nilai dari *L-C* tersebut secara konvensional ketika kita merancang pengontrol sistem. *Single phase transformerless full-bridge H6 inverter* memiliki efisiensi konversi dan distribusi tegangan termal yang sangat baik yang di dukung dengan adanya metode *full-bridge* hal ini disebabkan oleh adanya pemanfaatan sistem SPWM unipolar yang diterapkan secara terpisah (Li Zhang dkk, 2013). Menurut standard VDE-AR-N 4105, grid dari PV inverter dengan peringkat daya di bawah 3.68KVA, harus mendapatkan faktor daya (PF) sebesar 0,95 leading hingga 0,95 lagging dalam hal ini digunakan Mosfet yang berperan sebagai sakelar *switching* hal ini bertujuan untuk pemulihan balik pada inverter ketikaterjadi proses penyuntikkan daya reaktif demi meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. Riak amplitudo di modul PV tidak boleh lebihdari 3,0 V agar efisiensi yang dicapai sebesar 98%. Di sisi lain penempatan kapasitor di sarankan untuk diletakkan pada DC link dimana nilai tegangan yang ada tinggi dan fluktuasi besar. Kapasitor

elektrolit harus diganti dengan kapasitor film untuk meningkatkan keandalan karena adanya tegangan yang besar (Kjaer dkk, 2005).

Dalam perancangan inverter kali ini suatu teknik modulasi lebar pulsa ganda (MPWM) diterapkan dalam sistem *transformerless photovoltaic inverter* (TPVI) yang diharapkan dapat menghasilkan gelombang tegangan sinusoida murni dan meningkatkan kinerja inverter. Hal ini terdiri karena adanya rangkaian pembangkit gelombang pulsa untuk menggerakkan empat buah *mosfet* dalam rangkaian inverter jembatan penuh (*full bridge inverter*). Namun dari hasil modulasi tersebut masih menghasilkan gelombang sinus yang belum sempurna untuk itu perlu dilakukannya penerapan rangkaian *L-C filter* sehingga bentuk gelombang tegangan sinusoida murni didapat pada rangkain inverter kali ini. Dalam pemodelan simulasi sistem MPWM TPVI akan dirancang menggunakan *Proteuse*, untuk menunjukkan hasil kinerja modul PV yang merupakan sumber tegangan DC utama dari sistem MPWM TPVI, perlu dilakukan validasi terlebih dahulu pada lembar data modul PV. Dalam simulasi sistem MPWM TPVI Pengoperasian sistem tersebut tergantung pada radiasi matahari dan suhu. Jika radiasi matahari meningkat, maka kinerja sistem TPVI MPWM juga meningkat, berbanding terbalik jika radiasi matahari menurun, maka kinerja sistem TPVI MPWM juga menurun (Masri M dkk, 2020).

2.2 Landasan Teori

Di Indonesia sendiri yang terletak di daerah tropis ini memiliki suatu keuntungan yang cukup besar yaitu penyinaran matahari yang terjadi berkesinambungan sepanjang tahun (Hasan 2012). Tidak diragukan lagi bahwa energi surya adalah salah satu energi yang ramah lingkungan dan sangat

menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, dan juga sumber energinya banyak tersedia di alam (Rahayuningtyas 2014).

Matahari mempunyai diameter sebesar $1,39 \times 10^9$ m, bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellips dengan matahari berada pada salah satu pusatnya. Jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan waktu tempuh sinar matahari sampai ke permukaan bumi sekitar 8 menit 20 detik. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat berperan penting dalam berbagai aspek terutama dalam pengaplikasi solar sel sebagai pembangkit listrik terbarukan. Indonesia merupakan negara yang mendapatkan cahaya matahari berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 4,5-4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Asupan energi surya yang di terima oleh permukaan bumi diperkirakan dapat mencapai 3072 joel pertahun. Jumlah energi itu sama dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini (Subekti dkk, 2015). Informasi mengenai potensi matahari merupakan hal yang sangat penting dalam perancangan pemanfaatan energi matahari khususnya untuk diterapkan pada PLTS sebagai energi listrik alternatif yang ramah lingkungan (*photovoltaiv, solar concentrator, solar collector*) (Mubiru dan Banda, 2008), dalam jurnal (Rifai dkk, 2014).

Teknologi photovoltaiv (PV) sangat didukung di berbagai Negara maju bahkan di daerah dengan radiasi matahari rendah seperti Eropa Utara yang sangat banyak mengembangkan teknologi tersebut. Hal ini bukan tanpa alasan, dilihat dari perspektif efisiensi biaya, di dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya seperti pembangkit listrik tenaga nuklir atau gas bumi yang mengeluarkan biaya

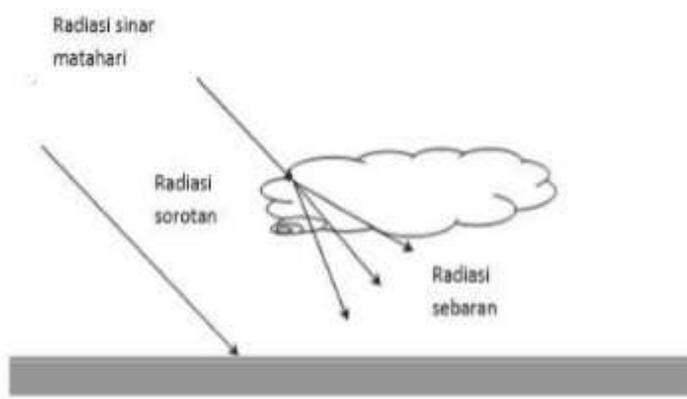
sebesar 75 per MWh, tentu itu merupakan harga yang mahal mengingat harga tersebut belum termasuk pemasangan jalur distribusi serta instalasi perumahan. Dengan adanya sistem *photovoltaic* menyebabkan adanya peralihan terhadap pemasangan instalasi listrik yang ada. Masyarakat lebih memilih menggunakan *photovoltaic* karena memerlukan biaya pemasangan lengkap beserta instalasi sebesar €300 hingga €450 per MWh di daerah dengan radiasi matahari rendah (Laleman dkk, 2011).

Melimpahnya energi matahari yang dapat ditangkap sepanjang tahun adalah sumber energi listrik yang sangat potensial untuk di jadikan pembangkit tenaga surya demi memenuhi kebutuhan listrik. Pada umumnya, inverter berfrekuensi rendah (50 Hz) bekerja dengan menggunakan transformator yang besar, berat dan mahal. Cara paling umum untuk mengubah bentuk tegangan DC menjadi AC adalah dengan memodulasi gelombang persegi dengan merancang suatu perangkat. Sayangnya, konten *harmonic* (distorsi) gelombang persegi lebih tinggi dan efisiensi bentuk gelombang ini lebih rendah sehingga tidak baik untuk digunakan pada semua alat elektronik yang ada. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Alam H, 2017) menyatakan bahwa untuk mengurangi ukuran, berat, dan biaya pembuatan, *inverter PV transformerless* sangat dianjurkan untuk digunakan.

2.2.1 Radiasi Matahari (*Solar Irradiation*)

Fenomena lingkungan, seperti pemanasan global dan penipisan lapisan ozon yang disebabkan oleh emisi dari pembakaran bahan bakar besar-besaran menyebabkan masalah yang meluas ke setiap makhluk hidup di bumi. Energi terbarukan, khususnya energi matahari adalah salah satu solusi yang sangat efektif pada saat ini. Radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau yang

biasa disebut konstanta radiasi matahari memiliki nilai sebesar 1353 W/m^2 jumlah tersebut dikurangi dengan intensitas penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ada beberapa tahapan sebelum cahaya matahari sampai di bumi yaitu melalui proses penyerapan seperti yang terjadi pada lapisan Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), sedangkan karbon dioksida dan uap air akan menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi oleh lapisan di atmosfer bumi yang langsung oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran (Samsurizal dan Christiano, 2019).



Gambar 2.2 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi

(Samsurizal dan Christiano, 2019)

Dapat disimpulkan bahwa konstanta matahari atau kepadatan fluks radiasi rata-rata di luar atmosfer bumi, adalah sebesar 1367 W/m^2 (dalam $\pm 1\%$), dengan rentang panjang gelombang senilai $0,3$ hingga $3\mu\text{m}$. Radiasi ini memiliki karakteristik arah yang ditentukan oleh sudut datang radiasi pada suatu permukaan (John A. Duffie 1989).

2.2.2 Potensi Sinar Radiasi Matahari (*Solar Radiation Potential*)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Letsoin energi matahari dapat menghasilkan daya hingga 156.486 MW (Letsoin 2012), jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lainnya. Berdasarkan data yang didapatkan dari stasiun BMKG Kualanamu pada Januari 2019 rata-rata penyinaran matahari setiap harinya untuk daerah Kota Medan memiliki suhu sekitar 25-28 °C dengan total curah hujan sebesar 20-300 mml/tahun. Diketahui jarak matahari dan bumi tidak tetap, jarak terdekatnya adalah $1,47 \times 10^{11}$ m dan jarak terjauhnya $1,52 \times 10^{11}$ m. Akibat perbedaan jarak tersebut, maka radiasi yang ada di luar atmosfer akan berbeda setiap harinya. Mengingat kinerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sangat di pengaruhi oleh intensitas matahari yang ada dan tergantung pada efisiensi konversi energi oleh panel surya. Maka dilihat dari data-data diatas sangatlah memungkinkan untuk membuat pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai penyedia energi terbarukan di Desa Pematang Johar tepatnya pada kawasan Wisata Sawah.

Energi matahari dalam bentuk radiasi elektromagnetik memiliki panjang gelombang berkisar antara $0,3\mu\text{m}$ (10^{-6} m) hingga lebih dari $3\mu\text{m}$ (Daut dkk, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Yulianda, pada saat tengah hari yang cerah, matahari mampu menghasilkan daya sebesar 1000 Watt persegi. Jika sebuah bahan semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10%, maka sel surya ini mampu memberikan listrik sebesar 100 watt. Diketahui modul surya komersil yang di jual di pasaran memiliki efisiensi berkisar antara 5% hingga 15% tergantung material penyusunnya (Subekti dkk, 2015). Radiasi sinar matahari yang mencapai permukaan bumi memiliki kisaran panjang gelombang

antara 300 nm sampai 400 μm yang diklasifikasikan menjadi beberapa *solar peaks*:

- a. Air Mass (m) adalah perbandingan massa udara sampai ke permukaan bumi pada posisi tertentu dengan massa udara yang dilalui sinar jika matahari tepat pada posisi tegak lurus (*zenit*). Artinya pada posisi tegak lurus ($zenit=0$) maka nilai $m=1$. Jika *zenit* berada pada sudut 60° maka nilai $m=2$ (Wiwin dkk., 2018).
- b. *Irradiance* (W/m^2) adalah laju energi radiasi yang diterima suatu permukaan persatuan luas permukaan tersebut *solar irradiance* biasanya disimbolkan dengan (G). Dalam bahasa Indonesia besaran ini biasanya disebut dengan Intensitas radiasi, atau disebut dengan nilai konstanta matahari (G_{sc}) (Wiwin dkk., 2018)
- c. Radiasi matahari yang di terima dalam kurun jam dalam satuan luas dapat di simbolkan ($\text{Wh}/$) hal tersebut sama dengan ($\text{kWh}/$) (Alam, H, 2019). *Irradiation* atau *radian exposure* (J/m^2) adalah Jumlah energi radiasi yang diterima suatu permukaan dalam interval waktu tertentu (Wiwin dkk., 2018)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Alam, H, 2017) unit radiasi matahari dalam satuan ($\text{Wh}/$) jika dikalikan dengan 3600 maka nilainya akan sama dengan ($\text{J}/$). Puncak penyinaran matahari perjam (*peak sun hours* atau *PSHs*) adalah selang waktu dalam satuan jam tingkat radiasi matahari yang nilainya sebesar 1000 $\text{W}/$ jumlah tersebut harus terpenuhi untuk menghasilkan energi yang setara dengan total energi penyinaran sepanjang hari. Ada beberapa jenis sinar matahari yang langsung menyinari modul *photovoltaic* yaitu terbagi atas tiga jenis : (*diffuse*

radiation, beam radiation dan reflected solar irradiation). Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Wiwin dkk., 2018) menjelaskan bahwa :

- a. *Diffuse radiation* adalah energi surya dari matahari yang telah di belokkan oleh atmosfer.
- b. *Beam radiation* adalah energi dari matahari yang tidak dibelokkan oleh atmosfer. Istilah ini sering juga disebut radiasi langsung (*direct solar atmosfer*).
- c. *Total radiation* adalah jumlah dari *beam radiation* dan *diffuse radiation*.
- d. *Solar time* atau jam matahari adalah waktu berdasarkan pergerakan titik semu matahari di langit pada tempat tertentu. *Solar time* ini disimbolkan dengan (ST) berbeda dengan penunjuk jam biasa yaitu *standard time* yang biasanya di simbolkan (STD).

Ketika kondisi langit sangat jernih dan posisi matahari tegak lurus di atas modul panel surya tanpa adanya awan yang menghalangi radiasi sinar matahari, maka intensitas cahaya matahari yang di tangkap bisa sebesar 1000 W/ atau bahkan dapat melebihi kisaran tersebut. Hal tersebut berdasarkan oleh data dari *solar irradiation* dan puncak penyinaran matahari perjam (PSHs) adalah penentu utama dari kapasitas keluaran yang di hasilkan dari sistem *photovoltaic* tersebut, bahkan kita juga dapat mengetahui ukuran keluaran minimum yang ada (Mellit dkk, 2008).

Potensi sinar matahari global yang di aplikasikan kepada sistem *photovoltaic* dikategorikan berdasarkan banyaknya tingkat *solar irradiation* yang dapat diterima (Laleman, Albrecht, and Dewulf 2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa tingkat *solar irradiation* di setiap tempat berbeda-beda. Hal

tersebut dipengaruhi oleh banyaknya curah hujan yang terjadi, serta dipengaruhi oleh adanya molekul-molekul di dalam atmosfer bumi seperti gas, debu, dan uap air. Letak geografis dari suatu daerah juga sangat berpengaruh besar terhadap penyinaran radiasi yang berlangsung, maka *solar irradiation* dapat dikategorikan menjadi empat tingkatan yaitu:

- a. Pada tingkatan pertama adalah *low solar irradiation* dimana sinar matahari bersinar rendah memiliki kapasitas dengan kisaran antara (2,6kWh/sampai 3 kWh/).
- b. Tingkatan yang ke dua adalah *moderate solar irradiation* yang memiliki kapasitas sebesar (2,6 kWh/ hingga 3 kWh/m²).
- c. Selanjutnya adalah *high solar irradiation* dengan kisaran sebesar (3 kWh/ sampai 4 kWh/).
- d. Pada tingkatan terakhir adalah *very high solar irradiation* yang dapat menghasilkan daya per jam dengan satuan luas (dengan nilai lebih dari 4 kWh/). Hal tersebut dapat menandakan bahwasanya kondisi langit sedang bersih tanpa awan.

2.2.3 Solar Irradiation Application

Sangat penting melakukan kajian terhadap terhadap radiasi matahari (*solar irradiation*) untuk mengetahui apakah suatu wilayah tersebut layak atau tidak untuk dibangun sebuah PLTS. Ketika radiasi matahari di satu daerah akan dikonversi menjadi energi lain maka data dari radiasi matahari tersebut sangatlah penting untuk dicatat dan dianalisis. Biasanya alat ukur dari radiasi matahari dipasang di area yang diperlukan seperti pada stasiun cuaca. Terkadang, data radiasi matahari tidak tersedia di suatu daerah. Namun permasalahan ini dapat

diatasi dengan menggunakan pencatatan data estimasi radiasi matahari secara harian, bulanan dan tahunan (Daut dkk, 2012). Data-data tersebut dapat dievaluasi atau diperkirakan mengikuti klasifikasi radiasi matahari yang ada (Laleman dkk, 2011).

Pengaplikasian dari radiasi matahari (*solar irradiation*) dapat berupa *solar collector*, *DC air conditioner system* (sistem pembangkitan *air conditioner system* secara langsung melalui modul panel surya inverter dan baterai), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atau pembangkit listrik hybrid tenaga angin (Alam, H 2017). Penyerapan radiasi matahari dapat dilakukan dengan media berupa lempengan atau film yang terbuat dari material tertentu. Agar penyerapan radiasi matahari yang terjadi lebih optimal, maka diperlukan dua lapisan antarmuka penutup untuk mengurangi kerugian refleksi yang terjadi. Pada kejadian tidak normal radiasi yang dipantulkan setiap komponen berbeda, hal itu disebabkan oleh adanya penebaran dan refleksi radiasi yang dipantulkan menjadi terpolarisasi sebagian (John A. Duffie 1989).

Penyerapan yang dilakukan oleh partikel-partikel di atmosfer menyebabkan adanya interaksi elektromagnetik pada radiasi matahari berubah. Dalam penerapannya diperlukan distribusi spektral dan insiden radiasi pada panel *photovoltaic* dengan demikian interaksi elektromagnetik antar objek akan menghasilkan listrik (King dkk, 2004). Faktor utama yang mempengaruhi keluaran daya dari perangkat *photovoltaic* (PV) adalah radiasi matahari yang diserap oleh permukaan sel yang merupakan fungsi dari perubahan radiasi, massa udara dan sudut datang. Sama halnya dengan pengumpulan panas, data radiasi yang dibutuhkan biasanya tidak diketahui pada bidang panel PV, sehingga perlu

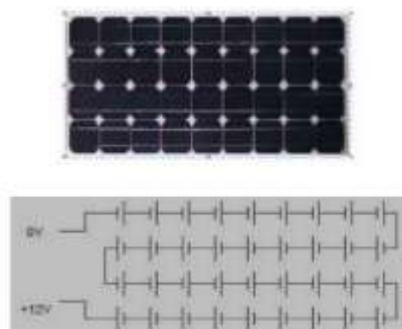
untuk memperkirakan berapa banyak radiasi matahari yang diserap menggunakan data horizontal dan informasi sudut datang (John A. Duffie 1989). Modifikasi sudut penerimaan radiasi pada panel PV agak berbeda dengan kolektor surya berplat rata berbahan gelas atau lempeng film dimana pelapis kaca diikat ke permukaan sel, yang bertujuan untuk menghilangkan pelapis udara antarmuka. Agar pelapis kaca dapat dirawat dengan mudah dan mengurangi kerugian refleksi yang terjadi (E. A. SJERPS-KOOMEN 1997).

Photovoltaic adalah kolektor surya penukar panas jenis khusus yang dapat mengubah energi radiasi matahari menjadi panas. *Photovoltaic* memiliki material yang berbeda dari kolektor panas lainnya. Dalam proses pengkonversian energy *photovoltaic* biasanya dapat melakukan pertukaran antar cairan dengan kecepatan pengiriman suhu panas yang ada. Dalam proses penyerapan yang terjadi, fluks radiasi yang dapat dihasilkan paling besar sekitar 1100 W/m^2 tergantung kondisi penyinaran matahari saat itu. Adapun kisaran panjang gelombang yang terjadi adalah sebesar 0,3 hingga 3 μm , dimana jauh lebih pendek dari radiasi yang dipancarkan oleh jenis kolektor panas lainnya. *Photovoltaic* adalah kolektor berpelat datar yang dirancang untuk pengiriman energi pada suhu sedang, kira-kira lebih dari $100 \text{ }^\circ\text{C}$ di atas suhu sekitar. Material sel surya berpelat rata hanya membutuhkan (*Diffuse Radiation* dan *beam radiation*) tanpa pelacakan posisi matahari, serta hanya memerlukan sedikit perawatan (John A. Duffie 1989). Aplikasi utama dari kolektor surya berpelat rata ini adalah pemanas air tenaga surya, pembangkit listrik tenaga surya, pemanas gedung, pendingin ruangan, dan pemanas-pemanas dalam industri.

2.2.4 Solar Photovoltaic

Teknologi panel sel surya adalah salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang memanfaatkan panas dari radiasi sinar matahari untuk menghasilkan tenaga listrik, dimana salah satu aspek yang harus dipenuhi ialah penentuan lokasi penempatan dan pemasangan sudut kemiringan dari panel sel surya itu sendiri. Sudut kemiringan pada panel sel surya memiliki pengaruh besar terhadap paparan radiasi sinar matahari yang di terima dimana disetiap wilayah memiliki sudut paparan radiasi optimum yang berbeda-beda (Samsurizal dan Christiano, 2019).

Satu modul *photovoltaic* biasanya terdiri dari 2836 sel surya, yang dapat menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran matahari normal. Modul panel surya tersebut bisa digabungkan secara paralel ataupun seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk pengaplikasian tertentu (M. Helmi 2019).



Gambar 2.3 Panel surya disusun secara seri

(M. Helmi 2019)

Menurut (Bambang H. Purwoto dkk, 2018) *solar photovoltaic* dapat diklasifikasikan berdasarkan material penyusunnya yang terdiri dari beberapa jenis yaitu :

- a. Monokristal (*Mono-crystalline*) merupakan panel paling efisien yang dapat menghasilkan daya listrik persatuan luas paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.
- b. Polikristal (*Poly-Crystalline*) merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.
- c. *Thin Film Photovoltaic* merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis berbahan mikrokristal *silicon* dan *amorphous* yang memiliki efisiensi modul hingga 8.5%, sehingga untuk luas permukaan yang dapat menghasilkan daya per watt lebih besar daripada sel surya dengan bahan *monokristal & polycrystal*. Penambahan lapisan dilakukan padathin *film triple junction photovoltaic* (dengan tiga lapisan) sehingga dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel surya jenis lain dengan daya yang diterima setara.

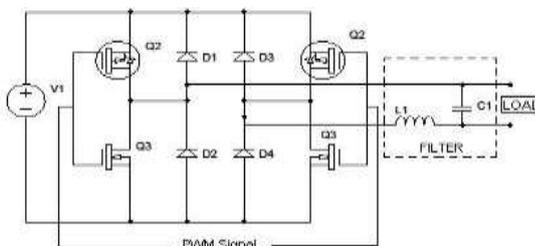
Di Indonesia sendiri tipe sel surya yang banyak digunakan adalah tipe *monokristalin* dan *polikristalin silicon*, sedangkan jenis *thin-film* (lapisan tipis)

masih sedikit pemanfaatannya. Ada beberapa parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya, diantaranya, perubahan temperatur, intensitas radiasi matahari, tertutupnya sebagian permukaan sel surya (bayangan).

2.2.5 Transformerless Photovoltaic Inverter

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Evalina, Azis dan Rimbawati 2019) Inverter adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah input DC menjadi tegangan output AC dan dengan frekuensi yang dapat diatur sesuai keinginan. Modulasi gelombang persegi dan penggunaan *filter* tegangan diperlukan untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal. Inverter terdiri dari rangkaian utama yang dibentuk oleh rangkaian penyearah baik yang dikendalikan untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) dan menghilangkan riak yang terkandung pada arus searah.

Metode PWM perlu digunakan untuk menjaga tegangan *output* inverter. Inverter dengan metode PWM dapat menghasilkan tegangan keluaran dengan mengubah lebar pulsa dan *output* AC tergantung pada frekuensi *switching* dan lebar pulsa yang disesuaikan dengan nilai beban yang terhubung pada *output* sehingga memberikan nilai keluaran yang konstan (Majhi 2012).



Gambar 2.4 Desain dasar dari *transformerless* inverter.

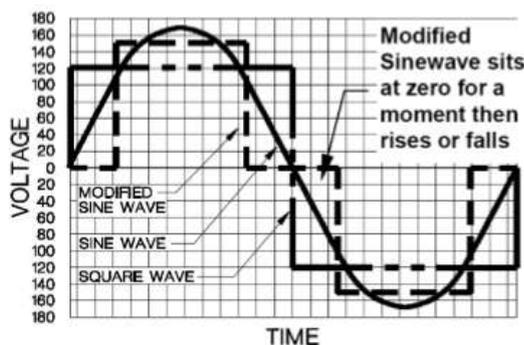
(Qazalbash dkk., 2009)

Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, panel surya maupun sumber tegangan DC lainnya. Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan,

inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave* (Noorly Evalina dkk, 2017):

- a. *Square wave* inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, dengan frekuensi 50 Hz namun kualitas tegangan output yang dihasilkan sangatlah buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level total *harmonic distortion* yang tinggi.
- b. *Modified sine wave* inverter disebut juga (*quasy sine wave* inverter). Dilihat dari gelombang output yang dihasilkan oleh *modified sinewave* inverter memiliki karakteristik bentuk tidak jauh berbeda dengan *square wave* inverter, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave inverter* mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave inverter* maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitive karena dapat memperpendek umur dari alat elektronik tersebut hingga berdampak pada kerusakan.
- c. *Pure sine wave* atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan total harmonic distortion (THD) $< 3\%$. Sehingga cocok untuk semua alat elektronika. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut *clean power supply*. Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation* (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC

dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida.



Gambar 2.5 Gelombang output yang di hasilkan oleh masing-masing inverter.

(Daniel P. Eggleston dkk, 2007)

Melihat perbedaan gelombang output yang dihasilkan oleh masing-masing inverter di atas pada kali ini sangat tepat apabila peneliti menggunakan inverter jenis *sine wave transformerless inverter* untuk penerapan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada kawasan wisata sawah Desa Pematang Johar. Desain inverter gelombang sinus murni, melibatkan pembiasan dan metode perbaikan gelombang dimana meliputi (*PWM technique, bridge technique*, menggunakan *L-C filter* sebagai pengganti *transformator*). Untuk penyempurnaanya *inverter* dalam jenis ini memerlukan *filter* keluaran tegangannya beberapa juga membutuhkan umpan balik tegangan. Ada banyak metode untuk menghasilkan PWM. Paling umum adalah dengan membandingkan gelombang sinusoidal dengan gelombang segitiga (Qazalbash dkk, 2009) dan (Maheshri dan Khampariya, 2014).

Dalam menghasilkan gelombang sinusoida pada inverter membutuhkan *sine wave generator* yang akan menghasilkan *clock generator*. *Clock generator* harus stabil untuk memberikan gelombang sinusoidal yang stabil. Sedangkan *generator sine wave* dibangun dengan menggunakan dua penghitung biner yang

dikonfigurasi sebagai penghitung cincin. Kemudian keluaran akan dikonversikan menjadi sinyal analog dengan menggunakan tangga resistor berbeban. Untuk memaksimalkan kinerja tersebut dibutuhkan *generator triangle wave* yang disediakan oleh penghitung biner 7-bit. Komparator ini bertindak sebagai PWM lalu gelombang referensi akan dikonversi menjadi gelombang pulsa (Taib dkk, 2002). Selanjutnya dalam melakukan penerapan modulasi sinyal gelombang sinus peneliti memilih menggunakan metode MPWM karena lebih mudah dan efektif dalam menyuntikan gelombang kotak (*square wave*) menuju rangkaian *full bridge* sehingga dapat menghasilkan gelombang sinusoida. Pada kali ini peneliti menggunakan *mikrokontroler* Arduino nano yang digunakan sebagai komparator pembangkit PWM. Sehingga tidak perlu melakukan perakitan komparator PWM secara konvensional. Penggunaan Arduino juga dipilih karena pemrogramannya lebih mudah dan handal dalam menjalankan perannya sebagai komparator PWM (Kijany 2017) dan (Masri M dkk, 2020).

2.2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

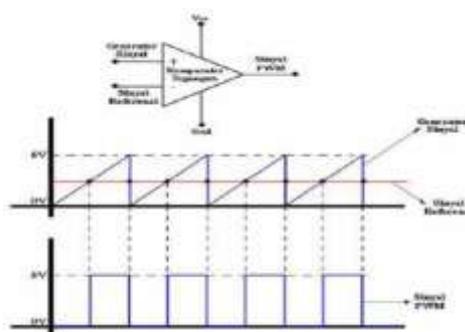
Inverter PWM digunakan untuk menjaga agar tegangan keluaran inverter stabil. Dalam inverter konvensional tegangan *output* berubah sesuai dengan perubahan beban. Untuk meniadakan efek dari beban perubahan beban ini, inverter PWM dapat memperbaiki tegangan *output* tersebut dengan mengubah lebar gelombang pulsa berdasarkan *output* AC tergantung pada frekuensi *switching* dan lebar pulsa yang menyesuaikan nilai beban terhubung pada *output* sehingga dapat memberikan nilai yang konstan (Majhi 2012).

(Majhi 2012a) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa *pulse width modulation* (PWM) adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa

(*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap, jadi dapat di simpulkan bahwasanya PWM ini menghasilkan sinyal analog dari perangkat digital, dengan memodulasi durasi pulsa dan siklus kerja (*duty cycle*). Proses pembangkitan sinyal dikirim dari Arduino dan *Mikrokontroler*. Apabila sinyal diatur *high*, maka sinyal dikirim dari arduino menuju alat sehingga sinyal refrensi lebih besar dari sinyal gergaji. Jika sinyal di atur *low*, maka sinyal gergaji lebih besar dari sinyal refrensi (Desiwantiyani 2018). Adapun jenis pembangkit PWM terbagi atas:

a. Analog

Pembangkit sinyal analog adalah sinyal PWM paling sederhana yang di bangkitkan dengan membandingkan sinyal gergaji dengan tegangan refrensi menggunakan rangkaian op-amp komperator.

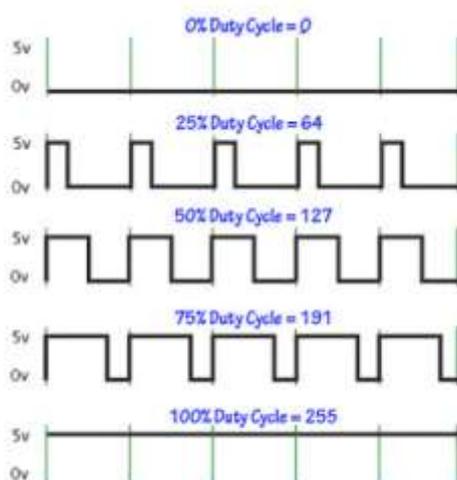


Gambar 2.6 Pembentukan sinyal PWM dengan membandingkan sinyal gergaji.

Ketika nilai tegangan refrensi memiliki nilai yang lebih dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka nilai output dari kompeerator akan bernilai *high*. Jika pada saat nilai tegangan refrensi memiliki nilai yang lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka nilai *output* dari komperator akan bernilai *low* (Rifqi 2018).

b. Digital

Pembangkitan sinyal PWM menggunakan metode digital dipengaruhi oleh resolusi dari PWM tersebut. PWM digital 8bit mempunyai nilai resolusi 28-256. Resolusi tersebut adalah jumlah variasi dari PWM yang dapat dihasilkan. Perubahan nilai variasi dari 0-255 untuk mewakili perubahan *duty cycle* 0-100% dari keluaran PWM.



Gambar 2.7 Perubahan *duty cycle*

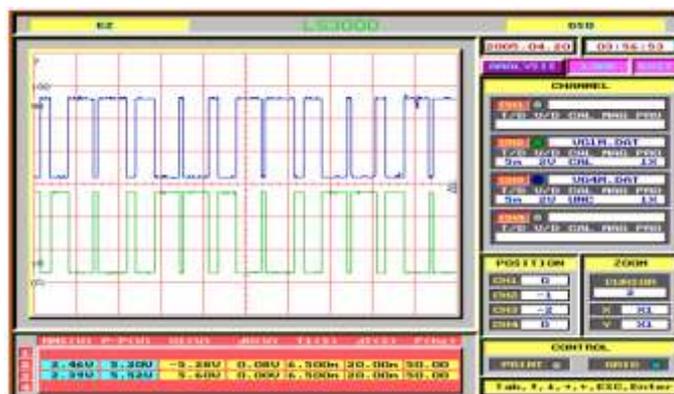
Siklus kerja adalah keadaan dimana persentase waktu sinyal PWM tetap pada kondisi tinggi (*On time* 100% *duty cycle*) ataupun dalam kondisi sinyal pada keadaan mati (*Offtime* 0% *duty cycle*). Dalam prosesnya kontrol PWM analog memerlukan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa untuk dimasukkan ke dalam komparator yang berdasarkan pada beberapa *output logic* sehingga setelah itu *output* akhir akan dihasilkan. Sinyal referensi adalah output sinyal yang diinginkan mungkin gelombang sinusoida atau persegi, sedangkan sinyal pembawa dapat berupa gigi gergaji atau gelombang segitiga pada frekuensi yang secara signifikan lebih besar daripada referensinya.

Ada berbagai jenis teknik PWM berdasarkan keseimbangan gelombang dan efisiensi, ada tiga teknik dasar dari PWM:

1. Modulasi lebar pulsa tunggal (*single pulse width modulation*).
2. Modulasi lebar pulsa berganda (*multiple pulse width modulation*).
3. Modulasi lebar denyut sinusoida (*sinusoidal pulse width modulation*).

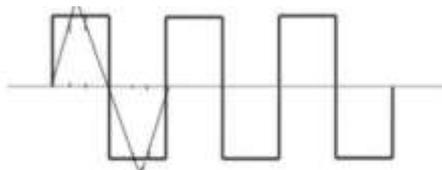
2.2.7 Single Pulse Width Modulation

Sinyal PWM dibuat dalam pola indeks modulasi bervariasi dengan frekuensi tetap. Pada penelitian ini dibuat lima macam tabel sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz untuk indeks modulasi (0,8), (0,37), (0,59), (0,81), dan (1). Pada rancangan ini jumlah pulsa dalam satu periode ditetapkan 10 dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.8 Modulasi PWM berdasarkan indeks modulasi (0,8)

(Muchlas dan Supri 2006). Dalam modulasi ini hanya ada satu pulsa keluaran per setengah siklus. *Output* diubah dengan mengatur lebar gelombang pulsa. Sinyal gating dihasilkan dengan membandingkan referensi segi empat dengan referensi segitiga yang dihasilkan. Frekuensi kedua sinyal hampir sama dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Single pulse modulation

dimana tegangan keluaran pada posisi tinggi dan adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah. Total dari kedua sinyal menentukan besar satu gelombang atau priode (Rifqi 2018).

$$T_{\text{total}} = T_{\text{On}} + T_{\text{Off}} \quad (2.3)$$

Tegangan keluaran AC rms dinyatakan dengan :

$$V_{\text{out}} = \frac{T_{\text{ON}}}{T_{\text{total}}} \times V_{\text{in}} \quad (2.4)$$

$$\text{Indeks modulasi (MI)} = \frac{V_r}{V_c}$$

Dimana : V_r = Gelombang sinusoida.

V_c = Gelombang segitiga.

V_{out} = Tegangan output.

V_{in} = Tegangan input.

T_{On} = Gelombang pulsa saat keadaan *high* (ms)

T_{Off} = Gelombang pulsa saat keadaan *low* (ms)

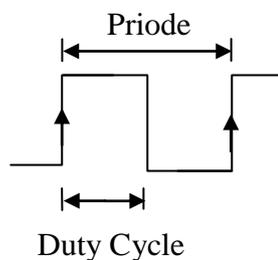
T_{total} = Gelombang waktu dalam 1 periode gelombang (ms)

2.2.8 Multiple Pulse Width Modulation

Teknik *multiple pulse width modulation* (MPWM) ini adalah teknik penggandaan keluaran PWM per setengah siklus dengan lebar sinyal yang berbeda (Mafasigodo 2015). Sinyal gelombang pulsa (*gating signal*) harus dibentuk dengan membandingkan gelombang sinus yang diinginkan (*reference signal wave*) dengan gelombang segitiga (*triangular wave*). Lebar setiap sinyal PWM yang di hasilkan bervariasi sesuai dengan amplitudo gelombang sinus yang ingin pada pusat PWM yang sama (Majhi, 2012):

$$V = V_{\text{max}} \sin \omega t \quad (2.5)$$

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Alam H, 2016) Teknik MPWM pada dasarnya berbasiskan satu keluaran gelombang PWM dengan bentuk gelombang pulsa yang spesifik priode dan *duty cycle* nya.



Gambar 2.10 Gelombang pulsa dengan nilai priode dan *duty cycle*.

$$\delta = \text{duty cycle} = \frac{t_{ON}}{t_{total}} \quad (2.6)$$

Priode PWM pada gambar 2.11 harus dihitung untuk mengetahui jumlah keluaran pergelombang PWM dengan menggunakan persamaan (2.8). Untuk merancang *transformerless photovoltaic inverter* haruslah mengetahui jumlah tegangan maksimal yang akan dikeluarkan, frekuensi dan skala yang akan digunakan persatuan waktu nantinya:

$$\begin{aligned} \text{Priode PWM} &= \{PR+1\} \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot TMR \text{ prescale} \\ &= \{PR+1\} \cdot 4 \cdot \frac{1}{F_{osc}} \cdot TMR \text{ prescale} \quad (2.7) \end{aligned}$$

Jumlah keluaran PWM dapat dipengaruhi berdasarkan setengah gelombang sinusoida yang bernilai 10 ms dapat dilihat melalui persamaan berikut:

$$N \times \text{Priode PWM} = \text{Setengah Gelombang Sinus} \quad (2.8)$$

Dimana ;

V = Tegangan sebagai fungsi dari ωt (V)

V_{max} = Tegangan maksimum (V)

ω = Frekuensi sudut (Hz)

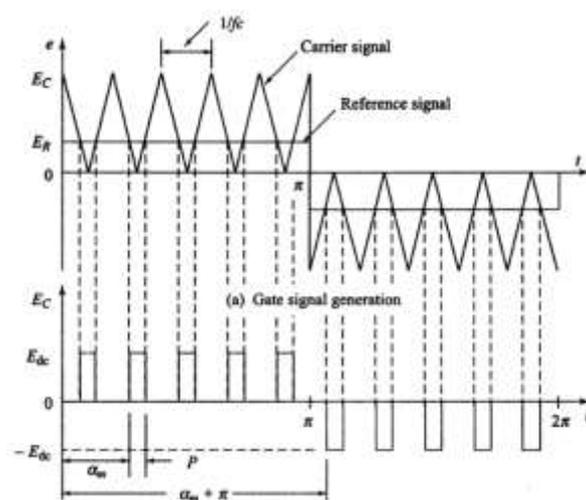
t = Waktu (s)

$PR = \text{Priode to register (249}\mu\text{s)}$.

$TMR \text{ prescale} = \text{Skala perbandingan waktu (Time to register)}$.

$N = \text{jumlah total output PWM}$.

$F_{osc} = \text{Frekuensi Arduino (MHz)}$



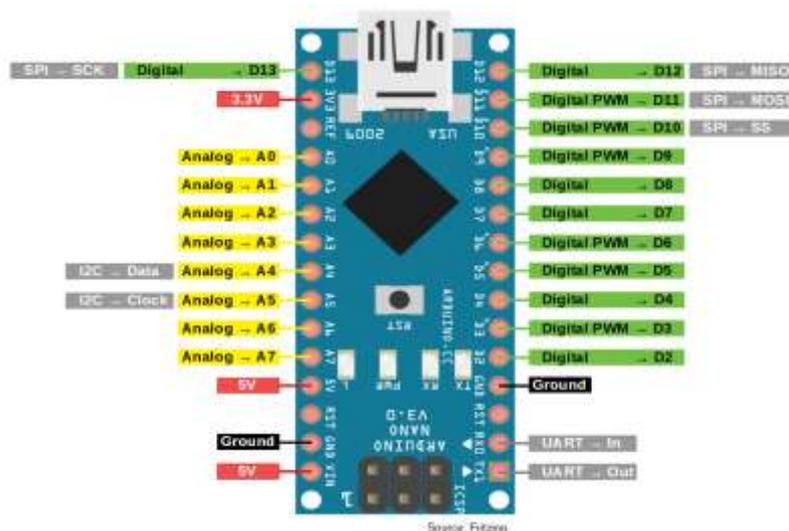
Gambar 2.11 *Multiple pulse width modulation*.

2.2.9 Mikrokontroler Arduino Nano

Untuk melakukan modulasi gelombang PWM di pilihlah *Mikrokontroler* Arduino nano sebagai *pulse drive circuit*. Dengan adanya peminimuman sistem dalam keluarga Arduino maka program yang dibuat lebih mudah di bandingkan membuat minimum sistem atau *board mikrokontroler* secara manual dengan *mikrochip* yang ada. Mikrokontroler itu sendiri dikenal sebagai sub-sistem dari komputer yang merupakan gabungan semikonduktor terkemas dalam satu IC atau sering di sebut sebagai chip. Mikrokontroler dapat disebut sebagai pengendali kecil dikarenakan komponen elektronika yang kompleks seperti transistor, IC TTL dan CMOS dapat diperkecil, terpusat dan dikendalikan yang sebuah chip dapat langsung dimanfaatkan, antara lain dalam konversi analog ke digital (ADC), port

serial dan paralel, komparator, dan sebagainya hanya menggunakan minimum sistem yang tidak rumit (Desnanjaya dan Iswara, 2018).

Arduino Nano adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis *chip* ATmega328P dengan bentuk yang sangat kecil. Dilihat dari fungsinya tidak ada bedanya dengan Arduino Uno. Perbedaan utama terletak pada ketiadaan *jack power* DC dan penggunaan konektor Mini-B USB. Arduino Nano adalah *board* Arduino terkecil, menggunakan *mikrokontroler* Atmega 328 untuk Arduino Nano 3.x dan Atmega168 untuk Arduino Nano 2.x. Varian ini mempunyai rangkaian yang sama dengan jenis Arduino *Duemilanove*, tetapi dengan ukuran dan desain PCB yang berbeda. Arduino Nano tidak dilengkapi dengan soket catu daya, tetapi terdapat pin untuk catu daya luar atau dapat menggunakan catu daya dari mini USB *port*. Arduino Nano didesain dan diproduksi oleh *Gravitech*. Berikut ini menunjukkan *lay-out board* Arduino Nano serta keterangan pin-pin yang ada (Mughtar dan Hidayat, 2017).



Gambar 2.12 Arduino Nano.

Konfigurasi pin Arduino Nano memiliki 30 Pin. Berikut konfigurasi pin Arduino Nano :

- a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital.
- b. GND merupakan pin ground untuk catu daya digital.
- c. AREF merupakan Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan fungsi *analog Reference*.
- d. *RESET* merupakan Jalur *LOW* ini digunakan untuk *me-reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama Arduino.
- e. Serial RX (0) merupakan pin sebagai penerima TTL data serial.
- f. Serial TX (1) merupakan pin sebagai pengirim TT data serial.
- g. External Interrupt (Interupsi Eksternal) merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
- h. Output PWM 8 Bit merupakan pin yang berfungsi untuk data analog *Write*.
- i. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
- j. LED merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang diset bernilai *HIGH*, maka LED akan menyala, ketika pin diset bernilai *LOW* maka LED padam. LED tersedia secara *built-in* pada papan Arduino Nano.
- k. *Input Analog (A0-A7)* merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang dapat diukur/diatur dari mulai Ground sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan fungsi *analog Reference*.

Arduino Nano dapat diaktifkan melalui koneksi USB Mini-B, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan belum teregulasi antara 6-20 Volt yang dihubungkan melalui pin 30 atau pin VIN, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan teregulasi 5 volt melalui pin 27 atau pin 5V. Sumber daya akan secara otomatis dipilih dari sumber tegangan yang lebih tinggi. Chip FT232RL pada Arduino Nano akan aktif apabila memperoleh daya melalui USB, ketika Arduino Nano diberikan daya dari luar (Non-USB) maka Chip FTDI tidak aktif dan pin 3.3V pun tidak tersedia (tidak mengeluarkan tegangan), sedangkan LED TX dan RX pun berkedip apabila pin digital 0 dan 1 berada pada posisi HIGH.

Arduino nano menggunakan *mikrokontroler* Atmega 168 yang dilengkapi dengan *flash* memori sebesar 16 kbyte dan dapat digunakan untuk menyimpan kode program utama. *Flash* memori ini sudah terpakai 2kbyte untuk program *bootloader* sedangkan Atmega328 dilengkapi dengan *flash* memori sebesar 32 kbyte dan dikurangi sebesar 2 kbyte untuk *bootloader*. Selain dilengkapi dengan *flash* memori, *mikrokontroler* ATmega168 dan ATmega328 juga dilengkapi dengan SRAM dan EEPROM. SRAM dan EEPROM dapat digunakan untuk menyimpan data selama program utama bekerja. Besar SRAM untuk ATmega168 adalah 1kb dan untuk ATmega328 adalah 2 kb sedangkan besar EEPROM untuk ATmega168 adalah 512 b dan untuk ATmega328 adalah 1 kb (Muchtart dkk., 2017).

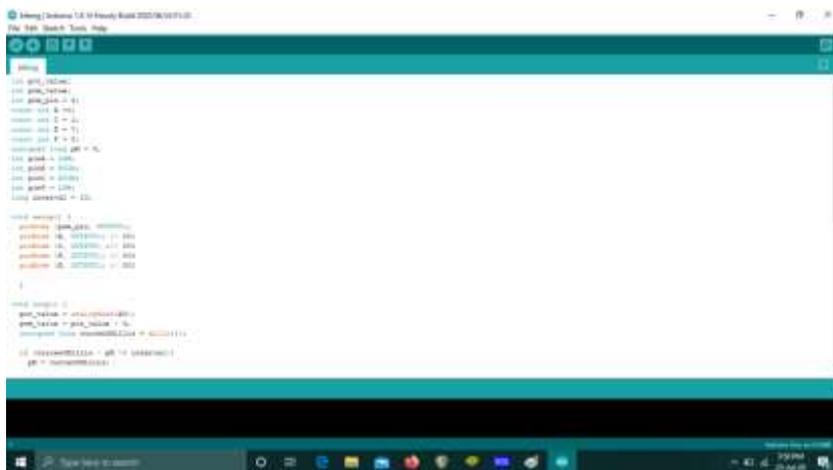
Tabel 2.1 Konfigurasi Pin Arduino Nano

Nomor Pin Arduino Nano	Nama Pin Arduino
1	Digital Pin 0 (TX)
2	Digital Pin 0 (RX)
3 & 28	Reset
4 & 29	GND
5	Digital Pin 2
6	Digital Pin 3 (PWM)
7	Digital Pin 4
8	Digital Pin 5 (PWM)
9	Digital Pin 6 (PWM)
10	Digital Pin 7
11	Digital Pin 8
12	Digital Pin 9 (PWM)
13	Digital Pin 10 (PWM-SS)
14	Digital Pin 11 (PWM-MOSI)
15	Digital Pin 12 (MISO)
16	Digital Pin 13 (SCK)
18	AREF
19	Analog Input 0
20	Analog Input 1
21	Analog Input 2
22	Analog Input 3
23	Analog Input 4
24	Analog Input 5
25	Analog Input 6
26	Analog Input 7
27	VCC
30	Vin

2.2.10 Arduino IDE

Selanjutnya di butuhkan sebuah *software* yang mampu di gunakan untuk merancang sebuah sistem modulasi maka di pilih *software* Arduino IDE atau kependekan dari *integrated development enviroenment*, artinya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan dengan tujuan untuk melakukan pengembangan atau development. Lingkungan yang dimaksud adalah karena dengan *software* IDE ini dapat melakukan pemrograman untuk kegunaan yang

ditanam melalui pemrograman IDE. Bahasa program yang hampir menyerupai bahasa C. Pemrograman Arduino atau biasa disebut dengan *sketch* telah dilakukan beberapa penyesuaian yang bertujuan agar memudahkan bagi pemula untuk melaksanakan pemrograman pada Arduino tersebut. Pada IC yang terdapat didalam Arduino sudah di-install sebuah program yang disebut *boot lader* berfungsi menjadi penengah pada compiler Arduino terhadap mikrokontroler tersebut. Software Arduino Ide Arduino IDE (*integrated development environment*) sebuah perangkat lunak yang memudahkan kita mengembangkan aplikasi mikrokontroler mulai dari menuliskan source program, kompilasi, upload hasil kompilasi, dan uji coba secara terminal serial (Wijaya 2019).



Gambar 2.13 *Software* Arduino IDE

2.2.11 *Software Smart Sine*

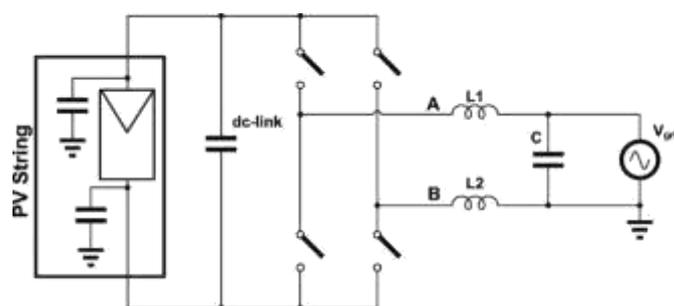
Penggunaan *software smart sine* ini bertujuan untuk mengkonversi nilai dari gelombang sinus yang diinginkan menjadi beberapa sample untuk dijadikan bilangan ADC (*Analog Digital Converter*). Hasil dari konverter akan di ubah menjadi data untuk melakukan pemrograman sehingga dapat membangkitkan nilai PWM yang diinginkan.



Gambar 2.14 Software smart sine

2.2.12 Metode *Full Bridge*

Topologi yang paling banyak digunakan dalam *inverter photovoltaic* yang terhubung ke grid adalah metode *full bridge*. Metode ini dirancang dengan empat transistor, yang terhubung seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15. Modulasi yang paling umum digunakan dalam topologi ini adalah PWM. Ketika modulasi PWM digunakan dalam *full bridge transformerless inverter*. Modulasi dari sinyal PWM ini akan menghilangkan nilai frekuensi tinggi dari komponen yang ada pada panel *photovoltaic* (Patrao dkk, 2011).

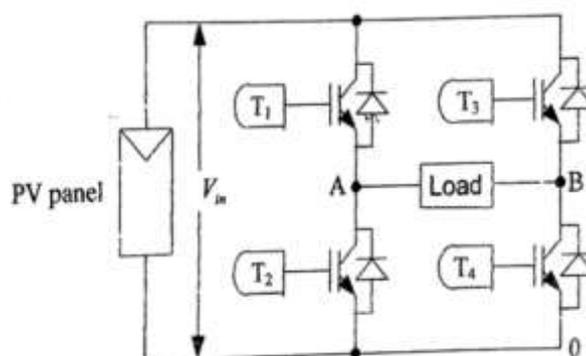


Gambar 2.15 Topologi dasar dari prinsip *fullbridge*.

(Patrao dkk, 2011)

Penerapan metode ini juga bertujuan untuk mengatasi beban resistif dan induktif. Arus beban balik akan melalui dioda ini lalu memberikan jalur alternatif

menuju arus induktif yang terus mengalir selama kondisi OFF pada kedua sisi rangkaian, dalam posisi ON kedua sisi jembatan ini akan diaktifkan sedemikian rupa sehingga tegangan outputnya bergeser dari satu ke yang lain sehingga perubahan polaritas terjadi dalam bentuk gelombang tegangan. Jika pergeseran sudutnya sama dengan nol, maka tegangan keluaran juga bernilai nol dan ketika sudut geser maksimal maka tegangan akan sebesar π (Majhi 2012a). Dalam penelitian yang dilakukan (González dkk., 2008) menyatakan bahwa *full-bridge inverter* PWM bipolar tidak menghasilkan tegangan pada umumnya. Jenis inverter ini mudah dalam perangkaiannya karena hanya membutuhkan empat IGBTs seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.19, IGBTs yang digunakan dalam inverter ini harus bekerja dengan input tegangan (V_m) sekitar 800 V, sehingga hasil tegangan dari IGBTs yang dipilih sebesar 1200 V.



Gambar 2.16 Full-bridge transformerless inverter

(Alam, H, 2017).

Dalam topologi *full bridge* mempertimbangan bahwa rangkain harus mampu memberikan arus tinggi pada tegangan rendah. Hal ini penting jika konverter dirancang untuk aplikasi *photovoltaic*. Topologi *full bridge* sesuai dengan persyaratan ini. Konverter tidak boleh mengalami kondisi operasi yang tidak

seimbang yang disebabkan oleh ketidakseimbangan tegangan titik netral. *Mosfet* dipilih untuk sakelar statis dengan pertimbangan:

- a. Untuk aplikasi tegangan rendah, kerugian konduksi dan kerugian switching jauh lebih sedikit daripada transistor bipolar dan IGBTs.
- b. Kemudahan mengendalikan dalam model, setiap sakelar statis terdiri dari dua mosfet IRFP250 yang diparalelkan. Setiap *mosfet* memiliki peringkat 200V dan 30A, dimana maksimum aplikasi 6 KW dimungkinkan.

2.2.12.1 Transistor *MOSFET*

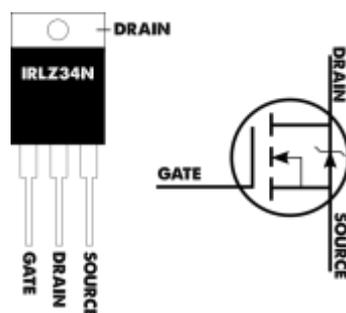
(Rifqi 2018) dalam penelitiannya menyatakan *transistor mosfet* (*metal oxide semi conductor field effect transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat kemurnian yang berbeda. Tingkat kemurnian dari *mosfet* menentukan jenis nya, yaitu transistor *mosfet* tipe-N (NMOS) dan transistor mosfet tipe-P (PMOS) :

- a. NMOS (negatif mosfet)

Transistor NMOS tersebut terdiri atas substrat dasar tipe-p dengan daerah *source* dan *drain* berjenis n^+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe-n. Negatif mosfet merupakan salah satu jenis *mosfet* yang mengalirkan arus drain source menggunakan saluran yang terbuat dari bahan yang mudah menghantarkan elektron, sehingga ketika *gate* diberikan tegangan positif dengan jumlah besar pada substratnya sehingga nilainya melebihi tegangan ambangnya akan menyebabkan arus mengalir.

- b. PMOS (positif *mosfet*)

Transistor jenis PMOS tersebut terdiri atas substrat dasar tipe-n dengan daerah *source* dan *drain* bertipe p^+ sedangkan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe-p. positif *mosfet* mengalirkan arus *drain* *source* melalui saluran positif berupa lubang, kondisi tersebut dapat terjadi ketika *gate* bertegangan negatif dengan jumlah besar pada substratnya dan nilainya lebih besar dari tegangan ambangnya.

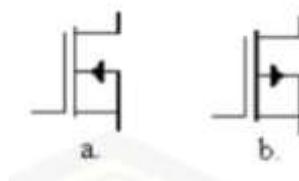


Gambar 2.17 Mosfet

Mosfet ini terdiri atas beberapa bagian yaitu *source* (sumber), *gate* (gerbang) dan *drain* (pemuai/penguras). Dilihat dari cara kerjanya, transistor mosfet dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Transistor mode pengosongan (*transistor mode depletion*)

Pada transistor mode *depletion* anatar drain dan soure terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran berfungsi sebagai tempat mengalirnya electron bebas. Besar kecilnya dari saluran tersebut dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang (*gate*). Transistor *mosfet* dengan mode ini terdiri dari tipe-N dan tipe-P.



Gambar 2.18 (a). *N-chanel depletion* (b). *P-chanel depletion*

b. Transistor mode peningkatan (*transistor mode enhancement*)

Pada transistor mode *enhancement* ini tidak memiliki saluran *drain* dan *source* karena pada lapisan keseluruhannya tertutupi oleh silikon khususnya pada bagian terminal *gate*. Transistor *mosfet* dengan mode ini terdiri dari tipe-N dan tipe-P.

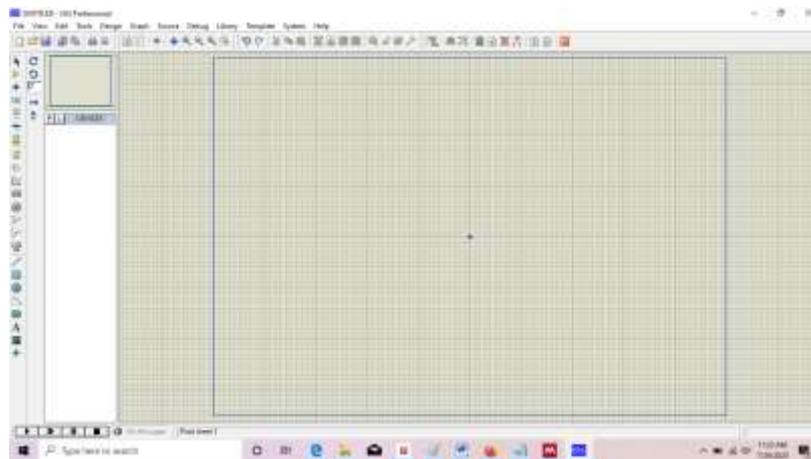


Gambar 2.19 (a). *N-channel enhancement* (b). *P-channel enhancement*

Tegangan ambang (*threshold voltage*) dapat diartikan sebagai tegangan minimum yang dibutuhkan sebuah transistor mosfet untuk dapat mengaktifkan *gate* yang nantinya akan mengalirkan arus antara *drain* dan *source* maksimal (saturasi). Transistor mosfet memiliki impedansi masukan (*gate*) yang sangat tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang tinggi. Untuk membuat mosfet sebagai saklar maka dibutuhkan kondisi saturasi (ON) dan kondisi *cut-off* (OFF). Pada kondisi *cut-off* tegangan *gate* lebih kecil dari tegangan *drain*, sehingga *source* tidak bertegangan dan arus tidak dapat mengalir. Pada kondisi ini daerah *cut-off mosfet* tidak mendapat tegangan input ($V_{in}=0$). Dengan kondisi tersebut maka daerah (*cut-off* / saklar terbuka) pada *mosfet* dikatakan (*full-off*). Kondisi ini dapat diperoleh dengan menghubungkan jalur input (*gate*) ke *ground*, sehingga tidak ada tegangan yang masuk ke rangkaian saklar *mosfet*.

2.2.13 Software Proteus

Pada penelitian kali ini penulisakan menggunakan *software Proteus* sebagai media untuk merancang dan mensimulasi rangkaian yang ada di inverter. *Software Proteus* adalah sebuah *software* yang digunakan untuk mendesain PCB yang juga dilengkapi dengan simulasi PSpice dengan level skematik. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa rangkain yang di buat benar-benar berkerja sebelum di aplikasikan ke papan PCB. *Software* ini mengkombinasikan program ISIS untuk membuat desain skematik dengan program ARES yang berfungsi untuk membuat layout pada papan PCB.

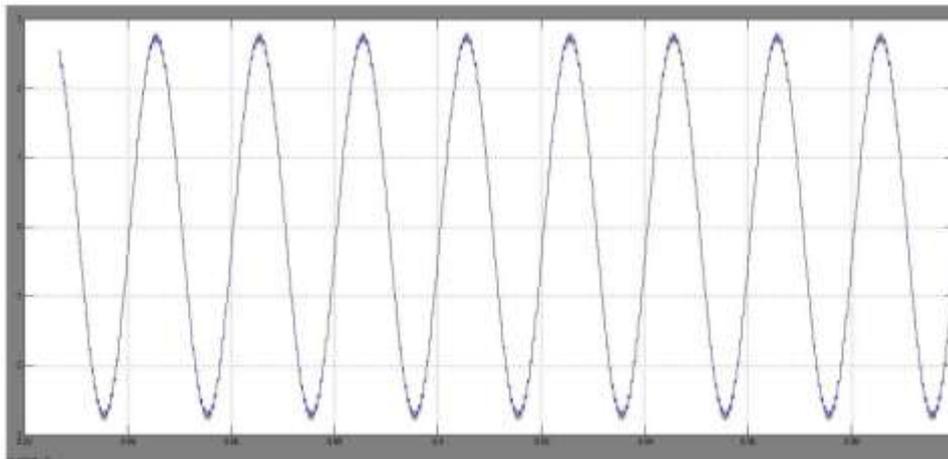


Gambar 2.20 Tampilan dari *software proteus*

2.2.14 L-C Filter

Dalam menghasilkan gelombang sinusoida murni inverter membutuhkan *filter low-pass L-C* sebagai pengganti *transformer* pada sisi *output full bridge* untuk mengurangi harmonisa yang dihasilkan oleh modulasi yang ada. Untuk desain *filter low-pass L-C*, frekuensi *filter cut-off* dianggap mampu menghilangkan harmonisa pada orde paling rendah dari bentuk gelombang tegangan output. Untuk beroperasi sebagai sumber tegangan ideal, impedansi keluaran inverter harus dijaga nol. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan

penelitian yang dilakukan oleh (Majhi 2012) memperlihatkan bahwasanya dengan nilai $L= 100\text{mH}$ dan $C= 1000\mu\text{F}$ di dapat gelombang seperti gambar berikut:

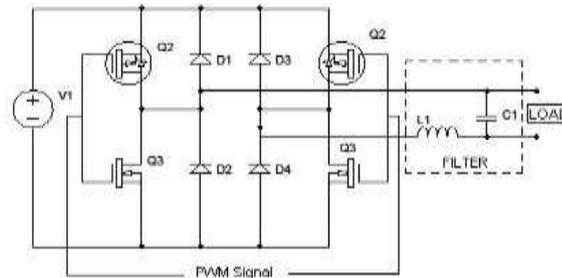


Gambar 2.21 Hasil filter gelombang dengan nilai $L= 100\text{mH}$, $C= 1000\mu\text{F}$

Oleh karena itu, nilai kapasitansi harus dimaksimalkan dan nilai induktansi harus diminimalkan pada saat kondisi frekuensi cut-off yang dipilih dari *filter low-pass* dapat dilihat pada persamaan 2.10. Secara teoritis, keluaran impedansi dari PWM *inverter* terdapat dikontrol dengan mengatur besaran keluaran sinyal *gain* dan *band width loop* tegangannya. Oleh karena itu, dalam prosedur desain *filter* konvensional, nilai komponen *filter L-C* biasanya dimodifikasi ketika membangun pengontrol umpan balik pada inverter (Kim dkk, 2000).

Setiap nilai komponen L dan C ditentukan untuk meminimalkan daya reaktif dalam komponen ini, karena daya reaktif dari L dan C akan menentukan nilai *filter L-C*. Karena itu komponen *filter* ditentukan pada nilai pengurangan kapasitansi dan penambahan induktansi jika tidak keluaran impedansi dari inverter akan sangat tinggi. Dengan ini bentuk gelombang tegangan keluaran inverter dapat berupa sinusoida karena impedansi keluaran adalah nol. Tetapi dalam hal perubahan langkah beban atau beban nonlinear, bentuk gelombang tegangan

output akan terdistorsi oleh respons *switching* sistem yang lambat karena apabila proses *switching* tidak berjalan cepat maka nilai nol tidak akan tercapai (Majhi 2012a)



Gambar 2.22 Desain *L-C filter* yang diterapkan dengan metode *full bridge*.

(Qazalbash dkk., 2009)

Dengan menggunakan hubungan tertutup antara nilai *filter* kapasitor dan konstanta waktu sistem maka nilai kapasitor dapat dihitung. Efek dari arus beban terhadap distorsi tegangan dapat dihitung melalui hubungan tertutup ini. Memungkinkan juga untuk menganalisis besar bentuk gelombang tegangan terdistorsi dalam sistem jika ada beban nonlinear.

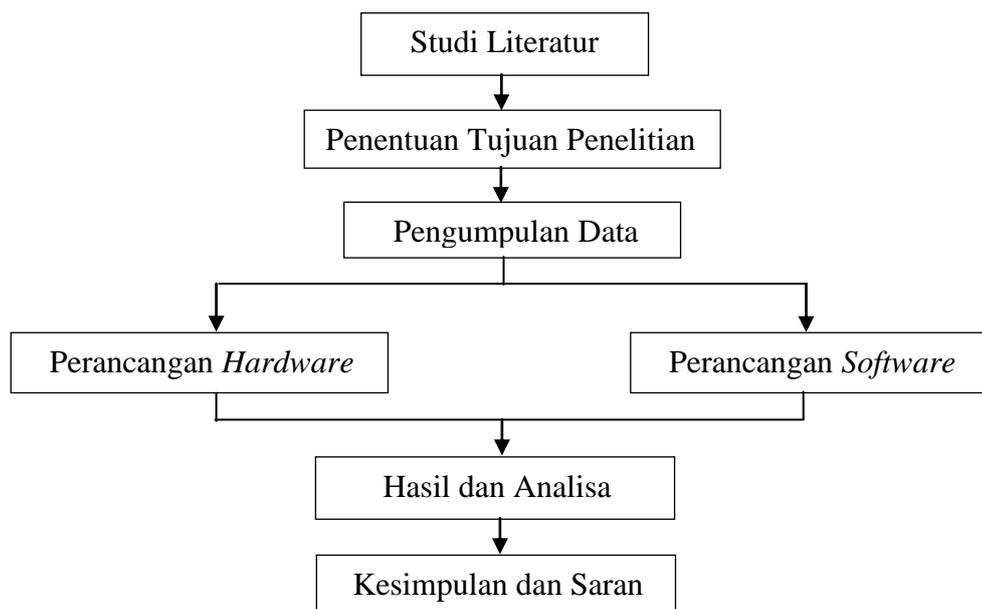
		komponen.
7.	Solder	Sebagai alat penghubung komponen pada komponen.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini tertera pada tabel 3.2 :

No.	Nama Bahan	Spesifikasi Bahan
1.	Arduino Nano	Sebagai pemberi input sinyal PWM.
2.	Mosfet IRF5210	Digunakan sebagai saklar otomatis dan penguat gelombang pada rangkaian.
3.	Mosfet IRF1010	Digunakan sebagai saklar otomatis dan penguat gelombang pada rangkaian.
4.	IC TC4427	Sebagai pengendali rangkaian dan sebagai input gerbang logika.
5.	<i>Heatsink</i>	Sebagai penyerap panas pada komponen.
6.	Dioda 1N4007	Sebagai pengatur arah arus listrik pada satu arah namun menghambat dari arah sebaliknya.
7.	Papan PCB	Sebagai media penghubung antar komponen.
8.	Resistor	Sebagai komponen pembantu dalam mengatur arus listrik.
9.	Kapasitor	Sebagai filter gelombang pada rangkaian <i>L-C filter</i> .
10.	Induktor	Sebagai filter gelombang pada rangkaian <i>L-C filter</i> .
11.	Terminal block	Sebagai konektor pada rangkaian.

3.3 Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian merupakan serangkaian proses yang terjadi selama penelitian berlangsung yang disusun secara urut dari tahap awal hingga akhir. Dengan alur penelitian, dapat ditentukan tujuan dan arah penelitian tugas akhir ini akan dilakukan. Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.2 Block diagram alur penelitian.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan secara teratur dan sistematis untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian. Adapun prosedur penelitian tersebut antara lain :

3.4.1 Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini dilakukan *study literature* untuk memahami cara kerja setiap komponen dan sistem yang akan dirancang. Adapun data yang diperlukan merupakan spesifikasi dari masing-masing komponen dan sekamatis sistem kerja dari *hardware* dan *software* yang akan dibuat meliputi prinsip kerja atau teori-teori dari sistem nantinya. Adapun *study literature* yang dilakukan adalah memahami tentang prinsip kerja *inverter* beserta teori-teori yang digunakan seperti metode modulasi gelombang pulsa meliputi penggunaan Arduino sebagai *pulse drive circuit*. Setelah itu memahami penggunaan metode *fullbridge* serta melakukan penyempurnaan gelombang sinus dengan menggunakan *L-C filter*.

Dalam hal ini juga dilakukan *study literature* terhadap penggunaan *software* untuk membangun sistem yang di inginkan seperti *software Arduino IDE, Proteuse* dan *smartsine*.

3.4.2 Analisis Kebutuhan Alat dan Sistem

Analisis kebutuhan alat dan sistem adalah tahap menentukan alat-alat dan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam perancangan serta sistem yang akan dibangun. Kebutuhan sistem meliputi :

- a. Kebutuhan perangkat lunak (*software*), terdiri dari perangkat lunak sistem operasi dan program yang akan digunakan untuk memprogram pada kali ini menggunakan *software Smart sine* untuk mendapatkan indeks gelombang pulsa yang di inginkan setelah itu indeks tersebut akan digunakan pada *software Arduino IDE* sebagai media perancangan sistem *pulse drave circuitry* yang nantinya akan di suntikan menuju rangkaian *full bridge*, selanjutnya akan dilakukan perancanganrangkaian *full bridge inverter* sebelum di terapkan pada papan PCB rangkaian tersebut akan disimulasikan terlebih dahulu menggunakan *software proteuse 7* untuk mengetahui apakah rangkaian tersebut bekerja dengan baik untuk melihat gelombang pulsa dan sinus yang dihasilkan.
- b. Kebutuhan perangkat keras (*hardware*), pada kali ini digunakan Arduino Nano sebagai *pulse generator* yang berfungsi untuk melakukan modulasi gelombang pulsa, pada Arduino akan dilakukan pemrograman menggunakan berdasarkan indeks tertentu yang telah di dapat melalui *software smart sine*. Setelah itu gelombang tersebut akan di suntikan menuju rangkaian *full bridge* yang berfungsi sebagai *sine wave generator*,

dalam hal ini digunakan *mosfet* sebagai saklar otomatis pada rangkaian ada beberapa komponen pendukung juga seperti dioda, IC, dan resistor. komponen-komponen tersebut akan bekerja untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Setelah itu juga dilakukan perancangan rangkaian *L-C filter* yang terdiri dari induktor dan kapasitor yang bertujuan untuk menyepurnakan gelombang sinus yang sebelumnya telah dimodulasi pada rangkaian *full bridge*. Hal ini dilakukan agar gelombang sinus yang dihasilkan oleh inverter lebih stabil sehingga tidak akan merusak komponen elektronika yang sensitif.

Untuk mempermudah perancangan dilakukan proses analisa atau penjabaran komponen-komponen yang dibutuhkan dalam mendukung kelancaran proses penelitian. Berikut adalah penjabaran alat-alat yang dibutuhkan :

1. *Mickrokontoler* Arduino Nano

Sistem kendali yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah berupa mikrokontroler Arduino Nano. Arduino Nano dalam inverter kali ini seperti pada **Error! Reference source not found.** ini berfungsi sebagai *pulse driver* yang berguna untuk menyuntikan gelombang pulsa yang telah di program sedemikian rupa menuju rangkaian *full bridge*. Arduino Nano memiliki 30 Pin dimana di antaranya adalah digital pin PWM yaitu Pin 3,5,6,9,10 dan 11 dimana besar frekuensi yang digunakan senilai 16 MHz.



Gambar 3.3 Arduino Nano.

2. Transistor *Mosfet* (IRF5210)

Pada penelitian kali ini transistor *mosfet* IRF5210 digunakan sebagai saklar otomatis pada rangkaian *full bridge*. Pada rangkaian mosfet akan bekerja secara bergiliran yang nantinya dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bantuan modulasi gelombang pulsa dari Arduino Nano.



Gambar 3.4 transistor *mosfet* IRF5210.

3. Transistor *Mosfet* (IRF1010)

Pada penelitian kali ini transistor mosfet IRF5210 digunakan sebagai saklar otomatis pada rangkaian *full bridge*. Pada rangkaian *mosfet* akan bekerja secara bergiliran yang nantinya dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bantuan modulasi gelombang pulsa melalui Arduino Nano.



Gambar 3.5 Transistor *mosfet* IRF1010.

4. IC TC4427

Pada penelitian kali ini digunakan IC TC4427 sebagai pengendali rangkaian *full bridge* dan sebagai *driver* gelombang pulsa yang diberikan

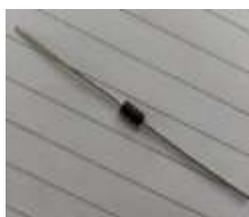
oleh Arduino menuju rangkaian *full bridge mosfet*. Pada penelitian kali ini digunakan kaki IC dengan 2,4,5 dan 7 sebagai pemberi input logika.



Gambar 3.6 IC TC4427.

5. Dioda 1N4007

Selanjutnya dalam penelitian kali ini menggunakan Dioda 1N4007 sebagai penyearah arus pada rangkain namun menghambat dari arah sebaliknya sehingga pergerakan arus dalam rangkaian tidak terbalik yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.



Gambar 3.7 Dioda 1N4007.

6. Resistor

Selanjutnya dalam penelitian kali ini untuk menyempurnakan rangkaian *full bridge* maka digunakanlah resistor. Pada kali ini resistor yang digunakan adalah sebesar 10 K sebanyak 4 buah.



Gambar 3.8 Resistor.

7. Kapasitor

Dalam penelitian kali ini untuk menyempurnakan rangkaian *full bridge* maka digunakanlah kapasitor sebagai penstabil rangkaian. Pada kali ini kapasitor juga berfungsi sebagai *L-C filter* sebagai penstabil tegangan .



Gambar 3.9 Kapasitor.

8. Induktor

Pada penelitian kali ini dipakai inductor sebagai komponen yang menyusun rangkaian *L-C filter* yang berfungsi sebagai penyempurna bentuk gelombang sinusoida. Dalam hal ini Induktor bekerja bersama Kapasitor sehingga kerusakan pada gelombang dapat dihilangkan.



Gambar 3.10 Induktor.

9. Heatsink

Adapun komponen selanjutnya adalah *Heatsink*. *Heatsink* ini berfungsi untuk menjaga temperatur dari *mosfet* dalam keadaan sistem kerja yang berat sehingga *mosfet* tersebut dapat bekerja dengan maksimal.



Gambar 3.11 *Heatsink*.

10. Papan PCB

Dalam penelitian kali ini rangkaian akan dirakit pada papan PCB. Pertama papan PCB akan dilarutkan agar layout dapat tercetak, lalu setelah itu komponen akan dirakit membentuk rangkaian yang diinginkan.



Gambar 3.12 Papan PCB.

11. Terminal *Block*

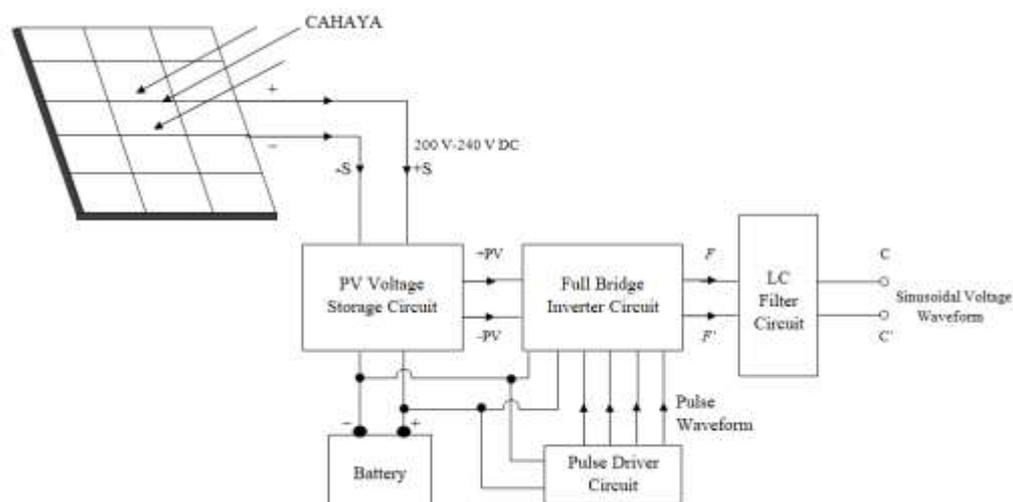
Pada bagian sisi atas dan sisi bawah akan dipasang terminal *block* dengan tujuan memudahkan konektivitas antar kabel nantinya. Ukuran terminal *block* juga harus disesuaikan dengan ukuran kabel yang akan dipakai nantinya.



Gambar 3.13 Terminal *block*

3.5 Perancangan Sistem

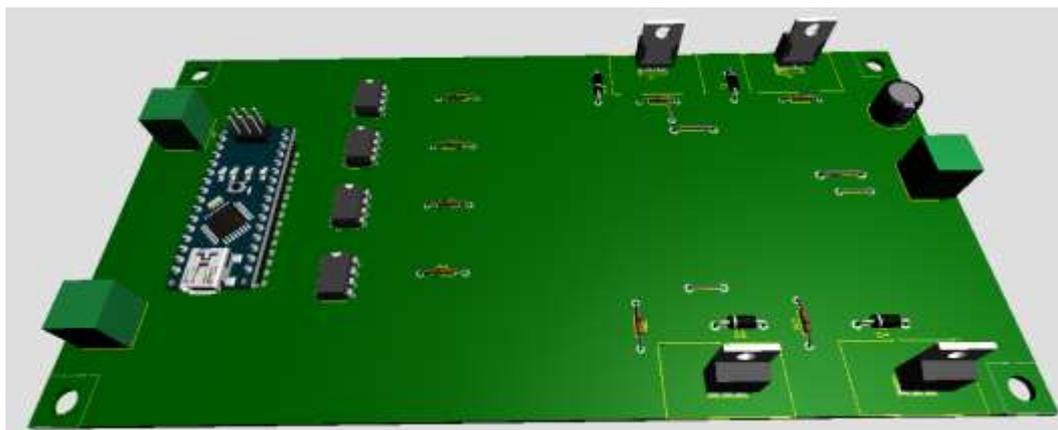
Perancangan sistem merupakan langkah awal untuk menentukan bentuk dan susunan alat yang akan dibuat nantinya. Tahapan perancangan dilakukan agar pada saat pembuatan alat dapat terealisasi secara terstruktur, sistematis, efektif dan efisien. Dalam perancangan sistem pada penelitian kali ini terbagi atas tiga bagian besar yaitu perancangan *pulse drive cicuit*, *full bridge cicuit* dan *L-C cicuit*. Dalam hal ini kita dapat menentukan *software* mana yang akan digunakan untuk merancang program sehingga alat nantinya akan berkerja maksimal sesuai dengan keinginan. Serta dalam hal ini akan dilakukan perancangan *hardware* yang dilakukan sesuai dengan analisa kebutuhan komponen yang sebelumnya telah dilakukan, sehingga nantinya tidak ada kesalahan dalam sistem. Berikut adalah tahap perancangan pembuatan alat penelitian.



Gambar 3.14 *Block diagram* seluruh komponen *transformerless photovoltaic inverter*.

Perancangan *transformerless photovoltaic inverter* (TPVI) dilakukan dengan cara merancang skema rangkaian terlebih dahulu seperti pada Gambar 3.14. Skema rangkaian tersebut merupakan pemodelan dari komponen yang akan

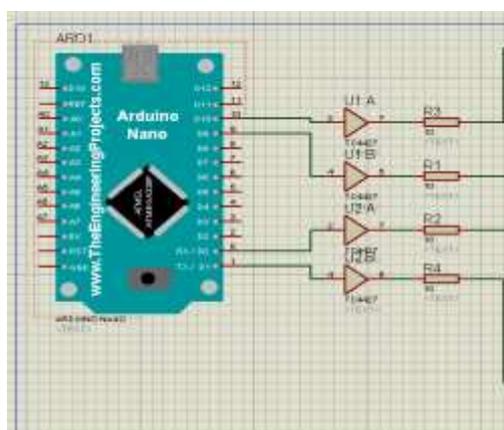
digunakan sebagai acuan dalam tata letak alat. Selain digunakan sebagai rancangan pembuatan alat, skema tersebut juga digunakan untuk menekankan anggaran biaya yang keluar secara tidak wajar atau tidak di sengaja. Setelah didapatkan rancangan sistem, maka pada tahapan selanjutnya akan dilakukan perancangan *hardware dan software*.



Gambar 3.15 Skema rangkaian *transformerless photovoltaic inverter*.

3.5.1 Perancangan *Pulse Drive Circuit*

Dalam perancangan *pulse drive circuit* ini digunakan *mikrokontroler* Arduino Nano yang berfungsi sebagai penyuplai gelombang pulsa menuju rangkaian *full bridge* nantinya. Sebelum diterapkan menuju papan PCB rangkain akan di simulasikan terlebih dahulu sebagai berikut :



Gambar 3.16 Skema rangkaian *pulse drive circuit* dengan Arduino Nano

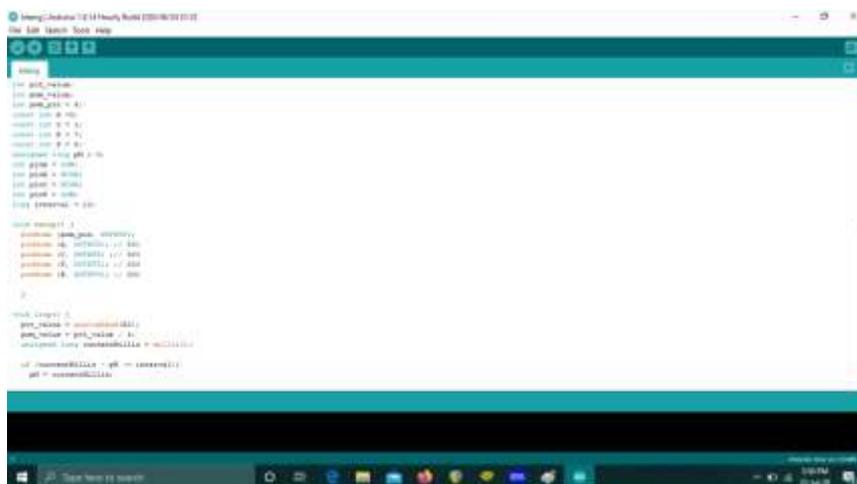
Skema rangkaian di atas merupakan pemodelan di buat menggunakan *software Proteus* sebagai acuan dalam perancangan dan simulasi komponen. selain digunakan sebagai rancangan pembuatan alat, skema tersebut juga digunakan untuk menekan anggaran biaya yang digunakan tidak sengaja dikarena adanya kesalahan program yang menyebabkan kerusakan pada komponen.

3.5.2 Perancangan *Software Pulse Drive Circuit*

Berdasarkan *study literature* yang dilakukan, selanjutnya untuk membuat program yang dapat berfungsi sebagai modulator gelombang pulsa dibutuhkan *software* yang dapat mengetahui indeks modulasi gelombang pulsa berdasarkan gelombang sinus yang diinginkan seperti pada Gambar 3.18. Adapun tahap perancangan *software pulse drive circuit* sebagai berikut :

1. Pertama-tama kita harus menentukan nilai frekuensi yang dapat diberikan oleh Arduino Nano yaitu sebesar 16 MHz.
2. Setelah itu mengetahui kapasitas daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya yang digunakan yaitu sebesar 330 WP dan menentukan sudut sinus yang akan terbentuk yaitu 180° .
3. Mengetahui jumlah dari keluaran PWM dalam setengah gelombang, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.8).
4. Selanjutnya menentukan Periode PWM untuk mengetahui nilai dari *output* gelombang PWM berdasarkan nilai periode setengah gelombang sinus. Yaitu sebesar 10 ms berdasarkan persamaan (2.9).
5. Setelah itu data-data di atasakan di input menuju *software smart sine* seperti pada gambar 3.17.

- Selanjutnya nilai indeks gelombang pulsa yang dihasilkan oleh *software smart sine* akan digunakan untuk membuat program modulasi MPWM menggunakan *software* Arduino IDE seperti pada gambar 3.17.



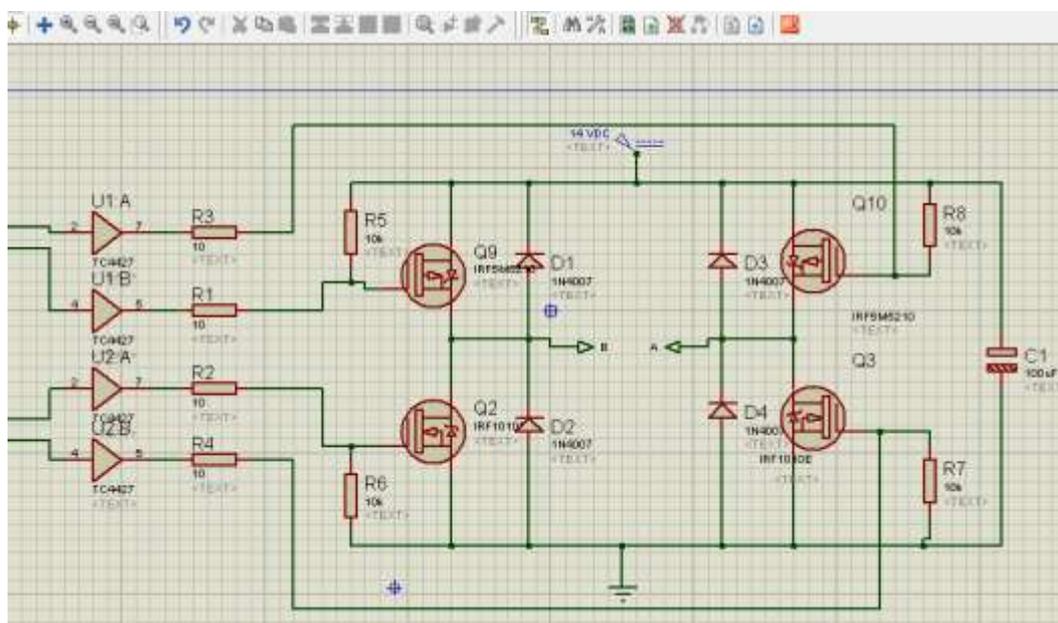
Gambar 3.17 Program modulasi sinyal pulsa melalui Arduino Nano.

- Terakhir melakukan upload program menuju *hardware* Arduino.

3.5.3 Perancangan *Full Bridge Inverter*

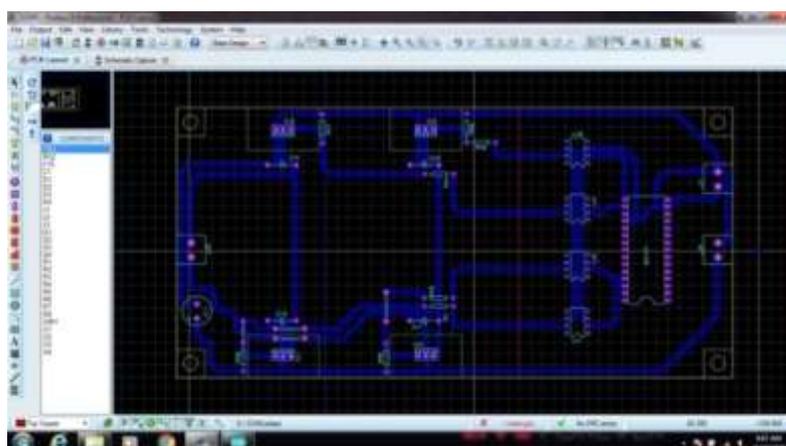
Berdasarkan diagram blok di atas, sistem kerja dari *transformerless photovoltaic inverter* adalah dengan module PV sebagai sumber tegangan utama yang setelah itu tegangan akan di alirkan ke *PV voltage storage* cicuit lalu tegangan akan disimpan pada *battery* yang nantinya berfungsi sebagai input masukan tegangan DC bagi inverter. Pada kali ini akan dilakukan perancangan rangkaian *full bridge* menggunakan *software proteus* yang akan sekaligus dilakukan simulasi guna mengetahui kinerja dari rangkaian yang akan dibuat, serta untuk menghindari kesalahan dalam pemilihan komponen. Perancangan ini juga bertujuan agar ketika melakukan penerapan komponen pada papan PCB terpasang sesuai tempatnya sehingga tidak terjadi kegagalan operasi pada alat

nantinya. Berikut ini adalah gambar dari rangkaian *full bridge* yang akan di terapkan pada inverter seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.18 Skema perancangan rangkaian *full bridge inverter*.

Skema rangkaian di atas merupakan pemodelan dari komponen yang di gunakan sebagai acuan dalam desain alat. Setelah komponen yang diperlukan dalam penelitian telah dirancang, langkah selanjutnya membuat *layout* PCB dengan tujuan membuat *PCB print layout* yang nantinya akan dicetak pada papan PCB.

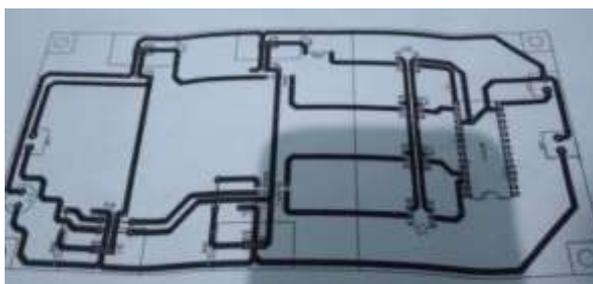


Gambar 3.19 *PCB layout* rangkaian *full bridge*.

3.5.4 Perancangan Hardware Rangkaian *Full Bridge*

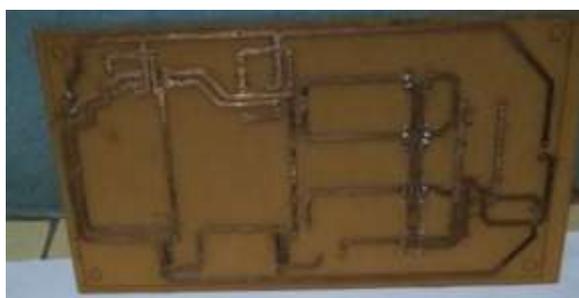
Perancangan *hardware* bertujuan untuk membuat rangkaian dan merakit semua peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian menjadi satu sistem. Dalam perancangan *hardware*, tingkat ketelitian harus diutamakan karena sangat berpengaruh pada hasil perancangan nantinya. Kesalahan kecil dalam perancangan dapat mempengaruhi kinerja sistem, akibatnya sistem dapat mengalami kegagalan (*crash*). Adapun tahapan dalam perancangan *hardware* antara lain:

- 1) Mencetak *print layout* gambar 3.21 pada papan tembaga PCB board. Tujuannya adalah untuk membuat jalur rangkaian komponen pada PCB board.



Gambar 3.20 Proses *print layout* yang akan di terapkan pada PCB board.

- 2) Langkah selanjutnya adalah proses pelarutan logam papan PCB yaitu dengan merendam dalam larutan asam klorida. Agar tinta print yang melekat pada papan PCB.



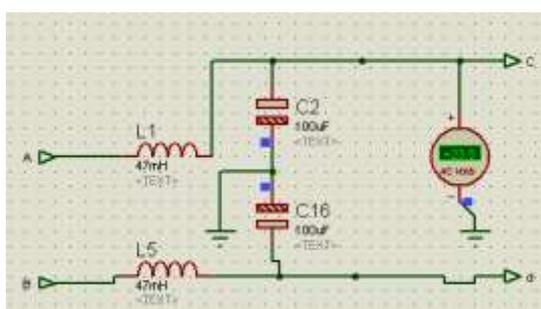
Gambar 3.21 Hasil dari pelarutan klorida pada papan PCB

- 3) Langkah berikutnya adalah membuat lubang komponen pada PCB menggunakan bor PCB, lalu meletakkan tiap komponen sesuai dengan Gambar 3.20 dan merekatkannya menggunakan timah serta solder listrik.
- 4) Langkah terakhir adalah pengecekan lajur antara komponen, dan *validasi* design sistem.

3.5.5 Perancangan *L-C Filter*

Pada penelitian kali ini akan dilakukan perancangan rangkaian *L-C filter* berdasarkan tinjauan putaka yang ada sebagai berikut:

1. Pertama akan dilakukan perancangan rangkaian *L-C filter* menggunakan *software* Proteus seperti pada gambar 3.22.
2. Selanjutnya akan dilakukan penentuan jumlah besaran *L-C filter* yang akan digunakan, dengan cara mengubah nilai-nilai dari *L-C filter* yang ada.
3. Lalu akan dilakukan simulasi untuk melihat kemampuan dari *L-C filter* tersebut dalam menyempunakan gelombang sinus yang dihasilkan
4. Setelah itu akan dilakukan penerapan nilai *L-C filter* yang telah disimulasikan pada komponen.



Gambar 3.22 Skema rangkain *L-C Filter*.

3.6 Simulasi dan Pengujian Alat

Setelah tahap perancangan alat selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dan pengujian alat dimana bertujuan untuk mengetahui

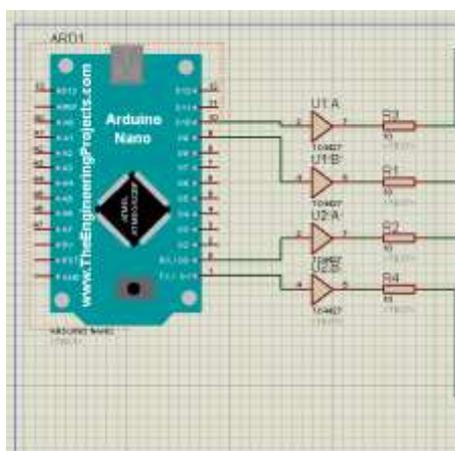
apakah *Inverter* yang dirancang telah sesuai dengan deskripsi kerja yang diinginkan, yaitu Inverter dapat menghasilkan gelombang sinusoida.

3.6.1 Simulasi Sistem MPWM TPVI Menggunakan *Software Proteuse*

Pada kali ini akan dilakukan simulasi pada kali ini akan dilakukan simulasi pada sistem yang ada menggunakan *software* Proteus ataupun *Osiloskop*, untuk itu sebelumnya perlu melakukan langkah-langkah sesuai dengan prosedur penelitian yang ada. Berikut adalah simulasi yang akan dilakukan:

a. Simulasi *Pulse Drive Circuit*

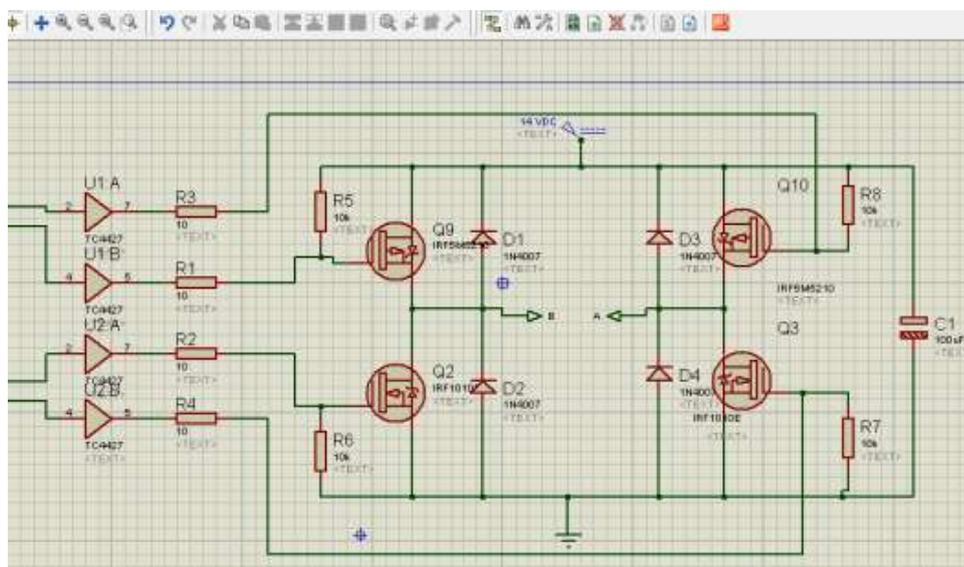
Pada *pulse drive circuit* ini memiliki 4 keluar yang akan dihubungkan menuju rangkaian *full bridge*. Pertama-tama program yang ada pada Arduino IDE akan dipindahkan menuju rangkaian *pulse drive circuit* pada *software* Proteuse. Simulasi *pulse drive circuit* dilakukan dengan cara melihat hasil gelombang yang dihasilkan oleh Arduino Nano dengan menghubungkan keluaran pin arduino pada Osiloskop digital yang ada di dalam *software* Proteuse. Pengujian ini bertujuan untuk melihat gelombang pulsa yang dihasilkan apakah telah sesuai dengan yang di inginkan sebelum di terapkan pada *hardware* Arduino Nano.



Gambar 3.23 Simulasi *pulse drive cicuit*

b. Simulasi Rangkaian *Full Bridge*

Setelah rangkaian *full bridge* selesai di rancang maka akan dilakukan simulasi apakah rangkaian tersebut sudah berfungsi sesuai keinginan atau belum. Rangkaian yang telah jadi akan disimulasikan pada *software* Proteuse untuk melihat kinerja dan kecocokan komponen pada rangkaian yang ada.



Gambar 3.24 Simulasi rangkaian *full bridge*

3.6.2 Pengujian Sistem MPWM TPVI

Selanjutnya akan dilakukan pengujian pada alat dan komponen yang telah di rangkai untuk melihat kinerja dari sistem yang telah di bangun, serta melihat apakah program yang di rancang berjalan sesuai simulasi yang ada, berikut adalah pengujian yang akan dilakukan :

a. Pengujian *Pulse Drive Circuit*

Pada kali ini program yang telah di *upload* pada *Arduino Nano* akan di uji untuk melihat hasil program yang telah dibangun. Pengujian akan dilakukan sebanyak 2 kali dimana pada masing-masing pengujian

bertujuan untuk melihat gelombang keluaran yang di hasilkan oleh Arduino. Pengujian akan dilakukan dengan cara menghubungkan kabel probe Osiloskop pada pin 1 & 2 Arduino, setelah itu dilanjutkan dengan menghubungkan kabel probe Osiloskop pada Pin 9 &10.



Gambar 3.25 Pengujian *pulse drive circuit*.

b. Pengujian Rangkaian *Full Bridge*

Setelah rangkaian *full bridge* selesai di rangkai maka akan dilakukan pengujian untuk melihat kemampuan rangkain dalam mengubah gelombang. Rangkaian yang telah jadi akan di uji coba dengan semua keluaran dari rangkaian *full bridge* akan hubungan pada kabel *probe* Osiloskop. Pada kondisi ini rangkaian *full bridge* akan dihubungkan dengan *pulse drive circuit* sehingga dapat menerima gelombang pulsa. Proses modulasi gelombang itu sejatinya akan terjadi pada rangkaian *full bridge*, dimana gelombang DC yang melewati rangkaian akan dimodulasi oleh gelombang pulsa yang dikirimkan oleh *pulse drive circuit*. Pada pengujian ini rangkaian *full bridge* belum dihubungkan dengan rangkaian *L-C filter*. Hasil dari pengujian tersebut kemudian akan di bandingkan dengan hasil pengujian rangkaian *full bridge* dengan menggunakan *L-C filter*.

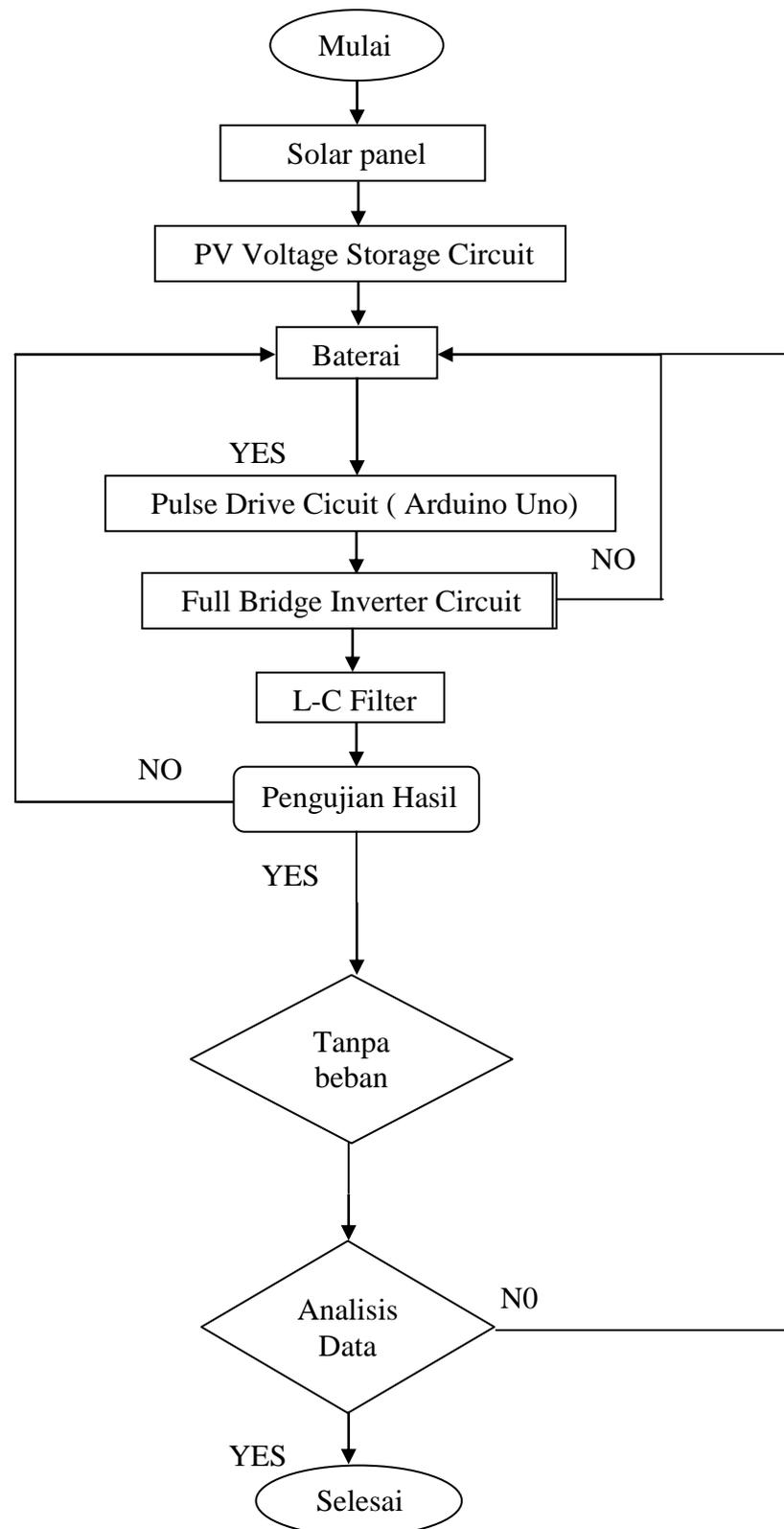


Gambar 3.26 Rangkaian *full bridge* beserta *L-C filter*

c. Pengujian Rangkaian *L-C Filter*

Pada tahap pengujian kali ini akan dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaian *full bride* dengan *L-C filter*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh rangkaian *L-C filter* dalam memperbaiki kerusakan gelombang yang ada. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan kabel keluaran dari *L-C filter* dengan kabel probe osiloskop sehingga hasil pengujian dapat di lihat pada layar monitor osiloskop nantinya.

3.8 Flowchart Sistem *Transformerless Photovoltaic Inverter*



Gambar 3.27 Flowchart sistem *full bridge transformerless photovoltaic inverter*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

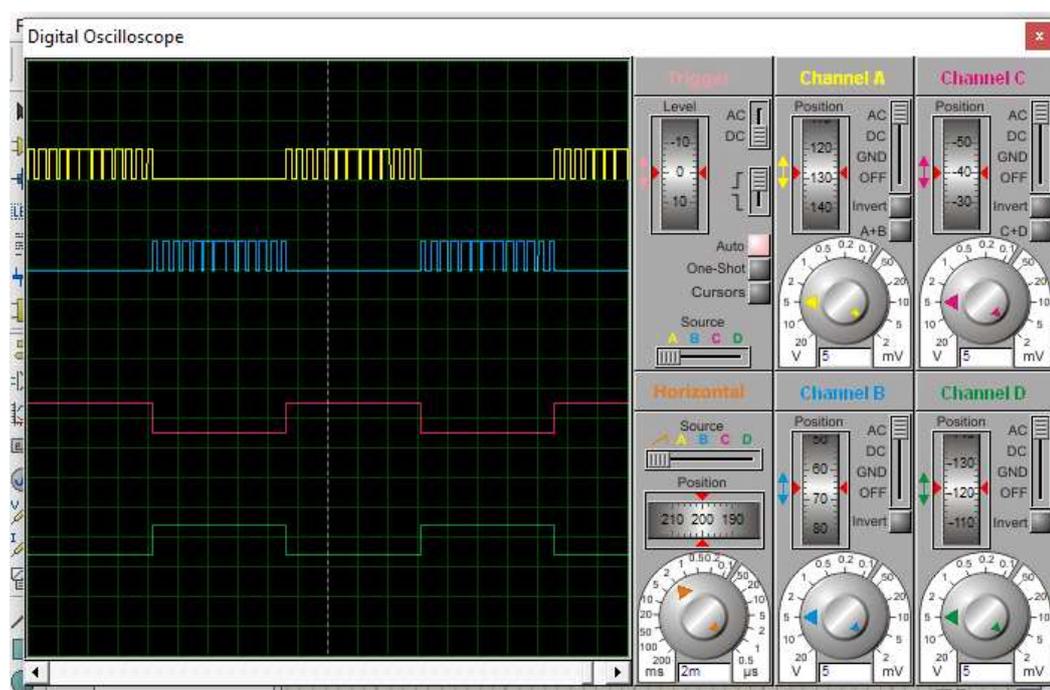
Hasil yang diperoleh pada penelitian kali ini adalah berupa sample gelombang. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Proteuse* lalu selanjutnya akan dilakukan pengujian dengan menggunakan Osiloskop untuk melihat gelombang yang ada. Dalam hal ini akan dilihat apakah metode yang dipilih dapat bekerja atau tidak serta menguji dari kehandalan dari *L-C filter* dalam memperbaiki gelombang sebagai pengganti trafo. Adapun hasil pengujian MPWM TPVI adalah sebagai berikut :

4.1.1 Hasil Simulasi dan Pengujian *Pulse Drive Circuit*

Proses modulasi yang dilakukan oleh *pulse drive circuit* sangat penting untuk mengubah gelombang DC menjadi gelombang sinus hal tersebut adalah faktor utama dalam menentukan kemampuan inverter. Melalui Simulasi yang dilakukan menggunakan *software Proteuse* diketahui hasil pemrograman yang di hasilkan dapat dilihat pada gambar 4.1.

Dapat dilihat pada gambar 4.1 bahwasanya *pulse drive circuit* tersebut memiliki 4 keluaran yaitu *Channel A, B, C dan D*. Jika di amati dapat dilihat bahwapada beberapa *Channel* memiliki bentuk gelombang yan berbeda, hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan fungsi gelombang pulsa tersebut dalam melakukan proses modulasi nantinya. Adapun teknik modulasi yang digunakan pada *pulse drive circuit* kali ini menggunakan teknik *multiple pulse width modulation* (MPWM), dimana dalam proses modulasi tersebut menggunakan 2 gelombang pulsa yang sama nilai. Modulasi gelombang yang akan dilakukan akan

melalui 2 proses modulasi yang dilakukan bersamaan. Dapat dilihat pada gambar 4.1 pada *Channel A* dan *B* memiliki bentuk gelombang pulsa yang sama, hal tersebut juga berlakunpada *Channel C* dan *D* dimana terdapat kesamaan bentuk gelombang yang di hasilkan.



Gambar 4.1 Hasil simulasi *pulse drive circuit*

Adapun fungsi dari modulasi gelombang pulsa yang dilakukan oleh *Channel A* dan *B* adalah sebagai modulator utama yang berfungsi sebagai pengubah gelombang DC menjadi sinus, hal ini memanfaatkan perubahan lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap namun dengan lebar sinyal yang berbeda. Pada teknik MPWM ini akan dilakukan penggandaan keluaran PWM per setengah siklus. Adapun fungsi modulasi pulsa yang dilakukan oleh *Channel C* dan *D* adalah sebagai penyeimbang bentuk gelombang namun dengan mempertahankan nilai frekuensi dan amplitudo yang sama dengan *Channel A* dan *B*.

Untuk menghasilkan modulasi pulsa dengan keluaran PWM per setengah gelombang siklus perlu dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu :

- a. *Multiple pulse width modulation* (MPWM) terbentuk berdasarkan teknik modulasi (PWM), dalam hal tersebut kita perlu menghasilkan nilai priode dan *duty cycle* yang spesifik. Untuk menentukan nilai priode PWM dalam setengah siklus gelombang dapat di tentukan dengan persamaaan 2.7. Adapun nilai frekuensi osilator atau Arduino adalah sebesar 16 MHz, PR = *Priode to register* 249 μ s

$$\begin{aligned} \text{Priode PWM} &= \{PR + 1\} \cdot 4 \cdot \frac{1}{F_{osc}} \cdot TMR2 \text{ prescale} \\ &= \{249 + 1\} \cdot 4 \cdot \frac{1}{16 \times 10^6} \cdot 1 \\ &= 62.5 \mu\text{s} \end{aligned}$$

- b. Pada kali ini nilai modulasi PWM akan dilakukan setiap 10 ms sekali, hal tersebut merupakan nilai dari setengah siklus gelombang sinus. Maka dari itu kita dapat menentukan jumlah dari total *output* PWM yang diinginkan menggunakan persamaan 2.8

$$N \times \text{Priode PWM} = \text{Setengah Gelombang Sinus}$$

$$N \times 62.5 \mu\text{s} = 10 \text{ ms}$$

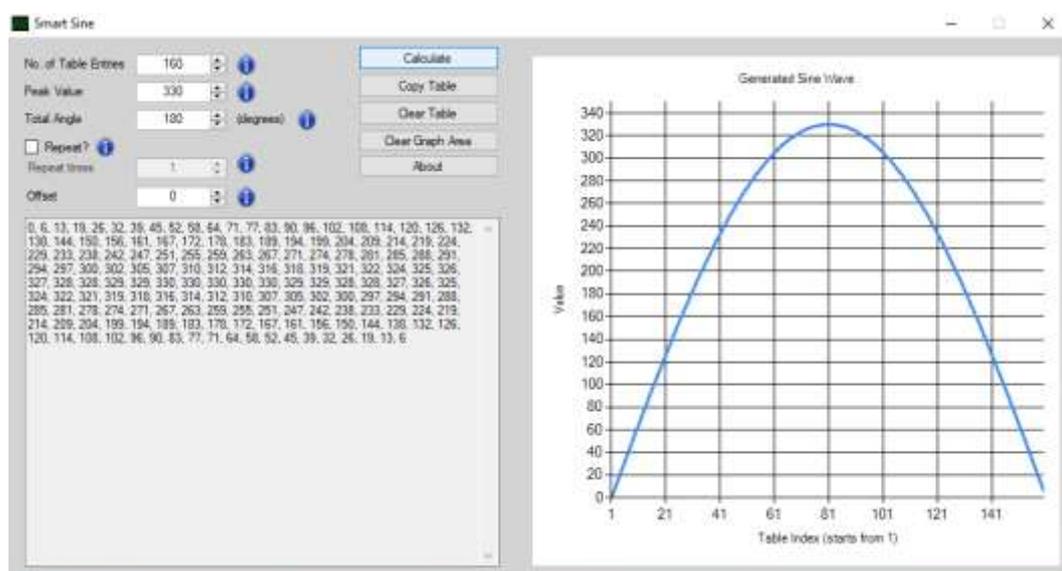
$$N = \frac{10 \text{ ms}}{62.5 \mu\text{s}}$$

$$N = \frac{10 \times 10^3}{62.5 \mu\text{s}}$$

$$= 160$$

Maka dapat diketahuai pada gambar 4.1 terdapat 160 PWM *output* dengan *duty cycle* berbeda namun dengan priode yang sama dalam waktu 10 ms. Nilai tersebut dapat dijadikan parameter untuk melakukan modulasi gelombang nantinya. Dapat

dilihat gelombang sinus yang di hasilkan melalui *software smart sine* sebagai berikut :

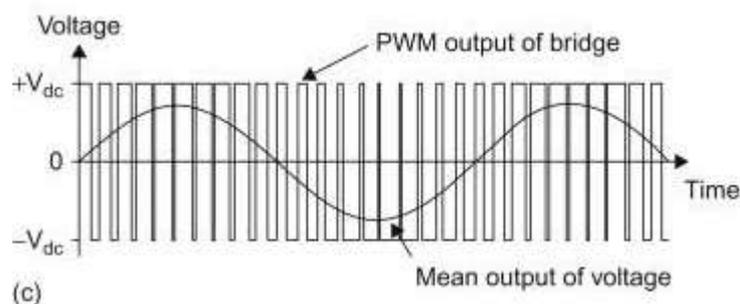


Gambar 4.2 Hasil simulasi *software smart sine*

Dalam melakukan simulasi tersebut hanya perlu memasukkan nilai dari daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya yaitu sebesar 330 WP dan menentukan sudut sinus yang akan terbentuk yaitu 180° . Maka simulasi tersebut akan menghasilkan indeks nilai *duty cycle* sebagai dasar program dan gambaran setengah gelombang sinus yang akan dihasilkan. Untuk lebih jelasnya gelombang yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat terdapat dua gelombang pulsa hal tersebut di dasarkan dengan teknik modulasi yang digunakan yaitu MPWM. Dapat diperhatikan setiap gelombang memiliki *duty cycle* berbeda namun dengan priode yang sama, hal ini bertujuan untuk menciptakan gelombang sinus yang di inginkan, semakin rapat gelombang pulsa yang dihasilkan maka semakin tinggi nilai gelombang yang dihasilkan. Hal ini berdasarkan pada nilai indeks yang di

dapat seperti pada gambar 4.2 semakin besar nilai indeks yang dihasilkan semakin tinggi gelombang yang dibentuk, dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Bentuk gelombang sinus berdasarkan pulsa yang di hasilkan.

Berdasarkan Gambar 4.1 sebelumnya diketahui bahwa:

a) Nilai dari *channel A*:

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 1,2$$

$$\text{volt/div} = 5 \text{ mv} = 0,005 \text{ v}$$

$$\text{maka nilai, vpp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$$

$$= 1,2 \times 0,005 \text{ v}$$

$$= 0.006 \text{ v}$$

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 4,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

$$\text{maka nilai, frekuensi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$$

$$= 4,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,022 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{0,022 \text{ s}} = 45,45 \text{ hz}$$

b) Nilai dari *channel B* :

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 1,2$$

$$\text{volt/div} = 5 \text{ mv} = 0,005 \text{ v}$$

$$\text{maka nilai, vpp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$$

$$= 1,2 \times 0,005 \text{ v}$$

$$= 0.006 \text{ v}$$

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 4,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

$$\text{maka nilai, frekuensi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$$

$$= 4,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,022 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{0,022 \text{ s}} = 45,45 \text{ hz}$$

c) Nilai dari *channel C*:

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 1,2$$

$$\text{volt/div} = 5 \text{ mv} = 0,005 \text{ v}$$

$$\text{maka nilai, vpp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$$

$$= 1,2 \times 0,005 \text{ v}$$

$$= 0.006 \text{ v}$$

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 4,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

$$\text{maka nilai, frekuensi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$$

$$= 4,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,022 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{0,022 \text{ s}} = 45,45 \text{ hz}$$

a) Nilai dari *channel B* :

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 1,2$$

$$\text{volt/div} = 5 \text{ mv} = 0,005 \text{ v}$$

$$\text{maka nilai, vpp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$$

$$= 1,2 \times 0,005 \text{ v}$$

$$= 0.006 \text{ v}$$

Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 4,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

$$\text{maka nilai, frekuensi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$$

$$= 4,4 \times 0,005 \text{ s}$$

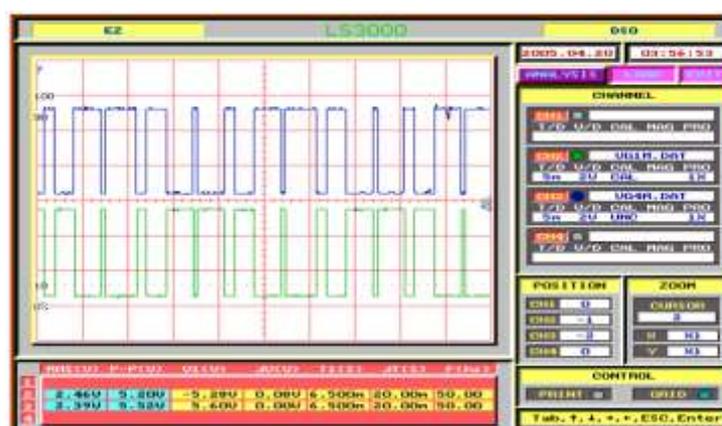
$$= 0,022 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{0,022 \text{ s}} = 45,45 \text{ Hz}$$

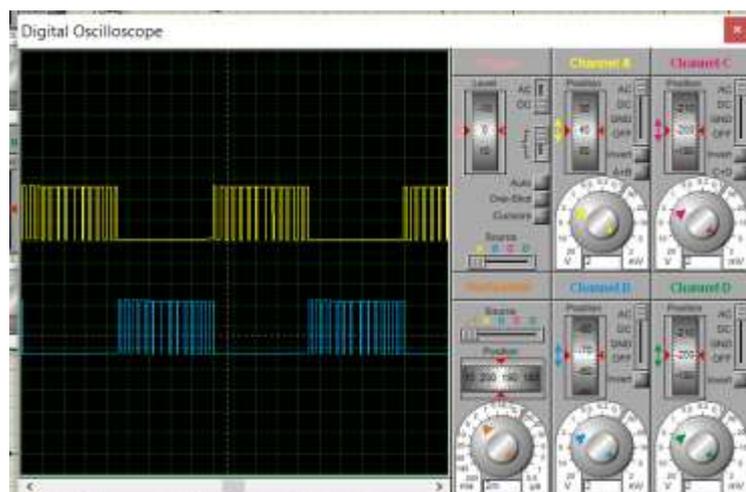
Dari hasil analisa di atas maka di dapat data seperti pada table 4.1 berikut :

Jenis Pengujian	Rangkaian pulse Drive Circuit			
	Chanel A	Chanel B	Chanel C	Chanel D
Vpp	0.006 v	0.006 v	0.006 v	0.006 v
Frekuensi	45.45 Hz	45.45 Hz	45.45 Hz	45.45 Hz

Dengan 160 PWM dapat menghasilkan tegangan sebesar 0.006 v dan frekuensi sebesar 45.45 Hz dan menghasilkan gelombang PWM seperti gambar 4.1. Gelombang PWM yang di hasilkan di pengaruhi dengan besarnya nilai indeks modulasi atau jumlah gelombang PWM tersebut, sebagai perbandingan dapat di liat seperti gambar di bawah:



(a) Nilai indeks (0,8)



(b) Nilai indeks (0, 6, 13, 19, 26, 32, 39, 45, 52, 58, 64, 71, 77, 83, 90, 96, 102, 108, 114, 120, 126, 132, 138, 144, 150, 156, 161, 167, 172, 178, 183, 189, 194, 199, 204, 209, 214, 219, 224, 229, 233, 238, 242, 247, 251, 255, 259, 263, 267, 271, 274, 278, 281, 285, 288, 291, 294, 297, 300, 302, 305, 307, 310, 312, 314, 316, 318, 319, 321, 322, 324, 325, 326, 327, 328, 328, 329, 329, 330, 330, 330, 330, 329, 329, 328, 328, 327, 326, 325, 324, 322, 321, 319, 318, 316, 314, 312, 310, 307, 305, 302, 300, 297, 294, 291, 288, 285, 281, 278, 274, 271, 267, 263, 259, 255, 251, 247, 242, 238, 233, 229, 224, 219, 214, 209, 204, 199, 194, 189, 183, 178, 172, 167, 161, 156, 150, 144, 138, 132, 126, 120, 114, 108, 102, 96, 90, 83, 77, 71, 64, 58, 52, 45, 39, 32, 26, 19, 13, 6)

Gambar 4.4 Perbandingan pengaruh nilai indeks terhadap bentuk gelombang

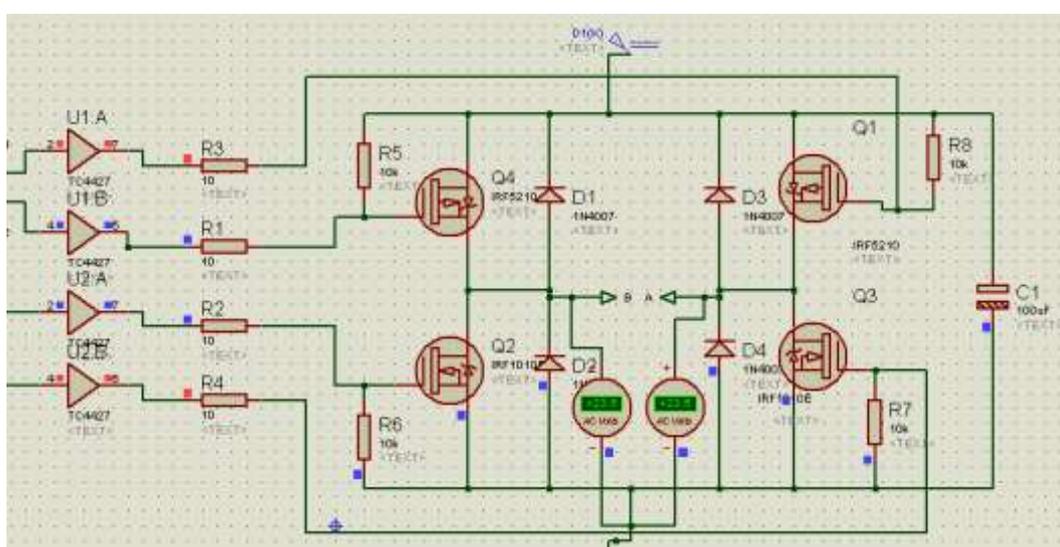
PWM

Dapat di lihat dari hasil analisa di atas bahwasanya semakain besar nilai indeks yang dihasilkan semakin rapat gelombang PWM yang di hasilkan dan semakin gelombang sinus yang terbentuk. pada *chanel A dan B* memiliki nilai dan bentuk yang sama demikian dengan *chanel C dan D*. Hasil ini sesuai dengan program yang telah di buat. Setelah diketahui nilai dan bentuk dari kedua gelombang PWM

di atas maka dapat melanjutkan melakukan simulasi selanjutnya untuk di terapkan pada rangkaian *full bridge*.

4.1.2 Hasil Simulasi dan Pengujian Rangkaian *Full Bridge*

Dalam simulasi kali ini peneliti ingin melihat kecocokan dan kinerja rangkaian yang ada untuk meminimalisir pengeluaran biaya akibat salah pemilihan komponen. Pada kali ini bentuk rangkaian *full bridge* yang ada di modifikasi sedemikian rupa sehingga dapat menerima modulasi gelombang pulsa yang dikirimkan oleh *pulse drive circuit*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

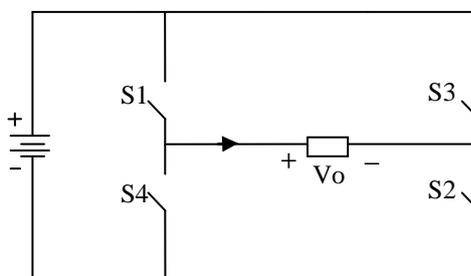


Gambar 4.5 Simulasi rangkaian *full bridge*.

Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwasanya semua komponen pada rangkaian yang disimulasikan dapat bekerja dengan baik. Dalam rangkaian *full bridge* kali ini peneliti menggunakan 4 *mosfet* dan 4 IC dimana *mosfet* sendiri berfungsi sebagai saklar otomatis sedangkan IC berfungsi untuk menyalurkan gelombang pulsa menuju *mosfet*. Kedua komponen tersebut bekerja secara bergantian sesuai keadaan tertentu untuk menciptakan gelombang sinus yang diinginkan. Kondisi dari setiap *mosfet* dapat dilihat pada *switching table* 4.2 berikut :

S1	S2	S3	S4	V _o
1	1	0	0	+VDC
1	0	1	0	0
0	0	1	1	-VDC
0	1	0	1	0

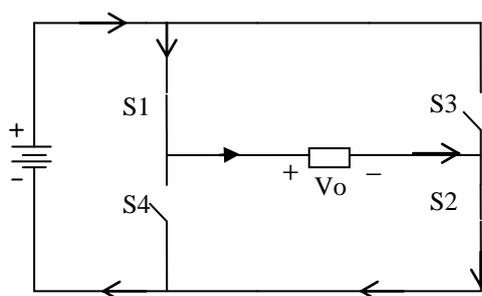
Dapat dilihat dari table 4.2 *mosfet* di lambangkan dengan S1, S2, S3 dan S4 di ilustrasikan sebagai saklar, sedangkan V_o adalah tegangan *output*.



Gambar 4.6 Ilustrasi sistem kerja rangkaian *full bridge*.

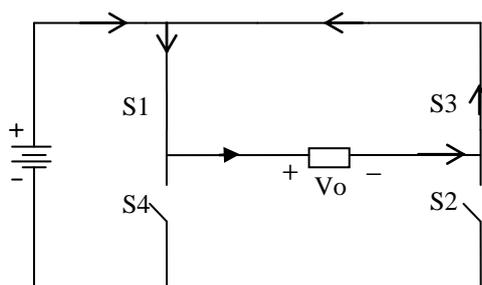
Dalam sistem kerjanya rangkaian *full bridge* ini memiliki 4 keadaan yang berbeda sebagai berikut :

- a. Adapun keadaan awal S1 dan S2 dalam keadaan NC sedangkan S3 dan S4 dalam keadaan NO seperti pada gambar 4.5. Pada kondisi ini tegangan akan mengalir melalui sumber menuju S1 lalu ke beban setelah itu akan melewati S2. Kondisi tersebut akan menciptakan keadaan +VDC, dapat dilihat pada gambar berikut :



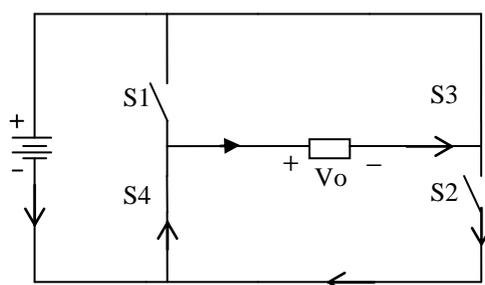
Gambar 4.7 Kondisi perubahan pada rangkaian *full bridge*

- b. Adapun keadaan pada S1 dan S3 dalam keadaan NC sedangkan S2 dan S4 dalam keadaan NO seperti pada gambar 4.6. Pada kondisi ini tegangan akan mengalir melalui sumber menuju S1 lalu ke beban setelah itu akan melewati S3. Kondisi tersebut akan menyebabkan tidak adanya tegangan di sebabkan aliran arus hanya berputar-putar di sekitar area S1 dan S3.



Gambar 4.8 Kondisi perubahan pada rangkaian *full bridge*

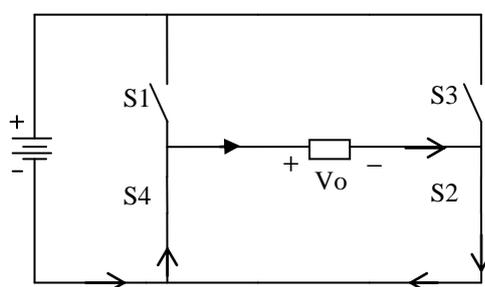
- c. Pada kali ini keadaan S3 dan S4 adalah NC sedangkan S1 dan S2 dalam keadaan NO seperti pada gambar 4.7. Pada kondisi ini tegangan akan mengalir melalui sumber menuju S4 lalu ke beban setelah itu akan melewati S3. Kondisi tersebut akan menciptakan keadaan $-V_{DC}$, dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.9 Kondisi perubahan pada rangkaian *full bridge*.

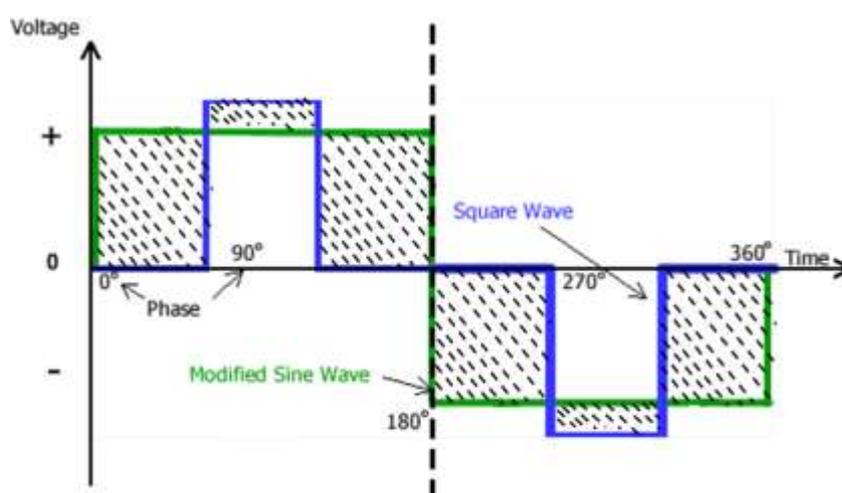
- d. Adapun pada keadaan kali ini S2 dan S4 dalam keadaan NC sedangkan S1 dan S3 dalam keadaan NO seperti pada gambar 4.8. Pada kondisi ini tegangan akan mengalir melalui sumber menuju S4 lalu ke beban setelah itu akan melewati S2. Kondisi tersebut akan menyebabkan tidak adanya

tegangan di sebabkan aliran arus hanya berputar-putar di sekitar area S4 dan S2.



Gambar 4.10 Kondisi perubahan pada rangkaian *full bridge*.

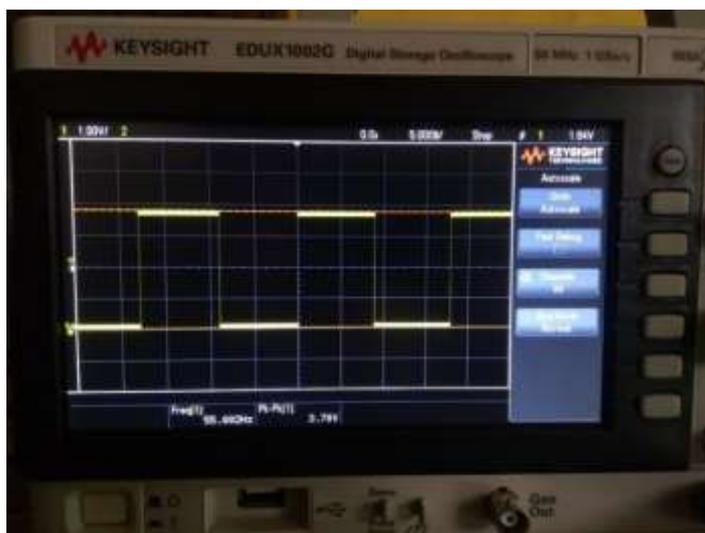
Pada umumnya rangkaian *full bridge* seperti yang telah di jelaskan sebelumnya akan menghasilkan *modified square wave*, gelombang tersebut tidak baik digunakan pada perangkat elektronik dan sulit untuk di *filter* oleh karena itu pada kali ini penulis melakukan modulasi gelombang pulsa menggunakan metode MPWM untuk menghasilkan gelombang berbentuk *square wave*. Oleh karena itu perbedaan gelombang yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.11 Perbandingan *Square wave* dan *modified square wave*.

Dapat diperhatikan pada gambar di atas bahwasanya pada bagian yang arsir merupakan tempat terjadinya modulasi gelombang pulsa yang bertujuan untuk mengubah *modified square wave* menjadi *square wave*, hal ini bertujuan agar saat

melakukan penyempurnaan gelombang oleh *L-C filter* lebih mudah dilakukan sehingga gelombang sinusoidal murni yang di inginkan dapat terpenuhi. Adapun gelombang yang di hasilkan melalui proses modulasi MPWM pada *modified square wave* berupa dua *square wave* dapat di perhatikan seperti di bawah ini :



Gambar 4.12 Hasil modulasi *midified square wave* menggunakan metode MPWM pada output (a).

- Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 3,8$$

$$\text{volt/div} = 3,78 \text{ v}$$

$$\text{maka nilai, } v_{pp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$$

$$= 3,8 \times 3,7 \text{ v}$$

$$= 14,64 \text{ v}$$

- Untuk mengetahui besar dan arus dan frekuensi dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 3,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

maka, $I = V_{osc} \times \text{time/div}$

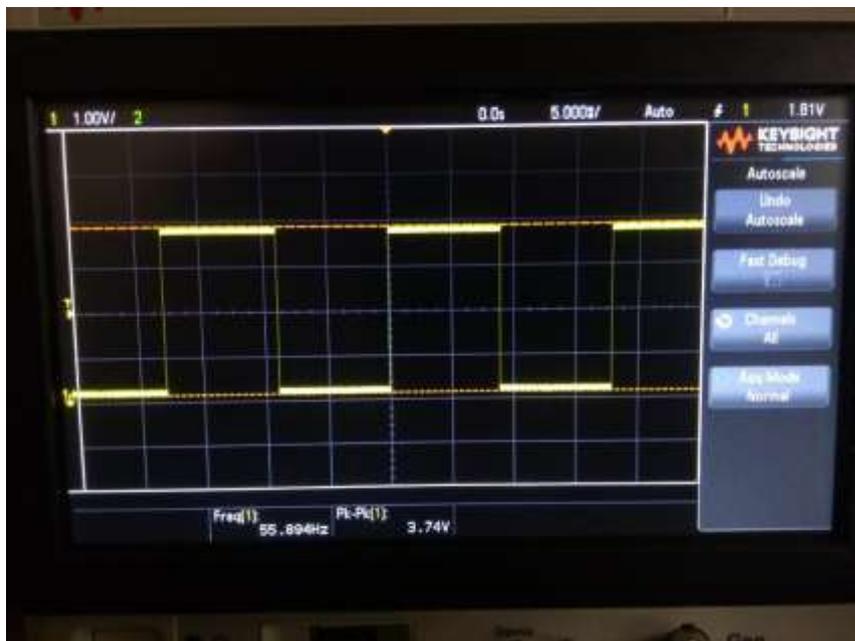
$$= 3,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,017 \text{ A}$$

dan nilai, frekuensi $= \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$

$$= \frac{1}{3,4 \times 0,005 \text{ s}}$$

$$F = \frac{1}{0,017 \text{ s}} = 58,82 \text{ hz}$$



Gambar 4.13 Hasil modulasi *midified square wave* menggunakan metode MPWM pada output (b).

- Untuk mengetahui besar tegangan peak to peak (vpp) dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$T_{osc} = 3,6$$

$$\text{volt/div} = 3,7 \text{ v}$$

maka nilai, $v_{pp} = T_{osc} \times \text{volt/div}$

$$= 3,6 \times 3,74 \text{ v}$$

$$= 13,46 \text{ v}$$

- Untuk mengetahui besar dan arus dan frekuensi dapat kita ketahui berdasarkan gambar di atas:

$$V_{osc} = 3,4$$

$$\text{time/div} = 5 \text{ ms} = 0,005 \text{ s}$$

$$\text{maka, } I = V_{osc} \times \text{time/div}$$

$$= 3,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,017 \text{ A}$$

$$\text{dan nilai, frekuensi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_{osc} \times \text{time/div}}$$

$$= 3,4 \times 0,005 \text{ s}$$

$$= 0,017 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{0,017 \text{ s}} = 58,82 \text{ hz}$$

Dari data hasil pengukuran di atas didapatkan bahwa tegangan pada *channel A* sebesar 14,64 V sedangkan pada *channel B* sebesar 13,46 V dan pada frekuensi memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 58,82 hz serta arus sebesar 0,017 A. Maka dari data tersebut di dapatkan selisih tegangan serta rata rata tegangan

$$\text{Selisih tegangan} = \text{teg } channel A - \text{teg } channel B$$

$$= 14,64 \text{ v} - 13,46 \text{ v}$$

$$= 1,18 \text{ v}$$

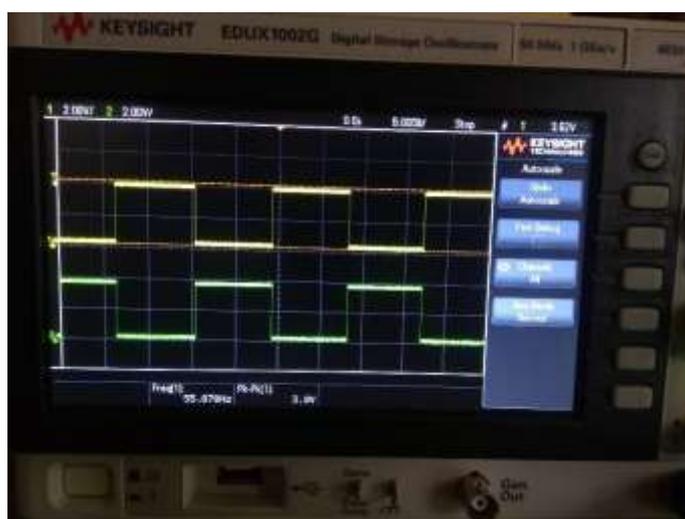
$$\text{Rata rata tegangan} = \frac{\text{teg } channel A + \text{teg } channel B}{2}$$

$$= \frac{14,64 + 13,46}{2}$$

$$= 14,05 \text{ volt}$$

Maka berdasarkan analisa di atas di dapatkan adanya selisih tegangan senilai 1,18 v dan rata- rata tegangan sebesar 14,05 V namun memiliki frekuensi yang sama senilai 58,82 hz atau dapat dilihat pada table 4.3 di bawah ini :

Jenis Pengujian	Rangkaian Full Bridge		
	Chanel A	Chanel B	Rata – Rata
Vpp	14.64 v	13.46 v	14.05 v
I	0,017 A	0,017 A	-
F	58,82 hz	58,82 hz	



Gambar 4.14 Hasil modulasi MPWM pada *modified square wave*.

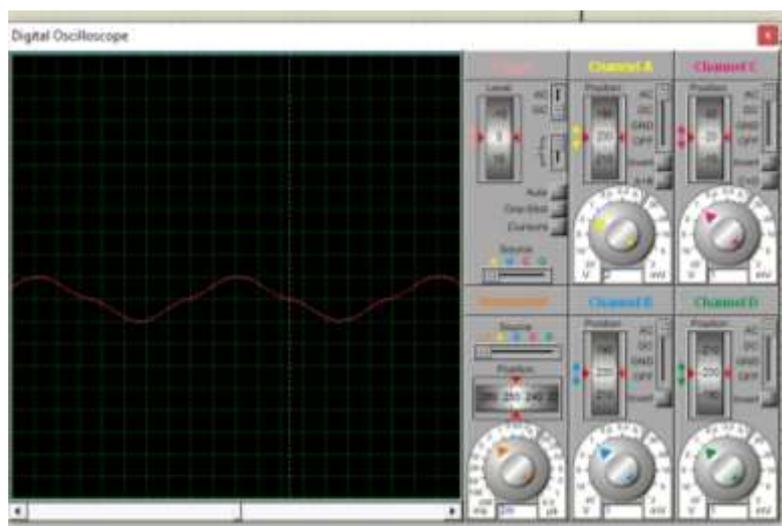
Dapat dilihat dari gambar 4.12 bahwasanya bentuk gelombang yang diinginkan telah tercapai. Hal tersebut dapat terjadi akibat adanya perubahan sistem *full bridge* akibat adanya penerapan system MPWM, dimana fungsi dari kondisi S1 dan S3 yang memiliki keadaan NC pada saat bersamaan di tiadakan, serta kondisi S2 dan S4 yang memiliki keadaan NC pada saat bersamaan di tiadakan,

dengan menggunakan gelombang PWM *channel* C dan D pada saat bersamaan gelombang PWM dari *channel* A dan B akan memodulasi gelombang sehingga dapat menghasilkan bentuk gelombang kotak seperti pada Gambar 4.12 dimana pada gelombang tersebut telah memiliki riak sehingga nantinya dapat dengan mudah di sempurnakan menggunakan rangkaian *L-C filter*, perubahan gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.11

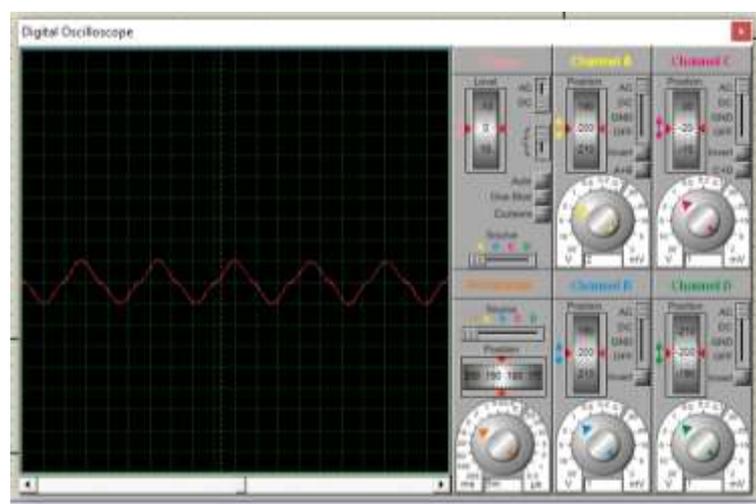
Berdasarkan analisa sebelumnya dapat dilihat kedua gelombang tersebut juga memiliki nilai yang 83 induktor sama dan memenuhi kriteria untuk di ubah menjadi gelombang sinusoidal menggunakan rangkaian *L-C filter*. Diharapkan gelombang yang telah dimodulasi seperti gambar di atas dapat lebih mudah untuk di sempurnakan menjadi gelombang sinusoidal yang stabil.

4.1.3 Hasil Simulasi Rangkaian *L-C Filter*

Bentuk gelombang sinusoidal akan dihasil pada terminal keluaran *L-C filter*. Nilai 83nductor dan kapasitor dapat mempengaruhi bentuk gelombang tegangan sinusoidal. Pemilihan nilai yang sesuai sangat penting untuk mendapatkan bentuk gelombang sinusoidal yang di inginkan. Pengujian dilakukan dengan mengubah – ubah nilai 83nductor dan kapasitor, dalam penentuan nilai dari *L-C filter* tersebut akan dilakukan melalui menggunakan *software Proteuse*. Beberapa nilai 83nductor dan kapasitor telah diuji untuk mendapatkan bentuk gelombang sinusoidal yang di inginkan. Setiap perubahan dari nilai 83nductor dan kapasitor akan dicatat dan dapat di amati menggunakan osiloskop, seeptri pada gambar 4.13 sampai gambar 4.15



(a) Time / div = 2 ms

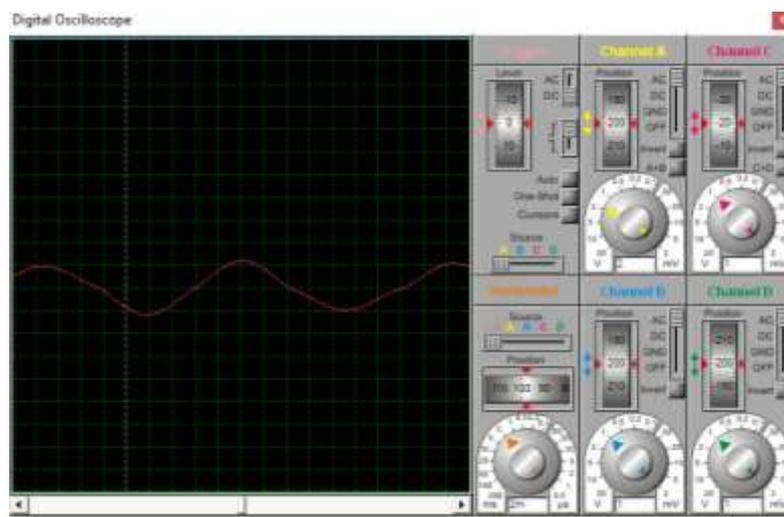


(b) Time / div = 5 ms

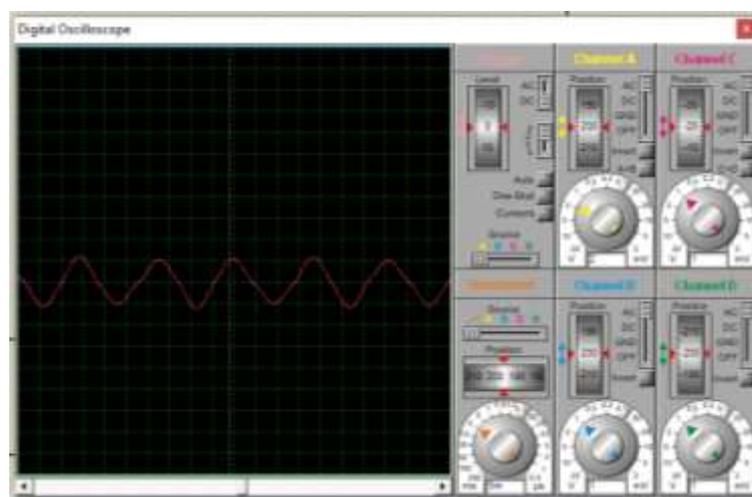
Gambar 4.15 Hasil gelombang sinus dengan nilai (a) dan (b) $C = 80 \mu\text{F}$ dan $L = 30 \text{ mH}$

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa untuk kapasitansi kapasitor sebesar $80 \mu\text{F}$ dan induktansi induktor sebesar 30 mH , terminal keluaran $L-C \text{ filter}$ menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal, namun belum berupa sinusoidal murni. Masih ada riak atau noise pada bentuk gelombang, Hal ini disebabkan induktansi dari induktor terlalu rendah. Bentuk dari gelombang sinusoidal yang dihasilkan tidak

cocok untuk diterapkan pada beban AC karena dapat menurunkan kinerja peralatan elektronik. Untuk mencapai bentuk gelombang tegangan AC sinusoidal, induktansi 85nductor dinaikkan menjadi 40 mH. Kondisi ini menghasilkan bentuk gelombang tegangan AC sinusoidal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14



(c) Time / div = 2 ms

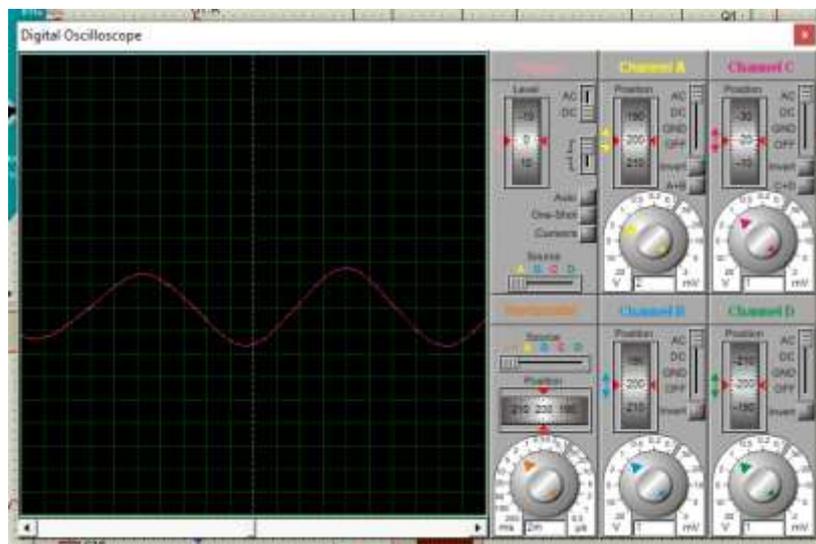


(d) Time / div = 5 ms

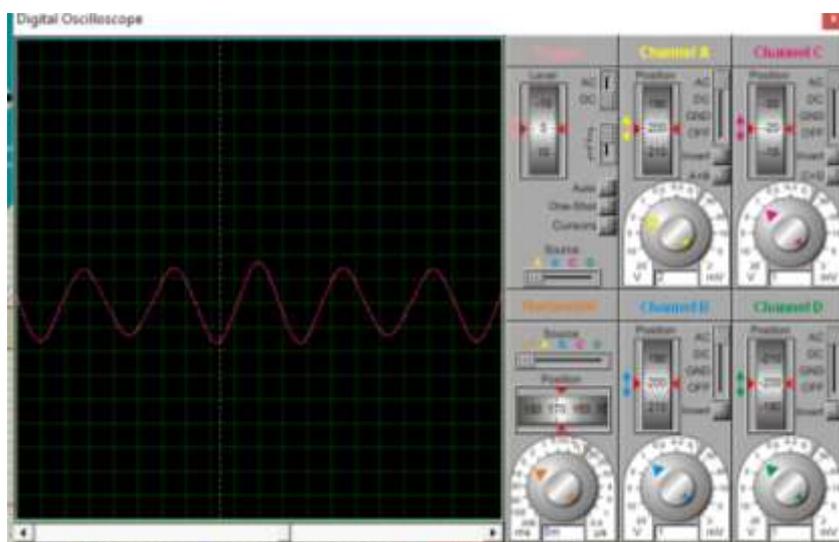
Gambar 4.16 Hasil gelombang sinus dengan nilai (a) dan (b) $C = 80 \mu\text{F}$ dan $L = 40 \text{ mH}$

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa untuk kapasitansi kapasitor $80 \mu\text{F}$ dan induktansi 85nductor 40 mH, terminal keluaran $L\text{-}C$ filter menghasilkan bentuk

gelombang tegangan sinusoidal, tetapi belum murni sinusoidal. Ada beberapa gelombang yang masih belum stabil. Gelombang sinusoidal masih kurang baik untuk diterapkan pada beban AC tetapi sudah lebih baik dibandingkan dengan pengaplikasian *L-C filter* selanjutnya telah dilakukan peningkatan kapasitansi kapasitor dan induktansi 86nductor menjadi $C=100 \mu\text{F}$ sedangkan $L= 47 \text{ mH}$. Kondisi ini menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15. adalah nilai tetap dalam rangkaian LC filter sistem MPWM TPVI ini.



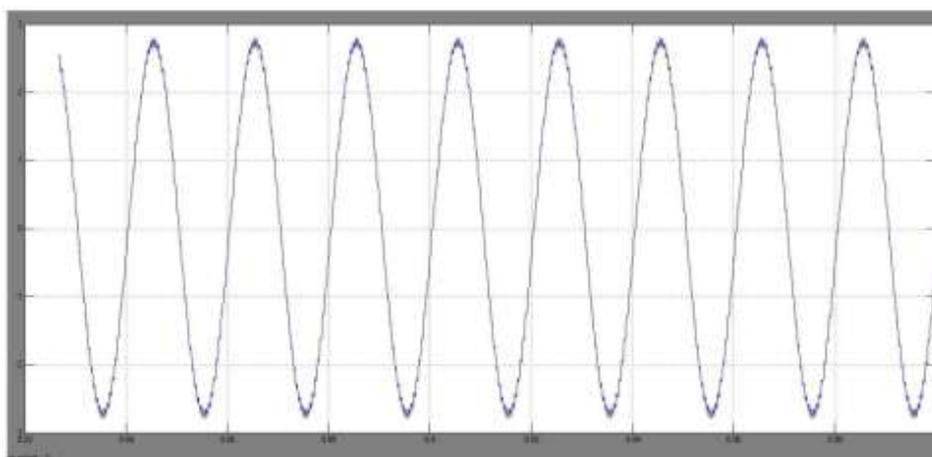
(a) Time / div = 2 ms



(b) Time / div = 5 ms

Gambar 4.17 Hasil gelombang sinus dengan nilai (a) dan (b) $C = 100 \mu\text{F}$ dan $L = 47 \text{ mH}$

Dapat dilihat dari ke tiga simulasi yang dilakukan penerapan nilai $C = 100 \mu\text{F}$ dan $L = 47 \text{ mH}$ memiliki kemampuan *filter* gelombang yang paling baik dari percobaan lainnya. Dapat dilihat bahwasanya gelombang sinus sudah memiliki bentuk yang sempurna dan riak pada gelombang juga tidak terlihat. Maka gelombang sinus tersebut sudah bisa digunakan. Sebagai perbandingan penelitian yang dilakukan oleh (Majhi 2012) dengan nilai $L = 100 \text{ mH}$ dan $C = 1000 \mu\text{F}$ di dapat gelombang seperti gambar berikut:



Gambar 4.18 Hasil filter gelombang dengan nilai $L = 100 \text{ mH}$ dan $C = 100 \mu\text{F}$. Dapat dilihat gelombang yang di hasilkan hampir sama. Sudah tidak ada riak dalam gelombang sehingga sudah dapat di gunakan pada barang-barang elektronik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam menghasilkan gelombang pulsa dapat di pengaruhi oleh nilai indeks modulasi yang digunakan, semakin besar nilai modulasi yang dihasilkan maka, semakin rapat gelombang PWM yang di dapat. Hal ini juga berdasarkan pada nilai indeks yang di gunakan seperti pada gambar 4.2 semakain besar nilai indeks yang dihasilkan semakin tingi gelombang sinus yang terbentuk nantinya.
2. Dalam penerapkan sistem MPWM pada TPVI ini di butuhkan akurasi dan keseimbangan modulasi antara dua gelombang PWM, sehinga dapat menghasilkan nilai tegagan dan frekuensi yang sama. Dengan nilai gelombang PWM sebesar 160 dapat melakukan modulasi gelombang pada *transistor* dalam rangkian *full bridge* sehingga di dapat bentuk gelombang seperti pada gambar 4.14. Dengan rata-rata tegangan sebesar 14,05 dan selisih tegangan sebesar 1,18 v serta frekuensi sebesar 58,82 hz. Hal tersebut yang menyebabkan adanya ketidak stabilan gelombang khususnya pada saat awal inverter di nyalakan.
3. Dengan nilai *L-C filter* $C = 100 \mu\text{F}$ dan $L = 47 \text{ mH}$ didapat gelombang sinusoidal seperti pada gambar 4.16. Hal ini berdasarkan dengan nilai *L-C filter* yang digunakan, semakin tinggi nilai dari induktansi induktor maka gelombang yang dihasilkan akan semakin halus, dan jika nilai kapasitansi

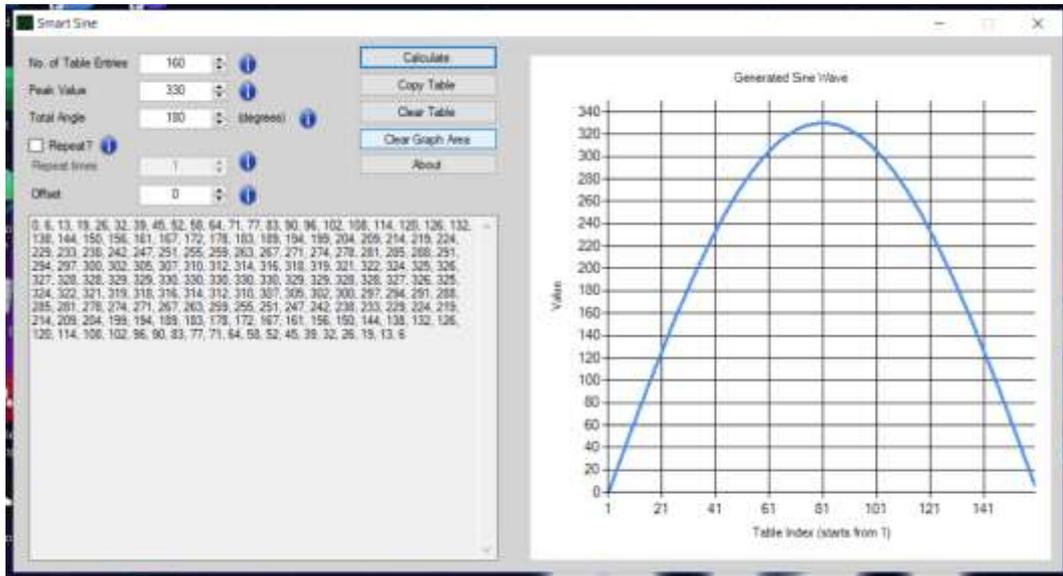
dari kapasitor semakin besar maka bentuk gelombang akan semakin rapat dan runcing.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis sebagai pengembangan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penulis berharap agar adanya penelitian yang dapat merancang sistem yang lebih handal dalam melakukan modulasi gelombang pulsa pada rangkaian *full bridge*.
2. Penulis berharap agar penelitian selanjutnya dapat merancang rangkaian *full bridge* yang lebih sempurna sehingga di dapat keseimbangan tegangan pada kedua keluaran inverter.
3. Penulis berharap adanya penelitian lanjutan untuk menemukan *filter* gelombang pengganti trafo yang lebih handal dalam memperbaiki gelombang dalam sistem TPVI.

LAMPIRAN



Gambar 1 Nilai index modulasi gelombang pulsa berdasarkan simulasi software smart sine

The image shows the Arduino IDE interface with a program for PWM modulation. The code includes a header for 'pwm.h' and defines several constants: 'int pin = 10;', 'int duty = 100;', 'int freq = 1000;', and 'int resolution = 8;'. The main function 'void setup()' sets 'pinMode(pin, OUTPUT);'. The main loop 'void loop()' contains a 'for' loop that iterates from 0 to 255, calculating 'int dutyCycle = (i * resolution) / 255;' and 'int pulseWidth = (dutyCycle * freq) / 1000;'. It then uses 'analogWrite(pin, pulseWidth);' to generate the PWM signal. The code is written in C++ and is ready to be compiled and uploaded to an Arduino board.

Gambar 2 Program modulasi gelombang PWM menggunakan software Arduino IDE



Gambar 3 Pengambilan data gelombang modulasi PWM



Gambar 4 Pengambilan data gelombang sinusoidal

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zameer, and S N Singh. 2018. "Single Phase Transformerless Inverter Topology with Reduced Leakage Current for Grid Connected Photovoltaic System." *Electric Power Systems Research* 154: 193–203.
- Akpınar , Balikci, A . Durbaba, E. 2018. "Single-Phase Transformerless Photovoltaic." *IEEE Transactions on Power Electronics* 8993(c).
- Akpınar, Eyup. 2018. "Single-Phase Transformerless Photovoltaic." *Single-Phase Transformerless Photovoltaic Inverter with Suppressing Resonance in Improved H6* 8993(c).
- Bambang Hari Purwoto, Jatmiko, Muhamad Alimul F, Ilham Fahmi Huda. 2018. "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Jurnal Emitor Teknik Elektro* 18(01): 10–14.
- Daniel P. Eggleston, and Jeremy S. Shaw James Michael Doucet. 2007. "DC – AC Pure Sine Wave Inverter for Satellite Based Telephone Systems." *PWM Pure Sine Wave Power Inverter* 1(April): 1–58.
<https://digitalcommons.wpi.edu/mqp-all%0ARepository>.
- Das, Aparna, and P G Scholar. 2017. "Photovoltaic H6 -Type Transformerless Inverter Topology." *Jurnal IEEE*.
- Daut, I., Farhana Zainuddin, Y. M. Irwan, and A. R.N. Razliana. 2012. "Analysis of Solar Irradiance and Solar Energy in Perlis, Northern of Peninsular Malaysia." *Energy Procedia* 18: 1421–27.
- Desiwantiyani, Novita. 2018. "Rancang Bangun Inverter SPWM." *Rancang Bangun Inverter SPWM*: 1–45.
- Desnanjaya, I Gusti Made Ngurah, and Ida Bagus Ary Indra Iswara. 2018. "Trainer Atmega32 Sebagai Media Pelatihan Mikrokontroler Dan Arduino." *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)* 1(1): 55–64.
- E. A. SJERPS-KOOMEN, E. A. ALSEMA and W. C. TURKENBURG. 1997. "A SIMPLE MODEL FOR PV MODULE REFLECTION LOSSES UNDER FIELD CONDITIONS." *Solar Energy* 57(6): 421–32.
- Espitia, E, H Lopez, N Vazquez, and C Hernandez. 2018. "Leakage Current Reduction for Three-Phase Transformerless Photovoltaic Inverter." *Journal IEEE*: 163–67.

- Evalina, N, and A Rimbawati Azis. 2019. "Efficiency Analysis on the Inverter Using the Energy-Saving Lamp."
- Fortunato, Mario et al. 2008. "Maximum Power Point Tracking in a Photovoltaic Inverter." 55(7): 2684–93.
- González, Roberto, Eugenio Gubía, Jesús López, and Luis Marroyo. 2008. "Transformerless Single-Phase Multilevel-Based Photovoltaic Inverter." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(7): 2694–2702.
- Guo, Xiaoqiang, and Senior Member. 2017. "Three-Phase CH7 Inverter with A New Space Vector Modulation to Reduce Leakage Current for Transformerless Photovoltaic Systems." *Journal IEEE* 6777(c): 2168–6777.
- Halim, Levin. 2017. "Perancangan Dan Implementasi Solar Inverter Dengan Pencatatan Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Disusun Oleh : Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan." (Iii).
- Hasan, Hasnawiya. 2012. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya." *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)* 10(12): 169–80.
- Husnaini, Irma. 2019. "Komparasi Multilevel Inverter Satu Fasa." 13(2): 95–99.
- Indrawan, Andi Wawan, Sarwo Pranoto, Ahmad Rizal Sultan, and Rachmat Ramadhan. 2016. "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) System Hybrid." *Jurnal Teknologi Elekterika* (November): 408–14.
- Jana, Joydip, Hiranmay Saha, and Konika Das Bhattacharya. 2017. "A Review of Inverter Topologies for Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72(August 2016): 1256–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.049>.
- John A. Duffie, William A. Beckman. 1989. 9 Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison *Methicillin-Resistant Staphylococci*. 4th ed. New jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Kijany, Selia. 2017. "Rancang Bangun DC TO AC Inverter Berbasis Mikrokontroler ATmega 328." : 1–31.
- Kim, J et al. 2000. "Output LC Filter Design of Voltage Source Inverter Considering the Performance of Controller." *Journal IEEE* 01: 1659–64.

- King, D L, W E Boyson, and J A Kratochvil. 2004. "Photovoltaic Array Performance Model, SANDIA Report SAND2004-3535." *Sandia Report No. 2004-3535* 8(December): 1–19.
- Kjaer, Soeren Baekhoej, John K. Pedersen, and Frede Blaabjerg. 2005. "A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules." *IEEE Transactions on Industry Applications* 41(5): 1292–1306.
- Laleman, Ruben, Johan Albrecht, and Jo Dewulf. 2011. "Life Cycle Analysis to Estimate the Environmental Impact of Residential Photovoltaic Systems in Regions with a Low Solar Irradiation." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(1): 267–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.025>.
- Letsoin, Frederik H. Sumbung dan Yohanes. 2012. "ANALISA DAN ESTIMASI RADIASI KONSTAN ENERGI MATAHARI MELALUI VARIASI SUDUT PANEL FOTOVOLTAIK SHS 50 WP." *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha* 1(1): 2089–6697.
- Li Zhang, Member, IEEE, Kai Sun, Member, IEEE, Yan Xing, Member, IEEE and Mu Xing. 2013. "H6 Transformerless Full-Bridge PV Grid-Tied Inverters Li Zhang, Member, IEEE, Kai Sun, Member, IEEE, Yan Xing, Member, IEEE and Mu Xing Abstract—Transformerless Inverters Are Widely Used in Grid-Tied Photovoltaic." *Journal IEEE* 1(2): 1–8.
- M. Helmi, Dina Fitria. 2019. "Optimalisasi Radiasi Sinar Matahari Terhadap Solar Cell." *jurnal desiminasi teknologi* 7(2): 86–156.
- Mafasigodo, Khumbulani. 2015. "Final Electrical Design Project Report Name Student No Topic Supervisor Due Date." (October 2014).
- Maheshri, Sachin, and Prabodh Khampariya. 2014. "Simulation of Single Phase SPWM (Unipolar) Inverter." *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)* 1(9): 12–18.
- Majhi, Bijoyprakash. 2012a. "Analysis of Single-Phase SPWM Inverter." *International Journal of Science and Research (IJSR)* 3(May): 1793–98.
- . 2012b. "Analysis of Single-Phase SPWM Inverter." (May).
- Masri M, Irwanto M, Alam H, Mashor Y M. 2020. "Simulation of Multiple Pulse Width Modulation (MPWM) Transformerless Photovoltaic Inverter (TPVI) System Simulation of Multiple Pulse Width Modulation (MPWM

-) Transformerless Photovoltaic Inverter (TPVI) System.” *Journal of Physics: Conference Series* (1432): 1–6.
- Mellit, A. et al. 2008. “Methodology for Predicting Sequences of Mean Monthly Clearness Index and Daily Solar Radiation Data in Remote Areas: Application for Sizing a Stand-Alone PV System.” *Renewable Energy* 33(7): 1570–90.
- Mubiru, J., and E. J.K.B. Banda. 2008. “Estimation of Monthly Average Daily Global Solar Irradiation Using Artificial Neural Networks.” *Solar Energy* 82(2): 181–87.
- Muchlas, Muchlas, and Supri Supri. 2006. “Pengendali Motor Induksi 1 Fasa Dengan Metode Pwm Sinusoida Berbasis Mikrokontroler 68Hc11.” *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 4(3): 167.
- Muchtar, Husnibes et al. 2017. “IMPLEMENTASI WAVECOM DALAM MONITORING BEBAN LISTRIK.” 9(1): 1–5.
- Naim, Muhammad, and Setyo Wardoyo. 2017. “Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS on Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu Kecamatan Towuti.” *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 8(2): 11–17.
- Noorly Evalina, Zuraidah Tharo, Andysah Putera Utama Siahaan. 2017. “Improvisation Analysis of Reactive Power Energy Saving Lamps Based on Inverter.” *International Journal of Engineering and Techniques* 2(5): 141–45.
- Patrao, Iván, Emilio Figueres, Fran González-Espín, and Gabriel Garcerá. 2011. “Transformerless Topologies for Grid-Connected Single-Phase Photovoltaic Inverters.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(7): 3423–31.
- Qazalbash, A. Ali, Awais Amin, Abdul Manan, and Mahveen Khalid. 2009. “Design and Implementation of Microcontroller Based PWM Technique for Sine Wave Inverter.” *POWERENG 2009 - 2nd International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives Proceedings*: 163–67.
- Qingyun Huang, Qingxuan Ma, Alex Q. Huang. 2018. “Single-Phase Dual-Mode Four-Switch Buck-Boost Transformerless PV Inverter with Inherent

Leakage Current Elimination.” *Journal IEEE*: 3211–17.

- Rahayuningtyas, Ari. 2014. “Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan.” *Prosiding ANaPP Sains, Teknologi, dan Kesehatan*: 223–30.
- Rifai, Listya Dewi, Seni H. J. Tongkukut, and Slamet Suyitno Raharjo. 2014. “Analisis Intensitas Radiasi Matahari Di Manado Dan Maros.” *Jurnal MIPA* 3(1): 49.
- Rifqi, Bagus. 2018. “Rancang Bangun Inverter Full Bridge Satu Fasa.”
- Rimbawati. Siregar, Zulkifli., Yusri. Mohammad, and Muhammad Al Qamari. 2021. “PENERAPAN PEMBANGKIT TENAGA SURYA PADA OBJEK.” 4: 145–51.
- Samsurizal , Christiano, Makkulau . A. 2019. “Evaluasi Sudut Kemiringan Terhadap Pengaruh Irradiance Pada Array Photovoltaic Jenis Monocrystalline.” *Jurnal Ilmiah Setrum* 8(1): 28–34.
- Subekti, Yuliananda., and Hartijanti . R .RA Surya. Gede. 2015. “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya.” *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya* 01(02): 193–202.
- Taib, S., Y. Sutanto, and A. Rahim Abd Razak. 2002. “Development of Simple PWM Inverter Using Photovoltaic Cells.” *2002 Student Conference on Research and Development: Globalizing Research and Development in Electrical and Electronics Engineering, SCORED 2002 - Proceedings*: 297–300.
- Wijaya, Toni Kusuma. 2019. “Perancangan Panel Aautomatic Transfer Switch Dan Auotomatic Dengan Kontrol Berbasis Arduino Main Failure.” *Sigma Teknika* 2(2): 207.
- Wiwin, Andi, Abd Kadir, La Hasanudin, and Indrayati Galugu. 2018. “Studi Potensi Radiasi Matahari Untuk Pemanfaatan Energi Surya Di Kota Kendari.” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* 3(3): 2502–8944.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Muhammad Ardiansyah
Tempat Tanggal Lahir : Perdamaian, 3 Agustus 1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Umur : 23 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi / Berat Badan : 174 cm / 78 Kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jln, Bambuan Lingkungan VI Bambuan Kel.
Perdamaian Kec. Stabat
No Hp / Wa : +6282307637279
Email : ardiansyahmuhammad08@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah : Misnarto
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Nama Ibu : Supiyanti
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia

Riwayat Pendidikan

2004-2010 : SD Negeri 054904 Stabat
2010-2013 : SMPN 1 Stabat
2013-2016 : SMAN 1 Stabat
2016-2021 : Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara