

**INVERTER DC-AC 220-230 VAC PADA SISTEM LISTRIK HIBRID  
ENERGI TERBARUKAN SKALA RUMAH**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ASWAN**

**D411 16 312**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**INVERTER DC-AC 220-230 VAC PADA SISTEM LISTRIK HIBRID  
ENERGI TERBARUKAN SKALA RUMAH**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ASWAN**

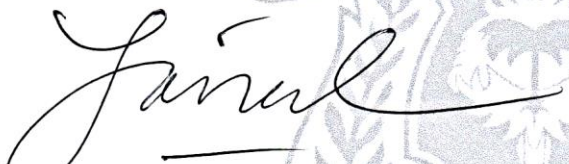
**D41116312**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 2 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr-Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT.**

NIP. 19750605 200212 1 004



**Dr. A. Ejah Umraeni Salam, ST., MT.**

NIP. 19720908 199702 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT**

NIP. 19691026 199412 2 2001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Aswan  
NIM : D41116312  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **INVERTER DC-AC 220-230 VAC PADA SISTEM LISTRIK HIBRID ENERGI TERBARUKAN SKALA RUMAH**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Juni 2021

Yang Menyatakan



Muhammad Aswan

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat inverter pembalik tegangan DC menjadi AC satu fasa dilengkapi dengan transformator step-up bertegangan 220-230 VAC dengan pendekatan nilai standar THD dengan teknik pensaklaran SWP dan SPWM.

Dalam penelitian ini disajikan data hasil simulasi dan hasil percobaan dari alat inverter satu fasa. Tegangan keluaran inverter yang dilengkapi dengan transformator step-up yang dihasilkan berkisar 220-230 VAC. Teknik pensaklaran menggunakan Pulsa Gelombang Kotak atau Square Wave Pulse (SWP) maupun Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) digunakan dalam mengendalikan saklar daya pada komponen inverter yang menghasilkan keluaran tegangan AC dengan sinyal berbentuk pulsa ataupun sinusoidal.

Hasil penelitian menunjukkan tegangan keluaran pada hasil pengukuran alat mendekati hasil simulasi dengan nilai THD yang cukup mendekati nilai standar. THD masih berada di atas 8%, yang disebabkan oleh parameter-parameter filter pasif dan damper yang belum mereduksi sinyal keluaran inverter dengan baik. Teknik pensaklaran SPWM lebih baik daripada SWP dalam menghasilkan tegangan output maupun persentase THD pada inverter. Penelitian ini akan dikembangkan sebagai sistem listrik hibrid energi terbarukan skala rumah.

Kata Kunci : *Inverter Satu Fasa, Low Pass Filter (LPF), Pulsa Gelombang Kotak, Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM), Total Harmonic Distortion (THD).*

## ABSTRACT

This research aims to design a DC inverter to single-phase AC equipped with a 220-230 VAC step-up transformer with a standard THD value approach with SWP and SPWM switching techniques.

In this research, the simulation results and experimental results from the single-phase inverter are presented. The output voltage of the inverter equipped with a step-up transformer is around 220-230 VAC. Switching techniques using Square Wave Pulse (SWP) and Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) are used in controlling the power switch on the inverter component which produces an AC voltage output with a pulse or sinusoidal signal.

The results showed that the output voltage in the measurement results of the instrument was close to the simulation results with a THD value that was close to the standard value. THD is still above 8%, which is caused by the passive filter and damper parameters that have not reduced the inverter output signal properly. The SPWM switching technique is better than SWP in producing the output voltage and the percentage of THD on the inverter. This research will be developed as a home scale renewable energy hybrid electricity system.

Keyword : Single Phase Inverter, Low Pass Filter (LPF), Square Wave Pulse, *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)*, *Total Harmonic Distortion (THD)*.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul : “Inverter DC-AC 220-230 VAC Pada Sistem Listrik Hibrid Energi Terbarukan Skala Rumah.”

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebahagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S1 di program studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Mading dan Ibu Suarni selaku orang tua saya yang tidak henti-hentinya memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Bapak Prof. Dr-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Dr. A. Ejah Umraeni Salam, ST., MT. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Muh. Anshar, ST., MSc(Research), Ph.D dan Ibu Ida Rachmaniar Sahali, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
6. Segenap keluarga besar tercinta yang selalu memberi motivasi dan dorongan yang tak ternilai harganya.
7. Para asatidzah yang telah memberikan nasihat-nasihat, bimbingan dan ilmu terkait agama sesuai Al-Qur'an dan As-Sunnah sesuai pemahaman salafush-shalih kepada penulis selama ini.
8. Guru-guru penulis RA-UMDI Taqwa Lakessi, SDN 81 Parepare, SMPN 3 Tarowang dan SMAN Khusus Jenepono, yang tak mungkin terlupakan jasa-jasanya dalam membimbing penulis sampai kapanpun.
9. Teman-teman Lab Riset Elektronika dan Divais (Nassri, Fajri, Kak Aqsha, Fajar, Yayat, Lia, Dewi, Ira, dan Rafli) yang selalu memberikan dorongan dan motivasi dalam mengerjakan skripsi.

10. Teman senasib seperjuangan “EXCITER 16” yang kebersamai penulis dalam berbagai rentetan peristiwa di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
11. Teman-teman “KKN Reguler Kec. Awangpone Kab. Bone pada umumnya dan Desa Kading pada khususnya” atas dedikasi tiada tara menyuksekkan misi pengabdian di tanah air.
12. Teman-teman “Panitia Kajian Dakwah Sunnah Mahasiswa” yang telah banyak membantu dalam menyebarkan ajaran agama Islam berpedoman dalil Al-Qur’an dan As-Sunnah sesuai pemahaman para salafush-shalih di lingkungan Kampus Teknik Unhas.
13. Manajer PT. Pilar Syariah Makassar dan Manajer Kredit Syar’i Go beserta seluruh karyawan yang telah memberikan kesempatan bekerja secara syar’i dan berpartisipasi dalam melawan praktek RIBA yang menjadi bekal penulis ke depannya dalam bekerja sesuai syariat dan tuntunan Islam.
14. CEO Inakomp.com dan seluruh tim yang telah memberikan kesempatan dan pengalaman bekerja secara profesional yang menjadi bekal penulis dalam menghadapi tantangan dunia kerja yang sesungguhnya.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Akhir kata, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Terakhir, penulis berharap



semoga tugas akhir ini dapat memberikan hal yang bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca sekalian. Aamiin. Alhamdulillah Selesai.

Gowa, 2 Juni 2021

Penulis,

Muhammad Aswan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Deskripsi dan Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>DC-AC Inverter</i> .....	7
2.2 <i>Teknik Switching Inverter</i> .....	8
2.2.1 <i>Square Wave Pulse (SWP)</i> .....	8

2.2.2	<i>Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)</i> .....	10
2.3	<i>Low Pass Filter (LPF)</i> .....	11
2.3.1	<i>Filter LC</i> .....	12
2.3.2	<i>Desain Filter LC</i> .....	12
2.4	<i>Damper</i> .....	15
2.5	<i>Total Harmonic Distortion (THD)</i> .....	16
2.6	<i>Arduino</i> .....	17
2.7	Penelitian yang Berkaitan .....	20
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>21</b>
3.1	Jenis Penelitian.....	21
3.2	Tahapan Penelitian.....	21
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.4.1	Waktu.....	25
3.4.2	Tempat Penelitian.....	25
3.5	Desain Sistem.....	26
3.5.1	Rangkaian Full Bridge Inverter .....	26
3.5.2	Desain Filter LC dan Parameter Damper .....	28
3.5.3	Parameter Rangkaian Inverter .....	29
3.6	Skenario Percobaan.....	30

3.6.1. Perbandingan Keluaran Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik SWP dan SPWM.....	31
3.6.2. Perbandingan antara Simulasi PSpice dengan Pengujian Alat.....	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Hasil Simulasi Menggunakan PSpice A/D Lite.....	32
4.1.1 Hasil Simulasi Rangkaian Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SWP.....	32
4.1.2 Hasil Simulasi Rangkaian Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SPWM.....	34
4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi Output Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SWP dan SPWM.....	37
4.2 Hasil Perancangan Inverter Satu Fasa.....	37
4.3 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa.....	39
4.3.1 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SWP.....	39
4.3.2 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SPWM.....	41
4.3.3 Perbandingan Hasil Percobaan Output Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SWP dan SPWM.....	43
4.3.4 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Setelah Dinaikkan dan Diberi Beban.....	44
4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Percobaan Alat.....	49
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>50</b>

5.1. Kesimpulan .....	50
5.2. Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konfigurasi <i>inverter</i> . (a) <i>Half-bridge</i> , (b) <i>Full-bridge</i> .....	8
Gambar 2. 2 Teknik Switching SWP .....	9
Gambar 2. 3 Teknik Switching SPWM.....	11
Gambar 2. 4 Rangkaian Filter LC.....	12
Gambar 2. 5 Kuantitas $\alpha$ sebagai fungsi dari frekuensi switching untuk arus riak maksimum 20% dan 40%.....	14
Gambar 2. 6 Rangkaian Filter LC dengan Damper.....	15
Gambar 2. 7 Board Arduino Uno.....	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Rangkaian Sistem Inverter Satu Fasa.....	26
Gambar 3. 3 Kurva Karakteristik MOSFET .....	27
Gambar 4. 1 Sinyal keluaran inverter satu fasa tanpa filter dan damper .....	33
Gambar 4. 2 Sinyal keluaran inverter satu fasa dengan filter dan damper .....	34
Gambar 4. 3 Sinyal keluaran inverter satu fasa tanpa filter dan damper .....	35
Gambar 4. 4 Sinyal keluaran inverter satu fasa dengan filter dan damper .....	36
Gambar 4. 5 Bentuk fisik inverter satu fasa.....	38
Gambar 4. 6 Eksperimental Setup.....	38
Gambar 4. 7 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa tanpa filter dan damper.....	39
Gambar 4. 8 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	40
Gambar 4. 9 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa dengan filter dan damper...	40
Gambar 4. 10 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	41
Gambar 4. 11 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa tanpa filter dan damper....	42

Gambar 4. 12 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	42
Gambar 4. 13 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa dengan filter dan damper.	43
Gambar 4. 14 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	43
Gambar 4. 15 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa setelah dinaikkan .....	45
Gambar 4. 16 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	45
Gambar 4. 17 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa setelah dinaikkan .....	46
Gambar 4. 18 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	46
Gambar 4. 19 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa setelah diberi beban.....	47
Gambar 4. 20 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	47
Gambar 4. 21 Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa setelah diberi beban.....	48
Gambar 4. 22 FFT analysis dari keluaran inverter satu fasa.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 2 State of The Art.....	20
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
Tabel 3. 2 Parameter MOSFET IRF460 untuk inverter satu fasa .....	27
Tabel 3. 3 Parameter Nilai Filter LC dan Damper Terhadap Frekuensi Switching.....	29
Tabel 3. 4 Parameter Rangkaian Inverter Satu Fasa .....	29
Tabel 4. 1 Fourier Components of Transient Response .....	33
Tabel 4. 2 Fourier Components of Transient Response .....	34
Tabel 4. 3 Fourier Components of Transient Response.....	35
Tabel 4. 4 Fourier Components of Transient Response .....	36
Tabel 4. 5 Data Perbandingan Output Inverter Dengan Kontrol SWP dan SPWM.....	37
Tabel 4. 6 Data Perbandingan Output Inverter Dengan Kontrol SWP dan SPWM.....	44
Tabel 4. 7 Data Perbandingan Output Inverter Dengan Kontrol SWP dan SPWM.....	49
Tabel 4. 8 Perbandingan Simulasi dan Percobaan Prototipe Inverter Satu Fasa ..	49



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan dan konsumsi energi listrik makin hari semakin meningkat, sedangkan energi primer yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit pada umumnya adalah bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Ketergantungan dan harga bahan bakar fosil yang terus meningkat menjadi faktor pendorong diperlukannya sumber-sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang kemudian disinkronisasi agar dapat digunakan bersama grid dalam suatu sistem hibrid [1].

Peralatan listrik rumah tangga pada umumnya menggunakan sumber listrik arus bolak-balik atau disebut *Alternating Current (AC)*. Alternatif untuk menghasilkan tegangan AC untuk peralatan listrik di rumah khususnya untuk penerangan di rumah sederhana dapat memanfaatkan energi cahaya matahari. Dalam mengkonversikan energi tersebut menjadi energi listrik yang dibutuhkan maka dibutuhkan beberapa rangkaian listrik. Tegangan yang dihasilkan sebagian besar masih dalam bentuk tegangan *DC (Direct Current)*, maka dibutuhkan suatu konverter yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

Inverter adalah sebuah peralatan elektronika yang mampu mengubah sumber tegangan searah (DC) menjadi sumber tegangan bolak-balik (AC) dengan besar magnitude dan frekuensi yang diinginkan. Adapun bentuk gelombang output

yang dihasilkan dari inverter umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu segi empat (square wave), sinyal sinus termodifikasi (modified sine wave), dan sinyal sinus murni (pure sine wave).

Teknik yang digunakan untuk mendapatkan gelombang AC dari konversi gelombang DC adalah dengan memodulasi lebar sinyal pulsa gelombang DC tersebut. Teknik yang digunakan secara umum adalah SWP (Square Wave Pulse) dan SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation). Adapun untuk memperoleh sinyal sinusoidal murni adalah dengan menggunakan filter, dimana besar gelombang AC yang diharapkan dapat mengurangi harmonisa terutama harmonisa orde rendah sampai di bawah 10% [2].

Nilai THD ini telah memenuhi standar IEEE: 519-1992 yang menyatakan bahwa nilai THD yang diperbolehkan pada aplikasi dedicated system yaitu sebesar 10% sedangkan pada standar IEEE: 519-2014 yaitu sebesar 8% [3, 4]. Apabila nilai THD masih berada di atas nilai standar tersebut, maka peralatan elektronik tersebut tergolong masih memiliki nilai THD yang cukup tinggi.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang sebuah inverter satu fasa full bridge dengan pengontrolan switching berbasis Arduino Uno dilengkapi tranformator step-up bertegangan 220-230 VAC dengan pendekatan nilai standar THD dari sumber tegangan DC.

Dari permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul **“INVERTER DC-AC 220-230 VAC PADA SISTEM LISTRIK HIBRID ENERGI TERBARUKAN SKALA RUMAH.”**

## 1.2 Deskripsi dan Rumusan Masalah

Dalam perancangan sistem listrik hibrid, tegangan keluaran masih dalam bentuk tegangan DC, sedangkan tegangan keluaran yang dibutuhkan pada umumnya berbentuk tegangan AC. Dalam perancangan ini, dibutuhkan suatu alat yang dapat mengkonversikan tegangan tersebut. Alat ini dapat mengkonversikan tegangan DC menjadi tegangan AC yang kemudian dinamakan *inverter*.

*Inverter* adalah suatu konverter daya yang dapat mengubah tegangan input DC menjadi tegangan keluaran AC yang diinginkan. *Inverter* tersusun atas beberapa komponen diantaranya adalah MOSFET driver, MOSFET, filter dan damper. Pada MOSFET, terminal *gate* dapat dikendalikan menggunakan teknik pensaklaran SWP (*Square Wave Pulse*) dan SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*). Teknik switching dapat diatur melalui berbagai mikrokontroler salah satunya yaitu *Arduino*. Penggunaan teknik pensaklaran ini berguna dalam membangkitkan sinyal pulsa maupun sinyal sinusoidal tegangan output pada *inverter*. Filter dan damper juga digunakan untuk membantu mengurangi harmonisa dari tegangan keluaran inverter. Dalam perancangan *inverter* dilakukan dalam bentuk simulasi dan juga dalam bentuk implementasi.

Berdasarkan deskripsi tersebut peneliti merumuskan pokok permasalahan, yaitu sebagai berikut :

Rancang bangun alat pembalik tegangan (*inverter*) dengan menghasilkan tegangan output AC dilengkapi dengan transformator bertegangan 220-230 VAC dengan pendekatan nilai standar THD (*Total Harmonic Distortion*) serta pengontrolan berbasis mikrokontroler.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, perancangan yang akan dibuat dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Desain dan implementasi difokuskan untuk memperoleh kondisi tegangan keluaran berbentuk sinyal AC.
2. Implementasi difokuskan untuk memperoleh kondisi THD (*Total Harmonic Distortion*) yang mendekati nilai standar IEEE: 519-1992 dan IEEE: 519-2014.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan prototipe inverter pembalik tegangan DC-AC.
2. Memperoleh kinerja inverter yang cukup baik dengan persentase THD (Total Harmonic Distortion) yang mendekati nilai standar.
3. Mengimplementasikan pengontrolan SWP (Square Wave Pulse) dan SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) untuk mengatur sinyal tegangan keluaran inverter dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino UNO R3.

### **1.5 Metode Penelitian**

Dalam penyusunan tugas akhir ini metode penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

## 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku, karya-karya ilmiah, internet maupun melalui media massa yang berhubungan dengan penulisan laporan penelitian ini.

## 2. Simulasi dan Percobaan

Kegiatan simulasi dan percobaan dimaksudkan untuk memperoleh data-data yang aktual yang berasal dari aplikasi ataupun hasil pengukuran secara langsung.

## 3. Analisa Data

Melakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil percobaan alat sehingga dapat memperoleh kesimpulan yang dapat diolah lebih lanjut.

## 4. Simpulan

Pada tahap ini, diperoleh hasil yang dapat menyelesaikan masalah yang diteliti, sehingga hasil ini ditetapkan sebagai simpulan dari penelitian ini. Pada simpulan ini tujuannya untuk membuat laporan hasil akhir yang telah didapatkan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan hasil simulasi dan ujicoba prototipe inverter satu fasa. Hasil pengukuran yang diperoleh disajikan dalam bentuk kurva dan tabel.

## **BAB 5 PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian dan saran untuk pengembangan dan kelanjutan penelitian.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

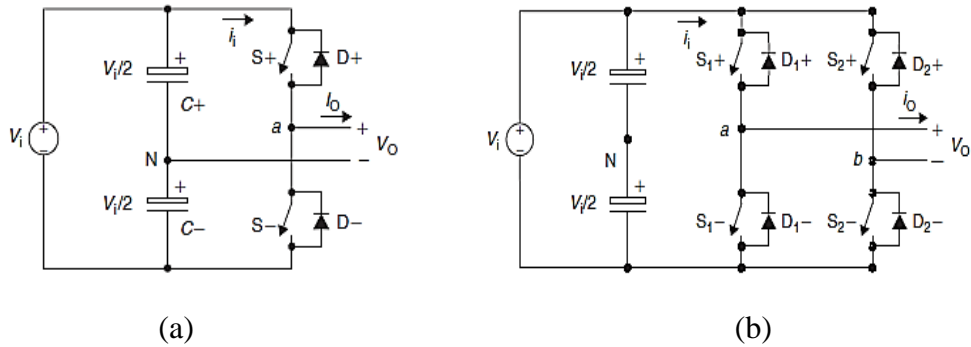
#### 2.1 *DC-AC Inverter*

*DC-AC inverter* adalah peralatan elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah sumber masukan arus searah (DC) menjadi keluaran arus bolak balik (AC) yang amplitudo tegangan dan frekuensinya dapat diatur [5]. Perangkat semikonduktor daya melakukan tindakan *switching*, dan output yang diinginkan diperoleh dengan memvariasikan waktu turn-on dan turn-off. Perangkat semikonduktor daya harus memiliki karakteristik turn-on dan turn-off yang dapat dikontrol. Biasanya perangkat yang digunakan adalah BJT, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, dan force-commutated thyristor [6].

Ada beberapa jenis inverter [7] yang dibagi berdasarkan kriterianya, antara lain adalah:

- a. Berdasarkan jumlah fasanya: yaitu inverter satu-fasa dan banyak-fasa, misalnya tiga-fasa yang selama ini merupakan jenis inverter yang digunakan untuk menginterkoneksi keluarannya ke jala-jala sistem tenaga listrik (grid).
- b. Berdasarkan sumber masukan DC-nya: yaitu inverter sumber tegangan (VSI – Voltage Source Inverter), dan inverter sumber arus (CSI – Current Source Inverter).
- c. Berdasarkan metode bentuk sinyal pengaturannya: yaitu gelombang persegi, pulse amplitudo modulation (PAM) dan pulse width modulation (PWM).
- d. Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya: yaitu gelombang persegi, persegi berundak dan sinusoidal.

Pada dasarnya, inverter memiliki jenis konfigurasi saklar daya Half-bridge dan Full-bridge seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** Konfigurasi *inverter*. (a) *Half-bridge*, (b) *Full-bridge*

Pada Gambar 2.1 (a) konfigurasi half-bridge inverter, dua kapasitor diperlukan untuk memberikan netral di titik N, sehingga kapasitor mempertahankan nilai tegangan konstan  $V_i/2$ . Kedua switch  $S+$  dan  $S-$  tidak boleh aktif bersamaan untuk menghindari hubung singkat. Gambar 2.1 (b) menunjukkan konfigurasi full-bridge inverter dengan menggunakan 4 buah switch yang aktif berpasangan. Kedua switch  $S_{1+}$  dan  $S_{1-}$  atau  $S_{2+}$  dan  $S_{2-}$  tidak boleh aktif bersamaan. Pada saat  $S_{1+}$  dan  $S_{2-}$  ON, beban mendapatkan tegangan positif  $V_o$ , sedangkan saat  $S_{1-}$  dan  $S_{2+}$  ON maka beban mendapatkan tegangan negatif  $V_o$ .

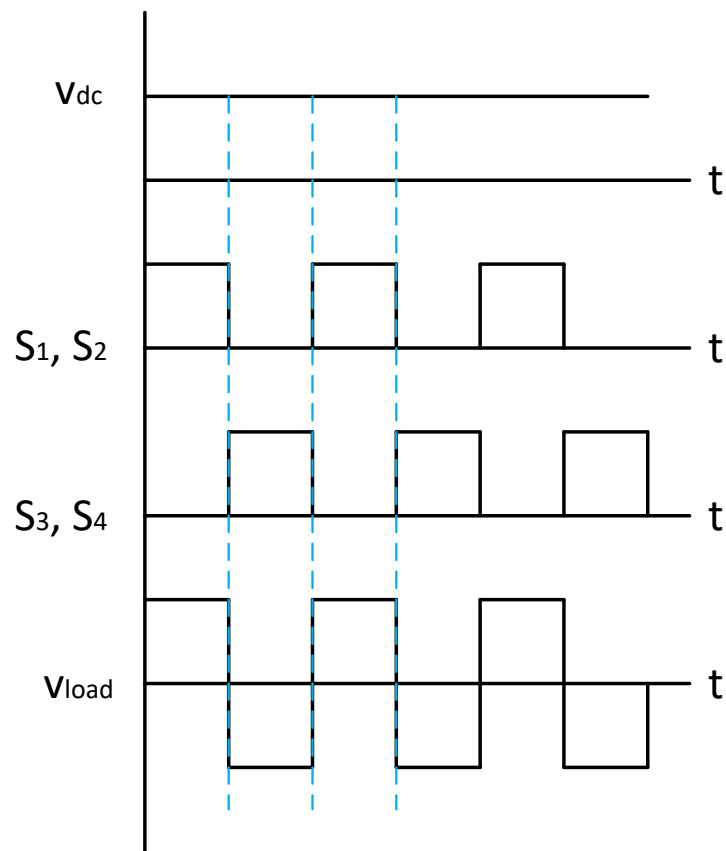
## 2.2 Teknik *Switching Inverter*

Teknik switching inverter menggunakan dua teknik yaitu *Square Wave Pulse (SWP)* dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)*.

### 2.2.1 *Square Wave Pulse (SWP)*

*Square Wave Pulse (SWP)* adalah suatu teknik pensaklaran dengan mengatur lebar pulsa dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap [6].





**Gambar 2. 2** Teknik Switching SWP

Dalam kontrol SWP, sudut konduksi perangkat semikonduktor daya dihasilkan dengan membandingkan sinyal referensi dengan sinyal pembawa. Lebar pulsa dapat divariasikan dengan mengubah tegangan pembawa. Indeks modulasi ditentukan oleh

$$M = \frac{v_c}{v_r} \quad (2.1)$$

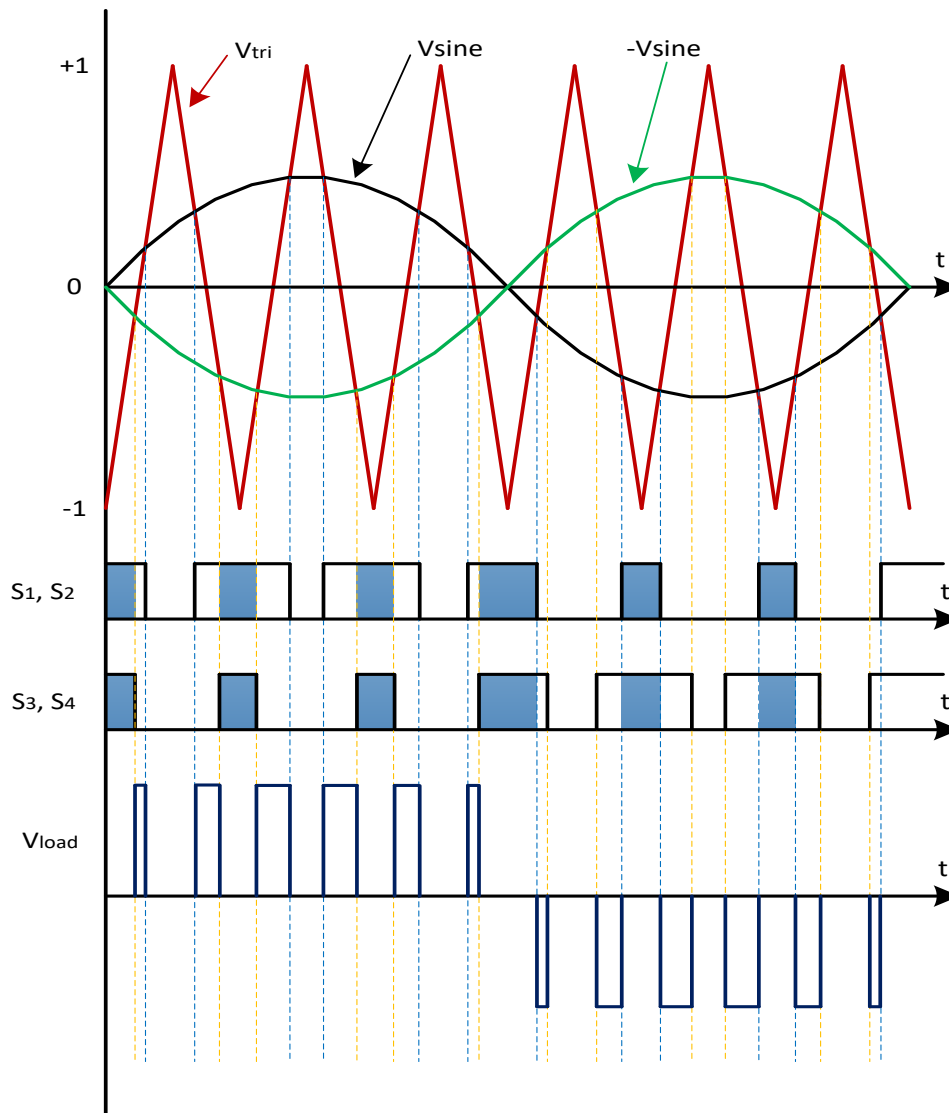
dimana  $v_r$  adalah nilai puncak dari sinyal referensi dan  $v_c$  adalah nilai puncak dari sinyal pembawa [6]. Frekuensi sinyal modulasi menentukan frekuensi fundamental dari bentuk gelombang keluaran, sedangkan frekuensi sinyal pembawa menentukan frekuensi switching dari sakelar yang dikendalikan inverter [8].

### 2.2.2 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

*Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)* adalah teknik pensaklaran dengan membandingkan antara gelombang segitiga dan gelombang sinus, dimana gelombang segitiga sebagai carrier dan gelombang sinus sebagai gelombang yang dimodulasi. Dalam SPWM, lebar setiap pulsa bervariasi secara proporsional dengan amplitudo gelombang sinus yang dievaluasi di tengah pulsa yang sama [9]. Gelombang sinus dianggap sebagai sinyal referensi, sedangkan gelombang segitiga diperlakukan sebagai gelombang pembawa. Frekuensi sinyal referensi menentukan frekuensi keluaran inverter, dan amplitudo puncaknya mengontrol indeks modulasi. Cara tersebut adalah untuk mengubah keadaan output pada titik perpotongan dua gelombang.

Berdasarkan Gambar 2.1 yang menunjukkan konfigurasi full-bridge inverter yang terdiri dari 4 buah switch maka untuk menghasilkan tegangan atau arus keluaran gelombang penuh AC pada Gambar 2.2, dibutuhkan teknik SPWM untuk mengatur komponen semikonduktor sebagai saklar daya pada inverter. Teknik SPWM menghasilkan pulsa keluaran dengan membandingkan tegangan pada sinyal referensi atau sinusoidal  $v_{sine}$  dan sinyal pembawa atau sinyal segitiga  $v_{tri}$  dimana  $v_c > v_{\Delta} = S1+, S2- ON$ . Rasio modulasi amplitudo ditentukan oleh indeks modulasi  $m_a$  dengan syarat  $m_a \leq 1$  [6, 10].

$$m_a = \frac{v_c}{v_{\Delta}} \quad (2.2)$$



**Gambar 2. 3** Teknik Switching SPWM

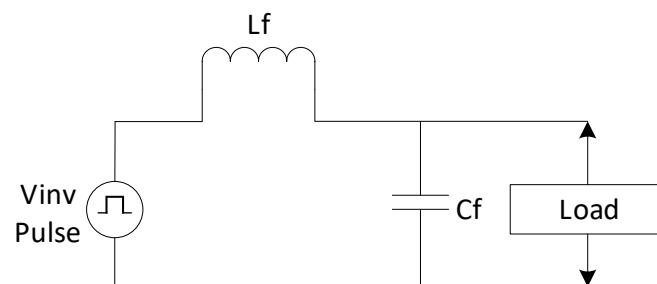
### 2.3 *Low Pass Filter (LPF)*

*Low Pass Filter (LPF)* adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi di bawah frekuensi transisinya dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi di atas frekuensi transisinya. Low Pass Filter digunakan untuk mengeliminasi semua harmonisa yang tidak menguntungkan dari

sinyal keluaran, dimana LPF akan menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan dan mengeliminasi frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi cut-off.

### 2.3.1 *Filter LC*

Pada dasarnya terdapat tiga jenis rangkaian LPF yaitu filter L, filter LC, dan filter LCL yang dapat dihubungkan antara inverter dan grid [11]. Sebuah metode sederhana untuk mengurangi harmonisa keluaran inverter adalah dengan menggunakan filter LC. Filter LC diusulkan untuk atenuasi yang lebih baik, mengurangi kerugian dan biaya. Dengan menggunakan filter LC frekuensi resonansi sebanding dengan nilai induktansi grid. Filter ini adalah filter orde kedua dimana induktor dihubungkan secara seri dengan kapasitor seperti terlihat pada Gambar 2.3 [11, 12]. Filter LC digunakan untuk mengurangi harmonisa dan membuat sinyal menjadi sinusoidal yang selanjutnya akan diumpankan ke transformator step-up untuk diperkuat menjadi tegangan dengan nilai yang tepat.



**Gambar 2. 4** Rangkaian Filter LC

### 2.3.2 *Desain Filter LC*

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 desain filter LC terdiri dari komponen induktor dan kapasitor harus mengikuti prosedur dalam desain filter untuk

memperoleh bentuk gelombang keluaran yang mendekati gelombang sinusoidal murni. Filter LC dari inverter dapat didesain dengan mengikuti 4 langkah berikut [13]:

1. Menentukan frekuensi switching ( $f_s$ )

Menentukan frekuensi switching mempengaruhi ukuran filter, dengan frekuensi switching yang tinggi bertujuan untuk memperkecil ukuran filter. Namun, frekuensi maksimum dari solid-state switch dan kerugian dinamisnya membatasi frekuensi switching. Secara umum, 3 kHz hingga 15 kHz dipilih untuk inverter berbasis IGBT dan 10 kHz hingga 100 kHz untuk inverter berbasis MOSFET.

$$\omega_s = 2\pi f_s \quad (2.3)$$

2. Menentukan faktor  $k$

Persyaratan standar terpenuhi ketika  $k = 15$ , besarnya faktor  $k$  menghasilkan atenuasi yang lebih besar pada frekuensi switching dan penguatan yang lebih sedikit pada frekuensi dasar. Jika faktor modulasi kurang dari 0,95, nilai minimum faktor  $k$  perlu dihitung dengan persamaan

$$\omega_r > \frac{1}{k} \omega_s \text{ dan } k > 15 \quad (2.4)$$

3. Menentukan faktor  $\alpha$

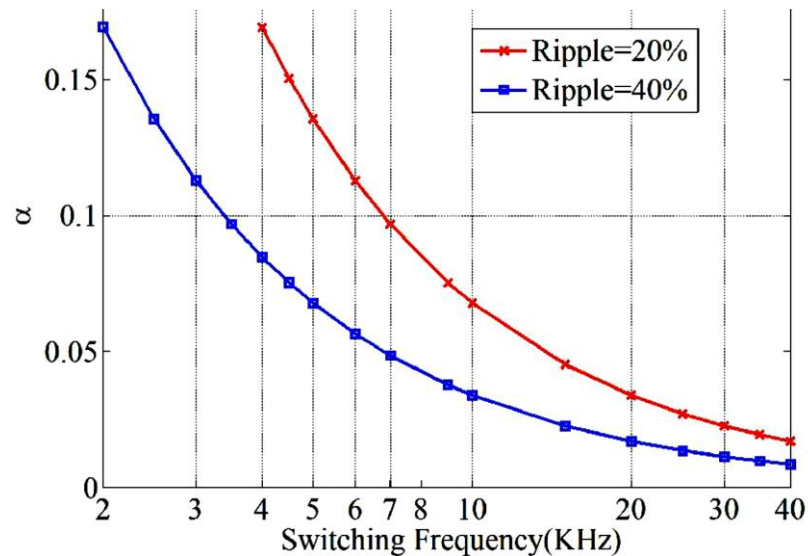
Faktor  $\alpha$  sepenuhnya bergantung pada frekuensi switching dan arus riak induktor yang dapat diterima. 20% dan 40% adalah kisaran yang dapat diterima untuk arus riak.

$$\omega_r > \frac{\omega_1}{\sqrt{\alpha}} \quad (2.5)$$

atau

$$f_s > \frac{k}{\sqrt{\alpha}} f_1 \quad (2.6)$$

Ketimpangan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6 harus dipenuhi. Jika tidak dipertahankan, maka faktor  $k$  dan  $\alpha$  harus diperbarui dan dipilih lagi.



**Gambar 2. 5** Kuantitas  $\alpha$  sebagai fungsi dari frekuensi switching untuk arus riak maksimum 20% dan 40%

4. Menghitung nilai L dan C

Nilai L dan C dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \frac{R_L m}{\omega_1} \sqrt{\alpha^2 - \frac{\omega_1^4}{\omega_r^4}} \quad (2.7)$$

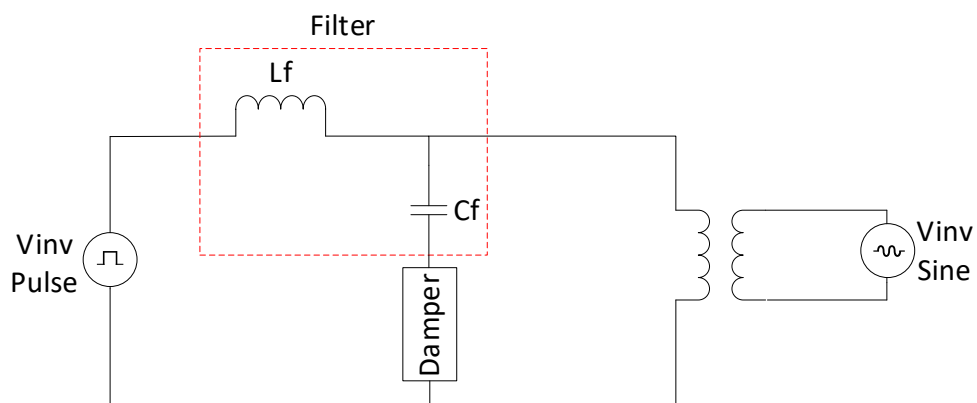
dan

$$C = \frac{1}{R_{Lm}} \sqrt{\frac{\omega_1^2}{\alpha^2 \omega_r^4 - \omega_1^4}} \quad (2.8)$$

#### 2.4 Damper

Filter LC yang rentan terhadap osilasi dan akan meningkatkan frekuensi di sekitar frekuensi cut-offnya memerlukan tambahan damper atau redaman. Cara termudah yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan resistor redaman. Redaman terhadap LC filter dapat diperoleh dengan menempatkan resistor pada empat kemungkinan tempat, baik secara seri maupun paralel ke sisi induktor atau seri maupun paralel dengan kapasitor [14]. Dengan menghubungkan varian resistor secara seri dengan kapasitor seperti terlihat pada Gambar 2., maka nilai redaman resistor dapat dihitung dengan

$$R_d = \frac{1}{3\omega_1 C_f} \quad (2.9)$$



**Gambar 2. 6** Rangkaian Filter LC dengan Damper

## 2.5 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamental (komponen dapat berupa tegangan atau arus). THD dituliskan sebagai :

$$THD = \frac{[\sum_{n=2}^k V_n]^{\frac{1}{2}}}{V_1} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Dimana,

$V_n$  : komponen harmonisa

$n$  : orde harmonisa

$V_1$  : komponen fundamental

$k$  : komponen harmonisa maksimum yang diamati

Faktor distorsi total pada tegangan dan arus dapat dituliskan sebagai :

$$THD_V = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1^2}} \quad (2.11)$$

dan

$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \quad (2.12)$$

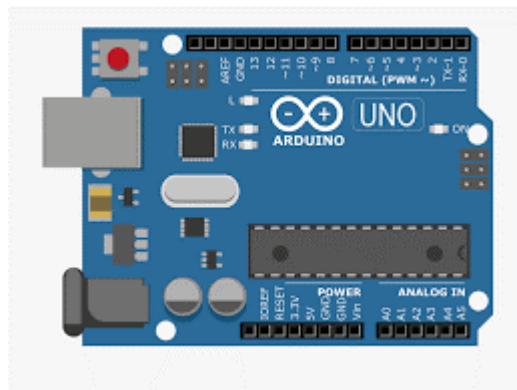
Dalam hal ini THD dapat menggambarkan kerugian energi termal oleh setiap komponen harmonisa. Indeks ini juga digunakan untuk mengukur deviasi gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus murni. Untuk memperoleh gelombang sinus murni pada frekuensi fundamental, maka  $THD = 0$  [15].



## 2.6 *Arduino*

Mikrokontroler adalah komputer berukuran mikro pada chip sirkuit terintegrasi (IC) yang terdiri dari prosesor, memori, dan antarmuka yang dapat diprogram. Disebut mikrokomputer karena chip IC atau chip mikrokontroler terdiri dari CPU, memori dan I/O yang dapat kita kontrol dengan memprogramnya. I/O ini juga dikenal sebagai GPIO (General Purpose Input and Output Pins), yang artinya: pin yang dapat kita program sebagai input atau output sesuai kebutuhan [16].

Arduino adalah platform prototipe elektronik *open source* yang fleksibel dan mudah digunakan baik dari segi perangkat keras/*hardware* dan perangkat lunak/*software*. Selain itu, kekuatan utama Arduino adalah jumlah penggunaannya yang besar, sehingga tersedia pustaka kode program (*code library*) dan modul pendukung (*hardware support modules*) dalam jumlah yang sangat besar [17].



**Gambar 2. 7** Board Arduino Uno

Board Arduino terdiri dari perangkat keras atau modul mikrokontroler siap pakai dan perangkat lunak IDE yang digunakan untuk pemrograman sehingga kita dapat belajar dengan mudah. Keuntungan dari Arduino adalah kita tidak direpotkan

dengan rangkaian minimum sistem dan *programmer* karena sudah *built in* dalam satu *board*. Jadi kita bisa berkonsentrasi pada pengembangan sistem.

Untuk memprogram *board* Arduino, dibutuhkan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) yang terintegrasi dalam Arduino. Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* Arduino (*Sketches*, para *programmer* menyebut *source code* arduino dengan istilah “*sketches*”). *Sketch* merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler (Arduino).

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis Atmega328. Arduino memiliki 14 pin *input/output*, 6 pin di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, 6 *analog input*, *crystal* osilator 16 MHz, konektor USB, konektor daya, *header* ICSP, dan tombol *reset*.

a. 14 pin *input/output digital* (0-13)

14 pin *input/output digital* (0-13) berfungsi sebagai *input* atau *output*, dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, dapat juga berfungsi sebagai pin *analog output* dimana tegangan keluaran dapat diatur. Nilai sebuah pin *output analog* dapat diprogram antara 0-255, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0-5V.

b. USB

USB berfungsi untuk memuat program dari computer ke dalam papan, komunikasi serial antara papan dan computer, memberi daya listrik kepada papan.

c. Q1- Kristal (*Quartz Crystal Oscillator*)

Jika mikrokontroler dianggap sebagai otak, maka kristal adalah jantungnya karena komponen ini menghasilkan detak-detak yang dikirim kepada mikrokontroler agar melakukan sebuah operasi untuk setiap detaknya. Kristal ini dipilih yang berdetak 16 juta kali per detik (16MHz).

d. Tombol reset S1

Untuk mereset papan sehingga program akan mulai lagi dari awal. Perhatikan bahwa tombol reset ini bukan untuk menghapus program atau mengosongkan mikrokontroler.

e. *In-Circuit Serial Programming (ICSP)*

Port ICSP memungkinkan pengguna untuk memprogram mikrokontroler secara langsung, tanpa melalui bootloader. Umumnya pengguna Arduino tidak melakukan ini sehingga ICSP tidak terlalu dipakai walaupun disediakan.

f. IC 1 – Mikrokontroler Atmega

Komponen utama dari papan Arduino di dalamnya terdapat CPU, ROM dan RAM.

g. X1 – Sumber Daya Eksternal

Papan arduino dapat diberikan tegangan DC antara 9-12V.

h. 6 pin input *analog* (0-5)

Pin ini sangat berguna untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog. Program dapat membaca nilai sebuah pin *input* antara 0-1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0-5V.

## 2.7 Penelitian yang Berkaitan

**Tabel 2. 1** State of The Art

No.	Peneliti	Judul	Thn.	Metode	Hasil
1	Yusran, Ahmad Ikhsan (ICHVEPS 2019)	Simulation of Filter and Load Influence on Single Phase Inverter Against Voltage and Current Harmonic	2019	Menggunakan filter LC dengan teknik switching SPWM  Konfigurasi yang digunakan full bridge	Tanpa filter memperoleh persentase THD <sub>v</sub> < 106% dan THD <sub>i</sub> < 4%  Dengan filter LC (L = 150mH, C = 7uF) memperoleh persentase THD <sub>v</sub> < 3% dan THD <sub>i</sub> < 4%
2	Muhammad Rusdi, Faizal Arya Samman, Rhiza S. Sadjad, Andi Ejah Umraeni Salam, Carmadi Machbub (ISITIA 2020)	Standalone Single Phase DC-AC Inverter with FPGA-based Pulse Modulated Generator Unit	2020	Menggunakan filter LC, Lookup Table (LUT) perangkat FPGA untuk membangkitkan sinyal SPWM	THD yang diperoleh 17,71% amplitudo tegangan 23,6 V dengan indeks modulasi 0,95 pada arus ripple 20%