

DAFTAR ISI

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 POWER SUPPLY	5
2.2 TRANSFORMATOR.....	5
2.3 RECTIFIER.....	7
2.4 INVERTER	9
2.5 TEKNIK MODULASI PWM DAN FREKUENSI CARRIER	11
2.6 LC - <i>LOW PASS FILTER</i>	15
2.7 ARDUINO	18
2.8 BATERAI.....	19
2.9 FORMULASI DAYA LISTRIK	20
2.10 SENSOR TEGANGAN	20
2.11 <i>UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY</i>	21
2.11.1 Topologi UPS	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 TAHAP PENELITIAN	25
3.2 BLOK DIAGRAM.....	26
3.3 DESAIN RANGKAIAN	26
3.3.1 Desain Rangkaian <i>AC Power Supply</i> Dengan Inverter PWM Berdasarkan Mikrokontroler Untuk Aplikasi Pada UPS.....	27
3.3.2 Rasio Modulasi Amplitudo dan Rasio Modulasi Frekuensi Inverter	27
3.3.3 Penentuan Frekuensi <i>Carrier</i>	28
3.3.4 Perancangan LC Filter <i>Low-Pass</i>	28
3.3.5 Perancangan Sensor Tegangan	30
3.4 SIMULASI RANGKAIAN	31
3.4.1 Simulasi Menggunakan PSIM.....	31
3.4.2 Simulasi Menggunakan Proteus	32
3.5 Rangkaian Prototipe	33
3.6 Pengujian	33
3.6.1 Pengujian Simulasi PSIM.....	33

3.6.2	Pengujian Simulasi Proteus	33
3.6.3	Pengujian DC converter	33
3.6.4	Pengujian Inverter	34
3.6.5	Pengujian Sistem	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	LUARAN PENELITIAN	35
4.1.1	Luaran Pengujian Simulasi PSIM	35
4.1.2	Luaran Pengujian Simulasi PROTEUS	37
4.1.3	Luaran Pengujian DC <i>Converter</i>	39
4.1.4	Luaran Pengujian Inverter	39
4.1.5	Luaran Pengujian Sistem	46
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN A.	CODING SPWM ARDUINO	A-1
LAMPIRAN B.	PENGUJIAN SISTEM	B-1
LAMPIRAN C.	DATASHEET	C-1
LAMPIRAN D.	GAMBAR PROTOTIPE	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram Catu Daya DC	5
Gambar 2.2 Tipe Transformator Sederhana.....	6
Gambar 2.3 Penyerah Jembatan.....	8
Gambar 2.4 Gelombang Tegangan dan Arus Penyearah Jembatan	8
Gambar 2.5 Konverter Jembatan Penuh Square Wave	9
Gambar 2.6 Tegangan Output Gelombang Persegi dan Bentuk Gelombang Arus Output Full Bridge Inverter.....	10
Gambar 2.7 Modulasi Sinyal SPWM.....	11
Gambar 2.8 Blok Diagram SPWM Analog	14
Gambar 2.9 filter low-pass LC tingkat 2 sederhana.....	16
Gambar 2.10 Respon Frekuensi dari Filter Low Pass tingkat pertama.....	17
Gambar 2.11 Filter Low Pass Tipe Chebyshev.....	18
Gambar 2.12 Board Arduino.....	19
Gambar 2.13 Komponen Baterai Lead Acid.....	20
Gambar 2.14 Rangkaian Dasar Sensor Tegangan.....	21
Gambar 2.15 Topologi UPS Siaga	22
Gambar 2.16 Topologi UPS Lini Interaktif	23
Gambar 2.17 Topologi UPS Online	23
Gambar 2.18 Topologi UPS Ferroresonant.....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Blok Diagram Prototipe	26
Gambar 3.3 Desain Rangkaian.....	27
Gambar 3.4 Rancangan LC Filter	29
Gambar 3.5 Rancangan LC Filter Tipe Chebyshev	30
Gambar 3.6 Sensor Tegangan	31
Gambar 3.7 Rangkaian Simulasi Rectifier di PSIM	31
Gambar 3.8 Rangkaian Simulasi Inverter di PSIM.....	32
Gambar 3.9 Rangkaian Simulasi Proteus.....	32
Gambar 3.10 Rangkaian Prototipe	33
Gambar 4.1 Keluaran Rectifier Pada Simulasi PSIM	35

Gambar 4.2 Sinyal Carrier dan Sinyal Referensi SPWM Pada Simulasi PSIM ...	35
Gambar 4.3 Sinyal Keluaran Inverter Sebelum Filter Pada Simulasi PSIM	36
Gambar 4.4 Sinyal Keluaran Inverter Setelah Filter Pada Simulasi PSIM.....	36
Gambar 4.5 Gelombang Keluaran DC Converter Pada Simulasi Proteus	37
Gambar 4.6 Gelombang SPWM Dari Arduino Pada Simulasi Proteus	37
Gambar 4.7 Keluaran Inverter Tanpa Filter Pada Simulasi Proteus	38
Gambar 4.8 Keluaran Inverter Setelah Ditambahkan Filter Pada Simulasi Proteus	38
Gambar 4.9 Keluaran Osiloskop DC Converter	39
Gambar 4.10 SPWM Digital Dari Mikroprosesor	40
Gambar 4.11 Keluaran Inverter Sebelum Di Filter	40
Gambar 4.12 Gelombang Keluaran Inverter Tanpa Beban Setelah Filter	41
Gambar 4.13 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Resistif.....	41
Gambar 4.14 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Kapasitif	41
Gambar 4.15 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Induktif.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Frekuensi pembawa dan pengaruhnya terhadap Kinerja pada Inverter yang diusulkan dalam hal THD [7]	14
Tabel 4.1 Data Pengukuran DC Converter	39
Tabel 4.2 Pengujian Frekuensi Carrier (pembawa) untuk pwm inverter	42
Tabel 4.3 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	43
Tabel 4.4 Pengujian Tegangan Masuk dan Keluar Inverter.....	45
Tabel 4.5 Data Pengukuran Inverter Saat Diberi Beban	46
Tabel 4.6 Perbandingan Frekuensi Keluaran Inverter.....	46
Tabel 4.7 Proses Pengisian Baterai	48
Tabel 4.8 Durasi Pengujian Beban Elektronik.....	49

DAFTAR SINGKATAN

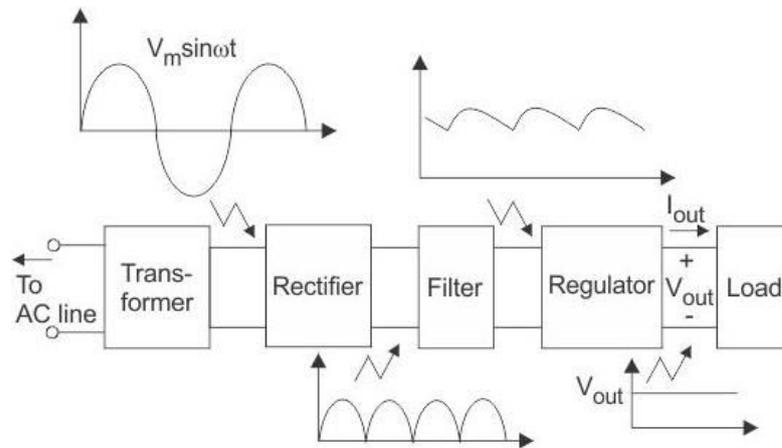
- AC : *Alternating Current*
- DC : *Direct Current*
- IDE : *Integrated Development Environment*
- PC : *Personal Computer*
- PLN : *Perusahaan Listrik Negara*
- LED : *Light Emitting Diode*
- UPS : *Uninterruptible Power Supply*
- THD : *Total Harmonic Distortion*

BAB 1

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 POWER SUPPLY

Menurut definisi, catu daya adalah perangkat yang mengubah *output* dari saluran listrik ac ke *output* dc yang stabil atau beberapa *output*. Tegangan ac pertama diperbaiki untuk memberikan dc berdenyut, dan kemudian disaring untuk menghasilkan tegangan halus. Akhirnya, tegangan diatur untuk menghasilkan tingkat *output* yang konstan terlepas dari variasi tegangan saluran ac atau beban rangkaian. Gambar 2.1 mengilustrasikan proses perbaikan, penyaringan, dan regulasi dalam catu daya dc. Sirkuit transformator, penyearah, dan penyaringan dibahas dalam bab-bab lain. Rangkaian power supply dapat dibedakan menjadi 2 tipe berdasarkan sistem kerjanya, yaitu stepdown transformer power supply (konvensional) dan switching power supply. Dalam penelitian ini, yang dikerjakan berkonsentrasi pada operasi dan karakteristik tahap regulator catu daya dc[4].

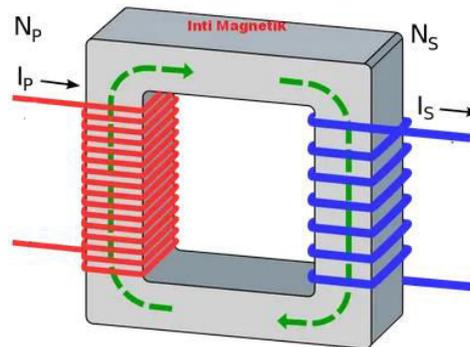


Gambar 1.1 Blok Diagram Catu Daya DC

1.2 TRANSFORMATOR

Sebuah transformator dalam bentuknya yang paling sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Transformator mengambil tegangan dari sebuah listrik dan kemudian mengubahnya ke listrik dengan tegangan yang berbeda. Pada dasarnya transformator bekerja dengan mengubah tegangan dengan menggunakan 2 sifat listrik. Pertama listrik yang mengalir pada sebuah kumparan akan menimbulkan

medan magnet. Kedua perubahan medan magnet (fluks magnet) akan menimbulkan ggl induksi. Arus bolak balik yang masuk pada kumparan primer akan menyebabkan adanya fluks magnet bolak-balik yang intik magnetik. Setelah itu, fluks magnet bolak-balik akan melewati kumparan skunder dan menimbulkan adanya ggl induksi. Besarnya ggl induksi akan bergantung pada laju perubahan fluks dan jumlah lilitan pada kumparan skunder.[5].



Gambar 1.2 Tipe Transformator Sederhana

Proses konversi dalam elektronika daya memerlukan penggunaan transformator dan komponen yang sering kali merupakan item terberat dan paling besar di sirkuit konversi. Mereka juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dan efisiensi keseluruhan sistem. Dengan demikian, desain transformator tersebut memiliki pengaruh penting pada bobot keseluruhan sistem, efisiensi konversi daya, dan biaya. Karena saling ketergantungan dan interaksi parameter, pertukaran yang bijaksana diperlukan untuk mencapai optimasi desain[5].

Persamaan matematis perbandingan tegangan dan lilitan trafo :

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}} \quad (2.1)$$

Dimana keterangannya sebagai berikut.

V_p = Tegangan pada kumparan primer (volt)

V_s = Tegangan pada kumparan sekunder (volt)

N_p = Banyaknya lilitan pada kumparan primer

N_s = Banyaknya lilitan pada kumparan sekunder

I_p = Besar kuat arus kumparan primer (ampere)

I_s = Besar kuat arus kumparan sekunder (ampere)

Adapun pada trafo dikenal istilah efisiensi trafo yaitu nilai yang menyatakan perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}). Nilai efisiensi trafo diformulasikan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana keterangannya sebagai berikut.

η = Efisiensi transformator (%)

P_s = daya pada kumparan sekunder (Watt)

P_p = daya pada kumparan primer (Watt)

1.3 RECTIFIER

Ada dua jenis penyearah dioda fase tunggal yang mengubah suplai fase tunggal menjadi tegangan dc, yaitu, penyearah setengah gelombang fase tunggal dan penyearah gelombang penuh fase tunggal. Demi kesederhanaan, dioda dianggap ideal, yaitu, mereka memiliki nol jatuh tegangan maju dan membalikkan waktu pemulihan. Asumsi ini umumnya berlaku untuk kasus penyearah dioda yang menggunakan hantaran listrik, sumber frekuensi rendah, sebagai *input*, dan ketika penurunan tegangan maju kecil dibandingkan dengan tegangan puncak hantaran listrik. Lebih jauh, diasumsikan bahwa beban adalah murni resistif sehingga tegangan beban dan arus beban memiliki bentuk gelombang yang sama. Pada Penelitian ini difokuskan pada full-wave *singlephaserectifier*[4].

Ada dua jenis penyearah gelombang penuh fasa tunggal, yaitu penyearah gelombang penuh dengan transformator pusat dan penyearah jembatan. Jelas bahwa setiap dioda, bersama-sama dengan setengah transformator yang terkait, bertindak sebagai penyearah setengah gelombang. *Output* dari dua penyearah setengah gelombang digabungkan untuk menghasilkan perbaikan gelombang penuh dalam beban[4]. Sejauh menyangkut transformator, arus dc dari dua

penyearah gelombang setengah adalah sama dan berlawanan, sehingga tidak ada arus dc untuk membuat masalah saturasi inti transformator. Nilai rata-rata tegangan beban V_L adalah V_s dan didefinisikan sebagai :

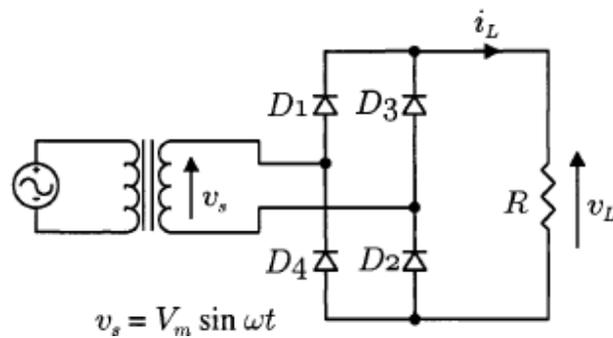
$$V_s = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) \quad (2.3)$$

$$V_s = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636 V_m \quad (2.4)$$

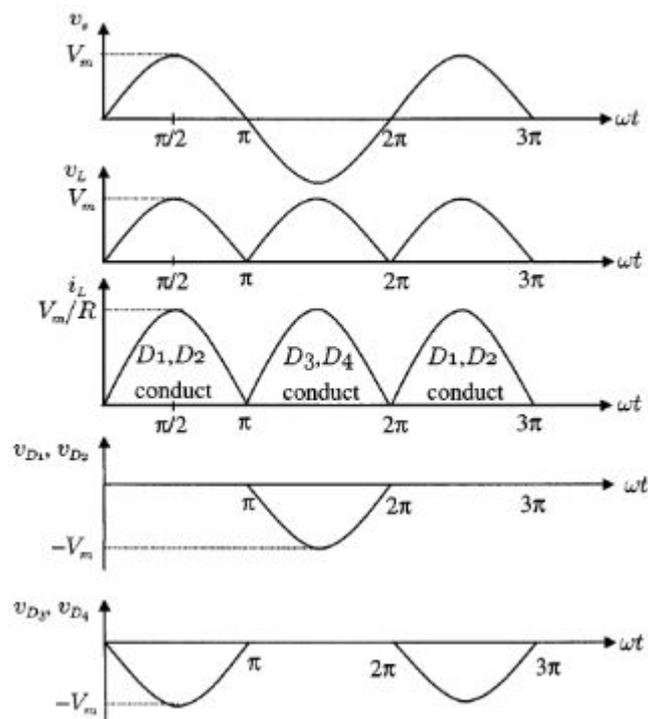
Dimana :

V_s = Tegangan keluaran DC (Volt)

V_m = Nilai Maksimum Dari Puncak Tegangan (Volt)



Gambar 1.3 Penyearah Jembatan

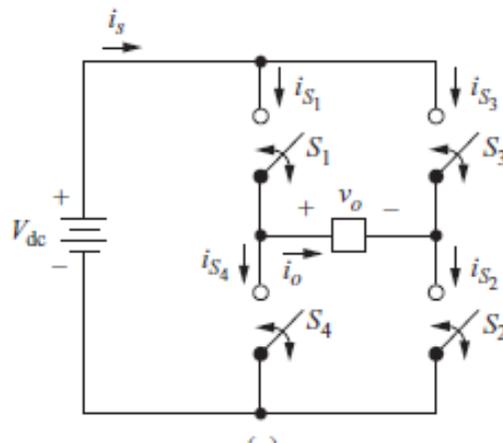


Gambar 1.4 Gelombang Tegangan dan Arus Penyearah Jembatan

Dalam kasus penyearah gelombang penuh, Gambar.2.3 menunjukkan bahwa $V_s = V_m|\sin \omega t|$ untuk kedua setengah siklus positif dan negatif. Oleh karena itu persamaan. (2.3) dapat ditulis ulang sebagai berikut pada persamaan 2.4. Untuk keluaran sinyal atau gelombang dari penyearah jembatan dapat dilihat pada Gambar 2.4.

1.4 INVERTER

Inverter adalah sirkuit yang mengubah dc ke ac. Lebih tepatnya, inverter mentransfer daya dari sumber dc ke beban ac. Konverter jembatan gelombang penuh yang dikendalikan di dapat berfungsi sebagai inverter dalam beberapa kasus, tetapi sumber ac harus sudah ada sebelumnya dalam kasus tersebut. Dalam aplikasi lain, tujuannya adalah untuk menciptakan tegangan ac ketika hanya sumber tegangan dc yang tersedia. Fokus disini adalah pada inverter yang menghasilkan *output* ac dari *input* dc. Inverter digunakan dalam aplikasi seperti drive motor ac kecepatan yang dapat disetel, catu daya tak terputus (UPS), dan menjalankan peralatan ac dari baterai mobil[6].

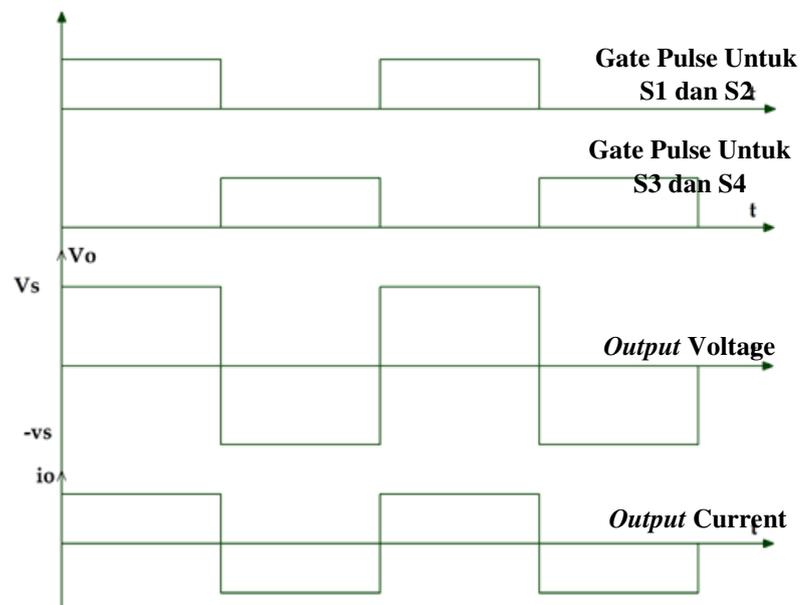


Gambar 1.5 Konverter Jembatan Penuh Square Wave

Skema *switching* paling sederhana untuk konverter jembatan penuh menghasilkan tegangan keluaran gelombang persegi dapat dilihat pada Gambar 2.5. Switch menghubungkan beban ke + Vdc ketika S1 dan S2 ditutup atau ke - Vdc ketika S3 dan S4 ditutup. Pergantian berkala dari tegangan beban antara + Vdc dan -Vdc menghasilkan tegangan gelombang persegi melintasi beban.

Meskipun *output* bolak-balik ini bersifat nonsinusoidal, mungkin merupakan bentuk gelombang ac yang memadai untuk beberapa aplikasi[6].

Bentuk gelombang dalam beban tergantung pada komponen beban. Untuk beban resistif, bentuk gelombang cocok dengan bentuk tegangan *output*. Beban induktif akan memiliki arus yang memiliki kualitas sinusoidal lebih dari tegangan karena properti penyaringan induktansi. Beban induktif menyajikan beberapa pertimbangan dalam merancang sakelar di sirkuit jembatan penuh karena arus sakelar harus dua arah[6]. Untuk contoh grafik tegangan *output* gelombang persegi dan bentuk gelombang arus steady state untuk beban R dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 1.6 Tegangan Output Gelombang Persegi dan Bentuk Gelombang Arus Output Full Bridge Inverter

Adapun tegangan keluaran rms dapat dicari dengan rumus berikut ini.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad (2.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

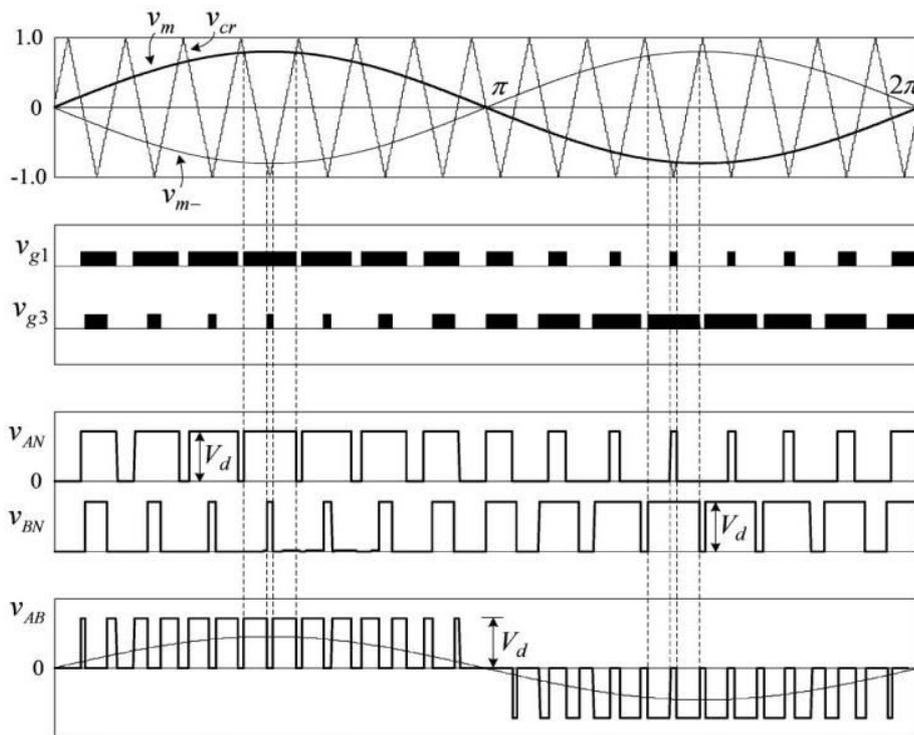
V_o = Tegangan Output Inverter

T_o = Periode Awal

V_s = Tegangan Sumber

1.5 TEKNIK MODULASI PWM DAN FREKUENSI CARRIER

Pada inverter dikenal istilah SPWM singkatan dari "Sinus Pulse Width Modulation" adalah teknik modulasi lebar pulsa yang digunakan dalam inverter. Inverter menghasilkan *output* tegangan AC dari *input* DC dengan bantuan switching sirkuit untuk mereproduksi gelombang sinus dengan menghasilkan satu atau lebih pulsa tegangan persegi per setengah siklus. Dengan modulasi ini, beberapa pulsa dihasilkan per setengah siklus. Pulsa yang dekat dengan ujung setengah siklus secara konstan lebih sempit daripada pulsa yang dekat dengan pusat setengah siklus sehingga lebar pulsa sebanding dengan amplitudo yang setara dari gelombang sinus pada bagian siklus itu. Untuk mengubah tegangan *output* efisien, lebar semua pulsa diperkuat atau dikurangi sambil menjaga proporsionalitas sinusoidal. Untuk modulasi sinyal spwm dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 1.7 Modulasi Sinyal SPWM

Ada dua metode yang digunakan dalam proses pembangkitan SPWM yaitu secara analog dan digital. Secara analog sinyal SPWM dibangkitkan dengan membangkitkan sinyal sinus sebagai referensi dan sinyal *triangle* sebagai carrier, dimana blok diagram nya dapat dilihat pada Gambar 2.8. Sedangkan dengan cara

digital maka dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler. Melalui metode digital ini dimanfaatkan barisan bahasa pemrograman untuk menghasilkan sinyal SPWM.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi harmonisa frekuensi rendah dalam gelombang inverter adalah modulasi lebar pulsa sinusoidal. Dalam metode ini, salinan referensi dari bentuk gelombang sinusoidal yang diinginkan, gelombang modulasi, dibandingkan dengan bentuk gelombang segitiga frekuensi jauh lebih tinggi, yang disebut gelombang pembawa. Sinyal penggerak yang dihasilkan menyebabkan beberapa kali pengaktifan sakelar inverter di setiap setengah siklus dengan lebar pulsa variabel untuk menghasilkan gelombang tegangan kuasi-sinus. Lebar pulsa meningkat dari lebar yang sangat sempit di awal setiap siklus ke lebar maksimum di tengah setiap siklus. Kemudian lebar pulsa berkurang lagi setelah maksimum hingga lebar minimum pada akhir periode setengah siklus. Biasanya dalam pembanding ketika tegangan gelombang sinus melebihi tegangan gelombang segitiga, tegangan beban adalah + Vdc, dan ketika tegangan gelombang segitiga melebihi tegangan gelombang sinus, tegangan beban adalah -Vdc.

Besarnya arus beban dapat dikontrol oleh rasio modulasi amplitudo,

$$ma = \frac{\text{Sine } Vm}{\text{triangular } Vm} \quad (2.6)$$

Keterangan :

ma = modulasi Amplitudo

Sine Vm = amplitudereferensi sinusoidal (Volt)

Triangular Vm = amplitudecarrier switching (Volt)

Akurasi, atau kedekatan dengan gelombang sinus, dapat dikendalikan oleh rasio modulasi frekuensi,

$$mf = \frac{f \text{ triangular}}{f \text{ sine}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

mf = rasio modulasi frekuensi

$f_{\text{triangular}}$ = frekuensi switching (Hz)

f_{sine} = frekuensi sinusoidal (Hz)

Dalam proses pembangkitan sinyal pwm menggunakan mikrokontroler, maka cara yang dilakukan adalah proses digital. Setelah menetapkan nilai frekuensi *carrier*, frekuensi *reference*, maka selanjutnya ditentukan perioda perioda setiap pulsa, jumlah pulsa setiap siklus, dan frekuensi *interrupt*. Untuk dapat menentukan parameter-parameter tersebut maka dipakai beberapa formulasi berikut ini.

$$T = \frac{1}{f_{\text{triangular}}} \quad (2.8)$$

$$N = \frac{T (\text{Half Cycle})}{T \text{ Each Pulse}} \quad (2.9)$$

$$f_{\text{Inter}} = \left[\frac{f_{\text{clock Microprocessor}}}{f_{\text{triangular}}} \times \text{Prescaler} \right] - 1 \quad (2.10)$$

Dimana :

T = Periode (s)

N = Jumlah Pulsa (pulse)

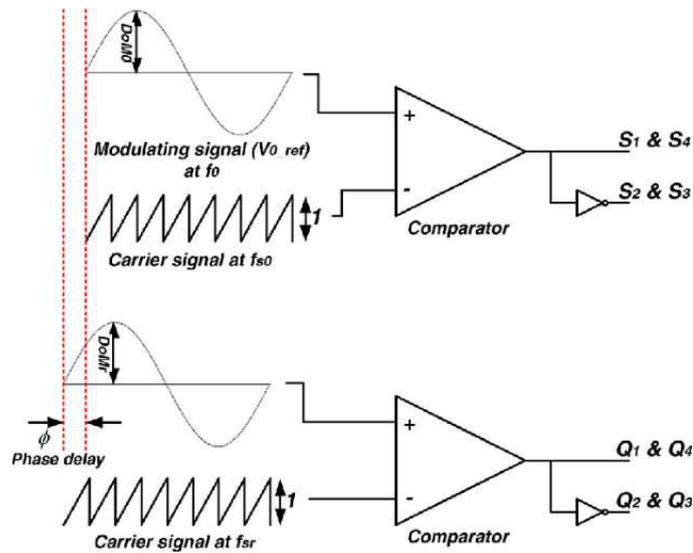
f_{Inter} = Frekuensi *Interrupt* (Hz)

Prescaler = Kontrol Kecepatan Kenaikan Penghitung Timer

$f_{\text{triangular}}$ = Frekuensi Pembawa (Hz)

Dengan menetapkan frekuensi pembawa yang ingin digunakan, maka untuk dengan mudah mengetahui jumlah pulsa per setengah siklusnya dibutuhkan nilai periode dari frekuensi pembawa lebih dahulu. Dengan memasukkan nilai atau jumlah pulsa yang diinginkan maka akan membantu mikroprosesor dalam hal ini Arduino dalam proses *generate / extract* nilai-nilai pulsa pwm (dari 0-225). Tentu akan terdapat sedikit perbedaan dalam hal jumlah pulsa antara proses perhitungan manual dan hasil yang di *generate* oleh mikroporsesor, namun hal tersebut sangatlah kecil 0,01% namun akan cukup memberikan dampak pada

keluaran dari inverter atau mesin yang dikontrol. Presecaler digunakan untuk mengontrol kecepatan waktu dalam proses pergantian siklus.



Gambar 1.8 Blok Diagram SPWM Analog

Terkait hal modulasi sinyal SPWM, frekuensi carrier yang di setting memiliki peran penting khususnya pada harmonisa yang terjadi. Oleh karena itu, frekuensi switching dipilih sekecil 6 kHz atau 20 kHz sebagai frekuensi yang telinga manusia dapat beroperasi. Hasil penelitian sebelumnya membuktikan bahwa THD untuk arus keluaran berkurang dengan peningkatan frekuensi pembawa (*carrier*) tanpa menghubungkan *filter* pada keluaran inverter. Ketika *filter* terhubung ke output inverter, output akan masuk ke kondisi transien, untuk beberapa siklus awal setelah kondisi *steady state* akan tercapai dan THD untuk tegangan output juga berkurang dengan peningkatan frekuensi pembawa. Maka dengan jelas ditunjukkan bahwa memvariasikan frekuensi pembawa (*carrier*) dari nilai rendah ke tinggi, akan dapat meminimalkan THD dari fase dan tegangan[7].

Tabel 1.1 Frekuensi pembawa dan pengaruhnya terhadap Kinerja pada Inverter yang diusulkan dalam hal THD[7]

Frekuensi Pembawa (kHz)	THD Tegangan (%)		THD Arus (%)	
	Sebelum di-Filter	Setelah di-Filter	Sebelum di-Filter	Setelah di-Filter
1,05	90,39	0,84	10,28	0,40

8,25	90,33	0,042	1,35	0,12
12,75	90,33	0,041	0,91	0,11

Semakin ditingkatkan frekuensi pembawa, semakin sedikit THD jika ada *filter* yang terhubung ke output. Jadi cara yang optimal adalah menaikkan frekuensi *switching* atau *carriersystem*, jika satu-satunya tujuan yang ingin dicapai adalah mengurangi THD dengan pemfilteran. Namun, efek buruknya adalah *switching loss* akan sangat tinggi, *power loss* tinggi serta menimbulkan dengung (*noise*). Kemudian dengan meningkatkan nilai frekuensi pembawa juga akan membuat *filter* yang dipakai nilainya lebih kecil. Dampak positifnya akan memudahkan penyaringan.

1.6 LC - LOW PASS FILTER

Filterlow-pass (LPF) adalah *filter* yang melewatkan sinyal dengan frekuensi lebih rendah dari frekuensi *cutoff* yang dipilih dan melemahkan sinyal dengan frekuensi lebih tinggi dari frekuensi *cutoff*. Respons frekuensi yang tepat dari *filter* tergantung pada desain *filter*. *Filter* kadang-kadang disebut *filter* potongan tinggi, atau *filtertreble-cut* dalam aplikasi audio. *Filterlow-pass* adalah komplement dari *filterhigh-pass*[8]. Contoh sederhana *filterlow-pass* LC dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Dalam domain optik, high-pass dan low-pass memiliki arti yang berlawanan, dengan *filter* "*high-pass*" (lebih umum "*long-pass*") hanya panjang gelombang yang lebih panjang (frekuensi yang lebih rendah), dan sebaliknya untuk "*rendah-pass*" (lebih umum "*short-pass*").

Filterlow-pass ada dalam berbagai bentuk, termasuk sirkuit elektronik seperti *filter* desis yang digunakan dalam audio, *filteranti-aliasing* untuk sinyal pengkondisian sebelum konversi analog-ke-digital, *filter* digital untuk menghaluskan set data, hambatan akustik, kabur Gambar, dan sebagainya. Operasi rata-rata bergerak yang digunakan dalam bidang-bidang seperti keuangan adalah jenis *filterlow-pass* tertentu, dan dapat dianalisis dengan teknik pemrosesan sinyal yang sama seperti yang digunakan untuk *filter* low-pass lainnya. *Filter* low-

pass memberikan bentuk sinyal yang lebih halus, menghilangkan fluktuasi jangka pendek dan meninggalkan tren jangka panjang[9].

$$f_c = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.11)$$

Dengan keterangan :

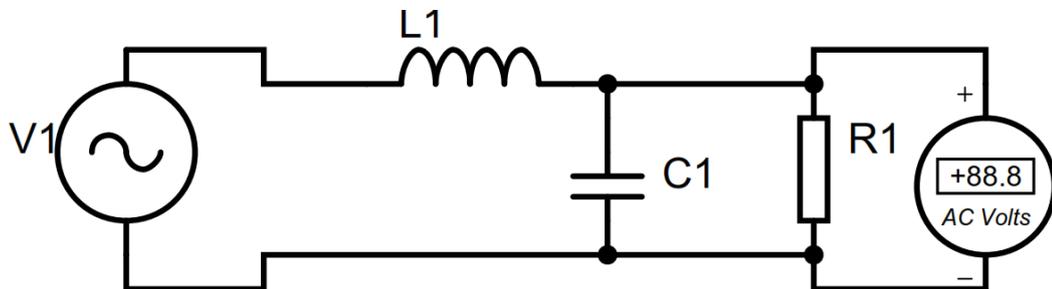
f_c = Frekuensi Cut-off (Hz)

π = Konstanta phi 3,14

L = Nilai Induktor (Henry)

C = Nilai Kapasitor (Farad)

Filter low pass digunakan dalam berbagai aplikasi. Khususnya dalam aplikasi frekuensi radio, low pass *filter* dibuat dalam bentuk LC menggunakan induktor dan kapasitor. Biasanya mereka dapat digunakan untuk menyaring sinyal yang tidak diinginkan yang mungkin ada dalam pita di atas pita yang diinginkan. Dengan cara ini, bentuk *filter* ini hanya menerima sinyal di bawah frekuensi cut-off[9].



Gambar 1.9 *filter* low-pass LC tingkat 2 sederhana

Dalam konfigurasi rangkaian sirkuit LC, induktor (L) dan kapasitor (C) dihubungkan secara seri, seperti yang ditunjukkan di sini. Tegangan total V di terminal terbuka hanyalah jumlah dari tegangan di induktor dan tegangan di kapasitor. Arus L ke terminal positif rangkaian sama dengan arus melalui kapasitor dan induktor[8].

$$V = V_L + V_C \quad (2.12)$$

$$I = I_L = I_C \quad (2.13)$$

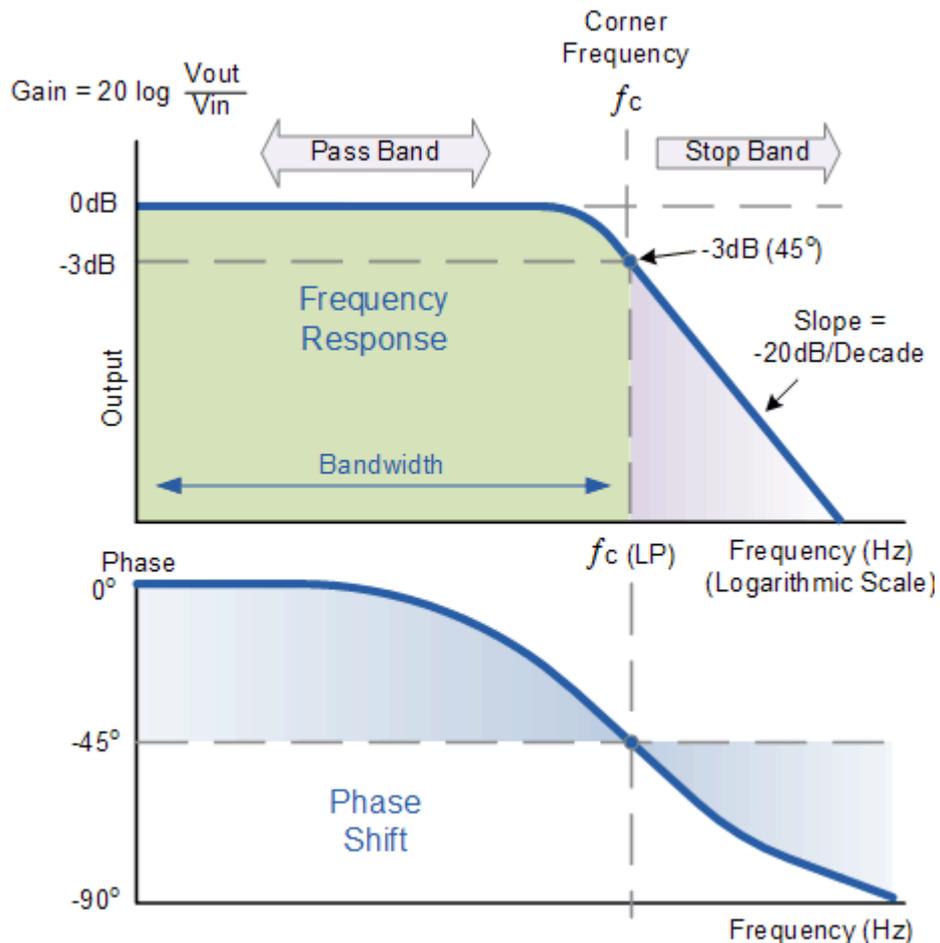
Dimana :

VL = Tegangan Induktor (V)

IL = Arus Induktor (A)

VC = Tegangan Kapasitor (V)

IC = Arus Kapasitor (A)



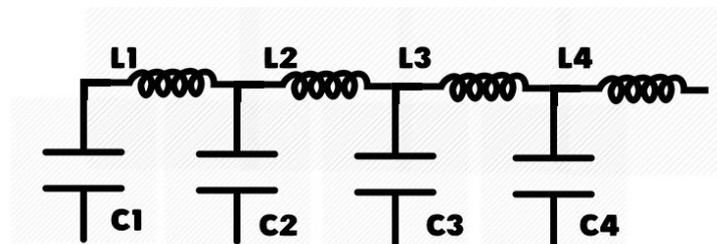
Gambar 1.10 Respon Frekuensi dari *Filter Low Pass* tingkat pertama

Bode Plot pada Gambar 2.10 menunjukkan Respon Frekuensi dari filter menjadi hampir rata untuk frekuensi rendah dan semua sinyal input diteruskan langsung ke output, menghasilkan kenaikan hampir 1, disebut kesatuan, hingga mencapai titik Frekuensi Pemutusan (f_c). Ini karena reaktansi kapasitor tinggi pada frekuensi rendah dan menghalangi aliran arus apa pun melalui kapasitor.

Setelah titik frekuensi cut-off ini, respons sirkuit menurun ke nol pada kemiringan -20dB / Dekade atau (-6dB / Oktaf) "roll-off". Perhatikan bahwa sudut

kemiringan, *roll-off* -20dB / Dekade ini akan selalu sama untuk setiap kombinasi LC.

Filter LC-low pass dapat di *adjust* menjadi jenis atau tipe filter *low pass* Chebyshev seperti pada Gambar 2.11. *Filter* Chebyshev adalah filter analog atau digital yang memiliki *roll-off* yang lebih curam dan lebih banyak riak *passband* atau riak *stopband* daripada *filter* Butterworth. *Filter* Chebyshev memiliki properti yang meminimalkan kesalahan antara karakteristik *filter* ideal dan aktual di atas kisaran *filter*, tetapi dengan riak di *passband*. *Filter* Chebyshev memberikan tingkat atenuasi yang lebih tajam di luar titik -3 db. *Filter* Chebyshev lebih sensitif terhadap toleransi komponen daripada filter Butterworth. Untuk *filter* orde-genap, semua riak berada di atas respons penguatan *passband* yang dinormalisasi-dc, sehingga *cutoff* berada pada 0 dB. Untuk filter orde ganjil, semua riak berada di bawah respons penguatan *passband* yang dinormalisasi-dc, sehingga *cutoff* berada pada - (riak) dB.

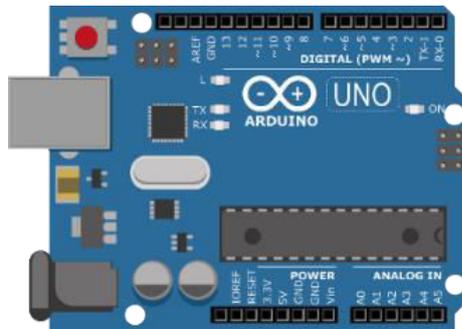


Gambar 1.11 Filter Low Pass Tipe Chebyshev

1.7 ARDUINO

Arduino adalah platform elektronik sumber terbuka yang didasarkan pada perangkat keras dan lunak yang mudah digunakan. Papan Arduino dapat membaca *input* - cahaya pada sensor, jari pada tombol, atau pesan Twitter - dan mengubahnya menjadi *output* - mengaktifkan motor, menyalakan LED, menerbitkan sesuatu secara online. Anda dapat memberi tahu dewan Anda apa yang harus dilakukan dengan mengirimkan serangkaian instruksi ke mikrokontroler di papan tulis. Untuk melakukannya, Anda menggunakan bahasa pemrograman Arduino (berdasarkan Pengkabelan), dan Perangkat Lunak Arduino (IDE), berdasarkan Pemrosesan[10].

Arduino menggunakan bahasa C/C++ dalam pengkabelan. Ketika akan membuat sketsa program Arduino, secara tidak langsung kita membuat library pengkabelan yang sudah ada dalam Arduino IDE. Hal tersebut yang menjadikan program yang berjalan hanya dengan menggunakan dua fungsi yaitu: `setup()` dan `loop()`. Perangkat keras Arduino dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 1.12 Board Arduino

1.8 BATERAI

Baterai adalah kumpulan satu atau lebih sel yang reaksi kimianya menciptakan aliran elektron dalam suatu rangkaian. Semua baterai terdiri dari tiga komponen dasar: anoda (sisi '-'), katoda (sisi '+'), dan beberapa jenis elektrolit (zat yang secara kimia bereaksi dengan anoda dan katoda).

Baterai charge berfungsi sebagai media penyimpanan dan penyedia energi listrik. Sumber listrik yang digunakan sebagai pembangkit power dalam bentuk arus searah (DC). Alat ini digunakan di dunia elektronika untuk menjalankan fungsi dari alat-alat elektronika itu sendiri [11].

Kapasitas baterai adalah jumlah ampere jam ($Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (drop voltage) yaitu sebesar 1,75 V (ingat, tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Untuk menghitung kapasitas baterai dapat digunakan rumus berikut. Bagian-bagian dari baterai lead acid atau komponen penyusunnya dapat dilihat pada Gambar 2.13.

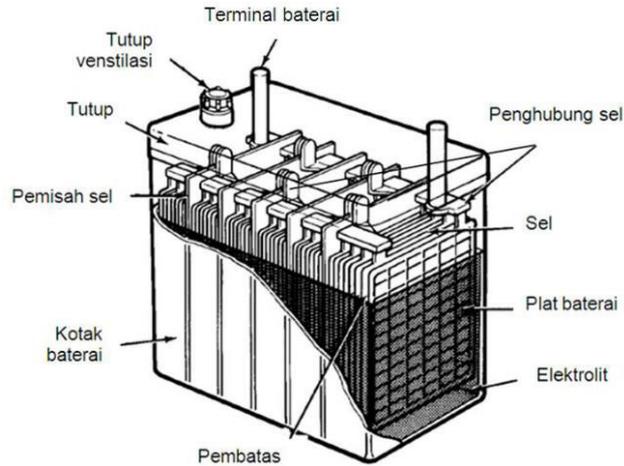
$$C = Ixt \quad (2.14)$$

Keterangan :

C = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Arus (A)

t = Waktu (h)



Gambar 1.13 Komponen Baterai Lead Acid

1.9 FORMULASI DAYA LISTRIK

Tenaga listrik adalah tingkat di mana energi ditransfer ke atau dari bagian sirkuit listrik. Baterai dapat menghantarkan energi, atau elemen rangkaian seperti resistor dapat melepaskan energi sebagai panas. Untuk setiap elemen rangkaian, daya sama dengan perbedaan tegangan di seluruh elemen dikalikan dengan arus. Menurut Hukum Ohm, $V = IR$, dan ada tambahan bentuk rumus daya listrik untuk resistor. Daya diukur dalam satuan Watt (W), di mana Watt sama dengan Joule per detik ($1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s}$)[12]. Bentuk umum formulasinya sebagai berikut:

$$P = V \times I \cos \varphi \quad (2.15)$$

Keterangan :

P : tenaga listrik (Watt)

V : Tegangan Listrik (Volt)

I : Arus Listrik (Ampere)

$\cos \varphi$: Power Factor/Faktor Daya

1.10 SENSOR TEGANGAN

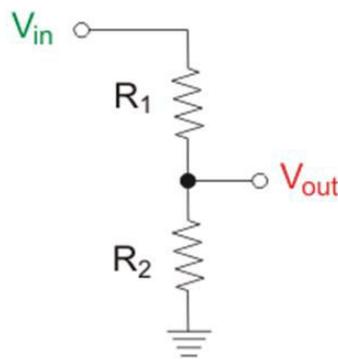
Sensor tegangan adalah sensor yang digunakan untuk menghitung dan memantau jumlah tegangan pada suatu objek. Sensor tegangan dapat menentukan baik tegangan AC atau level tegangan DC. Input dari sensor ini dapat berupa tegangan sedangkan outputnya adalah sakelar, sinyal tegangan analog, sinyal arus, sinyal suara, dll[13].

Sensor pada dasarnya adalah perangkat yang dapat merasakan atau mengidentifikasi dan bereaksi terhadap beberapa jenis sinyal listrik atau optik. Penerapan sensor tegangan dan teknik sensor arus telah menjadi pilihan yang sangat baik untuk metode pengukuran arus dan tegangan konvensional.

Pada sensor tegangan, pengukuran didasarkan pada pembagi tegangan. Ada dua jenis utama sensor tegangan yang tersedia - sensor tegangan tipe kapasitif dan sensor tegangan tipe resistif.

Salah satu sensor tegangan tipe resistif adalah rangkaian tahanan pembagi tegangan seperti pada Gambar 2.14.

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.16)$$



Gambar 1.14 Rangkaian Dasar Sensor Tegangan

1.11 UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

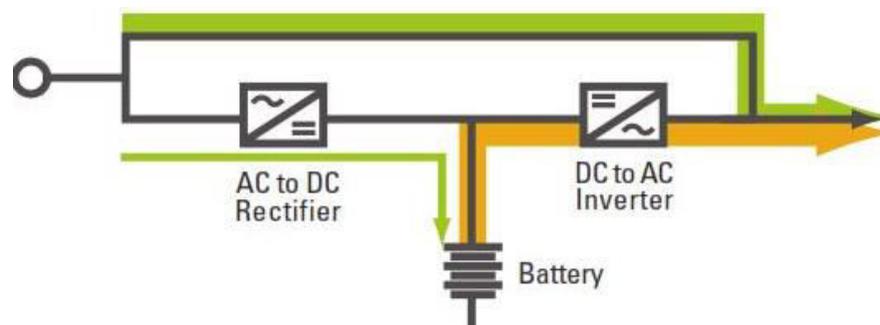
UPS singkatan dari (*Uninterruptible Power Supply*). UPS memiliki pengertian yaitu perangkat hardware yang berfungsi untuk memberikan suplai listrik ketika tegangan utama (PLN) tidak berfungsi atau terjadi pemadaman listrik secara tiba-tiba. Didalam komponen UPS terdapat baterai yang menjadi sumber

listrik utamanya, ketika listrik mengalir melalui perangkat UPS maka secara otomatis baterai ini akan terisi penuh[14].

Perangkat ini memiliki peran yang cukup penting sebagai listrik cadangan sementara dengan backup time yang sangat cepat, tetapi hanya mampu bertahan dalam beberapa menit saja. Dalam waktu yang cukup singkat, bisa dimanfaatkan untuk menyimpan data yang belum sempat tersimpan dan mematikan perangkat-perangkat elektronik secara normal, contohnya komputer agar tidak merusak pada komponen hardwarenya[14].

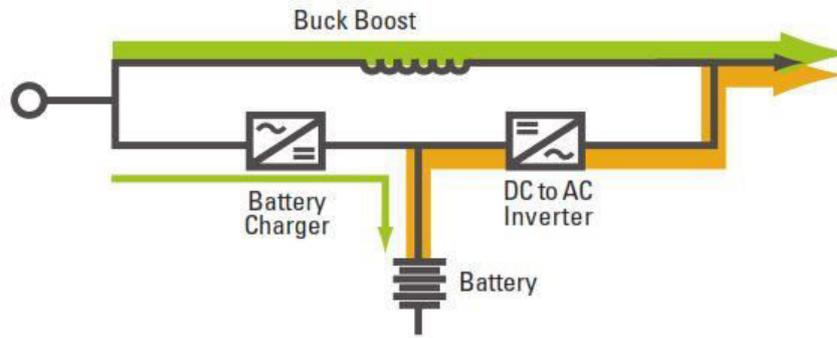
1.11.1 Topologi UPS

Ada beberapa topologi UPS berbeda yang memberikan tingkat perlindungan yang berbeda-beda. Memilih yang paling sesuai bergantung pada beberapa faktor, termasuk tingkat keandalan dan ketersediaan yang diinginkan, jenis peralatan yang dilindungi, dan aplikasi / lingkungan. Sementara keempat topologi UPS yang paling umum yang diuraikan di bawah memenuhi persyaratan tegangan input untuk peralatan TI, terdapat perbedaan utama dalam cara mendapatkan hasil, serta frekuensi dan durasi kebutuhan baterai[14].



Gambar 1.15 Topologi UPS Siaga

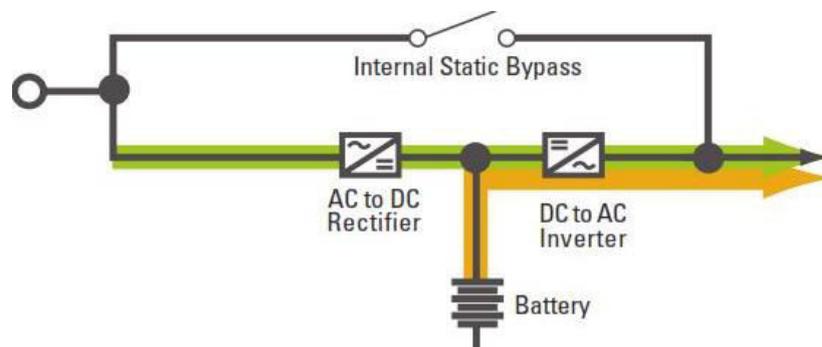
Pada Gambar 2.15 adalah topologi UPS siaga. UPS siaga memungkinkan peralatan untuk mematikan aliran listrik sampai UPS mendeteksi masalah, di mana UPS beralih ke daya baterai untuk melindungi dari penurunan, lonjakan atau pemadaman listrik. Topologi ini paling sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan cadangan sederhana seperti kantor kecil / kantor rumah dan tempat penjualan peralatan.



Gambar 1.16 Topologi UPS Lini Interaktif

Pada Gambar 2.16 adalah topologi UPS lini interaktif. UPS *interaktif-line* secara aktif mengatur voltase baik dengan meningkatkan atau menurunkan daya utilitas seperlunya sebelum mengizinkannya melewati peralatan yang dilindungi atau dengan menggunakan daya Buck Boost baterai. Model lini-interaktif ideal untuk aplikasi yang memerlukan perlindungan dari anomali daya, tetapi daya utilitas relatif stabil. Lemari komunikasi MDF dan IDF, ruang server dan jaringan yang tidak terpusat, dan *Enclosure* IT umum cocok untuk topologi ini.

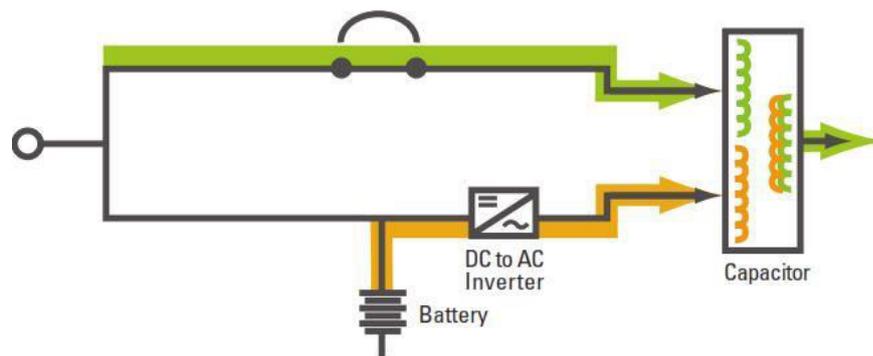
Sedangkan pada Gambar 2.17 dibawah ini adalah topologi UPS online. UPS online memberikan tingkat perlindungan tertinggi dengan mengisolasi peralatan dari daya utilitas mentah dan mengubah daya dari AC ke DC dan kembali ke AC. Tidak seperti topologi lainnya, konversi ganda memberikan waktu transfer nol ke baterai untuk peralatan sensitif. Topologi ini paling baik diterapkan pada peralatan dan lokasi kritis misi di mana daya umumnya buruk.



Gambar 1.17 Topologi UPS Online

Selanjutnya adalah Ferroresonant UPS. Pada gambar 2.18 dapat dilihat topologi Ferroresonant UPS . UPS ferroresonant beroperasi mirip dengan model

line-interactive dengan pengecualian bahwa transformator ferroresonant digunakan untuk mengkondisikan output dan menahan energi cukup lama untuk menutupi waktu antara peralihan dari aliran listrik ke daya baterai yang secara efektif berarti transfer tanpa putus. Banyak UPS ferroresonant yang 82-88 persen efisien dan menawarkan isolasi yang sangat baik. Meskipun bukan lagi jenis UPS yang dominan, unit yang kokoh ini masih digunakan dalam pengaturan industri seperti pasar minyak dan gas, petrokimia, kimia, utilitas, dan industri berat.

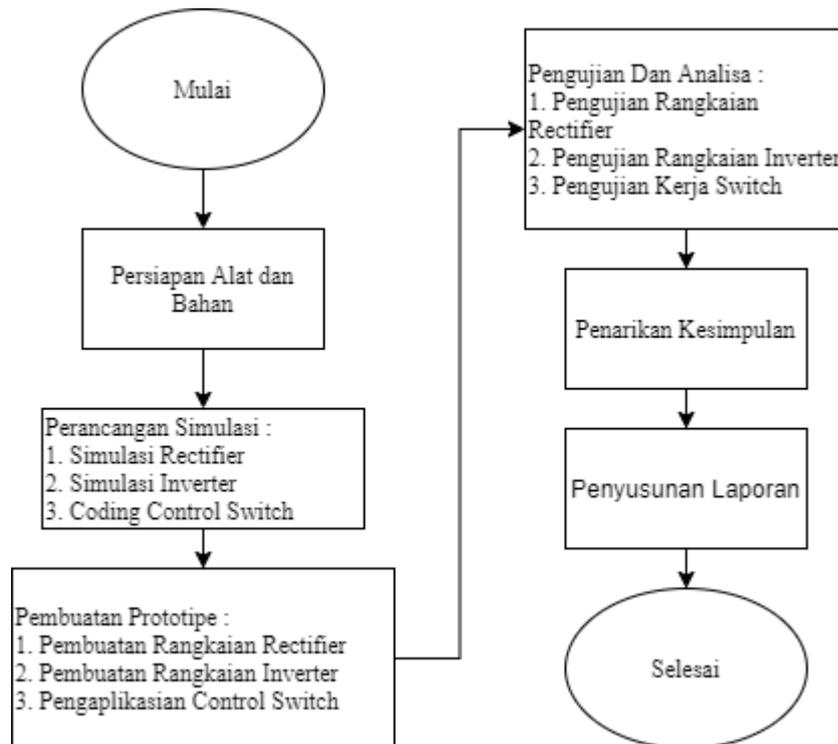


Gambar 1.18 Topologi UPS Ferroresonant

BAB 2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 TAHAP PENELITIAN

Tahapan Penelitian yang dilakukan melibatkan beberapa proses. Diagram alir untuk menggambarkan setiap tahapan dengan rinci sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1 berikut.



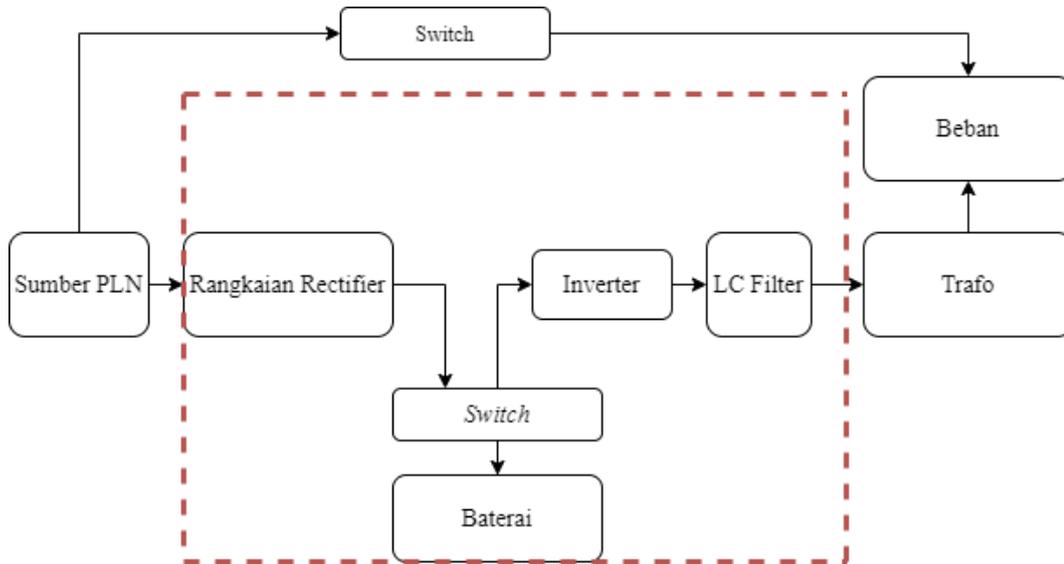
Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Persiapan awal dilakukan dengan mencari dan menentukan komponen apa saja yang dipakai selama proses penelitian. Kemudian setelah komponen ditetapkan masuk dalam proses perancangan melalui simulasi. Simulasi yang dilakukan adalah dalam pembuatan rangkaian adaptor, inverter serta coding pengontrolan relay. Simulasi yang dilakukan memakai Proteus 8.6, PSIM, dan Arduino IDE. Kemudian masuk dalam pembuatan prototipe setelah simulasi berhasil dilakukan. Setelah pembuatan prototipe berhasil dan prototipe berjalan dengan semestinya, dilakukan pengujian keluaran gelombang rangkaian adaptor dan inverter, keluaran daya yang mampu dihasilkan prototipe dan pengujian kerja kontrol oleh relay serta dilakukan analisis dari hasil yang didapat untuk kemudian

dapat ditarik kesimpulan dari apa saja yang sudah dilakukan pada penelitian. Tahap akhir adalah penulisan dan penyusunan laporan penelitian.

2.2 BLOK DIAGRAM

Adapun alur prototipe yang dibuat adalah pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 2.2 Blok Diagram Prototipe

Diagram blok prototipe dapat dilihat pada Gambar 3.2 di atas. Sistem UPS melibatkan beberapa komponen seperti rangkaian adaptor untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, yang dimanfaatkan untuk mengisi ulang daya baterai. Kemudian juga melibatkan inverter sebagai perubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang bisa langsung dipakai untuk menyuplai beban. LC *filter* digunakan untuk menghilangkan ripple pada tegangan keluaran, serta penggunaan trafo step-up untuk menaikkan tegangan. *Switch* digunakan untuk mengatur proses *charging* agar tidak terjadi *overcharge*.

Prototipe yang dirancang hanya mencakup rangkaian rectifier, rangkaian inverter, dan *switch* (saklar). Komponen-komponen tersebut dapat dikontrol menggunakan mikrokontroler yaitu Arduino.

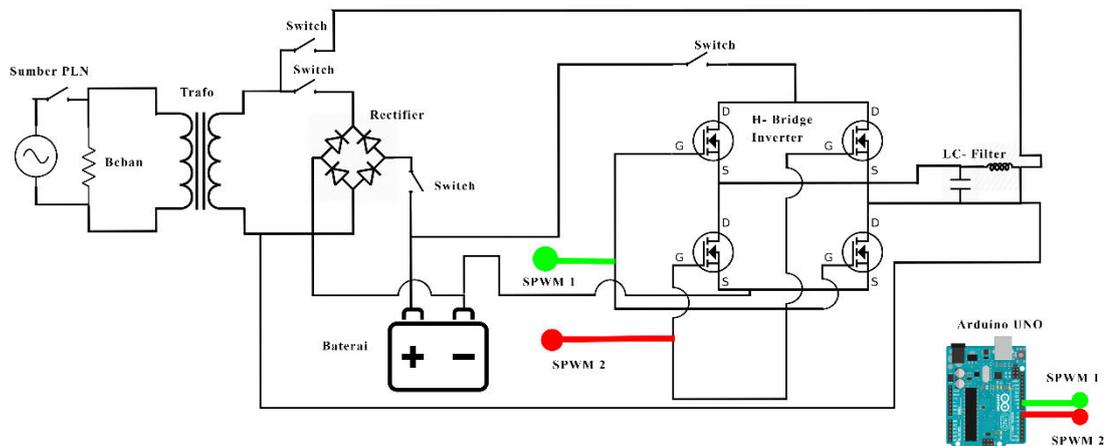
2.3 DESAIN RANGKAIAN

Dalam rangka untuk mencapai kesesuaian hasil baik pada saat melakukan simulasi maupun pada saat perancangan prototipe maka ditetapkanlah kerangka

kerja terperinci (*blueprint*) yang mana mencakup desain rangkaian AC Power Supply Dengan Inverter PWM Untuk Aplikasi pada UPS, serta perhitungan bagian komponen yang digunakan LC filter *lowpass*, rasio modulasi amplitudo, rasio modulasi frekuensi dan penentuan frekuensi *carrier*, serta perhitungan sensor tegangan.

2.3.1 Desain Rangkaian AC Power Supply Dengan Inverter PWM Berbasis Mikrokontroler Untuk Aplikasi Pada UPS

Berikut merupakan desain rangkaian yang dipakai pada saat menjalankan simulasi menggunakan *software* maupun saat perancangan prototipe seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 2.3 Desain Rangkaian

2.3.2 Rasio Modulasi Amplitudo dan Rasio Modulasi Frekuensi Inverter

Dalam proses teknik modulasi SPWM yang diterapkan atau diaplikasikan menjadi program (*source code*), terlebih dulu dilakukan penentuan rasio modulasi amplitudo dan rasio modulasi frekuensi. Berikut dibawah ini merupakan perhitungannya.

$$ma = \frac{\text{Sine } V_m}{\text{triangular } V_m} \quad (2.6)$$

$$ma = \frac{1 V}{2 V} = 0.5$$

Didapatkan rasio amplitude sebesar 0,5, sedangkan nilai rasio modulasi frekuensi di dapatkan 220 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$mf = \frac{f \text{ triangular}}{f \text{ sine}} \quad (2.7)$$

$$mf = \frac{11 \text{ kHz}}{50 \text{ Hz}} = 220$$

2.3.3 Penentuan Frekuensi Carrier

Semakin ditingkatkan frekuensi pembawa, semakin mudah THD diredam jika ada filter yang terhubung ke *output*. Jadi cara yang optimal adalah memilih dengan tepat frekuensi *switching* atau *carrier system* sesuai tujuan yang ingin dicapai. Demikian juga filter yang terhubung dapat memiliki nilai yang lebih kecil atau besar[7]. Merujuk pada penelitian sebelumnya oleh Mehmet Emin yang berjudul “*Modulation Index And Switching Frequency Effect On Symmetric Regular Sampled Spwm*”[15], serta mempertimbangkan aspek *switching loss*, *power losses* dan *noise* (kebisingan) maka pilihan frekuensi carrier yang dipilih pada penelitian ini adalah 11 kHz. Tegangan *peak to peak* referensi di *setting* pada 1 volt dan *peak to peak carrier* di *setting* pada 2 volt. Perhitungan untuk jumlah pulsa, perioda frekuensi pembawa dan frekuensi *interrupt* dapat dilihat dibawah ini.

$$T = \frac{1}{f \text{ triangular}} \quad (2.8)$$

$$T = \frac{1}{f \text{ triangular}} = \frac{1}{11.000} = 90,9 \mu s$$

$$N = \frac{T \text{ (Half Cycle)}}{T \text{ Each Pulse}} \quad (2.9)$$

$$N = \frac{T \text{ (Half Cycle)}}{T \text{ Each Pulse}} = \frac{(10 \text{ ms})}{(90,9 \mu s)} = 110,011001 \text{ pulsa atau } 110 \text{ pulsa}$$

$$f \text{ Inter} = \left[\frac{f \text{ clock Microprocessor}}{f \text{ triangular}} \times \text{Prescaler} \right] - 1 \quad (2.10)$$

$$f \text{ Inter} = \left[\frac{16 \text{ MHz}}{11 \text{ kHz}} \times 1 \right] - 1 = 1453,5$$

2.3.4 Perancangan LC Filter Low-Pass

Untuk merancang LC *filter* dimana tujuannya adalah didapatkan nilai kapasitor dan inductor yang bisa dipakai untuk membuat *filter* pada rangkaian inverter *single phase*, dapat digunakan rumus (2.8).

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.11)$$

$$11\text{kHz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

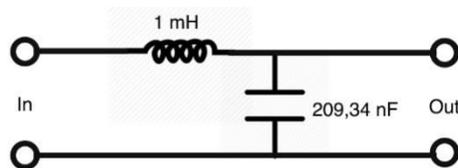
$$\sqrt{LC} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 11000}$$

$$\sqrt{LC} = 1,447 \times 10^{-5}$$

$$LC = (1,447 \times 10^{-5})^2$$

$$LC = 2,093 \times 10^{-10}$$

Dengan mengambil L sebesar 1mH maka didapatkan 209,34 nF. Berdasarkan website Electronic Base, nilai inductor, capacitor dan frekuensi carrier dapat dicari nilainya dengan mengetahui satu atau lebih parameter. Seperti halnya pada perhitungan diatas yang menentukan freq. carrier sebesar 11000 Hz dan menetapkan permisalan nilai 1mH sebagai inductor, maka dengan mudah didapatkan besar nilai capacitor yang sesuai untuk filter [16].



Gambar 2.4 Rancangan LC Filter

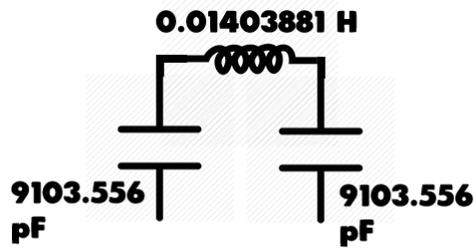
Dan dengan menyesuaikan Kembali filter LC menjadi tipe LC filter Chebyshev maka didapatkan nilai-nilai dan susunan rangkaian filter seperti terlihat pada Gambar 3.5. Namun sebelumnya ditentukan terlebih dahulu impedansi dari keluaran setelah trafo menggunakan persamaan berikut

$$\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} \quad (2.1)$$

$$\left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 = \frac{Z_p}{Z_s}$$

$$\left(\frac{12}{220}\right)^2 = \frac{Z_p}{Z_s}$$

$\frac{Z_p}{Z_s} = 0,0029752$ Maka didapatkan rasio perbandingan impedan $0,00297\Omega$



Gambar 2.5 Rancangan LC Filter Tipe Chebyshev

2.3.5 Perancangan Sensor Tegangan

Untuk melakukan perancangan sensor tegangan yang ramah terhadap Arduino, dimana Arduino hanya mampu membaca tegangan input sampai 5 volt maka harus dirancang sensor tegangan yang mampu mengubah nilai tegangan sebenarnya dari baterai/aki menjadi tegangan yang dapat diukur Arduino. Untuk itu maka dapat diterapkan rumus rangkaian pembagi tegangan seperti pada rumus (2.13)

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.13)$$

Diketahui bahwa tegangan input baterai 12 volt dan tegangan output yang diinginkan 5 volt maka perlu ditentukan besar nilai R1 dan R2 nya. Langkah pertama yang harus kita lakukan adalah menentukan total nilai R yang diinginkan, misalkan 1000 Ohm atau $R = R_1 + R_2 = 1000 \text{ Ohm}$. Perlu diketahui bahwa Rasio R1:R2 adalah sama dengan Rasio V1:V. Dalam hal ini V1 adalah 5 volt, jadi V1/V adalah 5/12 yaitu 0,4167. Oleh karena itu, perbandingan rasio R1:R2 juga harus 0,4167.

$$\frac{R_1}{1000} = 0,4167 \text{ ohm}$$

$$R_1 = 416,7 \text{ ohm}$$

Maka dengan mengetahui besar R1, besar nilai R2 adalah 1000 dikurang R1.

$$R_2 = 1000 - 416,7 \text{ ohm}$$

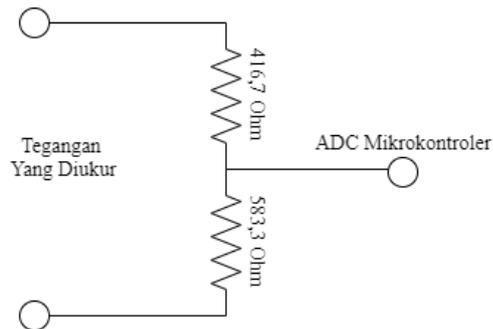
$$R_2 = 583,3 \text{ ohm}$$

Untuk pembuktian dilakukan perhitungan dengan rumus (2.13).

$$V_{out} = 12 \times \left(\frac{416,7}{(416,7 + 583,3)} \right)$$

$$V_{out} = 12 \times \frac{416,7}{1000}$$

$$V_{out} = 5,0004 \text{ volt}$$

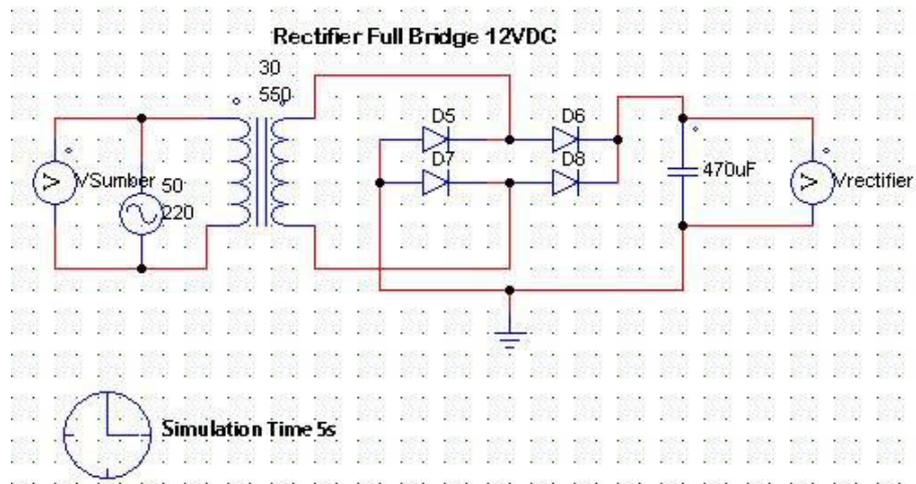


Gambar 2.6 Sensor Tegangan

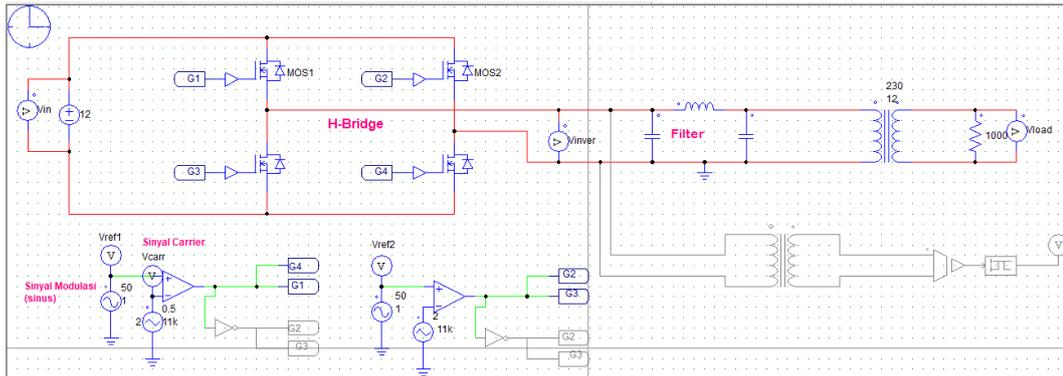
2.4 SIMULASI RANGKAIAN

2.4.1 Simulasi Menggunakan PSIM

Berikut merupakan simulasi menggunakan *software* PSIM terhadap rangkaian yang sudah didesain. Simulasi dilakukan mencakup pada rangkaian rectifier dan rangkaian inverter yang mana pada komponen pada simulasi berada pada kondisi ideal.



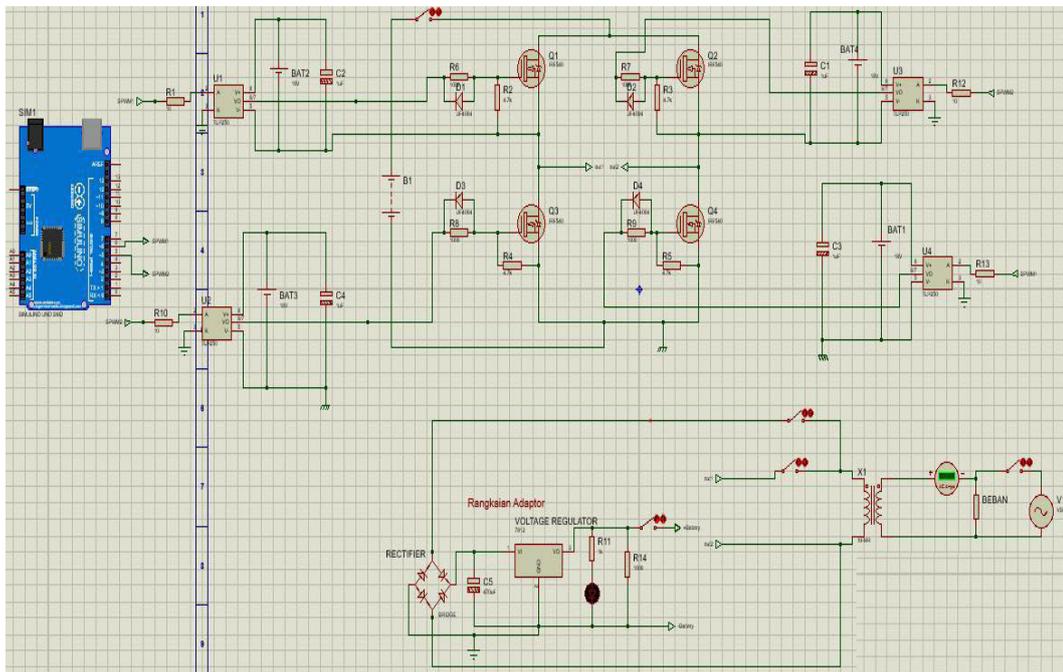
Gambar 2.7 Rangkaian Simulasi Rectifier di PSIM



Gambar 2.8 Rangkaian Simulasi Inverter di PSIM

2.4.2 Simulasi Menggunakan Proteus

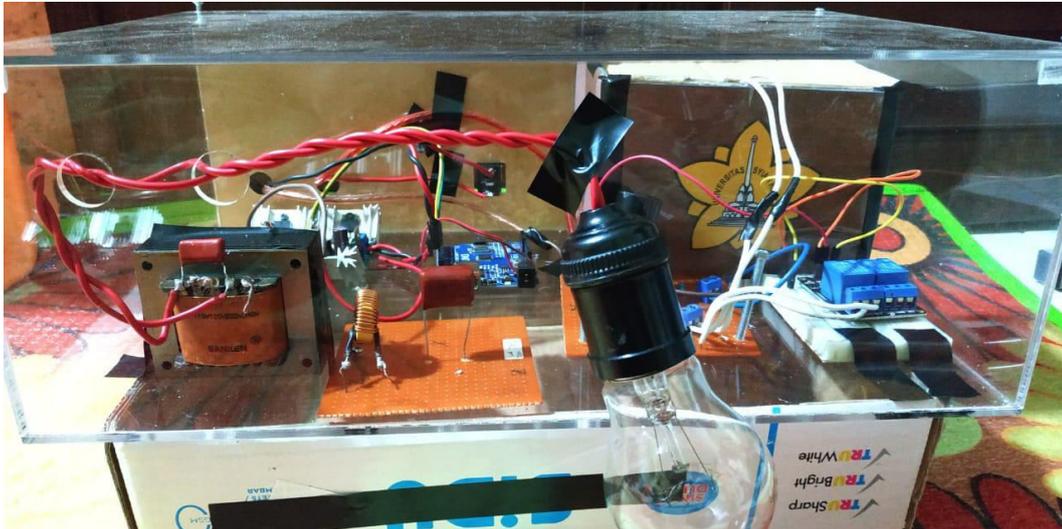
Berikut merupakan gambar rangkaian simulasi rectifier dan inverter menggunakan *software* Proteus 8.6. Perbedaan dengan sebelumnya menggunakan PSIM adalah pada Proteus 8.6 rangkaian dapat diaplikasikan memakai mikrokontroler Arduino secara langsung menggunakan coding yang sudah disusun.



Gambar 2.9 Rangkaian Simulasi Proteus

2.5 Rangkaian Prototipe

Pada Gambar 3.9 dibawah ini merupakan hasil prototipe yang sudah dirancang dan dilakukan pengujian. Untuk tampak lebih rinci dari gambar atau foto prototipe dapat dilihat pada Lampiran D.



Gambar 2.10 Rangkaian Prototipe

2.6 Pengujian

2.6.1 Pengujian Simulasi PSIM

Pengujian menggunakan perangkat lunak PSIM dilakukan dengan mengujikan bagian-bagian dari keseluruhan sistem seperti pengujian terhadap rangkaian rectifier, dan rangkaian inverter, dan *filter*. Pengujian yang dilakukan meliputi nilai ukur, serta bentuk/gambar sinyal yang dihasilkan.

2.6.2 Pengujian Simulasi Proteus

Pengujian menggunakan perangkat lunak PROTEUS dilakukan dengan mengujikan bagian-bagian dari keseluruhan sistem termasuk rangkaian rectifier, inverter dan *filter*. Namun pada pengujian simulasi PROTEUS dapat diterapkan pemilihan/ jenis dan seri komponen yang dipakai pada prototipe. Sehingga pengujian yang dihasilkan meliputi nilai ukur, bentuk / gambar sinyal serta pemilihan komponen yang sesuai.

2.6.3 Pengujian DC converter

Pengujian *DC converter* atau rangkaian rectifier dimaksudkan untuk melihat hasil keluaran yang mampu dihasilkan prototipe dibagian penyearah

untuk pengisian tenaga baterai. Pengujian ini bertujuan memberikan hasil nilai ukur, bentuk gelombang dc pada saat diuji dengan beban.

2.6.4 Pengujian Inverter

Pengujian Inverter dimaksudkan untuk melihat kemampuan inverter dalam melayani beban AC yang menjadi tugas UPS AC. Pada pengujian ini dilihat berapa nilai ukur yang didapatkan, kemampuan daya yang bisa dihasilkan, pengaruh jenis beban, bentuk gelombang serta pengaruh sebelum dan sesudah dipasangkan filter terhadap keluaran inverter.

2.6.5 Pengujian Sistem

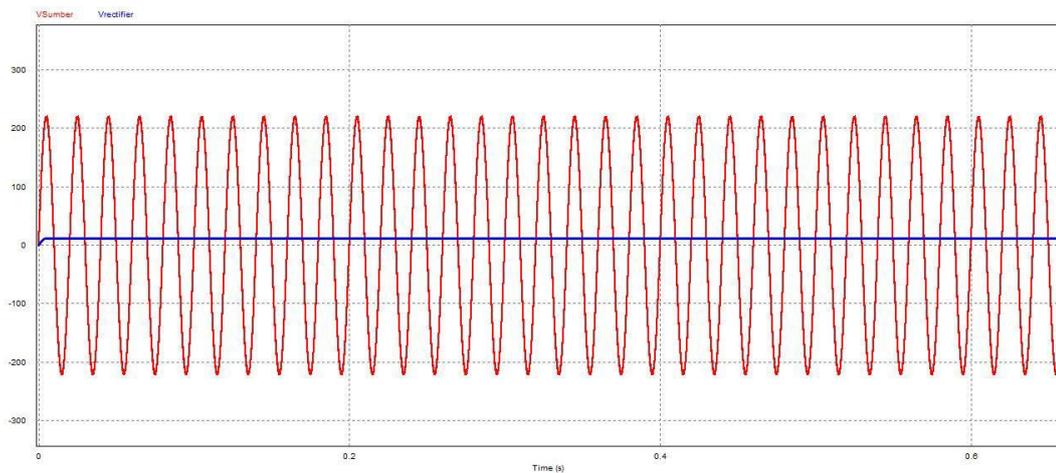
Pengujian *system* dtujukan untuk melihat kemampuan secara keseluruhan dari prototipe yang dibuat. Pada pengujian ini dihasilkan berupa kemampuan setiap bagian yang menjadi bagian dari UPS untuk dapat bekerja sama secara sinkron dan juga penerapan *switch* dalam pergantian kerja bagian-bagian UPS AC *Power Supply*.

BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 LUARAN PENELITIAN

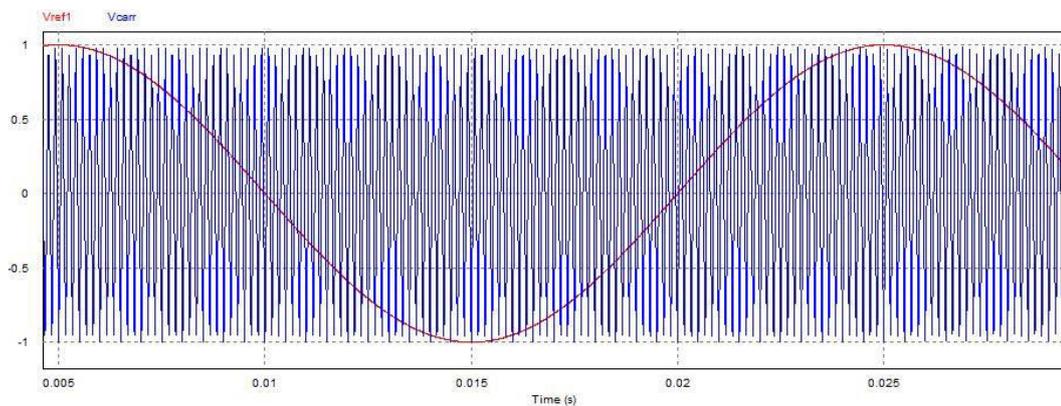
3.1.1 Luaran Pengujian Simulasi PSIM

Pengujian menggunakan *software* PSIM untuk setiap bagian menghasilkan keluaran sebagai berikut ini.



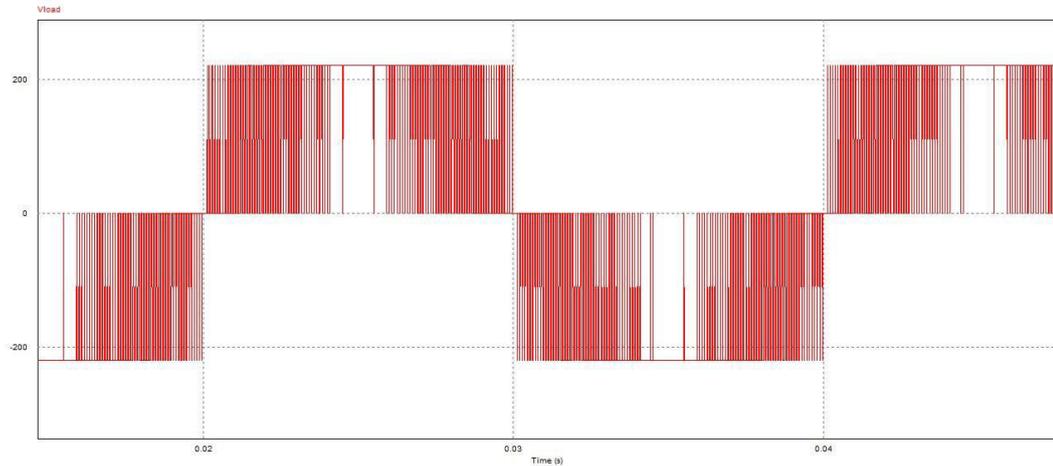
Gambar 3.1 Keluaran Rectifier Pada Simulasi PSIM

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat tegangan yang semula AC yang merupakan sumber berhasil disearahkan menggunakan rectifier *full bridge* menjadi tegangan DC. Penurunan tegangan dilakukan menggunakan trafo. Tegangan *input* 220v AC menjadi 12v DC.



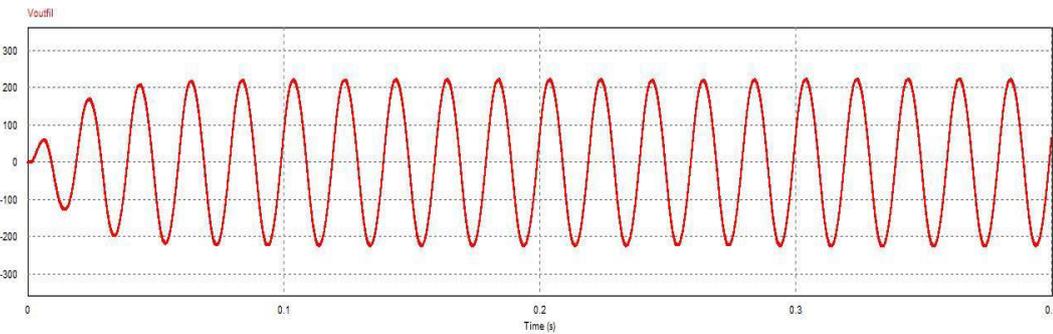
Gambar 3.2 Sinyal *Carrier* dan Sinyal Referensi SPWM Pada Simulasi PSIM

Pada Gambar 4.2 diatas ditunjukkan keluaran dari SPWM yang dibangkitkan secara analog menggunakan sinyal referensi AC dan sinyal *carrier* segitiga. Gelombang biru merupakan sinyal *carrier* dan gelombang merah merupakan sinyal referensi.



Gambar 3.3 Sinyal Keluaran Inverter Sebelum Filter Pada Simulasi PSIM

Pada Gambar 4.3 diatas merupakan keluaran dari inverter sebelum dilakukan *filter* menggunakan *LC-filter low pass*. Gelombang keluaran belum merupakan AC murni dan masih dipengaruhi bentuk SPWM.

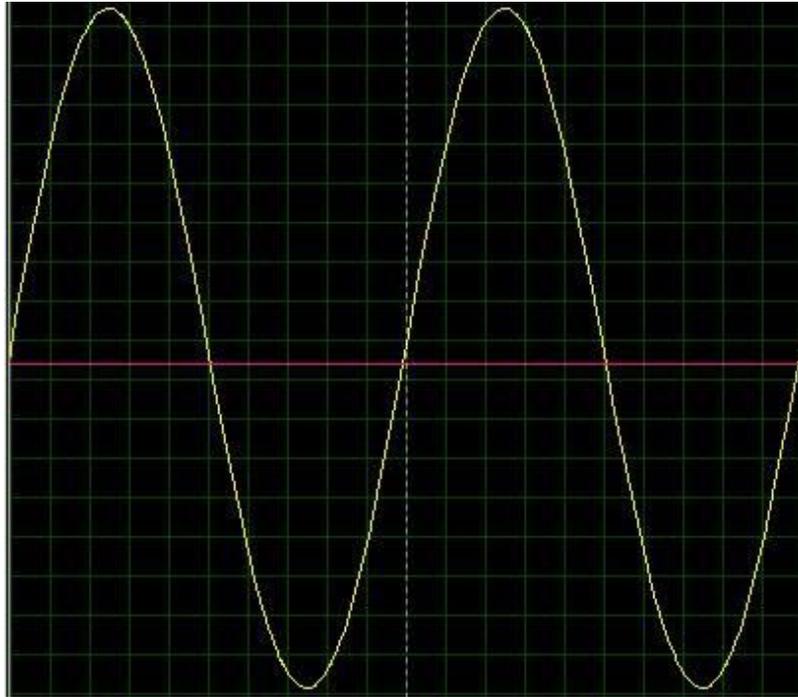


Gambar 3.4 Sinyal Keluaran Inverter Setelah Filter Pada Simulasi PSIM

Pada Gambar 4.4 menunjukkan gelombang keluaran inverter setelah dilakukan penyaringan *ripple* menggunakan *LC-filter low pass*. Meskipun masih memiliki *ripple* namun gelombang keluaran sudah semakin mendekati bentuk tegangan AC.

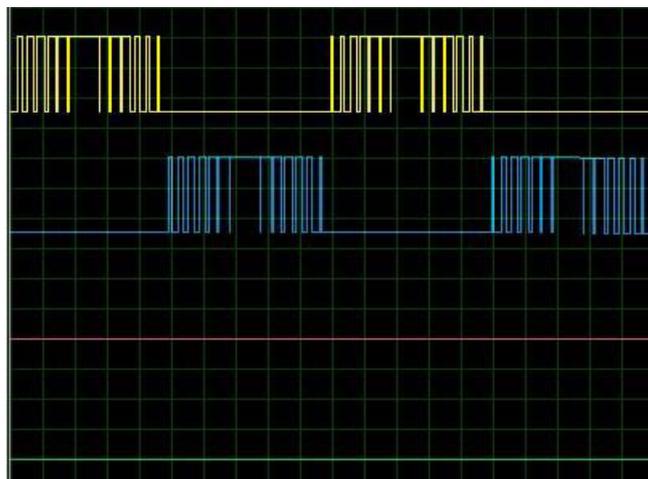
3.1.2 Luaran Pengujian Simulasi PROTEUS

Pengujian menggunakan *software* PROTEUS sama halnya dengan saat menggunakan PSIM, hanya saja pemilihan komponen dan penerapan spwm secara digital sudah bisa dilakukan.



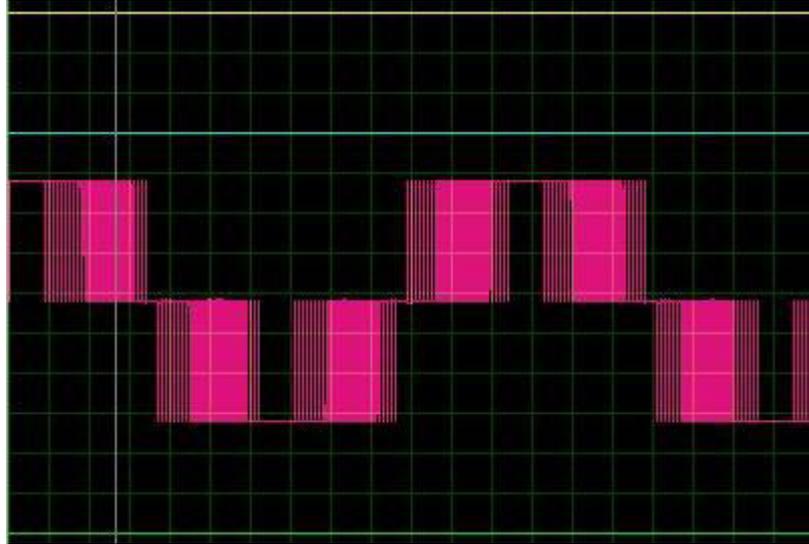
Gambar 3.5 Gelombang Keluaran DC Converter Pada Simulasi Proteus

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat keluaran dari rangkaian penyearah atau rectifier. Gelombang kuning menunjukkan tegangan sumber dan gelombang merah menunjukkan tegangan keluaran.



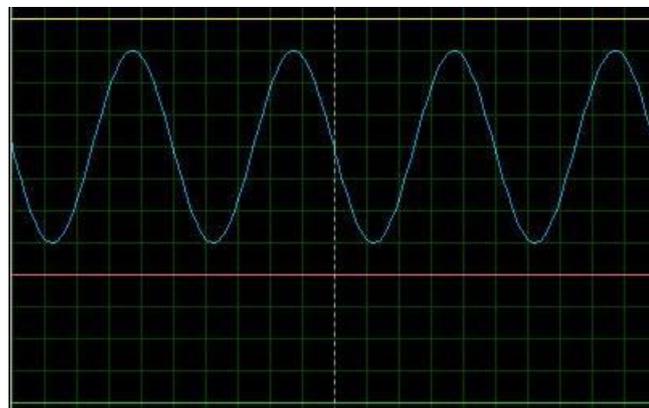
Gambar 3.6 Gelombang SPWM Dari Arduino Pada Simulasi Proteus

Selanjutnya pada Gambar 4.6 dapat dilihat hasil gelombang SPWM yang di *generatemenggunakan* coding pada Arduino di *software* PROTEUS. Gelombang biru untuk siklus pertama dan gelombang kuning untuk siklus kedua.



Gambar 3.7 Keluaran Inverter Tanpa Filter Pada Simulasi Proteus

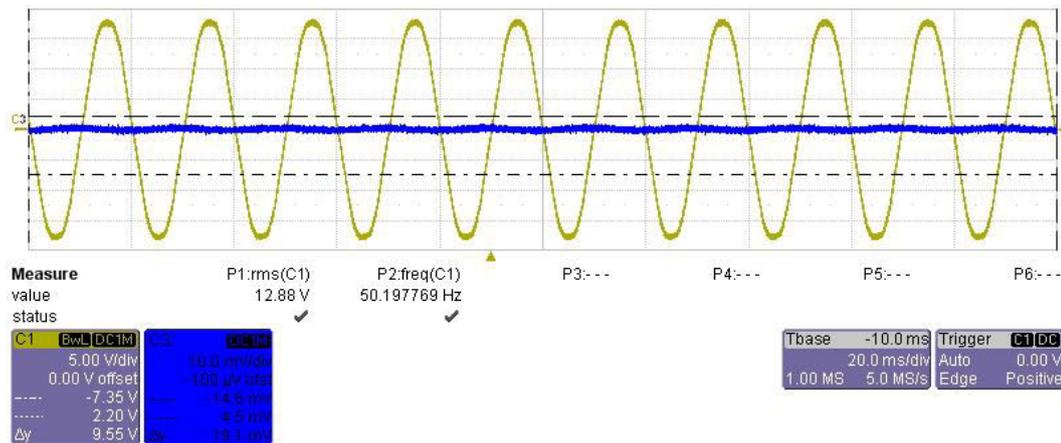
Pada Gambar 4.7 dapat dilihat gelombang keluaran yang dihasilkan oleh inverter tanpa dibantu filter untuk mengurangi *ripple* dan menjadikan gelombang semakin mendekati AC. Jika terdapat sedikit perbedaan antara PSIM dan PROTEUS dalam pembacaan bentuk gelombang, itu dikarenakan osiloskop pada PROTEUS tersambung dengan *ground common* secara *default*, dan juga tidak tersedianya *harmonic meter* pada PROTEUS. Pada Gambar 4.8 di bawah dapat dilihat hasil dari penerapan filter untuk keluaran inverter pada simulasi *software* PROTEUS. Gelombang tegangan keluaran semakin mendekati gelombang AC.



Gambar 3.8 Keluaran Inverter Setelah Ditambahkan Filter Pada Simulasi Proteus

3.1.3 Luaran Pengujian DC Converter

Pengujian *dc converter* dilakukan dengan mengujikan bentuk gelombang *input* dan *output* serta pengukuran nominal tegangan *input* dan *output* yang dihasilkan oleh *rectifier*. Berikut pada Gambar 4.9 adalah bentuk gelombang *input* dan *output dc converter*.



Gambar 3.9 Keluaran Osiloskop DC Converter

Gelombang yang berwarna kuning merupakan hasil dari sisi sekunder trafo atau telah diturunkan tegangannya, untuk kemudian masuk ke jalur *full bridge* *rectifier* sehingga bisa disearahkan ke tegangan dc untuk digunakan sebagai pengisian tenaga baterai. Gelombang berwarna biru merupakan keluaran dari rangkaian *rectifier* yang mana merupakan tegangan dc. Nominal tegangan masukan dari PLN, tegangan keluaran setelah di *step-down* serta tegangan keluaran setelah disearahkan menjadi dc dapat dilihat pada Tabel 4.1

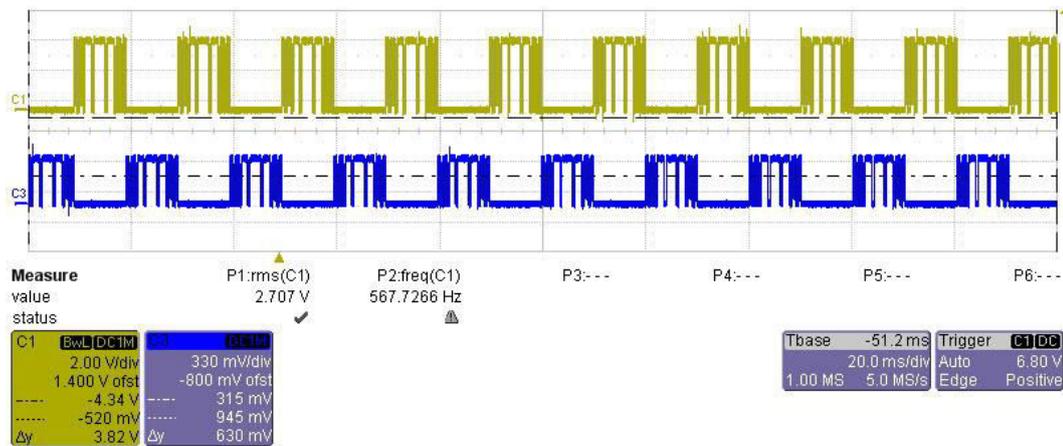
Tabel 3.1 Data Pengukuran *DC Converter*

Tegangan Input (sumber)	Tegangan Output (keluaran setelah step-down)	Tegangan Output Dc Converter
222,4 Volt ac	16,56 Volt ac	16,19 Volt dc

3.1.4 Luaran Pengujian Inverter

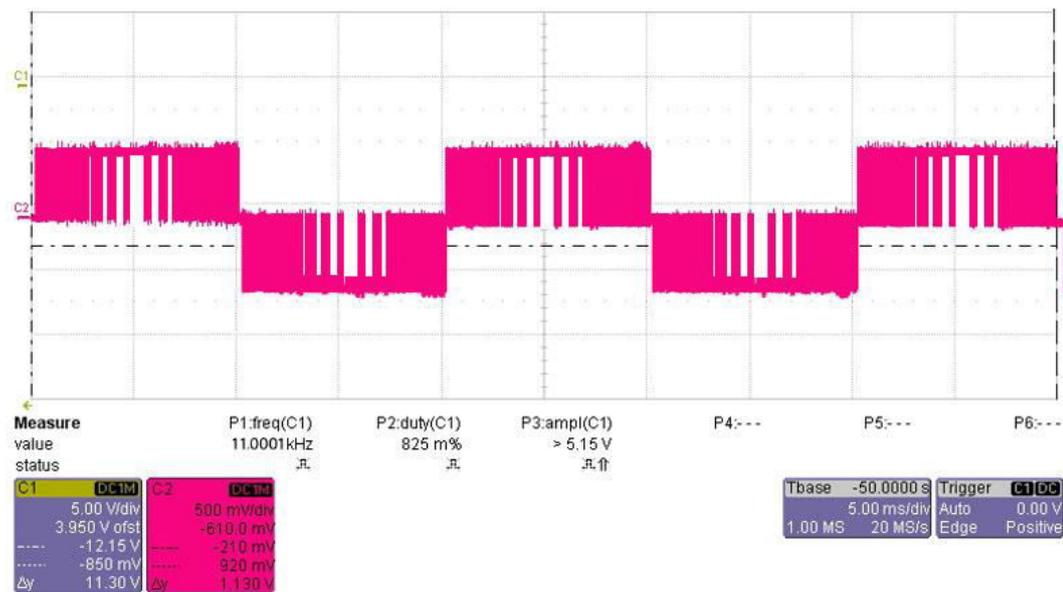
Pengujian inverter dilakukan dengan melihat pada beberapa aspek, diantaranya kesesuaian sinyal *pwm* digital yang dihasilkan oleh mikroporsesor,

keluaran inverter sebelum di pakaikan filter, keluaran inverter setelah filter serta kemampuan daya yang dihasilkan saat melayani beban.

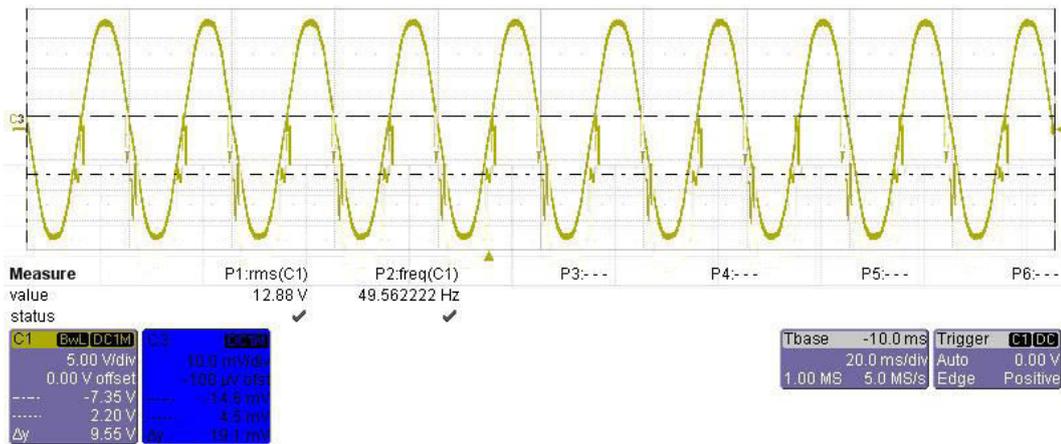


Gambar 3.10 SPWM Digital Dari Mikroprosesor

Pada Gambar 4.10 merupakan spwm yang dihasilkan secara digital oleh mikroprosesor, dihasilkan dengan melakukan *compilesource code* pada Arduino. Pada Gambar 4.11 menunjukkan keluaran dari inverter tanpa beban dan belum dihubungkan filter *low-pass*, sehingga gelombang tegangan keluaran masih belum berbentuk atau mendekati sinus murni, namun sudah bersifat sinusoidal. Dengan bentuk seperti ini beban yang dapat dilayani hanya resistif, sedang induktif dan kapasitif belum dapat diterapkan.

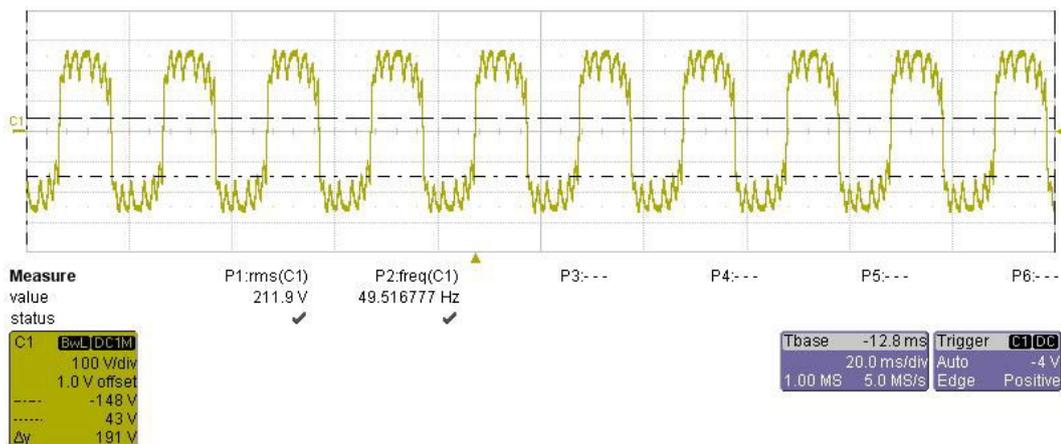


Gambar 3.11 Keluaran Inverter Sebelum Di Filter

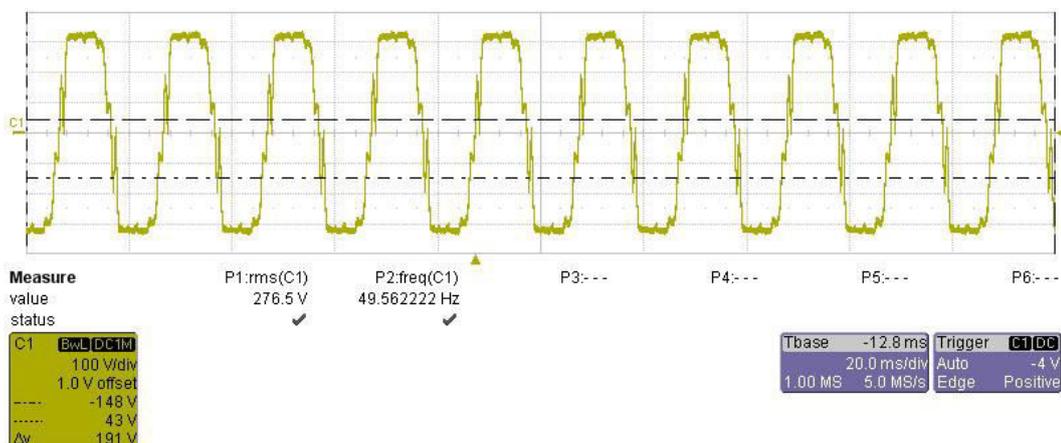


Gambar 3.12 Gelombang Keluaran Inverter Tanpa Beban Setelah Filter

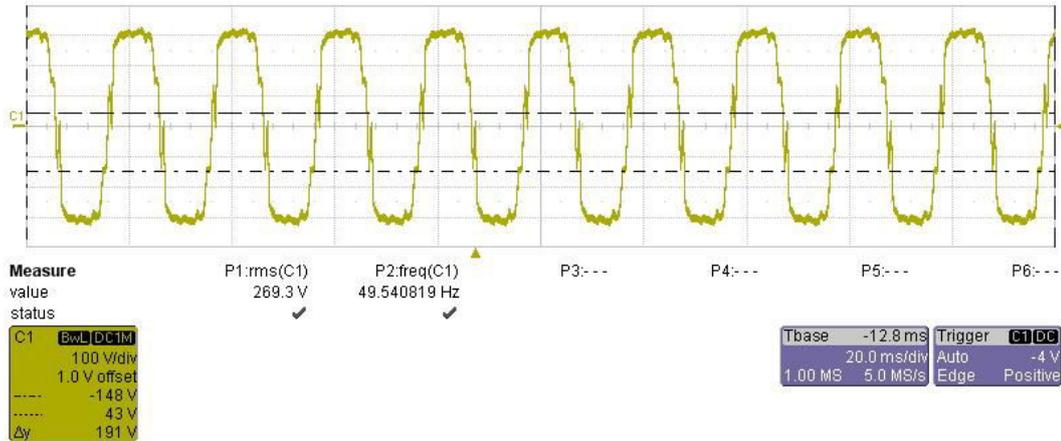
Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penyaringan atau *filter low pass* terhadap tegangan keluaran inverter didapatkan gelombang atau sinyal tegangan yang semakin mendekati ac murni dengan sedikit *ripple*.



Gambar 3.13 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Resistif



Gambar 3.14 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Kapasitif



Gambar 3.15 Gelombang Output Inverter Dengan Beban Induktif

Pengujian frekuensi pembawa inverter terhadap dampak yang ditimbulkan bagi keluaran inverter, harmonisa dan *drop-voltage* yang terjadi serta besar filter yang digunakan. Data tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Pengujian Frekuensi *Carrier* (pembawa) untuk pwm inverter

Parameter Komparasi	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Frekuensi Pembawa	31000 Hz	6000 Hz	11000 Hz
Jumlah Pulsa	310 Pulsa	60 Pulsa	110 Pulsa
Perioda Frek. Pembawa	31,8 μ s	166,6 μ s	90,9 μ s
Filter	2,2 mH; 4,61 mF	1 mH; 703,62 nF	0,014 H; 9103,55pF dan 9103,55 pF
Daya Output	5 ~ 6 Watt	Hingga 100 Watt	Hingga 100 watt
Frekuensi Output	49,68 Hz	49,51 Hz	49,56 Hz
Drop Voltage	0 s/d 50 Volt	0 s/d 5 Volt	0 s/d 8 Volt
Harmonisa sebelum filter	71,36 %	86,96 %	79,76 %

Percobaan dalam merubah nilai dari frekuensi pembawa (*carrier*) memberikan dampak yang besar dalam hasil yang didapatkan, terutama pada

tegangan jatuh, kemudahan dalam meredam distorsi *harmonic* dengan *filter low pass*, daya keluaran dan besaran nilai filter yang dipakai. Percobaan 1 memiliki nilai frekuensi pembawa yang jauh lebih tinggi dari percobaan 2 dan 3. Percobaan 1 memiliki frekuensi yang juga jauh dari ketetapan standar frekuensi pembawa yang bernilai 6kHz hingga 20kHz [15]. Percobaan dilakukan untuk melihat komparasi efek yang timbul saat perubahan frekuensi diterapkan. Perubahan nilai frekuensi pembawa diatur dengan jumlah pulsa dan perioda frekuensi pembawa seperti terlihat pada Tabel 4.2. Tegangan jatuh yang terjadi memiliki nilai yang lebih sedikit pada percobaan kedua dan ketiga sehingga daya keluaran prototipe dapat ditingkatkan menjadi 100 watt.

Dari sisi *losses* yang ditimbulkan, *noise* yang terjadi, nilai tegangan jatuh dan daya *output*, percobaan 2 dan 3 menunjukkan kemampuan yang lebih baik, hanya saja memiliki kelemahan pada harmonisa. Percobaan 1 menunjukkan harmonisa yang lebih kecil dibandingkan dengan percobaan 2 dan 3 dimana hal itu sesuai teori yang menyatakan bahwa dengan meningkatkan frekuensi pembawa (*carrier*) maka distorsi *harmonic* yang dihasilkan dapat lebih mudah diredam oleh filter sehingga lebih kecil persentasenya dan memudahkan saat dilakukan penyaringan menggunakan *low pas filter* sederhana karena harmonisa yang terjadi berada di frekuensi yang tinggi pula dan memudahkan frekuensi yang lebih rendah untuk dilewatkan [15]. Dengan demikian pemilihan frekuensi 11kHz sudah tepat karena hal yang diinginkan dari prototipe adalah untuk mampu melayani beban dengan daya yang besar dan meminimalisir *losses* yang terjadi.

Pemilihan frekuensi *carrier* (pembawa) jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu “Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino” menunjukkan beberapa perbedaan mendasar dalam hal keluaran prototipe [17]. Parameter data yang dibandingkan menampilkan data seperti pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Parameter	Percobaan Prototipe	Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (inverter metode SPWM)
Freq. Carrier	11000 Hz	31372 Hz

THD % Sebelum Filter	79,76 %	75,10 %
THD % setelah filter	5,24 %	7,02 %
Drop Voltage	3 Volt	38 Volt
Kualitas tegangan pada beban 15 Watt	230,9 Volt	182 Volt

Berdasarkan pengujian prototipe dan dilakukan perbandingan dengan percobaan menunjukkan bahwa hasil dari prototipe yang dirancang dari segi nominal tegangan sudah memenuhi persyaratan standar tegangan yang dipakai di Indonesia dimana memiliki standar :

- ✓ 230/400 Volt dan 50/60Hz dengan variasi -10% sampai +5%.

Hal ini dinyatakan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1: 1995) yang menyebutkan bahwa tegangan nominal terminal APP (Alat Pembatas dan Pengukur)[18]. Contohnya dapat dilihat pada saat pembebanan 15 watt, tegangan terukur menunjukkan 230,9 volt. Jika dicocok kan dengan standar SPLN 1995 maka :

$$230 \text{ V} - (230 \text{ V} \times 10 \%) \leq \text{tegangan standar} \leq 230 \text{ V} + (230 \text{ V} \times 5 \%)$$

$$207 \text{ V} \leq \text{tegangan standar} \leq 241,5 \text{ V}$$

Tegangan 230,9 volt masih berada dalam rentang tegangan yang memenuhi standard yang ditetapkan oleh SPLN dibandingkan dengan percobaan sebelumnya yang menunjukkan 182 volt yang mana *drop* tegangan yang terukur sangat jauh dengan rentang yang diperbolehkan yaitu 207 volt.

Susut tegangan (*drop voltage*) yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000 yaitu untuk penerangan sebesar 2 % sedangkan untuk tenaga sebesar 5 %[19].Jadi drop tegangan yang diizinkan sebesar :

- Untuk penerangan 2 % x 220 V = 4,4 Volt atau nominal 216 Volt

Persentase THD yang dihasilkan oleh prototipe dibagian inverter menunjukkan angka 79,76% sebelum difilter dan menurun menjadi 5,24% setelah

filter diterapkan. Berdasarkan ketentuan THD menurut standar (IEEE : 519 -2014) yang menentukan nilai sebesar 5% untuk tegangan rendah, sehingga THD yang didapatkan prototipe sudah mendekati ketentuan standar yang menjadi acuan tersebut [20].Persentase THD melalui pengujian dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran B.

Pengujian tegangan *input* dan *output* inverter sebelum ditingkatkan oleh trafo, jika didasarkan pada perhitungan menggunakan rumus menunjukkan seperti berikut.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad (2.5)$$

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} v_s^2 dt \right)^{1/2}$$

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} 12^2 dt \right)^{1/2}$$

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} 144 \times \frac{T_o}{2} + 144 \times 0 \right)^{1/2}$$

$$V_o = \sqrt{144}$$

$$V_o = 12 = V_s$$

Didapatkan 12v pada tegangan masuk dan 12v pada tegangan keluaran, dan berdasarkan pengujian secara langsung pada prototipe didapatkan data pada Tabel4.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Pengujian Tegangan Masuk dan Keluar Inverter

Parameter	Masuk	Keluar	Perbedaan
Tegangan	12, 76 Volt	12,70 Volt	0,47 %

3.1.5 Luaran Pengujian Sistem

Pada pengujian sistem, dilakukan pengujian terhadap beban, kemampuan setiap bagian UPS saat bekerja, termasuk saat kondisi pengecasan baterai serta

kinerja *switch*. Pada Tabel 4.5 dibawah ini dapat dilihat data pengukuran yang dihasilkan inverter saat menyuplai tenaga ke masing-masing beban sesuai dengan kapasitas daya dari beban.

Tabel 3.5 Data Pengukuran Inverter Saat Diberi Beban

Sumber DC	Tegangan Output	Arus Output	Daya Output	Jenis Beban	Frekuensi Output
±12	235,0 Volt	0,0425 A	10 Watt	Lampu Pijar	49,56 Hz
±12	230,9 Volt	0,0649 A	15 Watt	Lampu Pijar	49,56 Hz
±12	228,7 Volt	0,1093 A	25 Watt	Lampu Pijar	49,56 Hz
±12	225,2 Volt	0,1776 A	40 Watt	Lampu Pijar	49,56 Hz
±12	221,8 Volt	0,4507 A	100 Watt	Lampu Pijar	49,56 Hz

Berdasarkan pengujian terhadap prototipe didapatkan frekuensi keluaran berada konstan pada 49,56 Hz. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat perbedaan frekuensi keluaran seperti pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 3.6 Perbandingan Frekuensi Keluaran Inverter

Parameter Pengujian	Prototipe Yang Dirancang	Penelitian Sebelumnya
Frekuensi <i>Carrier</i>	11.000 Hz	31.372 Hz
Frekuensi <i>Output</i>	49,56 Hz	49,68 Hz

Perbandingan frekuensi *output* dikomparasikan antara prototipe yang dirancang dengan penelitian sebelumnya yang berjudul “ Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino ” menunjukkan bahwa frekuensi masih berada dalam rentang yang ditolerir pada frekuensi 50Hz. Rentang frekuensi yang diperbolehkan bagi *power supply AC* adalah 50Hz ($\pm 5\%$) didasari pada *General CalagoueUPS and Critical Power Solution[21]*. Ini berarti rentang tegangan dengan frekuensi 50Hz adalah sebagai berikut.

$$-5\% \leq 50 \text{ Hz} = 47,5 \text{ Hz}$$

$$+5\% \geq 50 \text{ Hz} = 52,5 \text{ Hz}$$

Berdasarkan rentang frekuensi yang di bolehkan maka kedua prototipe yang dikomparasi menunjukkan telah memenuhi persyaratan standar frekuensi yang dapat diterima beban dengan penerapan / penggunaan 50Hz frekuensi. Jika merujuk pada standarisasi frekuensi yang ditetapkan oleh BSN (Badan Standarisasi Nasional) dengan ketetapan SNI pada PUIL 2000 adalah $\pm 0,01 \text{ Hz}$, maka [19]:

$$49,99 \text{ Hz} \leq \text{frekuensi standar} \leq 50,01 \text{ Hz}$$

Jika membandingkan dengan standar frekuensi dari PUIL 2000 maka frekuensi yang dihasilkan prototipe masih terdapat perbedaan sekitar 0,8%. Frekuensi *output* tidak mendapatkan tepat di nilai 50Hz. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti salah satunya adalah jumlah pulsa pwm yang dibangkitkan tidak tepat sesuai dengan perhitungan. Untuk setiap setengah siklus diperlukan 110,011001 pulsa untuk frekuensi *carrier* 11kHz, namun karena proses pembangkitan sinyal digitalisasi pwm menggunakan Arduino yang diterapkan adalah angka bilangan bulat, maka pengaturan di *coding* ditulis dan di *generate* hanya 110 jumlah pulsa (*pulse*) per setengah siklus.

Pada Percobaan di penelitian sebelumnya menunjukkan frekuensi *output* yang lebih baik atau lebih mendekati 50 Hz jika dibandingkan prototipe ini, namun standar frekuensi pembawa (*carrier*) nya sangat jauh dari yang semestinya berada pada *range* 6-20 kHz. Meskipun bagus dalam segi frekuensi *output*, namun kerugian lainnya lebih banyak timbul, seperti *losses* daya lebih besar, *drop voltage* lebih besar sehingga jika dikomparasi antara keduanya, percobaan pada penelitian ini lebih menguntungkan karena meskipun frekuensinya belum sangat mendekati 50Hz namun kondisi nominal tegangan dan susut (*drop*) tegangannya sudah memenuhi, sedangkan pada percobaan di penelitian sebelumnya, frekuensi *output*nya sama halnya juga masih belum sangat mendekati 50Hz dan kualitas tegangannya juga jauh dari standarisasi *drop voltage* dan toleransi nominal tegangan. Hal ini menjadi penting mengingat dapat mengganggu kinerja dari beban apabila tegangannya kurang dan apabila tegangan berlebih dapat mempengaruhi ketahanan beban.

Kondisi perubahan tegangan maupun frekuensi dapat memberikan dampak terhadap pelayanan beban. Seperti halnya pada beban penerangan, intensitas cahaya yang dihasilkan sebanding dengan daya dan tegangan input yang masuk. Beban penerangan juga menuntut frekuensi sistem yang tidak rendah, karena bisa mengakibatkan lampu yang berkedip-kedip. Frekuensi sistem harus tinggi supaya kedip pada lampu tidak lagi terasa oleh mata manusia[22].

Kondisi pengecasan baterai dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini. Pengecasan baterai dilakukan dari kondisi sisa tenaga baterai sesaat sebelum diuji, hingga kondisi *full-charge*.

Tabel 3.7 Proses Pengisian Baterai

No.	Arus Pengecasan	Tegangan Baterai Terukur	Kondisi	Saklar
1	0,3 A	11,90 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
2	0,29 A	12,15 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
3	0,27 A	12,35 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
4	0,22 A	12,68 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
5	0,17 A	12,90 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
6	0,12 A	13,37 Volt	<i>Charging</i>	Menutup
7	0,07 A	13,80 Volt	<i>Full Charge</i>	Membuka

Dalam pemakaian prototipe untuk melayani beberapa beban berbeda terutama dalam pemakaian di rumah tangga, prototipe sanggup melayani beban sebagai berikut dengan ketentuan tegangan 220 volt ($\pm 10\%$) dan frekuensi 50/60 Hz (± 2 Hz). Durasi pengujian berbeban yang menerapkan elektronik disajikan pada Tabel 4.8 dibawah ini. Tampilan atau foto dari beban elektronik yang diujikan lebih lanjut dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 3.8 Durasi Pengujian Beban Elektronik

No.	Beban	Jumlah Watt	Keterangan	Durasi pemakaian (kondisi baterai penuh)
1	<i>Charger Hp</i>	10 Watt	Dapat Dipakai Mengisi Daya 10 Smartphone	1,2 Jam untuk 3 Hp Charging
2	<i>Speaker Portable Stereo</i>	5 Watt	Dapat Dipakai Untuk 2 Speaker (agar stereo)	1,5 jam untuk 2 speaker
3	<i>Charger Laptop Lenovo Thinkpad</i>	45 Watt	Dapat dipakai untuk mengisi daya dua laptop dengan spek yang sama persis	30menit untuk 1 laptop
4	<i>Printer Canon IP 2770</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 11 Watt (Pencetakan) • 0.7 Watt (Aktif) • 0.88 Watt (Tidur) • 0.4 Watt (Mati) 	Dapat dipakai melakukan pencetakan	30menit
5	Lampu LED	20 Watt	Dapat dipakai menhidupkan 5 lampu LED	50menit untuk 5 lampu
6	<i>Wifi Router</i>	12 Watt	Dapat Tetap menyalakan wifi saat PLN Shut-off	55menit

Pengujian yang dilakukan melibatkan beban elektronik menunjukkan rata-rata penggunaan prototipe untuk melayani beban adalah 0,906 jam atau 54,36 menit. Pengukuran yang dilakukan menggunakan baterai dengan kondisi yang sudah ada atau terlepas dari kondisi baterai (*battery health*) masih 100 % atau sudah menurun ketika baterai tersebut diujikan. Kondisi health yang semakin menurun membuat *discharge* baterai semakin cepat, sehingga berpengaruh pada durasi atau jangka waktu baterai bisa dapat digunakan [23].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admin, "Pilih Mana: UPS atau Inverter?," Selera.id, 30 November 2018. [Online]. Available: <https://www.selera.id/pilih-mana-ups-atau-inverter/>. [Accessed 06 July 2019].
- [2] M. Naden and R. Bax, "Generator with DC boost and split bus bidirectional DC-to-DC converter for uninterruptible power supply system or for enhanced load pickup". United States Of America Patent US 7,786,616 B2, 31 August 2010.
- [3] S. R. Hui, H. S.-H. Chung and S. C. Yip, "A Bidirectional AC–DC Power Converter with Power Factor Correction," *IEEE Transaction On Power Electronics*, vol. 15, no. 5, pp. 942-949, 2000.
- [4] M. H. Rashid, *Power Electronic Handbook*, Pensacola, Florida: Academic Press, 2001.
- [5] C. W. T. McLyman, *Transformer and Inductor Design Handbook Fourth Edition*, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2011.
- [6] D. W. Hart, *Power Electronics*, Valparaiso, Indiana: The McGraw-Hill Company, 2011.
- [7] S. Pawar, A. Kulkarni and C. Jambulkar, "Effect of Carrier Frequency on the Performance of Three Phase SPWM Inverter," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, vol. 4, no. 09, pp. 3019-323, 2015.
- [8] "LC Circuit," Wikipedia, 10 November 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/LC_circuit. [Accessed 17 November 2019].
- [9] Admin, "Constant-K LC Low Pass Filter Circuit Design & Calculations," *Electronics Notes*, [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/rf-filters/constant-k-simple-low-pass-lc-rf-filter-design-calculations.php>. [Accessed 17 November 2019].
- [10] Iyuditya and E. Dayanti, "Sistem Pengendali Lampu Ruangan Secara Otomatis Menggunakan PC Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO," *Jurnal Online ICT STMIK IKMI*, vol. 10, pp. 1-7, 2013.
- [11] W. Purnomo, "Academia.edu," 08 Januari 2010. [Online]. Available: <http://www.academia.edu/download/56545755/batre.pdf>. [Accessed 21 November 2019].

- [12] Admin, "softschools," Electric Power Formula, [Online]. Available: http://www.softschools.com/formulas/physics/electric_power_formula/165/. [Accessed 21 January 2020].
- [13] Admin, "Voltage Sensor: Working Principle, Types & Circuit Diagram," Electrical 4U, 04 January 2020. [Online]. Available: www.electrical4u.com/voltage-sensor/. [Accessed 21 February 2020].
- [14] EATON Powering Bussiness, *The Eaton UPS and Power Management Fundamental Handbook*, New York: EATON Powering Bussiness, 2015.
- [15] M. E. Asker and H. Kilic, "Modulation Index And Switching Frequency Effect On Symmetric Regular Sampled SPWM," *European Journal of Technic*, vol. 7, no. 2, pp. 102-109, 2017.
- [16] Admin, "Low Pass Filter Calculation," ElectronicBase.Net, 20 January 2017. [Online]. Available: <https://electronicbase.net/low-pass-filter-calculator/>. [Accessed 04 August 2020].
- [17] K. Azmi, "Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino," Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2017.
- [18] P. L. N. (PLN), "Tegangan-Tegangan Standard". Indonesia Patent O63.WO594/DIR/1995,, 25 August 1995.
- [19] B. S. Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)". Jakarta Patent SNI 04-0225-2000, 4 Desember 2000.
- [20] D. J. Cheng, *IEEE Standard 519-2014 : Compliances, Updates, Solutions*, France: Schneider Electricity, 2014.
- [21] *UPS and Critical Power Solutions*. [Performance]. SOCOMEC Innovative Power Solution, 2018-2019.
- [22] M. D. Atmadja, H. M. Kristiana and F. A. Soelistianto, "Pengaruh Tegangan Dan Frekuensi Terhadap Intensitas Cahaya Pada Lampu Pendar Elektronik," *Prosiding Sentrinov*, vol. 001, no. 2477 – 2097, pp. 31-38, 2015.
- [23] A. F. Farizy, D. A. Asfani and S. , "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 278-282, 2016.

LAMPIRAN A. CODING SPWM ARDUINO

```
int i=0;

int x=0;

int OK=0;

int int
sinPWM[]={1,13,26,38,51,64,76,89,101,113,124,135,146,156,166,176,185,193,201,2
09,216,222,227,232,237,
241,244,246,248,249,249,249,248,
246,244,241,237,
232,227,222,216,209,201,193,186,176,166,156,146,135,124,113,
101,89,76,64,51,38,26,13,1};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  cli();// stop interrupts
  TCCR0A=0;//reset the value
  TCCR0B=0;//reset the value
  TCNT0=0;//reset the value
  //0b allow me to write bits in binary
  TCCR0A=0b10100001;//phase correct pwm mode
  TCCR0B=0b00000001; //no prescaler
  TCCR1A=0;//reset the value
  TCCR1B=0;//reset the value
  TCNT1=0;//reset the value
```

```

OCR1A=941.17;// compare match value
TCCR1B=0b00001001; //WGM12 bit is 1 and no prescaler

TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

sei();// enable interrupts
}
ISR(TIMER1_COMPA_vect){// interrupt when timer 1 match with OCR1A value
if(i>170 && OK==0){// final value from vector for pin 6
i=0;// go to first value of vector
OK=1;//enable pin 5
}
if(i>170 && OK==1){// final value from vector for pin 5
i=0;//go to firs value of vector
OK=0;//enable pin 6
}
x=sinPWM[i];// x take the value from vector corresponding to position i(i is zero
indexed)
i=i+1;// go to the next position
if(OK==0){
OCR0B=0;//make pin 5 0
OCR0A=x;//enable pin 6 to corresponding duty cycle
}
if(OK==1){
OCR0A=0;//make pin 6 0
OCR0B=x;//enable pin 5 to corresponding duty cycle
}
}
}
void loop() {
}

```

LAMPIRAN B. PENGUJIAN SISTEM

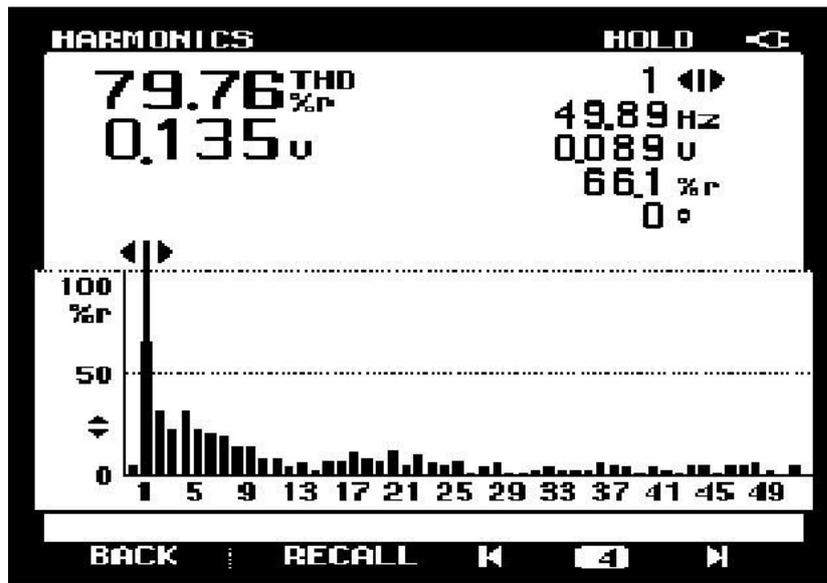
A. Pengujian Pembebanan

TabelB.1 Tampilan Beban Elektronik Yang Diuji

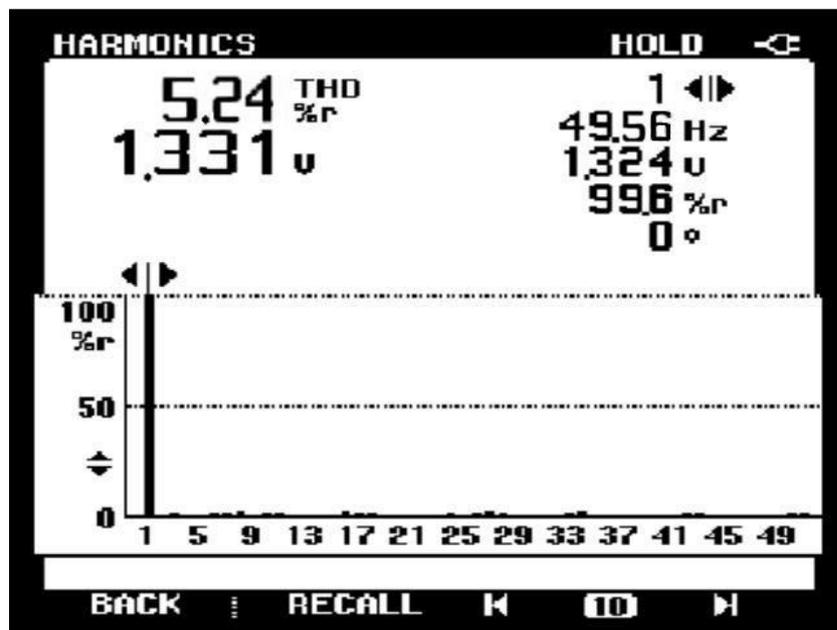
No.	Beban Elektronik	Foto	Watt
1.	Charger HP		10 W
2.	Charger Laptop Lenovo Thinkpad		45 W
3.	Speaker Portable		5 W
4.	Lampu LED		20 W
5.	Printer Canon IP2770		Average 12,99 W

6	Wifi Router		12 W
---	-------------	--	------

B. Pengujian THD % Prototipe



GambarB.1 Pengujian Persentase THD Sebelum difilter



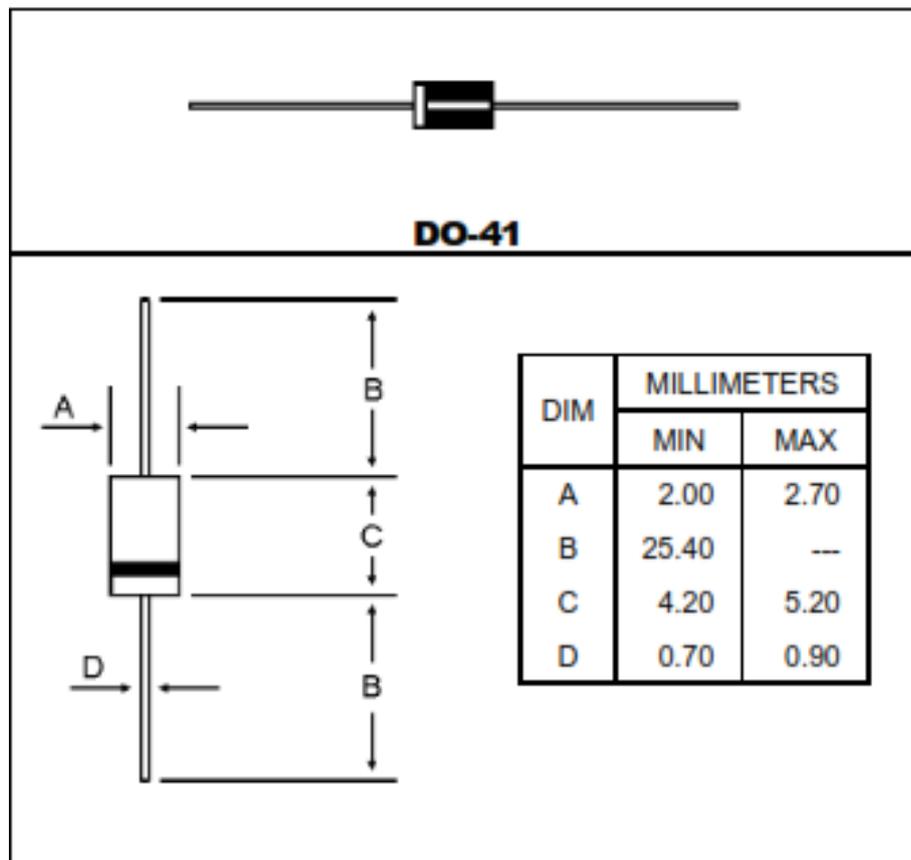
GambarB.2 Pengujian Persentase THD Setelah difilter

LAMPIRAN C. DATASHEET

A. Datasheet Dioda 1n4007 MOSPEC

TabelC.1 Datasheet Dioda 1n4007

<i>Characteristic</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Peak Repetitive Reverse Voltage</i> <i>Working Peak Reverse Voltage</i> <i>DC Blocking Voltage</i>	VR	1000	V
<i>RMS Reverse Voltage</i>	VR (RMS)	700	V
<i>Average Rectifier Forward Current</i> <i>Per Leg</i>	IF(AV)	1.0	A
<i>Maximum Instantaneous Forward Voltage</i> <i>(IF = 1.0 Amp TC = 25°C)</i>	VF	1.1	V
<i>Maximum Instantaneous Reverse Current</i> <i>(Rated DC Voltage, TC = 25°C)</i> <i>(Rated DC Voltage, TC = 100°C)</i>	IR	5.0 ; 50	μA
<i>Typical Thermal Resistance</i>	RθJA	50	°C/W



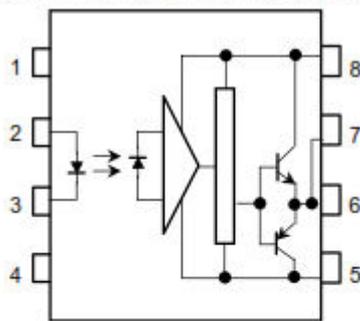
Gambar C.1 Struktur Dioda 1n4007

B. Datasheet TLP250 TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

Tabel C.2 Datasheet TLP250 Toshiba

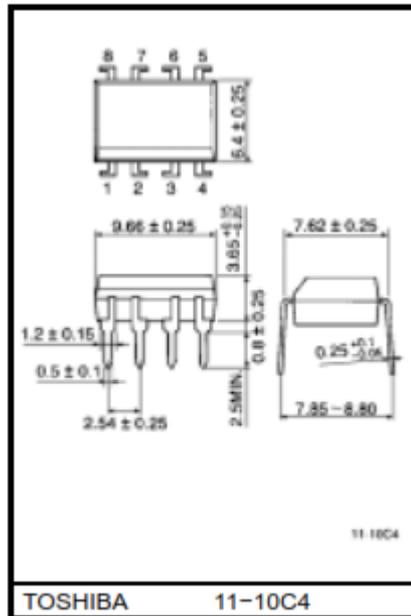
Characteristic	Symbol	Value	Unit
Input threshold current	I_F	5	mA (max)
Supply current	I_{CC}	11	mA (max)
Supply voltage	VCC	10-35	Volt
Output current	I_O	± 1.5	A (max)
Switching time	tpLH/tpHL	1.5	μ s (max)
Isolation voltage	VRMS	2500	Volt (min)

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : VCC

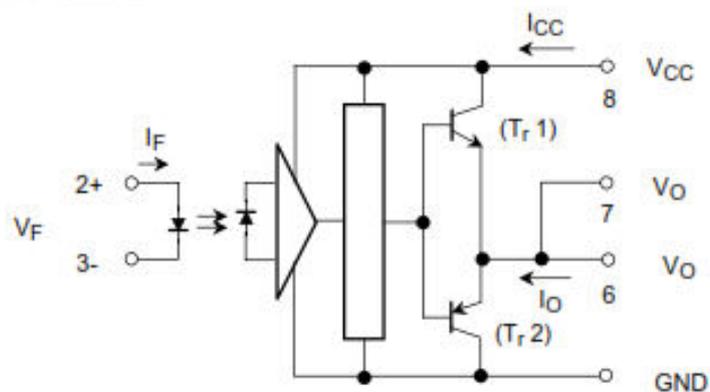
(a)



Weight: 0.54 g

(b)

Schematic



(c)

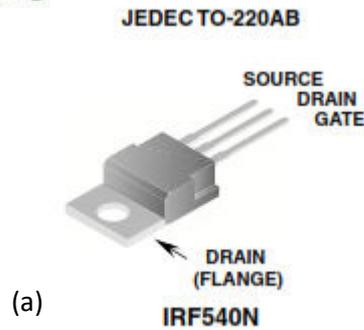
Gambar C.2 (a) konfigurasi pin; (b) Ukuran Dimensional (c) Skematik Rangkaian dari TLP250

C. Datasheet Mosfet IRF540N Fairchild Semiconductor

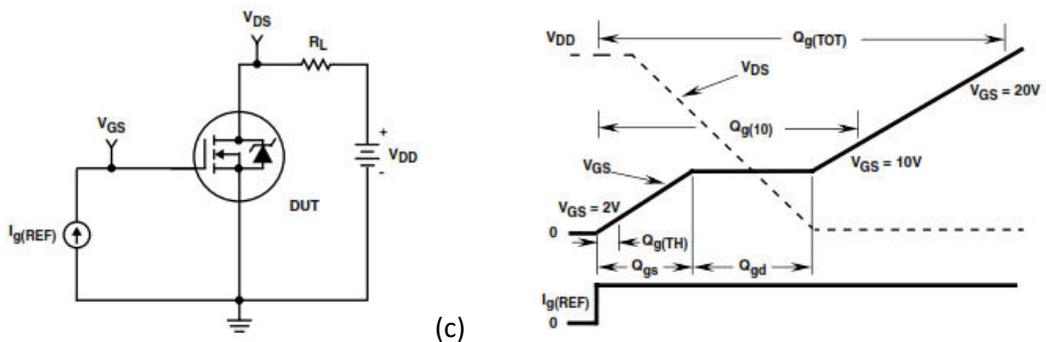
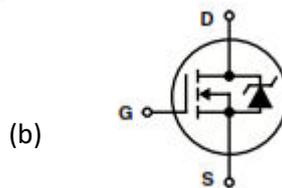
Tabel C.3 Datasheet Mosfet IRF540 N Channel

<i>Characteristic</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Drain to Source Voltage</i>	V _{DSS}	100	V
<i>Drain to Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ)</i>	V _{DGR}	100	V
<i>Gate to Source Voltage</i>	V _{GS}	± 200	V
<i>Drain Current</i> <i>Continuous (TC = 25° C, V_{GS} = 100 V)</i>	I _D	33	A
<i>Power Dissipation</i>	PD	120	Watt
<i>Operating and Storage Temperature</i>	T STG	-55 to 175	°C
<i>Maximum Temperature for Soldering</i> <i>Package Body for 10s, See Techbrief TB334</i>	T pkg	260	°C
<i>Gate to Source Leakage Current</i>	I _{GSS}	± 100	nA
<i>Turn-On Delay Time</i>	t _d (On)	9.5	ns

Packaging



Symbol

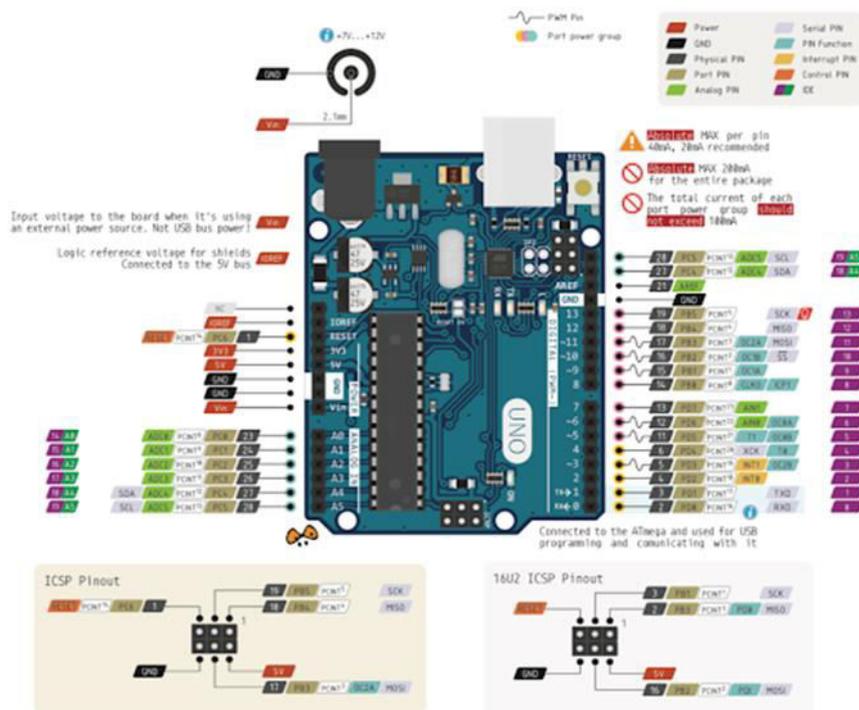


Gambar C.3 (a) Packaging IRF540N; (b) symbol pin; (c) Grafik Pengujian Gate IRF540N

D. Datasheet Arduino UNO R3

Tabel C.4 Datasheet Arduino UNO R3

Characteristic	Value and Unit
Power Supply Input	7 – 12 Volt
Voltage Regulator	3,3 and 5 Volt
Clock Frequency Max	16 MHz
USB Programming Port	Type A-B
Microcontroller Chip	Atmega 328p
On Led Indikator	LED 5V
In Circuit Serial Programming (ISCP)	SPI
Software Compile	Arduino IDE
PIN I/O	1.6 Pin Analog Input(A0-A1-A2-A3A4-A5) 2.14 Pin Digital Input Output(D0-D1-D2D3-D4-D5-D6-D7-D8-D9-D10-D11-D12D13) 3.1 Pin 3,3V 4.1 Pin 5V 5.3 Pin GND(Ground)

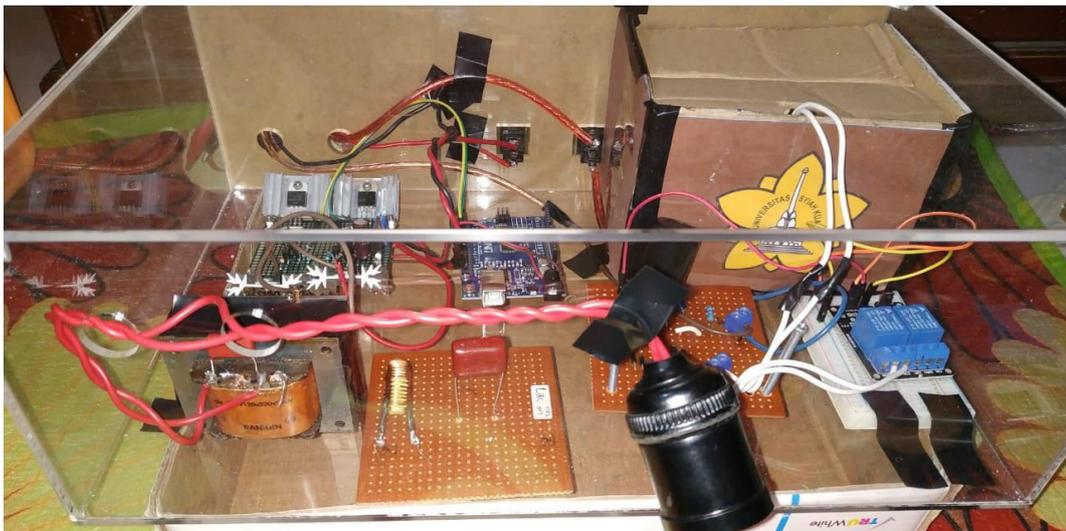


Gambar C.4 Skematik dan Pin Konfigurasi Arduino Uno R3

LAMPIRAN D. GAMBAR PROTOTIPE



GambarD.1 Tampak Depan Foto Prototipe



GambarD.2 Tampak Atas Foto Prototipe