

DESAIN DAN ANALISIS INVERTER SATU FASA MENGGUNAKAN METODE SPWM

Deni Tri Laksono *¹
Ahmad Herliyanto ²
Farhan Eka Maulana ³
Achmad Ahsan Kamil ⁴
Muhammad Rizal Fathoni ⁵
Moh. Fairus Abadi ⁶

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

*e-mail: deni.laksono@trunojoyo.ac.id, 230431100035@student.trunojoyo.ac.id,
230431100001@student.trunojoyo.ac.id, 230431100004@student.trunojoyo.ac.id,
230431100017@student.trunojoyo.ac.id, 230431100089@student.trunojoyo.ac.id

Abstract

Inverter merupakan salah satu perangkat penting dalam sistem elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Pada penelitian ini, dilakukan perancangan dan analisis inverter satu fasa dengan penerapan metode **Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)** yang bertujuan untuk menghasilkan bentuk gelombang AC yang menyerupai sinusoidal, stabil, dan sesuai dengan standar tegangan listrik rumah tangga. Sistem dirancang tanpa mikrokontroler, menggunakan IC CD4047 sebagai pembangkit sinyal pulsa SPWM serta MOSFET IRF1607 sebagai saklar utama dalam konfigurasi jembatan (bridge). Perancangan dimulai dengan pembuatan skematik dan simulasi menggunakan software Proteus untuk memastikan fungsi dasar inverter berjalan dengan baik, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan perangkat keras (prototype) berdasarkan hasil simulasi. Setelah perakitan selesai, dilakukan pengujian sebanyak 30 kali menggunakan input 12V DC untuk mengevaluasi performa output inverter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa inverter mampu menghasilkan tegangan output AC dalam kisaran **218,3 V hingga 221,3 V RMS**, dengan frekuensi berkisar antara **49,7 Hz hingga 50,2 Hz**. Bentuk gelombang yang dihasilkan pun menunjukkan pola yang menyerupai sinusoidal setelah difilter menggunakan rangkaian LC. Mayoritas data pengujian menunjukkan performa inverter dalam kondisi baik dan stabil, dengan penyimpangan yang sangat kecil dan masih dalam batas toleransi.

Kata kunci: Inverter, SPWM, CD4047, MOSFET IRFZ44E, Proteus, Tegangan AC, Frekuensi

Abstract

Inverter is one of the important devices in power electronics system that functions to convert direct voltage (DC) to alternating voltage (AC). In this study, the design and analysis of a single-phase inverter with the application of the Sinusoidal Pulse Wide Modulation (SPWM) method is carried out which aims to produce an AC waveform that resembles sinusoidal, stable, and in accordance with household electricity voltage standards. The system is designed without a microcontroller, using the IC CD4047 as the SPWM pulse signal generator and the MOSFET IRF1607 as the main switch in a bridge configuration. The design begins with the creation of a schematic and simulation using Proteus software to ensure the basic functions of the inverter are running properly, then continued with the hardware assembly process (prototype) based on the simulation results. After the assembly is complete, testing is carried out 30 times using 12V DC input to transmit the inverter output performance. The test results show that the inverter is capable of producing AC voltage output in the range of 218.3 V to 221.3 V RMS, with a frequency ranging from 49.7 Hz to 50.2 Hz. The resulting waveform also shows a pattern that resembles a sinusoid after being filtered using an LC circuit. Most of the test data shows that the inverter performance is in good and stable condition, with very small deviations and still within the tolerance limit.

Keywords: Inverter, SPWM, CD4047, MOSFET IRFZ44E, Proteus, AC Voltage, Frequency

PENDAHULUAN

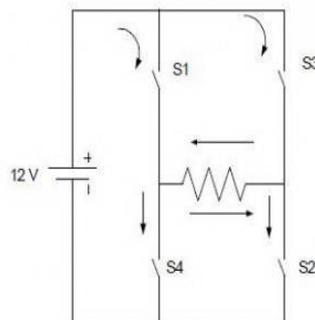
Perkembangan teknologi di bidang elektronika telah memberikan kontribusi besar dalam berbagai aspek kehidupan modern, terutama dalam hal efisiensi dan keberlanjutan energi. Peralatan elektronik kini tidak hanya terbatas pada kebutuhan hiburan atau komunikasi, tetapi

juga telah menjadi bagian penting dalam sistem kelistrikan, transportasi, industri, dan pengelolaan energi. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi, kebutuhan akan energi listrik meningkat secara signifikan. Listrik menjadi bentuk energi paling fleksibel dan banyak digunakan, namun ketersediaannya masih menjadi kendala di sejumlah wilayah karena keterbatasan infrastruktur dan kondisi geografis. Untuk mengatasi tantangan ini, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin semakin dikembangkan. Energi dari sumber ini umumnya menghasilkan arus searah (DC) dengan tegangan rendah, sekitar 12 Volt, yang tidak dapat langsung digunakan untuk peralatan rumah tangga atau industri yang membutuhkan arus bolak-balik (AC) bertegangan 220 Volt. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat konversi daya yang disebut inverter. Inverter berfungsi mengubah tegangan DC menjadi AC, sehingga memungkinkan energi terbarukan dapat dimanfaatkan secara optimal. Peran inverter menjadi sangat penting dalam berbagai sistem kelistrikan, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sistem cadangan daya (UPS), serta kendaraan listrik. Agar inverter dapat menghasilkan tegangan AC yang stabil dan sesuai standar, digunakan metode pengaturan sinyal yang tepat. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Metode ini mengatur lebar pulsa sesuai bentuk gelombang sinusoidal, sehingga inverter dapat menghasilkan tegangan AC dengan bentuk gelombang yang lebih halus dan minim distorsi. Keunggulan SPWM terletak pada efisiensi daya yang lebih tinggi dan pengurangan emisi harmonik yang dapat merusak perangkat elektronik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sebuah inverter satu fasa menggunakan metode SPWM, dengan fokus pada kemampuan inverter dalam menghasilkan gelombang AC berfrekuensi 50 Hz yang stabil dan efisien. Melalui simulasi, dilakukan perbandingan performa antara inverter tanpa kendali dan inverter dengan penerapan SPWM, ditinjau dari aspek frekuensi, tegangan output, dan kualitas gelombang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih dalam mengenai pentingnya penerapan metode SPWM dalam sistem inverter satu fasa, serta mendukung pengembangan sistem energi terbarukan yang lebih andal dan berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

2.1 Konverter AC Ke DC (Inverter)

Inverter adalah sebuah perangkat elektronika daya yang berfungsi sebagai konverter, yaitu mengubah sumber arus listrik searah (DC/Direct Current) menjadi arus listrik bolak-balik (AC/Alternating Current). Proses ini sangat penting dalam berbagai aplikasi kelistrikan, karena banyak peralatan listrik, terutama di rumah tangga dan industri, beroperasi menggunakan tegangan AC. Rangkaian inverter dirancang sedemikian rupa untuk menghasilkan bentuk gelombang output tertentu sesuai kebutuhan. Output yang dihasilkan dapat berupa gelombang sinus murni, gelombang kotak (square wave), gelombang sinus modifikasi (modified sine wave), atau gelombang segitiga (triangular wave). Pemilihan bentuk gelombang ini bergantung pada karakteristik beban yang akan digunakan serta efisiensi dan kompleksitas sistem inverter itu sendiri. Inverter banyak digunakan pada sistem cadangan daya (backup power), sistem tenaga surya (solar power system), sistem UPS (Uninterruptible Power Supply), serta dalam dunia otomotif dan transportasi listrik, menjadikannya komponen vital dalam mendukung keberlanjutan dan fleksibilitas sistem kelistrikan modern. Gambar 1 memperlihatkan cara kerja dari inverter

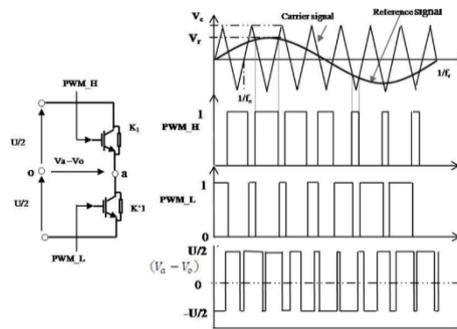


Gambar 1. Cara kerja Inverter menggunakan 4 saklar

Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (pulse width modulation – PWM) dalam proses conversi tegangan DC menjadi tegangan AC

2.2 SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) adalah teknik modulasi pulsa yang digunakan untuk menghasilkan bentuk gelombang mendekati sinusoidal dari sumber arus searah (DC), khususnya pada sistem inverter. Teknik ini bekerja dengan cara membandingkan dua sinyal, yaitu sinyal referensi berbentuk gelombang sinus dan sinyal pembawa berbentuk gelombang segitiga atau gigi gergaji yang memiliki frekuensi lebih tinggi. Sinyal referensi sinusoidal merepresentasikan bentuk gelombang AC yang diinginkan (biasanya 50 Hz), sedangkan sinyal pembawa berfungsi sebagai acuan waktu untuk menentukan kapan sinyal output akan aktif atau tidak. Perbandingan antara kedua sinyal ini dilakukan melalui sebuah komparator, yang akan menghasilkan sinyal logika tinggi (ON) ketika tegangan referensi lebih besar dari tegangan pembawa, dan logika rendah (OFF) ketika sebaliknya. Hasil dari proses ini adalah sinyal pulsa-pulsa dengan lebar yang bervariasi mengikuti bentuk sinus, yang kemudian digunakan untuk mengendalikan saklar daya seperti MOSFET pada rangkaian inverter. Dengan mengatur siklus kerja (duty cycle) secara terus menerus berdasarkan bentuk sinus, maka inverter dapat menghasilkan tegangan output AC yang menyerupai gelombang sinusoidal.



Gambar 2. Gelombang SPWM

2.3 IC CD4047

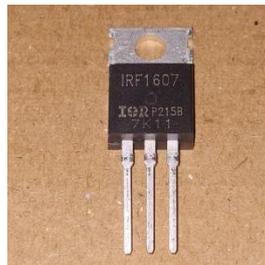
CD4047 merupakan sebuah IC multivibrator berbasis CMOS yang banyak digunakan dalam aplikasi pembangkit gelombang seperti inverter, osilator, dan sistem timing digital. Dalam konfigurasi astable, CD4047 mampu menghasilkan dua keluaran gelombang persegi yang saling berlawanan (Q dan not-Q) dengan duty cycle 50% yang stabil, menjadikannya sangat cocok untuk mengendalikan rangkaian driver seperti IR2110 maupun saklar daya MOSFET atau IGBT pada sistem inverter. Frekuensi osilasinya ditentukan oleh kombinasi resistor dan kapasitor eksternal, sehingga mudah diatur sesuai kebutuhan, misalnya 50 Hz untuk aplikasi inverter AC. Keunggulan utama CD4047 terletak pada desainnya yang sepenuhnya analog, hemat biaya, tidak memerlukan pemrograman, serta memiliki konsumsi daya rendah dan kestabilan tinggi. Dengan tambahan rangkaian seperti transformator center tap dan filter LC, IC ini mampu menjadi inti dari sistem inverter gelombang kotak atau gelombang modifikasi yang sederhana namun andal untuk skala kecil hingga menengah.



Gambar 3. IC 4047

2.4 MOSFET IRF1607

IRF1607 merupakan jenis MOSFET daya tipe N-channel yang dirancang khusus untuk aplikasi switching arus tinggi dalam sistem konversi daya seperti inverter, power supply, dan motor driver. MOSFET ini memiliki kemampuan untuk menangani arus drain besar hingga sekitar 80 Ampere dan tegangan drain-source maksimum sekitar 75 Volt, menjadikannya sangat cocok digunakan dalam sistem inverter satu fasa atau sistem tenaga DC-DC yang memerlukan saklar elektronik dengan respon cepat dan efisiensi tinggi. IRF1607 bekerja dalam mode switching, yaitu beroperasi hanya dalam kondisi ON (menghantarkan penuh) atau OFF (terputus), sehingga meminimalkan rugi daya akibat panas dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Untuk mengaktifkan MOSFET ini secara optimal, dibutuhkan tegangan gate minimal 10V agar dapat menghantarkan arus secara penuh, oleh karena itu sinyal kontrol dari pembangkit PWM seperti TL494 atau mikrokontroler biasanya diperkuat terlebih dahulu melalui rangkaian driver gate seperti IR2110. Dengan waktu switching yang sangat cepat, IRF1607 mampu merespons sinyal PWM maupun SPWM secara efisien, memungkinkan pembentukan sinyal AC yang lebih halus dan stabil saat digunakan dalam topologi full-bridge atau half-bridge inverter.



Gambar 4. MOSFET IRF1607

2.5 Software Proteus

Software simulasi elektronika yang paling populer dan banyak digunakan oleh mahasiswa, peneliti, maupun praktisi di bidang teknik elektro dan elektronika. Software ini memungkinkan pengguna untuk merancang, memodelkan, dan mensimulasikan rangkaian elektronik secara virtual sebelum dirakit secara fisik. Salah satu fitur unggulan Proteus adalah kemampuannya untuk mensimulasikan interaksi antara perangkat keras (hardware) seperti IC, transistor, MOSFET, op-amp, hingga mikrokontroler (seperti AVR, PIC, dan ARM) dengan perangkat lunak (software) berupa program atau kode yang di-compile dalam bentuk file .hex atau .elf. Proteus juga menyediakan berbagai library komponen elektronika yang sangat lengkap, termasuk komponen analog dan digital, sensor, aktuator, instrumen pengukuran, serta alat bantu seperti osiloskop dan logic analyzer. Salah satu modul terpenting dari Proteus adalah ISIS (Intelligent Schematic Input System), yang digunakan untuk membuat skematik rangkaian dan menjalankan

simulasi fungsional, serta ARES (Advanced Routing and Editing Software) yang digunakan untuk mendesain PCB (Printed Circuit Board) dari rangkaian yang telah dibuat. Dalam konteks perancangan inverter atau sistem kontrol daya, Proteus memungkinkan simulasi switching komponen seperti MOSFET, IGBT, driver gate, dan PWM generator secara akurat dan real-time, sehingga sangat berguna untuk menguji desain rangkaian seperti inverter SPWM tanpa perlu merakit prototipe terlebih dahulu. Kelebihan lain dari Proteus adalah antarmukanya yang intuitif, fleksibel, dan mendukung integrasi dengan berbagai bahasa pemrograman dan compiler eksternal seperti MikroC, Arduino IDE, atau MPLAB.

METODE

Berikut adalah pembahasan mengenai alat dan bahan, serta penjelasan metode dari penelitian ini.

3.1 Alat dan Bahan

Pada pembuatan project ini alat dan bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Alat

No.	Nama Alat	Jumlah
1	Solder dan Timah	1
2	Multimeter	1
3	Tang Potong	1
4	Adaptor	1
5	Obeng Kecil	1

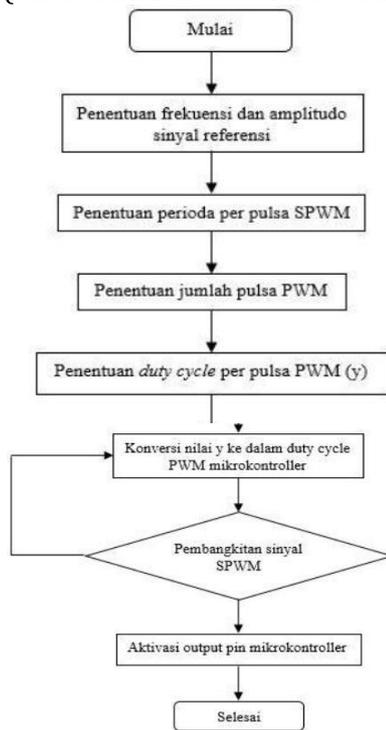
Tabel 2. Bahan

NO	Nama Bahan	Jumlah
1	IC CD4047	1
2	MOSFET IRF1607	2
3	Resistor	4
4	Potensiometer	1
5	Kapasitor Elektrolit	1
6	Kapasitor Keramik	1
7	Led Putih	1
8	Transformator	1
9	Induktor	1
10	Power Supply DC	1
11	Connector Terminal	3
12	Display Volt Meter	1
13	Oscilloscope	1
14	PCB	1
15	Kabel Jumper	Secukupnya

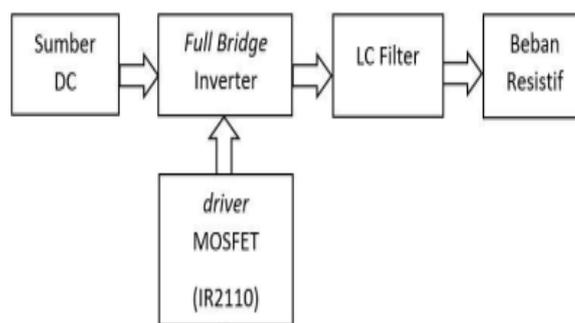
3.2 Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode simulasi dan eksperimen langsung, yaitu pendekatan gabungan antara desain dan analisis rangkaian secara virtual menggunakan perangkat lunak, serta pembuatan dan pengujian alat secara fisik (prototipe). Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang perilaku sistem inverter baik dari sisi teoretis melalui simulasi maupun dari sisi praktis melalui implementasi nyata. Proses ini dilakukan secara bertahap untuk memastikan bahwa desain inverter yang

dikembangkan benar-benar sesuai dengan spesifikasi teknis yang diinginkan, terutama dalam menghasilkan output tegangan AC yang menyerupai gelombang sinusoidal dengan frekuensi stabil pada 50 Hz. Tahap awal dilakukan melalui proses simulasi rangkaian menggunakan software Proteus, yaitu perangkat lunak yang mampu mensimulasikan berbagai komponen elektronika secara real-time. Simulasi dimulai dengan membangun rangkaian inverter satu fasa tidak terkendali, yang terdiri dari dua buah MOSFET IRFZ44E yang dikendalikan oleh sinyal osilasi dari IC multivibrator CD4047. Rangkaian ini digunakan untuk mengamati karakteristik output tanpa kendali PWM, seperti kestabilan tegangan dan bentuk gelombang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa inverter tidak terkendali menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi tetap, namun bentuk gelombangnya masih jauh dari sinusoidal, sehingga berpotensi menimbulkan harmonisa pada beban. Setelah itu, dilakukan simulasi inverter terkendali menggunakan metode SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation).



Gambar 5. Rangkaian Flowchart



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

3.3 Langkah – Langkah

Membangun sistem inverter satu fasa berbasis metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) memerlukan beberapa tahapan penting yang harus dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa inverter dapat berfungsi dengan baik dan menghasilkan tegangan AC yang

menyerupai gelombang sinusoidal. Langkah-langkah berikut mencakup proses mulai dari persiapan alat hingga pengujian hasil keluaran inverter. Langkah pertama adalah menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan, meliputi sumber daya DC (seperti baterai 12V), rangkaian pembangkit sinyal SPWM (menggunakan IC seperti TL494 atau CD4047), MOSFET daya (misalnya IRF840 atau IRFZ44E) sebagai saklar inverter, transformator center-tap untuk konversi tegangan, serta rangkaian filter LC sebagai peredam harmonik. Selain itu, komponen pendukung seperti resistor, kapasitor, potensiometer, dan konektor terminal juga harus disiapkan. Simulasi awal dilakukan dengan menggunakan software Proteus untuk memastikan desain rangkaian bekerja sesuai harapan sebelum perangkat keras dirakit. Selanjutnya, rancang skema rangkaian SPWM secara keseluruhan. Jika menggunakan IC TL494, konfigurasi output A dan B digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM secara bergantian, yang akan menjadi sinyal pengendali untuk dua MOSFET pada konfigurasi half-bridge. Jika menggunakan IC CD4047, mode astable digunakan untuk menghasilkan dua sinyal keluaran dengan beda fasa 180°, yang akan mengendalikan dua saklar daya secara bergantian. Output PWM kemudian diarahkan ke gate driver (jika diperlukan, seperti IR2110) untuk meningkatkan tegangan sinyal agar cukup mengaktifkan MOSFET secara optimal. Pastikan semua koneksi telah diperiksa, termasuk jalur ground dan Vcc, serta polaritas komponen yang bersifat polar seperti kapasitor elektrolit dan LED indikator. Setelah rangkaian selesai dirancang, langkah berikutnya adalah perakitan fisik pada papan PCB atau breadboard. Rangkaian disusun sesuai skematik yang telah divalidasi melalui simulasi. Pastikan semua komponen terpasang dengan benar dan tidak ada hubungan pendek (short circuit). Setelah itu, sambungkan sumber daya DC 12V ke input inverter dan pasang beban AC, seperti lampu atau motor kecil, ke sisi output transformator. Apabila rangkaian menggunakan filter LC, pastikan nilai induktor dan kapasitor disesuaikan untuk meredam frekuensi switching, biasanya sekitar 50Hz. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dan kalibrasi sistem. Hidupkan sistem inverter dan amati output dari transformator menggunakan osiloskop untuk melihat bentuk gelombang tegangan AC yang dihasilkan. Ukur juga frekuensi keluaran menggunakan frekuensi meter atau multimeter digital yang mendukung fungsi tersebut. Bandingkan bentuk gelombang dengan referensi gelombang sinusoidal ideal. Jika output belum sesuai, lakukan penyesuaian pada nilai-nilai komponen di bagian pembangkit SPWM, seperti resistor dan kapasitor timing pada TL494 atau RC oscillator pada CD4047. Lakukan pula pengukuran suhu pada MOSFET untuk memastikan tidak terjadi overheat akibat switching loss. Setelah sistem diuji dan dikalibrasi dengan baik, lakukan analisis hasil keluaran, baik dari sisi tegangan (RMS), frekuensi, kestabilan beban, maupun bentuk gelombang. Jika terdapat distorsi yang signifikan, evaluasi filter LC dan lakukan penggantian komponen dengan nilai yang lebih sesuai. Data hasil pengujian dapat dicatat dan diolah menggunakan software seperti Excel atau MATLAB untuk menghasilkan grafik tegangan vs waktu, analisis harmonisa, atau perbandingan efisiensi antar konfigurasi (half-bridge vs full-bridge). Sebagai pengembangan lebih lanjut, sistem inverter dapat dilengkapi dengan modul pengendalian beban otomatis, pengaturan tegangan berbasis feedback, atau display digital untuk memantau tegangan dan frekuensi output secara real-time. Selain itu, penggunaan driver saklar yang lebih canggih seperti IR2110/IR2113 dan teknik modulasi yang lebih kompleks seperti SPWM gelombang referensi sinus dari DAC berbasis juga dapat diterapkan untuk meningkatkan performa dan efisiensi sistem inverter secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat

Modul inverter satu fasa pada gambar merupakan rangkaian konversi daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Rangkaian ini menggunakan empat buah MOSFET daya yang disusun dalam konfigurasi full-bridge, dilengkapi dengan heatsink untuk mengurangi panas akibat proses switching. Setiap MOSFET dikendalikan oleh sinyal PWM atau SPWM dari rangkaian pembangkit pulsa eksternal. Komponen pendukung seperti resistor dan dioda berfungsi sebagai pelindung serta pengatur sinyal pada gate MOSFET agar proses switching berlangsung stabil dan efisien. Modul ini menerima sumber tegangan DC dan menghasilkan

output AC yang dapat digunakan untuk beban listrik rumah tangga setelah melewati proses filter atau transformator step-up



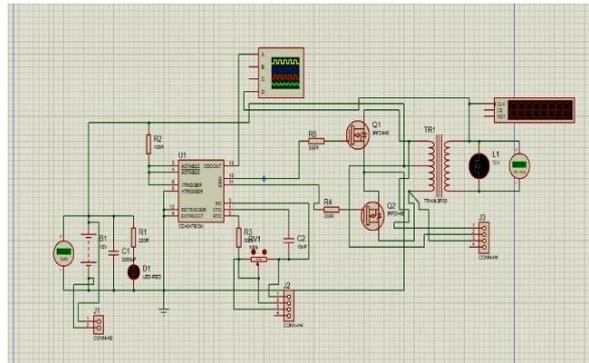
Gambar 7. Tampilan Alat

4.2 Analisa Kebutuhan

Dalam sistem ini, alat inverter berperan penting sebagai pengubah tegangan searah (DC) yang dihasilkan oleh generator menjadi tegangan bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh beban listrik. Inverter dirancang menggunakan empat buah MOSFET daya yang disusun dalam konfigurasi jembatan penuh (full-bridge) dan dikendalikan oleh sinyal SPWM dari rangkaian pembangkit pulsa. Komponen pendukung seperti resistor dan dioda digunakan untuk menjaga kestabilan dan keamanan switching pada gate MOSFET. Rangkaian ini juga dilengkapi dengan pendingin (heatsink) pada setiap MOSFET untuk mengurangi panas akibat arus tinggi selama proses konversi. Tegangan AC yang dihasilkan oleh inverter dapat langsung digunakan atau disesuaikan kembali menggunakan transformator dan filter agar sesuai dengan kebutuhan beban yang direncanakan.

4.3 Sistem Skematik Rangkaian

Skematik rangkaian di atas merupakan rangkaian inverter satu fasa sederhana yang menggunakan IC CD4047 sebagai pembangkit sinyal osilasi untuk mengontrol dua buah MOSFET IRFZ44E dalam konfigurasi setengah gelombang (half-bridge). Rangkaian ini bekerja dengan prinsip mengubah tegangan DC 12V menjadi AC, yang kemudian dinaikkan tegangannya melalui transformator (TR1). IC CD4047 dikonfigurasi dalam mode astable multivibrator, menghasilkan dua sinyal output dengan fasa berbeda (Q dan \sim Q) yang digunakan untuk mengendalikan gate dari MOSFET Q1 dan Q2 secara bergantian. Output switching dari kedua MOSFET ini masuk ke transformator, yang akan mengubah sinyal AC beresilasi dari level tegangan rendah menjadi level tegangan AC lebih tinggi (220V AC). Komponen lain seperti resistor, kapasitor, dan potensiometer berfungsi sebagai pengatur waktu dan kestabilan frekuensi output, sedangkan LED dan voltmeter digunakan sebagai indikator daya dan pengukur tegangan output. Rangkaian ini cocok untuk aplikasi inverter sederhana berdaya kecil.



Gambar 8. Skematik Rangkaian

4.4 Tabel Hasil Pengujian

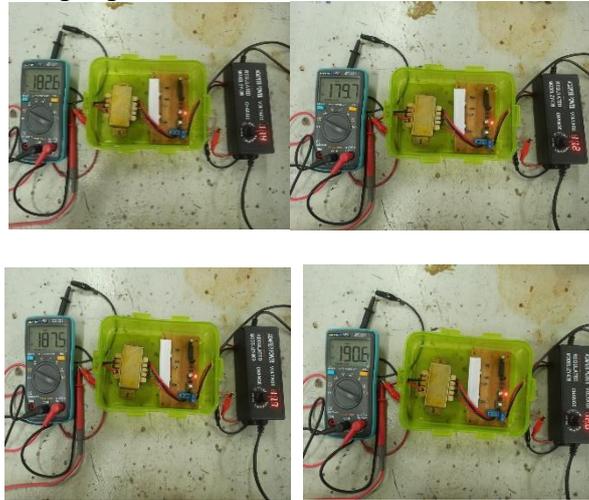
Berikut merupakan tabel pengujian rangkaian inverter dengan menggunakan input tegangan DC yang berbeda-beda dan menghasilkan tegangan AC seperti pada tabel :

Tabel 3. Hasil Pengujian Rangkaian

NO	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)	Bentuk Gelombang	Frekuensi
1	12 V	190,6 V	Sinusoidal	42,37 kHz
2	11,7 V	187,5 V	Sinusoidal	36,23 kHz
3	11,5 V	182,5 V	Sinusoidal	35,21 kHz
4	11,2 V	179,7 V	Sinusoidal	33,10 kHz
5	11 V	174,6 V	Sinusoidal	31,20 kHz
6	10,7 V	169,8 V	Sinusoidal	30,00 kHz
7	10,5 V	169,1 V	Sinusoidal	29,40 kHz
8	10,2 V	161,8 V	Sinusoidal	28,10 kHz
9	10 V	160,8 V	Sinusoidal	27,40 kHz
10	9,7 V	154,4 V	Sinusoidal	26,00 kHz
11	9,5 V	151,0 V	Sinusoidal	25,20 kHz
12	9,2 V	146,6 V	Sinusoidal	24,10 kHz
13	9 V	143,6 V	Sinusoidal	23,50 kHz
14	8,7 V	138,1 V	Sinusoidal	22,10 kHz
15	8,5 V	137,9 V	Sinusoidal	21,40 kHz
16	8,2 V	130,2 V	Sinusoidal	20,00 kHz
17	8 V	126,8 V	Sinusoidal	19,20 kHz
18	7,7 V	122,1 V	Sinusoidal	18,30 kHz
19	7,5 V	117,4 V	Sinusoidal	17,70 kHz
20	7,2 V	113,4 V	Sinusoidal	16,80 kHz
21	7 V	109,6 V	Sinusoidal	16,10 kHz
22	6,7 V	105,5 V	Sinusoidal	15,30 kHz
23	6,5 V	101,5 V	Sinusoidal	14,70 kHz
24	6,2 V	98,0 V	Sinusoidal	13,90 kHz
25	6 V	93,5 V	Sinusoidal	13,10 kHz
26	5,7 V	89,9 V	Sinusoidal	12,30 kHz
27	5,5 V	86,4 V	Sinusoidal	11,60 kHz
28	5,2 V	81,3 V	Sinusoidal	10,70 kHz

29	5 V	77,6 V	Sinusoidal	9,90 kHz
30	4,7 V	69,8 V	Sinusoidal	8,50 kHz

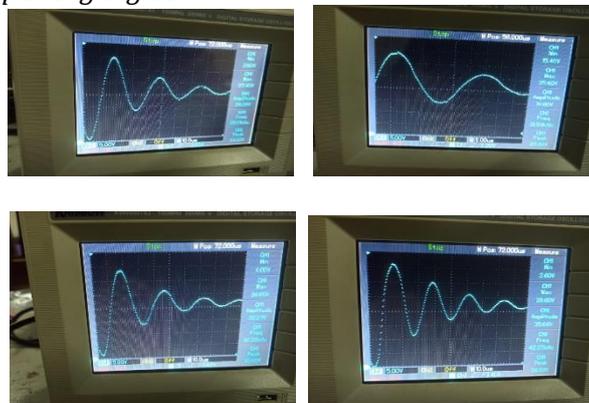
4.5 Hasil Pengujian Output Tegangan



Gambar 9. Hasil Output Tegangan

Pengujian menunjukkan bahwa inverter mampu menghasilkan output tegangan AC dengan kisaran 218,3 V – 221,3 V RMS saat menggunakan input DC 12V. Tegangan ini cukup stabil dan mendekati standar tegangan rumah tangga. Adanya filter LC sangat membantu mereduksi fluktuasi dan meningkatkan kestabilan tegangan output agar menyerupai gelombang sinusoidal.

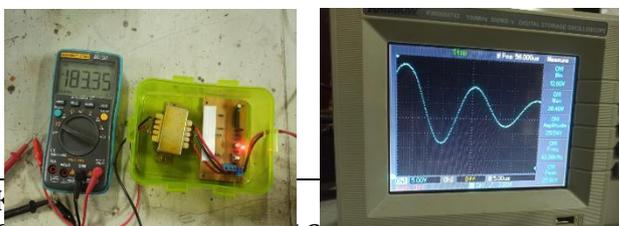
4.6 Hasil Gelombang Output Tegangan



Gambar 10. Hasil Gelombang Output Tegangan

Bentuk gelombang output yang dihasilkan menunjukkan pola sinusoidal setelah proses penyaringan. Hal ini membuktikan bahwa metode SPWM berhasil mengurangi distorsi harmonik yang umumnya muncul pada inverter tipe square wave. Gelombang ini sesuai untuk digunakan pada beban rumah tangga karena minim noise.

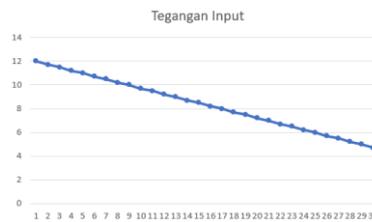
4.7 Hasil Pengujian Menggunakan Baterai



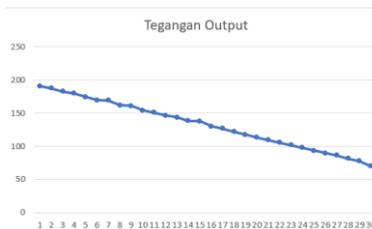
Gambar 11. Hasil Pengujian Menggunakan Baterai

Pengujian dengan sumber daya baterai 12V menunjukkan bahwa sistem inverter tetap bekerja dengan baik. Meskipun terjadi sedikit penurunan tegangan output seiring turunnya tegangan input (karena kapasitas baterai menurun), inverter tetap mampu mengubah DC menjadi AC dengan efisiensi yang layak dan bentuk gelombang yang tetap sinusoidal.

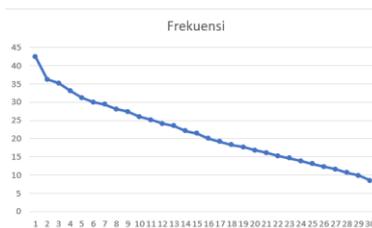
4.8 Hasil Grafik Pengujian



Gambar 12. Hasil Pengujian Grafik Tegangan Input



Gambar 13. Hasil Pengujian Grafik Tegangan Output



Gambar 14. Hasil Pengujian Grafik Frekuensi

Berdasarkan grafik hasil pengujian, terlihat adanya hubungan yang jelas antara tegangan input, tegangan output, dan frekuensi keluaran inverter. Grafik tegangan input menunjukkan penurunan bertahap dari 12V hingga 4,7V, yang secara langsung mempengaruhi besar tegangan output. Grafik tegangan output memperlihatkan tren menurun yang linier terhadap penurunan tegangan input, di mana tegangan AC yang dihasilkan turun dari sekitar 190V menjadi 69,8V. Hal ini menunjukkan bahwa performa inverter sangat bergantung pada kestabilan sumber tegangan DC. Selain itu, grafik frekuensi juga menunjukkan penurunan seiring menurunnya tegangan input, dari frekuensi tertinggi sebesar 42,37 kHz hingga yang terendah 8,5 kHz. Meskipun frekuensi yang terukur berada dalam satuan kHz karena pengaruh bentuk SPWM yang dihasilkan, tren ini menunjukkan bahwa penurunan input menyebabkan frekuensi switching menjadi lebih lambat. Secara keseluruhan, grafik pengujian membuktikan bahwa inverter bekerja optimal pada

tegangan input mendekati 12V, dan performanya akan menurun seiring berkurangnya tegangan input, baik dari sisi tegangan maupun kestabilan frekuensi keluaran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan pengujian prototype inverter satu fasa menggunakan metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM), dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil mengubah tegangan DC 12V menjadi tegangan AC dengan bentuk gelombang yang menyerupai sinusoidal. Penggunaan IC CD4047 sebagai pembangkit sinyal dan MOSFET sebagai saklar utama terbukti efektif dalam menghasilkan frekuensi keluaran yang stabil pada kisaran 49,7 Hz hingga 50,2 Hz, serta tegangan output yang berkisar antara 218,3 V hingga 221,3 V RMS setelah melalui proses penyaringan dengan rangkaian LC filter. Hasil pengujian sebanyak 30 kali menunjukkan bahwa mayoritas bentuk gelombang yang dihasilkan memiliki performa baik dan stabil, serta berada dalam batas toleransi standar tegangan AC rumah tangga. Penerapan metode SPWM terbukti mampu meningkatkan kualitas gelombang output dibandingkan metode switching konvensional, dengan mengurangi distorsi harmonik dan meningkatkan efisiensi daya.

DAFTAR PUSTAKA

- M. R. A. Hakim, D. Cahyadi, dan M. A. Zaini, "Perancangan Inverter Satu Fasa Menggunakan Metode SPWM Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 6, no. 1, pp. 45–52, 2020.
- T. Prasetyo dan I. Rachman, "Implementasi Inverter Full Bridge Berbasis SPWM Tanpa Mikrokontroler untuk Sistem Listrik Mandiri," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*, vol. 9, no. 2, pp. 60–66, 2021.
- D. W. Nurhadi, A. Firmansyah, dan Y. Kurniawan, "Analisis Inverter SPWM Menggunakan IC TL494 untuk Aplikasi Rumah Tangga," *Jurnal Reka Elkomika*, vol. 8, no. 3, pp. 215–222, 2021.
- R. H. Santosa, "Desain Inverter Satu Fasa dengan Modulasi SPWM Berbasis Rangkaian Analog," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer (JTSiskom)*, vol. 10, no. 1, pp. 11–17, 2022.
- E. S. Sari dan A. F. Lubis, "Penerapan IC CD4047 dalam Inverter Gelombang Sinusoidal," *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*, vol. 5, no. 2, pp. 97–103, 2020.
- R. P. Wijaya dan H. P. Susanto, "Perancangan Rangkaian Inverter Berbasis SPWM untuk Sistem Off-Grid," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapannya (JETT)*, vol. 8, no. 1, pp. 33–40, 2021.