

Desain Inverter Satu Fasa 12V DC ke 220V AC Menggunakan Rangkaian H-Bridge MOSFET

Andhika Giyantara, S.T., M.T.¹, Risky Susanto Tjiang², Subchan, Ph.D.³

¹ Teknik Elektro, Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: dhika@itk.ac.id

² Teknik Elektro, Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: 04141001@itk.ac.id

³ Matematika, Teknologi Informasi dan Matematika, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: subchan@itk.ac.id

Abstract

Inverter is an electronic circuit that convert electric voltage with direct current (DC) to alternating current (AC). One of the commonly used inverter configuration is H-Bridge circuit. Inverter with H-Bridge circuit does not need voltage-balanced diode or capacitor to operate and can be cascaded to obtain multilevel output voltage. H-Bridge circuit works by adjusting the combination of switches that were enabled. One of the commonly used switches is Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET). The advantages of MOSFET as switching components are its fast switching speed and it did not cause current tail. Therefore, the writing of this paper aims to design a 12V DC to 220V AC 50Hz single-phase inverter with H-Bridge MOSFET circuit. The design stage begins with determining the specifications of the inverter, creating a block diagram of the inverter, determining the required components, and calculating the required parameters of the inverter. The designed inverter is simulated using Proteus 8.4 software. Simulation results are in accordance with the desired specification.

Keywords: One phase inverter, H-Bridge MOSFET, Design

Abstrak

Inverter adalah suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengonversikan tegangan listrik dengan arus searah (DC) menjadi tegangan listrik dengan arus bolak-balik (AC). Salah satu konfigurasi inverter yang umum digunakan adalah konfigurasi dengan rangkaian H-Bridge. Keuntungan dari inverter dengan H-Bridge adalah tidak dibutuhkan adanya dioda atau kapasitor penyeimbang tegangan dan rangkaian H-Bridge dapat disusun secara bertingkat untuk mendapatkan tegangan keluaran bertingkat. Rangkaian H-Bridge bekerja dengan mengatur kombinasi sakelar yang diaktifkan. Salah satu komponen sakelar yang umum digunakan adalah Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET.) Keuntungan MOSFET sebagai komponen sakelar adalah pada kecepatan penyakelarnya yang cepat dan tidak menyebabkan munculnya current tail. Oleh karena itu, penulisan paper ini bertujuan untuk merancang inverter satu fasa 12V DC ke 220V AC 50Hz dengan rangkaian H-Bridge MOSFET. Tahap perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi rangkaian inverter, membuat diagram blok rangkaian inverter, menentukan komponen yang dibutuhkan, dan melakukan perhitungan parameter yang diperlukan. Rangkaian inverter disimulasikan dengan software Proteus 8.4. Hasil simulasi telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Kata Kunci: Inverter satu fasa, H-Bridge MOSFET, Perancangan

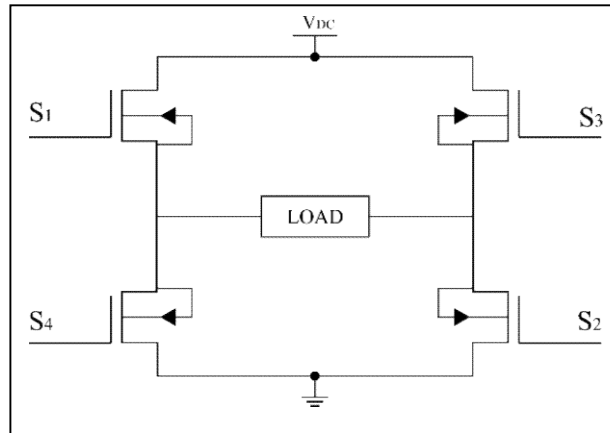
1. Pendahuluan

Inverter adalah rangkaian elektronik yang mengubah tegangan listrik dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Salah satu konfigurasi inverter yang umum digunakan adalah rangkaian H-Bridge. Inverter dengan rangkaian H-Bridge tidak membutuhkan dioda atau kapasitor penyeimbang tegangan dalam rangkaian dan dapat mengalir untuk mendapatkan tegangan keluaran bertingkat. Rangkaian H-Bridge bekerja dengan mengatur kombinasi sakelar yang diaktifkan. Salah satu sakelar yang umum digunakan adalah Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET). Keuntungan dari MOSFET sebagai komponen penyakelaran adalah kecepatan penyakelaran cepat dan tidak

menyebabkan gangguan arus ini. Berdasarkan keunggulan rangkaian H-Bridge dengan menggunakan sakelar MOSFET, makalah ini membahas tentang desain inverter satu fasa dengan rangkaian H-Bridge MOSFET. Inverter ini mengubah energi listrik dari 12V DC menjadi 220V AC dengan frekuensi 50Hz (Bernard, 2014).

1.1. Rangkaian H-Bridge MOSFET

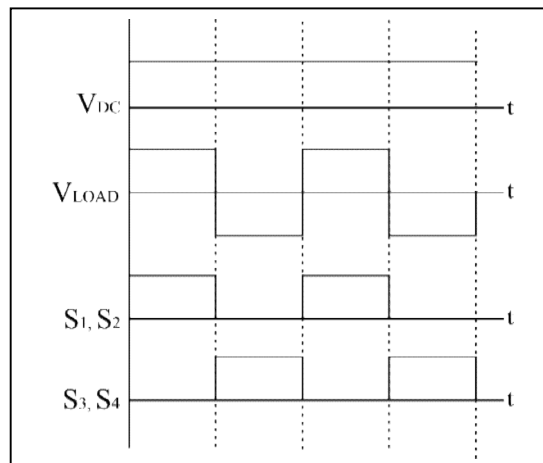
Rangkaian MOSFET H-Bridge adalah konfigurasi penyakelaran dari inverter yang terdiri dari empat sakelar, dalam hal ini adalah MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), dan disusun menyerupai huruf H, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan mengontrol sakelar yang aktif untuk periode waktu tertentu, tegangan yang ada pada beban dapat berupa positif atau negatif (Bernard, 2014).



Gambar 1: Rangkaian H-Bridge MOSFET

Sumber: Penulis, 2018

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, H-Bridge MOSFET bekerja dengan mengatur sakelar yang aktif selama periode waktu tertentu. Dari Gambar 1, ketika S1 dan S2 diaktifkan, nilai tegangan pada beban bernilai positif. Sedangkan, ketika S3 dan S4 diaktifkan, tegangan pada beban bernilai negatif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pergantian antara empat sakelar menyebabkan inverter dapat menghasilkan tegangan AC dari sumber tegangan DC (Meghashree, 2016).

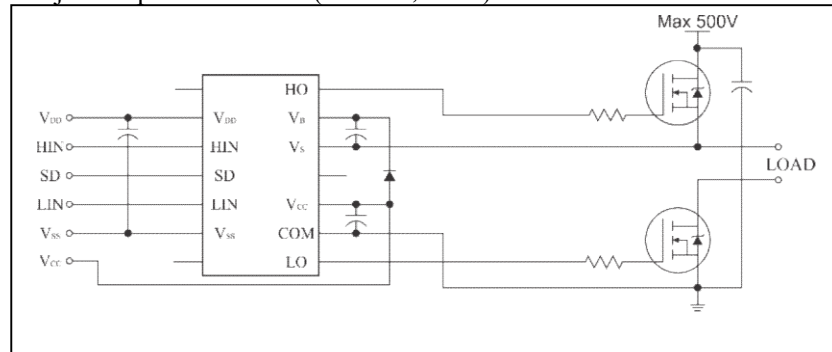


Gambar 2: Gelombang Tegangan pada Inverter H-Bridge MOSFET

Sumber: Penulis, 2018

1.2. Rangkaian Penggerak MOSFET

MOSFET sebagai komponen penyakelaran hanya dapat dioperasikan menggunakan rangkaian penggerak. Rangkaian penggerak MOSFET terdiri dari penggerak MOSFET *Integrated Circuit* (IC) yang dilengkapi dengan kapasitor dan dioda yang disebut kapasitor *bootstrap* dan dioda *bootstrap*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (Bernard, 2014).



Gambar 3: Rangkaian Penggerak Inverter H-Bridge MOSFET

Sumber: Bernard, 2014

Rangkaian penggerak MOSFET bekerja pada dua kondisi, yaitu sisi rendah dan sisi tinggi. Pada kondisi sisi rendah, sakelar sisi bawah diaktifkan. Pada saat yang sama, kapasitor *bootstrap* dibebankan melalui dioda *bootstrap* dari sumber DC (V_{CC}). Pada kondisi sisi yang tinggi, kapasitor *bootstrap* akan dilepas dan memberikan tegangan ke V_{BS} . Dioda *bootstrap* akan memastikan bahwa tidak ada arus dan tegangan mengalir ke V_{CC} dan menyebabkan hubung singkat di rangkaian penggerak. Tegangan pada V_{BS} mengaktifkan sakelar sisi tinggi. Rangkaian penggerak akan bekerja pada sisi rendah dan kondisi sisi tinggi secara bergantian sesuai dengan sinyal penyakelaran yang diberikan (Fairchild, 2014).

1.2.1. Kapasitor Bootstrap (Bernard, 2014)

Untuk menjelaskan nilai *magnitude* dari kapasitor *bootstrap*, persamaan 1 dapat digunakan.

$$C \geq \frac{2 \left[2Q_g + \frac{I_{qbs(max)}}{f_s} + Q_{is} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f_s} \right]}{V_{dc} - V_f - V_{LS} - V_{min}} \quad (1)$$

Dimana:

C adalah nilai kapasitansi minimal dari kapasitor *bootstrap* (F)

Q_g adalah gerbang pengisian pada sisi tinggi MOSFET (C)

f_s adalah frekuensi penyakelaran (Hz)

$I_{Cbs(leak)}$ adalah arus bocor pada kapasitor *bootstrap* (A)

$I_{qbs(max)}$ adalah arus tanpa beban saat V_{BS} maksimum (A)

Q_{is} adalah nilai tingkat pergeseran pada setiap siklus (C)

V_{dc} adalah sumber tegangan DC (V)

V_f adalah tegangan *drop forward* pada dioda *bootstrap* (V)

V_{LS} adalah tegangan *drop* pada sisi rendah MOSFET atau beban (V)

V_{min} adalah tegangan minimum antara V_B dan V_S (V)

Kapasitansi yang diperoleh dengan persamaan 1 di atas adalah kapasitansi minimum yang diperlukan. Namun, nilai kapasitansi rendah dapat menyebabkan pengisian yang berlebihan pada kapasitor *bootstrap* yang dapat merusak IC penggerak MOSFET. Untuk menghindari hal ini, kapasitansi yang diperoleh dikalikan dengan faktor 15.

1.2.2. Dioda Bootstrap (Bernard, 2014)

Untuk menentukan jenis dioda yang digunakan, nilai arus dioda ini diperlukan. Besarnya arus *rating* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$I_{diode(rating)} \geq Q_g \times f_s \quad (2)$$

Dimana:

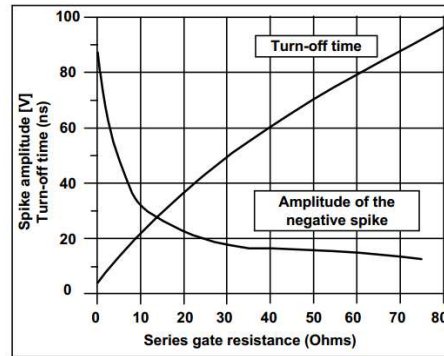
$I_{diode(max)}$ adalah arus maksimum pada dioda bootstrap (A)

1.2.3. Gerbang Resistor (Bernard, 2014)

Ketika MOSFET dioperasikan langsung dari rangkaian penggerak MOSFET dapat menyebabkan penyakelaran berkecepatan tinggi yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi masalah ini, gerbang resistor diatur secara seri dengan keluaran rangkaian penggerak MOSFET. Untuk menentukan besarnya gerbang resistor dapat dilakukan berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin besar nilai gerbang resistor, semakin berkurang nilai amplitudo pada tegangan lonjakan negatif, sementara waktu turn-off dari MOSFET akan naik secara linear.

1.3. Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) adalah teknik yang menggunakan variasi gelombang sinusoidal dengan siklus (d) pada interval penyakelaran (T_s) dan dapat menyebabkan pergeseran harmonisa ke daerah frekuensi yang lebih tinggi. Inverter dengan menggunakan teknik SPWM dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu jembatan analog inverter SPWM dan jembatan digital inverter SPWM (Santos, 2015).

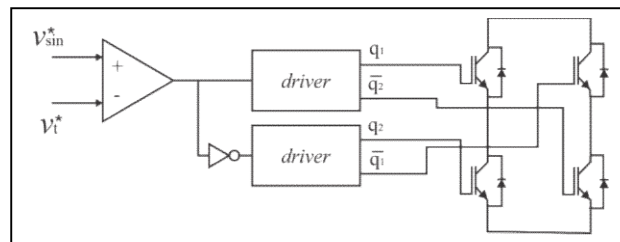


Gambar 4: Kurva Perbandingan antara Gerbang Tahanan, Amplitudo Tegangan Lonjakan Negatif dan Waktu On-OFF MOSFET

Sumber: Bernard, 2014

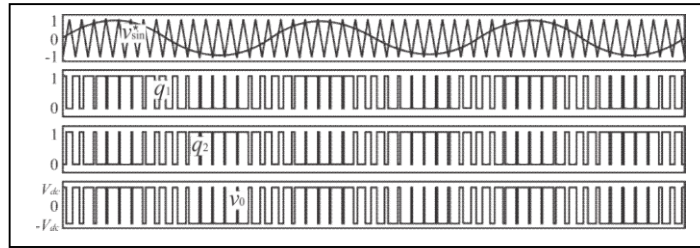
1.3.1. Jembatan Analog Inverter SPWM

Pada jembatan analog inverter SPWM, sinyal SPWM dihasilkan dengan membandingkan dua sinyal referensi, yaitu sinyal modulasi dalam bentuk gelombang sinusoidal dan sinyal pembawa dalam bentuk gelombang segitiga, menggunakan perbandingan. Rangkaian untuk jembatan analog inverter SPWM ditunjukkan pada Gambar 5 dan bentuk gelombang tegangan keluaran inverter ditunjukkan pada Gambar 6 (Santos, 2015).



Gambar 5: Rangkaian Jembatan Analog Inverter SPWM

Sumber: Santos, 2015



Gambar 6: Gelombang Tegangan Keluaran Jembatan Analog Inverter SPWM

Sumber: Santos, 2015

Pada Gambar 5 dan 6, ada dua sinyal SPWM yang dihasilkan dari komparator, yaitu q_1 dan q_2 . Sinyal ini diperlukan karena ketika q_2 memiliki bentuk gelombang yang sama dengan q_1 , maka saklar q_1 dan q_2 diaktifkan pada saat yang sama dan menyebabkan hubung singkat dalam inverter. Untuk mencegahnya, bentuk gelombang q_2 harus ditetapkan sebagai kebalikan dari gelombang q_1 menggunakan logika NOT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar 6, tegangan output inverter memiliki bentuk gelombang yang sama dengan q_1 dengan amplitudo puncak ke puncak $2V_{dc}$.

Pada jembatan analog di inverter SPWM, frekuensi sinyal modulasi ditentukan berdasarkan frekuensi keluaran yang diinginkan. Jika frekuensi keluaran yang diinginkan adalah 50Hz, frekuensi sinyal modulasi diatur ke nilai yang sama dengan frekuensi keluaran yang diinginkan, yaitu 50Hz. Frekuensi sinyal pembawa ditentukan oleh frekuensi maksimum penyaklaran dari komponen saklar yang digunakan dalam inverter. Semakin besar frekuensi sinyal pembawa, semakin halus gelombang tegangan keluaran. Namun, frekuensi yang lebih besar dapat menyebabkan peningkatan suhu operasi saklar yang akan menyebabkan penurunan nilai tegangan pada keluaran inverter. Jadi memilih frekuensi yang tepat dari sinyal pembawa menjadi salah satu faktor penting dalam merancang sebuah inverter (Bernard, 2014).

1.3.2. Jembatan Digital Inverter SPWM

Jembatan digital inverter SPWM juga dikenal sebagai inverter berbasis mikrokontroler karena menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan sinyal SPWM secara digital. Inverter jenis ini menyederhanakan rangkaian yang ada di jembatan analog inverter SPWM dengan mengganti sinyal modulasi generator, sinyal pembawa generator, dan pembanding menggunakan mikrokontroler. Sinyal SPWM yang dihasilkan dari jembatan digital inverter SPWM memiliki karakteristik yang sama dengan sinyal SPWM dari jembatan analog inverter SPWM. Amplitudo sinyal SPWM yang dihasilkan akan memiliki besaran yang sama dengan tegangan operasi mikrokontroler yang digunakan (Bernard, 2014).

1.4. Transformer

Transformer adalah komponen pasif yang mengubah amplitudo tegangan *alternating current* (AC) pada kumparan primer transformer menjadi lebih besar atau lebih kecil dari kumparan sekunder. Nilai tegangan dan arus sekunder dari transformer bergantung pada ratio antara jumlah lilitan kumparan primer dan sekunder. Perbandingan antara lilitan kumparan primer dan sekunder ditunjukkan dalam persamaan 3 (Fadhli, 2010).

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = a \quad (3)$$

Dimana:

- N_p adalah jumlah lilitan kumparan primer (lilitan)
- N_s adalah jumlah lilitan kumparan sekunder (lilitan)
- V_p adalah tegangan primer transformer (V)
- V_s adalah tegangan sekunder transformer (V)
- I_p adalah arus primer transformer (A)
- I_s adalah arus sekunder transformer (A)
- a adalah ratio perbandingan transformer

1.5. Low Pass Filter (LPF)

Low Pass Filter (LPF) adalah rangkaian filter sinyal dimana sinyal dengan frekuensi dibawah frekuensi *cut-off* dapat melewati dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off*. LPF adalah filter pasif yang menggunakan komponen seperti resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C) (Panggabean, 2017).

Salah satu rangkaian LPF yang paling umum yaitu filter LC. Filter LC adalah filter LPF yang menggunakan induktor (L) dan kapasitor (C) yang dipasang secara paralel, seperti pada Gambar 7. Frekuensi *cut-off* dari filter LC dapat diperoleh menggunakan persamaan 4.

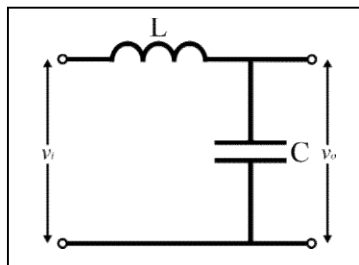
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Dimana:

f_c adalah frekuensi *cut-off* (Hz)

L adalah induktansi dari induktor (H)

C adalah kapasitansi dari kapasitor (F)



Gambar 7: Filter LC

Sumber: Penulis, 2018

2. Metode

Tahap desain dimulai dengan menentukan spesifikasi inverter satu fasa, membuat diagram blok inverter, menentukan komponen yang diperlukan, dan menghitung parameter yang diperlukan. Setelah semua parameter yang diperlukan telah ditentukan, inverter satu fasa akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Proteus 8.4. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan nilai ideal yang ditentukan dalam spesifikasi inverter.

2.1. Spesifikasi Inverter Satu Fasa

Spesifikasi yang ditentukan untuk inverter satu fasa ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi inverter satu fasa yang didesain

Spesifikasi	Kondisi
Konstruksi	H-Bridge MOSFET
Tegangan Masukan	12V DC
Tegangan Keluaran	220V AC
Frekuensi Keluaran	50Hz
Sinyal Keluaran	Sinyal Sinusoidal
Frekuensi Modulasi	50Hz
Frekuensi Penyaklaran	10,050Hz

Sumber: Penulis, 2018

Konstruksi MOSFET H-Bridge digunakan dalam inverter karena konfigurasi ini tidak memerlukan dioda atau kapasitor penyeimbang tegangan, berdasarkan bagian 1, sehingga rangkaian inverter disederhanakan. Tegangan masukan yang digunakan adalah 12V DC. Hal ini karena tegangan masukan ini merupakan tegangan yang umum digunakan dalam perangkat listrik. Tegangan keluaran 220V AC

Desain Inverter Satu Fasa 12V DC ke 220V AC Menggunakan Rangkaian H-Bridge MOSFET

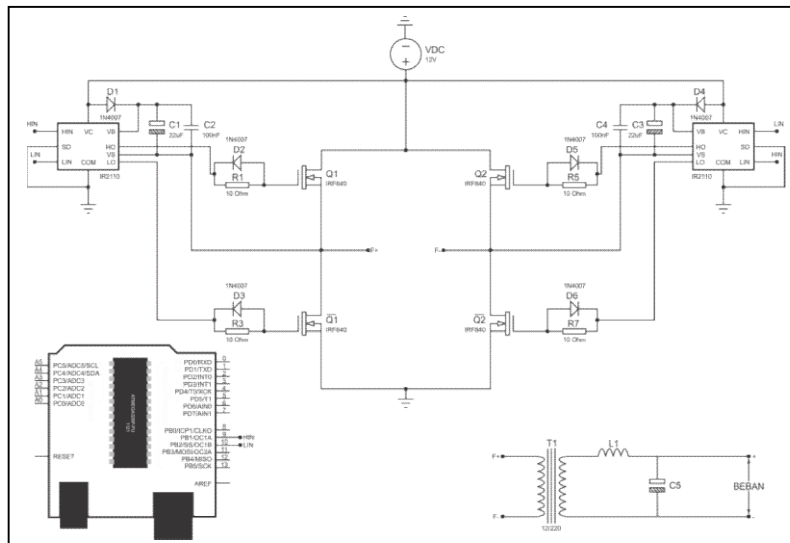
dengan gelombang sinus dan frekuensi 50Hz dipilih karena merupakan tegangan standar yang digunakan di Indonesia. Frekuensi modulasi yang digunakan adalah 50Hz untuk menyesuaikan frekuensi keluaran berdasarkan sub-bagian 1.3.1. Frekuensi penyaklaran 10,050Hz dipilih juga berdasarkan sub-bagian 1.3.1 untuk menghindari penurunan tegangan besar pada tegangan keluaran inverter .

2.2. Diagram Blok Inverter Satu Fasa

Diagram blok dari inverter satu fasa diperlihatkan pada Gambar 8. Inverter menggunakan sumber tegangan 12V DC yang disesuaikan dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Sumber tegangan DC menjadi sumber energi untuk menjalankan Arduino UNO sebagai pembangkit sinyal SPWM, penggerak MOSFET untuk menjalankan penyaklaran pada H-Bridge MOSFET, dan sebagai masukan ke H-Bridge MOSFET. Sinyal SPWM dihasilkan oleh Arduino UNO yang digunakan untuk mengendalikan saklar pada H-Bridge MOSFET melalui penggerak MOSFET. Rangkaian H-Bridge MOSFET mengubah tegangan 12V DC menjadi tegangan 12V AC. Tegangan AC yang dihasilkan dari H-Bridge MOSFET dinaikkan menjadi 220V AC menggunakan transformer. Selanjutnya, keluaran transformer difilter dengan menggunakan *low pass filter* (LPF), sehingga sinyal tegangan keluaran inverter mempunyai sinyal yang mendekati sinusoidal yang dihubungkan ke beban.

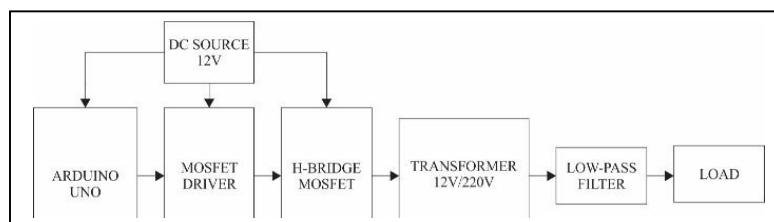
2.3. Penentuan Komponen Penyaklaran Inverter

MOSFET IRF840 dipilih sebagai komponen penyaklaran untuk H-Bridge MOSFET karena memiliki tegangan gangguan maksimum 500V dan frekuensi penyaklaran maksimum 1MHz, yang didasarkan pada *datasheet* MOSFET IRF840. Tegangan gangguan maksimum 500V dianggap sesuai karena H-Bridge MOSFET hanya mengubah tegangan dari 12V DC menjadi 12V AC, berdasarkan sub-bagian 2.2. Penyaklaran maksimum sebesar 1MHz juga sesuai karena frekuensi penyaklaran yang digunakan dalam inverter hanya 10,05 kHz, berdasarkan sub-bagian 2.1.



Gambar 9: Desain Rangkaian Inverter Satu Fasa Menggunakan H-Bridge MOSFET

Sumber: Penulis, 2018



Gambar 8: Diagram Blok Inverter Satu Fasa

Sumber: Penulis, 2018

2.4. Penentuan Parameter Penggerak MOSFET

Parameter yang perlu ditentukan dalam driver MOSFET adalah kapasitansi dari kapasitor *bootstrap*, rating arus dioda *bootstrap*, dan resistansi dari gerbang resistor. Parameter ini digunakan untuk menentukan komponen yang diperlukan untuk penggerak MOSFET. Untuk memperoleh nilai kapasitansi dari kapasitor *bootstrap*, maka dapat digunakan persamaan 1. Parameter yang diperlukan untuk menghitung nilai kapasitansi dari kapasitor *bootstrap* dapat diperoleh baik dari *datasheet* MOSFET atau *datasheet* IC penggerak MOSFET.

$$C \geq \frac{2 \left[2 \times 63 \times 10^{-9} + \frac{230 \times 10^{-6}}{10,050} + 5 \times 10^{-9} + \frac{250 \times 10^{-6}}{10,050} \right]}{12 - 0.4 - 1.2 - 10} = 0.894 \mu F \quad (5)$$

Pada sub-bagian 1.2.1, kapasitansi yang diperoleh dalam persamaan 5 perlu dikalikan dengan faktor 15. Karenanya, kapasitansi minimum untuk kapasitor *bootstrap* menjadi $0,894 \times 15 = 13,41 \mu F$. Karena kapasitor dengan kapasitansi $13.41 \mu F$ tidak tersedia di pasaran, nilai kapasitansi dari kapasitor *bootstrap* dinaikkan ke nilai kapasitansi terdekat yang tersedia, yaitu $22 \mu F$.

Untuk mendapatkan arus rating dari kapasitor *bootstrap*, dapat digunakan persamaan 2.

$$I_{diode(rating)} \geq 63 \times 10^{-9} \times 10,050 = 0.633 mA \quad (6)$$

Berdasarkan nilai arus yang diperoleh dalam persamaan 6, dioda *bootstrap* yang digunakan adalah 1N4007, karena berdasarkan *datasheet*-nya, dioda 1N4007 memiliki nilai arus rata-rata 1A, yang lebih dari nilai yang diperlukan dalam persamaan 6, dan memiliki tegangan maksimum 1000V.

Untuk menentukan nilai resistansi dari gerbang resistor, berdasarkan sub-bagian 1.2.3, kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4 digunakan. Untuk menghindari lonjakan amplitudo negatif yang tinggi dengan waktu mati yang cukup, resistansi pada gerbang 10Ω dipilih, sehingga dapat menghasilkan tegangan lonjakan negatif sekitar 35V dan waktu mati sekitar 20ns.

2.5. Desain Simulasi Inverter

Simulasi dilakukan menggunakan *software* Proteus 8.4. Skema dari inverter satu fasa yang dirancang berdasarkan analisis pada sub-bagian 2.1-2.4 ditunjukkan pada Gambar 9. Simulasi kemudian dibuat berdasarkan skema yang ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Proteus 8.4 kemudian dibandingkan dengan nilai idealnya berdasarkan dari spesifikasi inverter.

3. Hasil dan diskusi

Proses simulasi dengan *software* Proteus 8.4 dilakukan dalam beberapa tahap. Simulasi dimulai dengan mensimulasikan sinyal pembangkit SPWM, diikuti oleh H-Bridge MOSFET, dan LPF. Sebagaimana dijelaskan dalam sub-bagian 2.5, hasil simulasi dibandingkan dengan nilai idealnya berdasarkan dari spesifikasi inverter. Hasil perbandingan digunakan untuk menarik kesimpulan.

3.1. Simulasi Sinyal Pembangkit SPWM

Berdasarkan sub-bab 1.3.2, jembatan digital inverter SPWM menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan sinyal SPWM, dalam kasus ini digunakan Arduino UNO. Parameter yang dijelaskan pada sub-bab 2.1 digunakan untuk menghasilkan sinyal SPWM, dimana frekuensi sinyal modulasi yang digunakan adalah 50Hz dan frekuensi sinyal pembawa sebesar 10.05kHz. Pada Gambar 10 diperlihatkan sinyal SPWM yang dihubungkan ke saklar Q_1 dan saklar $\overline{Q_2}$ atau dapat dilihat sebagai nilai yang tinggi pada inverter. Pada Gambar 11 diperlihatkan sinyal SPWM yang dihubungkan ke saklar Q_2 dan saklar $\overline{Q_1}$ atau dapat dilihat sebagai nilai yang rendah pada inverter. Sinyal SPWM yang dihasilkan digunakan untuk menjalankan saklar pada H-Bridge MOSFET yang ada di penggerak MOSFET. Seperti yang dijelaskan pada sub-bab 1.3.2, amplitudo dari sinyal SPWM yang dihasilkan memiliki nilai magnitude yang sama dengan tegangan yang bekerja di Arduino UNO, yaitu 5V.

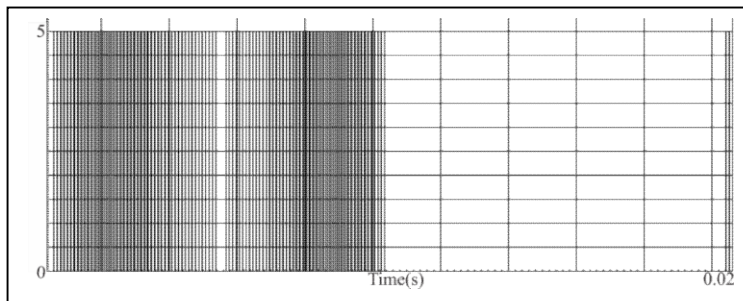
3.2. Simulasi H-Bridge MOSFET

Seperti yang dijelaskan pada sub-bab 3.1, sinyal SPWM yang dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 10 dan 11 yang digunakan untuk menjalankan saklar pada H-Bridge MOSFET. Pada Gambar 12 diperlihatkan hasil keluaran berupa tegangan pada H-Bridge MOSFET. Berdasarkan sub-bab 1.3.1, sinyal keluaran tegangan harus memiliki bentuk sinyal yang sama dengan sinyal SPWM dimana memiliki nilai amplitudo puncak ke puncak sebesar $2V_{DC}$. Sinyal keluaran tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 12 sedikit berbeda dengan bentuk sinyal SPWM yang diperlihatkan pada Gambar 10. Perbedaan ini terjadi karena delay waktu kondisi penyaklaran dari nyala ke mati maupun sebaliknya yang terjadi secara kontinyu pada MOSFET yang digunakan.

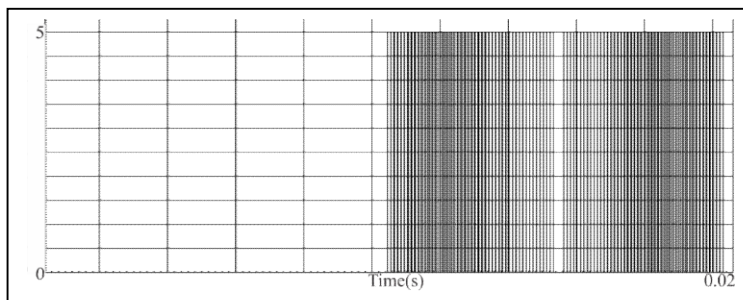
Berdasarkan spesifikasi pada sub-bab 3.1, sumber tegangan DC yang digunakan sebesar 12V DC. Jadi, nilai amplitudo yang diperlukan sebesar $2 \times 12 = 24V$. Tegangan keluaran dari H-Bridge MOSFET berhubungan dengan hasil yang diinginkan karena penggunaan amplitudo puncak ke puncak sebesar 24V sama dengan nilai yang diperhitungkan.

3.3. Simulasi Low Pass Filter (LPF)

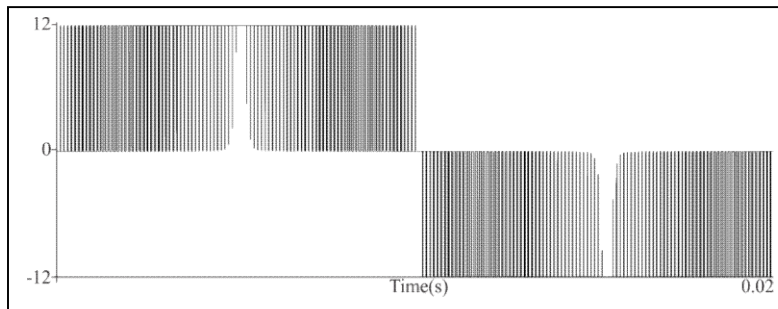
Tegangan keluaran dari H-Bridge MOSFET yang diperlihatkan pada Gambar 12 merupakan masukan untuk transformer. Transformer menaikkan nilai amplitudo tegangan dari 12V menjadi 220V AC. Tegangan keluaran dari transformer di filter menggunakan filter LC, yang merupakan salah satu jenis LPF, sehingga sinyal tegangan keluaran mendekati bentuk sinyal sinusoidal. Desain dari rangkaian LPF yang digunakan menggunakan metode *trial and error*. Proses *trial and error* ini menghasilkan nilai inductor 1mH dan perubahan nilai kapasitor dari $1\mu F$ - $22\mu F$. Tabel 2 memperlihatkan hasil simulasi dari filter LC dengan inductor 1mH dan berbagai jenis kapasitor, sedangkan Gambar 13 memperlihatkan sinyal tegangan keluaran dari berbagai jenis kapasitor.



Gambar 10: Sinyal SPWM yang dihasilkan dengan Arduino UNO pada posisi tinggi dari Inverter
 Sumber: Penulis, 2018



Gambar 11: Sinyal SPWM yang dihasilkan dengan Arduino UNO pada posisi rendah dari Inverter
 Sumber: Penulis, 2018



Gambar 12: Tegangan Keluaran dari H-Bridge MOSFET

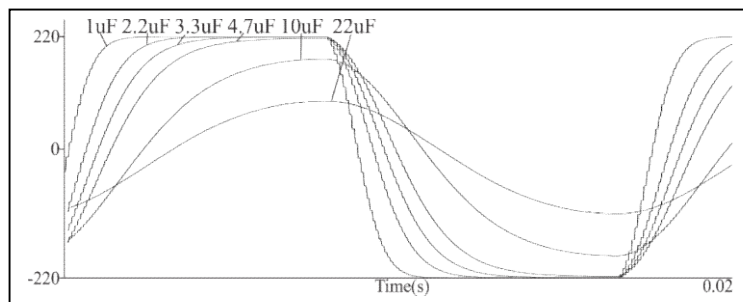
Sumber: Penulis, 2018

Tabel 2: Hasil Simulasi dari Filter LC Filter dengan induktor 1mH dan berbagai kapasitor

L	C	f_c	$V_{\text{keluaran(puncak)}}$
1mH	1 μ F	5,033Hz	220V
	2.2 μ F	3,394Hz	220V
	3.3 μ F	2,771Hz	220V
	4.7 μ F	2,322Hz	217V
	10 μ F	1,592Hz	179V
	22 μ F	1,073Hz	103V

Sumber: Penulis, 2018

Frekuensi *cut-off* (f_c) dari Tabel 2 dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 4. Pada Tabel 2 diperlihatkan semakin besar nilai kapasitor yang digunakan maka frekuensi *cut-off* yang digunakan menjadi semakin kecil. Semakin kecil nilai frekuensi *cut-off* maka nilai tegangan keluaran yang dipotong juga menjadi semakin kecil. Pada Gambar 13 memperlihatkan semakin besar nilai tegangan yang digunakan maka sinyal tegangan keluaran semakin mendekati bentuk sinyal sinusoidal. Hasil dari simulasi di atas memperlihatkan nilai kapasitor yang paling optimal yaitu 3.3 μ F karena tegangan keluaran puncak adalah 220V dimana sesuai dengan spesifikasi sistem yang diinginkan dan sinyal tegangan keluaran mendekati sinyal sinusoidal.

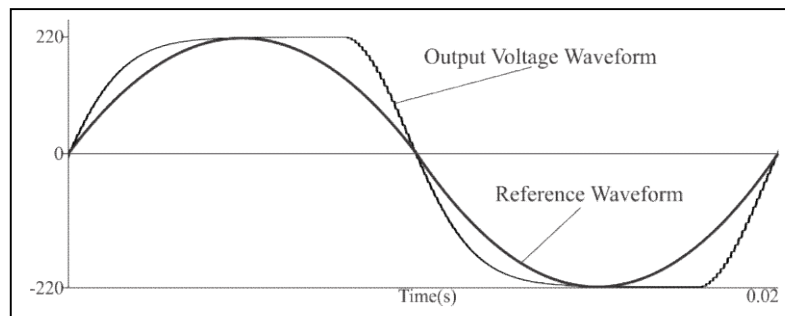


Gambar 13: Sinyal Tegangan Keluaran dari Filter LC menggunakan 1mH dan berbagai Kapasitor

Sumber: Penulis, 2018

3.4. Analisis Tegangan Keluaran Inverter

Berdasarkan sub-bab 3.3, sinyal tegangan keluaran dari inverter yang didesain diperlihatkan pada Gambar 14. Pada Gambar 14 diperlihatkan tegangan keluaran dari inverter mempunyai amplitudo yang sama dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu sebesar 220V AV dan frekuensinya juga sama dengan spesifikasi yang diinginkan sebesar 50Hz. Tegangan keluaran dari inverter mempunyai sinyal yang mendekati sinyal referensinya, yaitu sinyal sinusoidal. Berdasarkan analisis tersebut, maka inverter satu fasa yang didesain menggunakan rangkaian H-bridge MOSFET memiliki hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang disusun pada sub-bab 3.1.



Gambar14: Sinyal Tegangan Keluaran dari Inverter Satu Fasa dengan Rangkaian H-Bridge MOSFET

Sumber: Penulis, 2018

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil desain inverter satu fasa dengan rangkaian H-Bridge MOSFET maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. The design of single phase inverter was carried out through determining the specification of the inverter step, the making of block diagram step, determining the appropriate switches, calculating the parameters for the MOSFET driver, and creating the circuit schematic.
2. The design of single phase inverter with H-Bridge MOSFET circuit using 12V DC voltage source, 50Hz modulation signal frequency, and 10.05kHz carrier signal frequency produces output voltage in accordance to the specifications that have been made, which were the amplitude of 220V AC with 50Hz frequency and have the waveform close to the waveform of sine wave.
3. More researches were needed, especially in developing the H-Bridge MOSFET circuit into cascaded H-Bridge MOSFET to increase the level of output voltage and produce a waveform closer to the waveform of sine wave.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin berterima kasih kepada orang tua atas dorongan semangat, serta rekan-rekan di Teknik Elektro Institut Teknologi Kalimantan untuk dukungannya. Selain itu, penulis juga ingin berterima kasih untuk semua pihak dalam penyelesaian jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Bernard, M. J. (2014) 'Microcontroller Based Power Inverter', *Project Report*, F17/28234/2009.
- Meghashree, G. N., Meghana, S., Charishma, C., and Swetha, A. (2016), 'Low Cost Inverter Using H-Bridge to Convert Solar Energy', *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 4.
- Fairchild. (2014), *Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High-Voltage Gate-Drive IC*, USA: ON Semiconductor.
- Santos, E.C. and Silva, E.R.C. (2015), *Advanced Power Electronics Converters PWM Converters Processing AC Voltages*, Canada: IEEE Press.
- Fadhli, M. R. (2010), *Rancang Bangun Inverter 12V DC ke 220V AC dengan Frekwensi 50Hz dan Gelombang Keluaran Sinusoidal*, Indonesia: Universitas Indonesia.
- Panggabean, S., Setyawan, F.X.A., and Alam, S. (2017), 'Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Width Modulation)', *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Vol. 11, No. 2.