

Rancang Bangun *Inverter* Satu Fasa Menggunakan Teknik *High Voltage PWM (Pulse Width Modulation)*

Subastian Yusuf Panggabean¹, F.X. Arinto Setyawan², Syaiful Alam³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

¹subastian.y@gmail.com

²fx.arinto@eng.unila.ac.id

³syaiful.alam@eng.unila.ac.id

Intisari---Inverter adalah suatu peralatan elektronik yang digunakan untuk menghasilkan keluaran tegangan arus bolak-balik dengan masukan tegangan arus searah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah rancang bangun inverter yang memiliki gelombang keluaran sinusoidal dengan frekuensi 50Hz dan juga untuk mengetahui hasil implementasi PWM dengan switching tegangan tinggi. PWM dihasilkan oleh proses pencuplikan natural dengan membandingkan sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga.

Rancangan sistem terdiri atas beberapa blok rangkaian yaitu DC-DC *booster*, Osilator PWM, *Gate Driver*, *Full-Bridge Inverter*, dan *Low Pass Filter*. Pada proses perancangan ini, terdapat dua keberhasilan yang diharapkan yaitu, keberhasilan pengujian setiap blok dan keberhasilan sistem.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem inverter ini untuk frekuensi modulasi 3.3KHz hanya mampu mengubah 12 VDC menjadi tegangan 42VDC yang kemudian dikonversi menjadi 20VAC / 50Hz gelombang sinus. Hasil lain dari penelitian ini adalah sulit menerapkan PWM dengan pensaklaran tegangan tinggi pada frekuensi modulasi yang rendah.

Kata kunci--- inverter gelombang sinus, pencuplikan natural, PWM tegangan tinggi

Abstract--- An inverter is an electronic device that is used to generate a voltage output of an alternating current from a direct current voltage input. This research aims to make an inverter design which has a sinusoidal output waveform with a frequency of 50Hz and also to find out the implementation result of the PWM on a high voltage switching. PWM is generated by the process of natural sampling by comparing a sinusoidal signal with a triangular signal.

The system design consists of several circuit blocks are a DC-DC booster, the PWM oscillator, Gate Drivers, Full-Bridge Inverter and Low Pass Filter. In this design process, there are two the expected success, namely, the success of a testing of an each block and the success of the system. These research results indicate that this inverter system for the 3.3kHz modulation frequencies only able to transform a 12 VDC into a 42VDC voltage which is then to convert become a 20VAC/50Hz sine wave. Another result of this research is difficult to apply a PWM with a switching of high-voltage at a low modulation frequency.

Keywords---sine wave inverters, natural sampling, high voltage PWM

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sinar matahari pada saat ini menjadi pilihan utama sebagai sumber energi alternatif. Hal ini disebabkan karena ketersediaannya yang cukup banyak dan

mudah dalam pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik. Energi yang diperoleh dari cahaya matahari diserap menggunakan panel surya yang kemudian tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan pada baterai penyimpanan.

Panel surya merupakan elemen yang mengubah berkas-berkas cahaya matahari menjadi energi listrik searah yang dapat disimpan menggunakan baterai. Baterai yang digunakan pada umumnya adalah aki 12V DC. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat yang dapat mengubah sumber listrik searah dari baterai 12V DC menjadi 220V AC untuk digunakan pada peralatan-peralatan elektronik, yang dikenal dengan inverter.

Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya, inverter dibedakan menjadi inverter gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinus modifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang sinus murni (*pure sine wave*). Inverter yang paling banyak digunakan adalah inverter dengan gelombang keluaran sinus modifikasi. Alasan utama adalah karena lebih murah dan mudah dalam proses pembuatannya. Kekurangan inverter ini adalah tidak dapat digunakan pada beban induktif.

B. Tujuan Penelitian

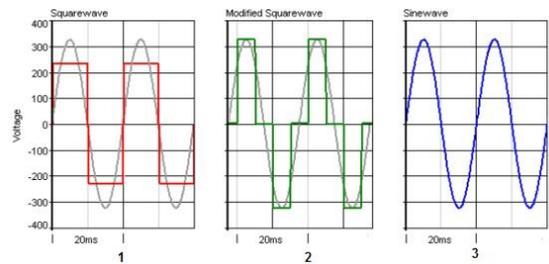
Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah *inverter* yang dapat mengubah sumber tegangan 12V DC menjadi tegangan 220V AC 50Hz dengan keluaran gelombang sinusoidal untuk penggunaan pada peralatan elektronik skala rumah tangga

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Inverter

Inverter banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, contohnya digunakan dalam sebuah kondisi yang hanya tersedia dalam sebuah kondisi yang hanya tersedia arus DC rendah seperti yang dihasilkan oleh baterai (Accu) atau panel surya dan yang dibutuhkan adalah keluaran arus AC [1]. Inverter dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk gelombang keluarannya, diperlihatkan pada Gbr 1.

1. *Squarewave*
2. *Modified Squarewave*
3. *Pure Sinewave*



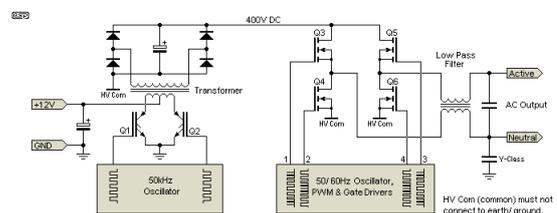
Gbr. 1 Bentuk gelombang keluaran inverter, 50Hz, 230 VRMS [1]

Inverter dapat juga diklasifikasikan berdasarkan konfigurasi rangkaiannya yaitu:

1. *Push-pull inverter*
2. *Full-bridge converter*
3. Kombinasi *Push-pull* dan *Full-bridge Inverter*

B. PWM Tegangan Tinggi

Switchmode boost power supply digunakan untuk menaikkan tegangan puncak keluaran. Agar rangkaian lebih kecil, ringan, dan efisien maka digunakan Transformator frekuensi tinggi berinti ferit [1]. Rangkaian PWM tegangan tinggi diperlihatkan pada Gbr 2.



Gbr. 2 konfigurasi rangkaian *High Voltage PWM* [1]

C. Osilator Sinyal Sinus dan Segitiga

Osilator merupakan rangkaian elektronik untuk menghasilkan sinyal keluaran tanpa adanya sinyal masukan. Osilator menghasilkan gelombang yang periodik hanya dengan masukan berupa tegangan DC. Keluaran osilator dapat berupa sinusoidal dan nonsinusoidal tergantung pada tipe dari osilator. Beberapa tipe keluaran osilator yaitu gelombang sinus, gelombang kotak, gelombang segitiga, dan gelombang gigi gergaji[2].

IC ICL 8038 merupakan salah satu jenis IC *function generator* tersebut. IC ini dapat menghasilkan tiga gelombang keluaran yaitu: sinus, kotak, dan segitiga dengan

komponen luar yang minimum. IC ini bekerja pada frekuensi 0.001Hz sampai lebih dari 300kHz dengan menggunakan kombinasi nilai resistor dan kapasitor [3].

D. Pembangkit Bipolar PWM (Pulse Width Modulation)

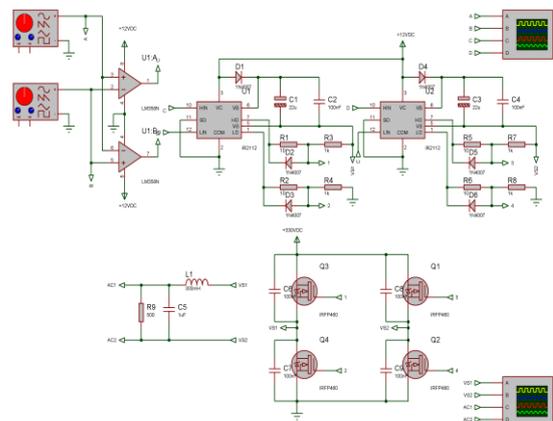
Pada *switching bipolar PWM inverter*, sinyal PWM dihasilkan dengan cara membandingkan gelombang sinusoidal (gelombang referensi) dengan sinyal segitiga (sinyal *carrier*). Keluaran sinyal membawa nilai frekuensi sinus. Dan disisi lain, frekuensi sinyal segitiga yang juga menjadi frekuensi *switching* [4].

E. Low Pass Filter (LPF)

LPF digunakan untuk mengeliminasi harmonisa yang tidak menguntungkan dari sinyal keluaran. Keluaran dari *inverter* sebelum diberikan filter tidak sinusoidal, setelah diberikan LPF keluaran menjadi sinusoidal. LPF digunakan untuk menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan, dan mengeliminasi frekuensi tinggi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* [5].

3. Blok *Gate Driver*
4. Blok *Full-Bridge Inverter*
5. Blok *Low Pass Filter*

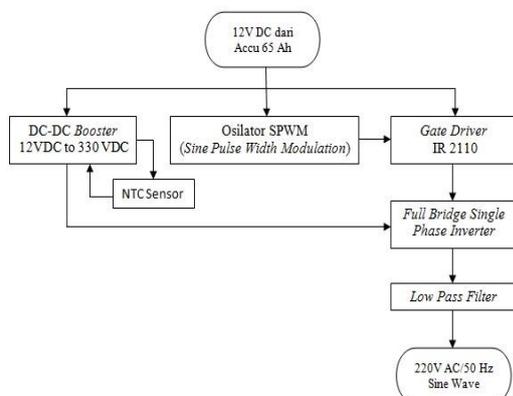
Sebelum masing-masing blok rangkaian sistem dibuat, dilakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan aplikasi proteus 7.7. Tujuannya adalah untuk mengurangi kesalahan yang terjadi pada waktu perancangan sistem. Kemudian masing-masing blok rangkaian diuji agar inverter yang dirancang dapat bekerja mengubah tegangan arus searah menjadi arus bolak-balik dengan frekuensi 50 Hz. Skematik rangkaian sistem diperlihatkan pada Gbr 4.



Gbr. 4 Skematik simulasi sistem pada lembar kerja proteus

III. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem inverter pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa blok rangkaian, diperlihatkan pada Gbr 3.



Gbr. 3 Blok Skematik Sistem

Blok rangkaian yang ada yaitu:

1. Blok Rangkaian Booster DC-DC
2. Blok Rangkaian Osilator

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Blok DC-DC konverter didisain untuk menaikkan tegangan suplai 12V DC menjadi 330V DC. Rangkaian ini menggunakan konfigurasi rangkaian *push-pull inverter* dengan frekuensi *switching* 50kHz yang dihasilkan oleh osilator IC TL494 berupa dua buah gelombang kotak yang panya berlawanan. Rangkaian dc-dc konverter seperti yang diperlihatkan pada Gbr 5.

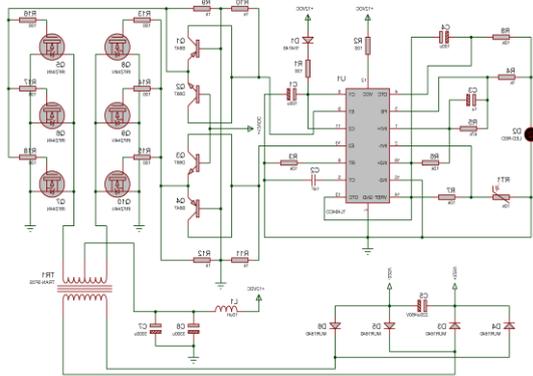
Persamaan (1) digunakan untuk menentukan frekuensi keluaran osilator menggunakan konfigurasi *push-pull*.

$$f_{osc} = \frac{1}{2R_T \times C_T}, \quad (R_T = R3, C_T = C2) \quad (1)$$

Jadi, untuk menghasilkan frekuensi 50kHz

$$50kHz = \frac{1}{2(10 \times 10^3) \times (10^{-9})},$$

$$(R3 = 10k, C2 = 1nF)$$



Gbr. 5 Rangkaian DC-DC konverter

DC-DC konverter ini menggunakan inti ferit EI sebagai trafo frekuensi tinggi yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Trafo ini memiliki keluaran tegangan AC dengan frekuensi tinggi, oleh karena itu harus disearahkan menggunakan *ultrafast diode* yaitu dioda yang bekerja pada frekuensi yang tinggi. Persamaan (2) digunakan untuk menentukan jumlah lilitan di sisi primer dan sekunder trafo adalah sebagai berikut:

$$N_{pri} = \frac{V_{in} \times 10^8}{4 \times f \times B_{max} \times A_c}, \quad (2)$$

Dimana V_{in} adalah tegangan input nominal yang diberikan pada rangkaian, pada kondisi rangkaian ini $V_{in} = 12V$. f adalah frekuensi operasi switching dalam satuan Hertz (Hz), pada kondisi rangkaian ini $f = 50000$ Hz. B_{max} adalah *maximum flux density* dalam satuan Gauss, pada penelitian ini digunakan $B_{max} = 1500G$. A_c adalah luas daerah efektif pada inti transformer dalam satuan cm^2 , penelitian ini menggunakan inti EI 33 dengan nilai $A_e = 1.18cm^2$.

Jumlah lilitan pada sisi primer adalah:

$$N_{pri} = \frac{12 \times 10^8}{4 \times 50000 \times 1500 \times 1,18} = 3.38 \approx 3$$

Lilitan primer dalam kondisi operasi *push-pull* menjadi 3 lilitan+3 lilitan. Untuk mengetahui jumlah lilitan sekunder digunakan persamaan (3).

$$N_{sek} = N \times N_{pri}, \quad (3)$$

Dimana N adalah perbandingan antara tegangan keluaran dengan tegangan yang masuk pada trafo. N_{sek} adalah jumlah lilitan sekunder.

Dikondisikan bahwa *duty cycle* dan tegangan masukan tetap yaitu sebesar 50% pada setiap kondisi pembebanan dan tegangan masukan tetap 12V di setiap kondisi pembebanan. Sehingga tegangan yang masuk ke trafo adalah,

$$0.50 \times 12 = 6V,$$

Pada rangkaian ini tegangan keluaran yang diinginkan sebesar 330V dan tegangan masukan transformer 6V, sehingga

$$N = 330:6 = 55$$

Sehingga nilai lilitan sisi sekunder adalah:

$$N_{sek} = 55 \times 3 = 165 \text{ lilitan}$$

Tegangan sebesar 330V DC digunakan untuk menghasilkan tegangan AC sekitar 233V sesuai dengan perhitungan dari persamaan (4).

$$V_{RMS} = 0.707 \times V_P, \quad (4)$$

Dimana tegangan DC yang terukur pada volt meter adalah dalam V_P dan tegangan AC yang terukur adalah dalam V_{RMS} dengan persamaan (4) diperoleh:

$$233V \text{ AC} = 0.707 \times 330V \text{ DC}$$

Osilator SPWM didisain untuk menghasilkan sinyal PWM yang membawa informasi sinyal sinus 50Hz yang akan digunakan sebagai sinyal *switching*. Sinyal PWM dihasilkan dengan cara membandingkan sinyal sinus dan sinyal

segitiga menggunakan IC *Op-Amp* yang dikondisikan sebagai komparator. Pada penelitian ini Osilator yang digunakan adalah IC ICL8038 dan IC *Op-Amp* yang digunakan adalah LM358.

Besarnya frekuensi keluaran osilator ICL 8038 ditentukan menggunakan persamaan (5).

$$f = \frac{0.33}{R \times C}, \quad (RA = RB = R) \quad (5)$$

Untuk menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi 50Hz dan sinyal segitiga dengan frekuensi 3,3 kHz dengan menggunakan persamaan (5) adalah sebagai berikut:
Sinyal Sinus:

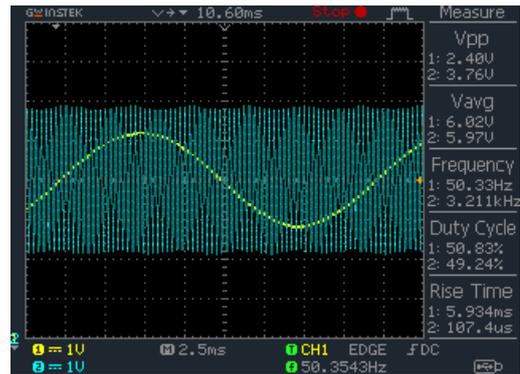
$$54.36\text{Hz} = \frac{0.33}{(60.7 \times 10^3) \times (100 \times 10^{-9})}$$

Nilai R yang digunakan 60.7k diperoleh dari 56k dan 4.7k terpasang secara seri. Agar dapat membuat frekuensi keluaran mendekati target maka diperlukan nilai C sebesar 100nF. Pada perhitungan frekuensi keluaran seharusnya sebesar 54.36Hz akan tetapi pada kenyataannya frekuensi yang dihasilkan sebesar 50.33Hz, hal ini disebabkan karena nilai R dan C yang digunakan memiliki nilai toleransi dari nilai yang tertera bisa menjadi lebih besar ataupun lebih kecil.

Sinyal Segitiga:

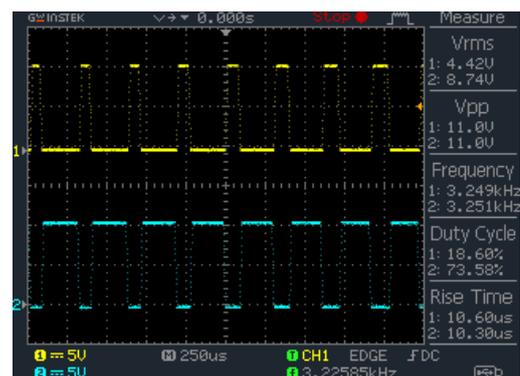
$$3300\text{Hz} = \frac{0.33}{(10 \times 10^3) \times (10 \times 10^{-9})}$$

Nilai R yang digunakan sebesar 10k dan kapasitor yang digunakan sebesar 10nF. Pada perhitungan menggunakan persamaan (5), didapatkan frekuensi sebesar 3300Hz atau 3,3kHz akan tetapi pada kondisi sesungguhnya frekuensi yang dihasilkan sebesar 3.21kHz. Perbedaan antara nilai perhitungan dan nilai terukur dapat disebabkan oleh nilai toleransi pada komponen yang digunakan maupun kalibrasi osiloskop. Gbr 6 memperlihatkan bentuk sinyal sinus dan sinyal segitiga yang dihasilkan osilator IC ICL8038.

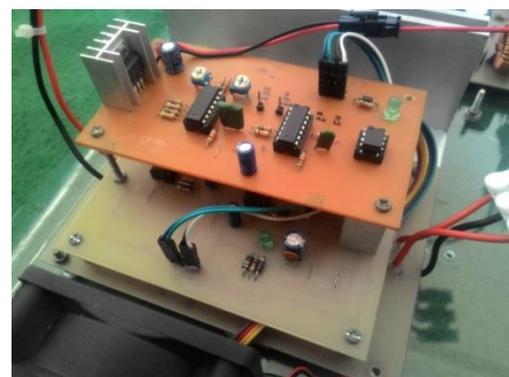


Gbr. 6 Keluaran Osilator IC ICL8038 Sinyal Sinus dan Segitiga

Bentuk sinyal PWM yang dihasilkan oleh komparator diperlihatkan pada Gbr 7. Gbr 8 merupakan bentuk blok osilator, *gate driver* dan *full-bridge* yang disusun secara bertingkat untuk meminimalkan penggunaan ruang.



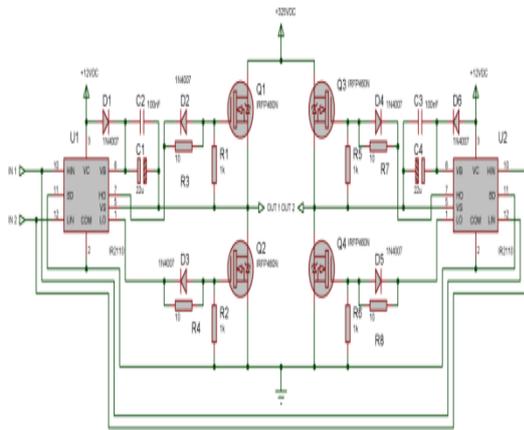
Gbr. 7 Keluaran Komparator IC LM358



Gbr. 8 Blok Osilator PWM, Gate Driver dan Full-Bridge

Blok gate driver didisain untuk dapat meneruskan sinyal PWM menuju pin gate pada FET dalam rangkaian full bridge

inverter. Rangkaian Blok gate driver diperlihatkan pada Gbr 9.



Gbr. 9 Skematik Rangkaian Gate Driver dan Rangkaian Full Bridge

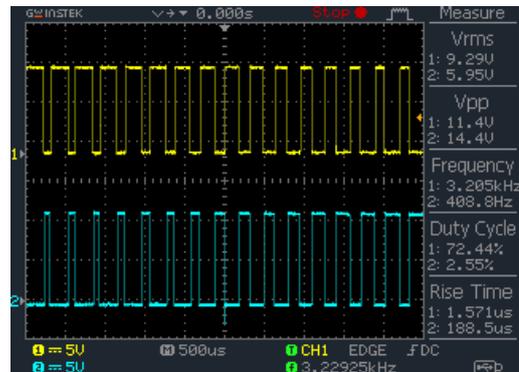
Bentuk sinyal PWM yang dihasilkan pada gate driver terbagi menjadi empat dimana setiap gate driver menghasilkan sinyal untuk dua buah FET. Bentuk blok gate driver dapat diperlihatkan pada Gbr 10 dan sinyal keluarannya diperlihatkan pada Gbr 11 dan 12. Bentuk sinyal yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.



Gbr. 10 Blok Gate Driver Menggunakan IC IR2110

Pada IC gate driver terdapat fitur yang dapat membuat waktu tunda pada perubahan kondisi pada dua sinyal. Waktu tunda dibutuhkan oleh sinyal switching yang tujuannya adalah menghindari saklar

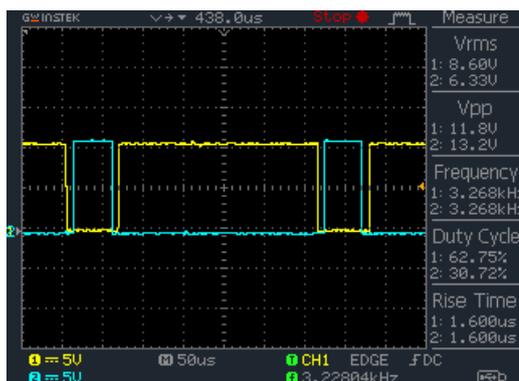
membuka dalam waktu bersamaan atau overlap. Gbr 13 memperlihatkan dua sinyal PWM dengan *delay dead time*.



Gbr. 11 Sinyal PWM untuk G1 dan G2 dari IC IR2110



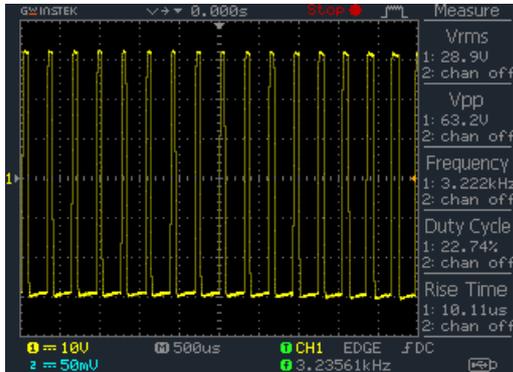
Gbr. 12 sinyal PWM untuk G3 dan G4 dari IC IR2110



Gbr. 13 Delay Dua Sinyal Keluaran Pada Satu IC Gate Driver

Rangkaian full bridge inverter bekerja dengan baik apabila bentuk gelombang keluarannya menyerupai sinyal switchingnya. Gbr 13 terlihat bahwa sinyal

yang keluar masih berbentuk PWM dengan beberapa ripple akibat proses penyaklaran FET. Gbr 14 merupakan bentuk sinyal PWM yang dihasilkan rangkaian *full bridge* dengan tegangan masukan 330V DC sebelum masuk ke rangkaian LPF bentuk sinyal masih sesuai dengan yang diharapkan.



Gbr. 14 Keluaran *Full Bridge* Dengan Tegangan Masukan 330V DC

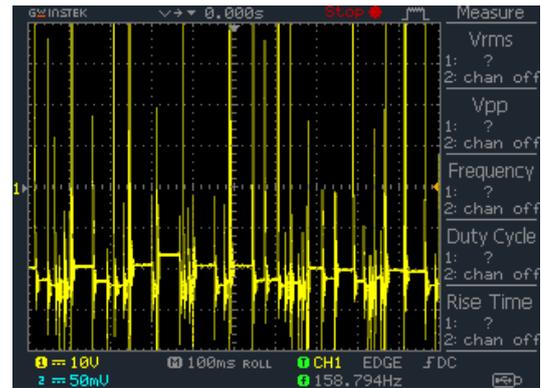
Blok LPF didisain untuk mereduksi sinyal modulasi PWM menjadi sinyal sinus kembali. Rangkaian ini terdiri komponen dari induktor (L) dan kapasitor (C). Persamaan (6) dipergunakan untuk memperoleh frekuensi cut-off pada LPF.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

Dari persamaan (6) dapat diperoleh frekuensi cut-off sebagai berikut :

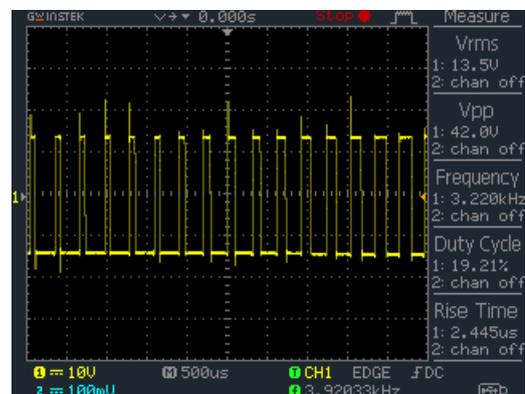
$$649.35 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(300 \times 10^{-3}) \times (2 \times 10^{-6})}}$$

Frekuensi tersebut merupakan frekuensi redaman dari filter, frekuensi ini menjadi frekuensi ripple sinyal dimana sinyal utamanya akan memiliki frekuensi sebesar 50Hz sesuai dengan yang dimodulasikan pada PWM. Gbr 15 merupakan bentuk sinyal keluaran LPF ketika di hubungkan dengan rangkaian *full bridge* yang telah diberikan tegangan masukan sebesar 330V DC yang diperoleh dari DC-DC konverter. Bentuk sinyal yang dihasilkan tidak beraturan bentuknya.



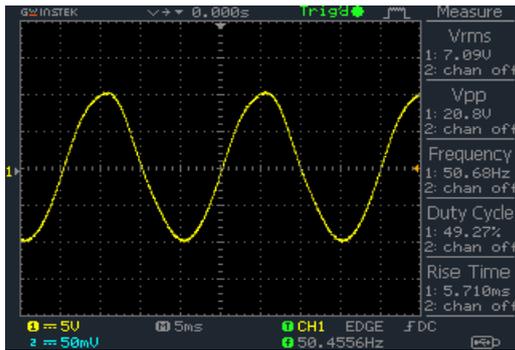
Gbr. 15 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 330V DC

Ketika sinyal keluaran sistem tidak seperti bentuk yang diharapkan, selanjutnya mencoba menurunkan nilai tegangan keluaran dari DC-DC konverter dengan cara mengubah jumlah lilitan pada trafo frekuensi tinggi. Tegangan yang diberikan beberapa nilai tegangan yang akan menjadi masukan rangkaian full-bridge inverter yaitu 12VDC dan 35 VDC yang bentuk sinyalnya PWM yang dihasilkan sebelum diberikan LPF dapat dilihat pada Gbr 16.

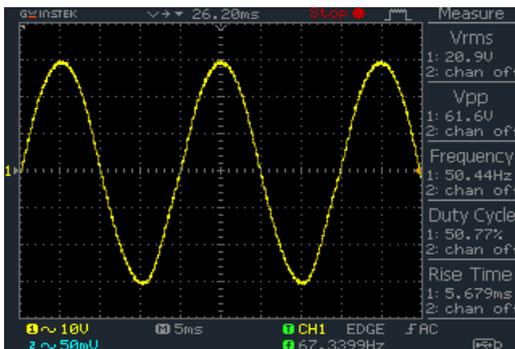


Gbr. 16 Keluaran Full Bridge Dengan Tegangan Masukan 12 VDC

Gbr 17 dan 18 memperlihatkan bentuk sinyal keluaran dari low pass filter dengan tegangan masukan pada full bridge inverter sebesar 12 VDC dan 35 VDC. Pada kedua gambar terlihat bentuk sinyal yang dihasilkan terlihat bentuk sinyal sinus yang cukup baik dengan frekuensi 50 Hz.



Gbr. 17 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 12VDC



Gbr. 18 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 35 VDC

Masalah yang terjadi disebabkan oleh rendahnya frekuensi modulasi PWM yang berdampak pada proses pemfilteran. Pada LPF saat diberikan sinyal dengan amplitudo yang tinggi, filter lebih sulit melakukan pelemahan pada frekuensi rendah. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 3.3 kHz. Pada frekuensi tersebut dapat mengubah sinyal PWM menjadi sinyal sinus dengan baik pada tegangan masukan *full-bridge inverter* dibawah 42 VDC.

Pada tegangan rendah amplitudo sinyal PWM yang keluar dari rangkaian *full-bridge inverter* tidak terlalu besar sehingga filter yang digunakan masih dapat mereduksi sinyal PWM dengan baik. Untuk mengubah tegangan tinggi DC menjadi AC maka, frekuensi modulasi harus tinggi pula. Pada penelitian ini digunakan metode natural sampling yang mencuplik sinyal sinus pada setiap nilai-nilai amplitudo sinyal sinus. Metode ini memberikan keuntungan yaitu sinyal sinus yang dihasilkan lebih baik.

Pada penelitian ini, terdapat dua masalah utama yang mempengaruhi hasil keluaran dari system tidak sesuai dengan yang diharapkan. Masalah pertama adalah sulitnya mendapatkan inti ferit ukuran besar untuk dapat menampung kawat dengan diameter yang lebih besar dari 0.6mm yang digunakan pada transformer pada DC-DC konverter. Jika diatasi dengan mengurangi jumlah lilitan maka berdampak pada menurunnya besar tegangan tetapi arus yang mengalir menjadi lebih besar. Permasalahan yang kedua adalah Osilator yang digunakan sebagai sinyal modulasi nilai frekuensinya tidak dapat diatur melebihi 3.3kHz. Hal ini disebabkan karena amplitudo sinyal yang kecil, sehingga apabila frekuensi dinaikan maka akan merusak bentuk sinyal PWM yang dihasilkan komparator.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh setelah dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Osilator analog yang digunakan hanya dapat memodulasi sinyal sinus dengan baik pada tegangan masukan *full bridge inverter* maksimal 42 VDC dengan tegangan keluaran sebesar 20 VAC gelombang sinus.
2. Osilator SPWM analog sensitif terhadap drop yang terjadi pada tegangan masukan dimana apabila tegangan suplai drop di bawah tegangan kerja IC, IC akan berhenti bekerja.
3. Teknik *bipolar switching* pada *switching* tegangan tinggi membutuhkan frekuensi modulasi lebih dari 3.3 kHz.
4. *Soft starting* pada DC-DC konverter membantu mengurangi lonjakan daya secara tiba-tiba pada pengoperasian awal sistem.
5. Penggunaan LPF dengan dua induktor dapat membuat bentuk sinyal sinus yang dihasilkan *inverter*, namun induktor yang digunakan harus identik.

REFERENSI

- [1] Elliott Rod. 2014. *Inverter AC Power Supplies*. Elliott Sound Products. Iowa City.
- [2] Asad S. Muhammad. 2012. *Oscillators*. Ferris State University. Michigan. EEET 201-Chapter 16.
- [3] Intersil. 2001. *datasheet ICL 8038*. Intersil Ltd. Taipei
- [4] Michael Newbry and Percy Vigo. 2009. *1,5 kW PWM Bipolar Inverter*. California Polytechnic State University. San Luis Obispo.
- [5] Clayton R. Paul. 2010. *Implementation Analysis of linear circuit*. Mcgraw-Hill International Editions, Electrical Engineering series. NewYork.