

RANCANG BANGUN MODUL INVERTER GELOMBANG SINUS MENGUNAKAN LPF ORDE DUA SEBAGAI PENGUBAH GELOMBANG KOTAK MENJADI SINUS

Oleh: Ilham Sayekti

Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50275

Abstrak

Modul inverter gelombang sinus adalah sebuah perangkat yang dirancang sebagai peralatan praktikum pada Laboratorium Elektronika Daya di Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Semarang. Modul Inverter dibangun dari rangkaian Astable Multivibrator menggunakan IC 4047, rangkaian konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus yang disusun menggunakan rangkaian dasar filter aktif dari jenis Low-pass filter (LPF) orde dua, penguat arus dan transformator dibagian akhirnya. Dari hasil pengujian, inverter menghasilkan keluaran gelombang sinus murni dengan frekuensi dasar 50 Hz dan dapat dirubah jika diperlukan, dari sumber DC berupa baterai dengan tegangan 12 Volt. Sedangkan besarnya tegangan keluaran adalah 172,8 Volt AC. Besarnya tegangan keluaran ini masih dapat ditingkatkan menjadi 220 Volt AC dengan memperbaiki kualitas transformator yang digunakan, yang sesuai dengan perhitungan jumlah lilitan trafo.

Kata kunci : Inverter, Konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus.

1. Pendahuluan

Inverter listrik adalah konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan masukan, tegangan keluaran, dan frekuensi tergantung pada desain yang dirancang pada saat mengembangkan alat ini. Dalam dunia kelistrikan inverter memang sangat populer digunakan dalam berbagai keperluan.

Sumber tegangan masukan inverter dapat berasal dari battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC inverter membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step up transformer*.

Jenis – Jenis Inverter DC Ke AC berdasarkan jumlah fasa keluaran inverter dapat dibedakan menjadi:

- Inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan keluaran 1 fasa.
- Inferter 2 fasa, yaitu inverter dengan keluaran 3 fasa.

Untuk aplikasinya, inverter mempunyai penggunaan yang sangat luas, antara lain; *adjustable-speed AC motor drives*,

Uninterruptible power supplies (UPS), dan aplikasi ac yang dijalankan dari baterai, dan lainnya.

Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya inverter dapat dibedakan menjadi :

- Sine wave inverter, yaitu inverter yang memiliki tegangan keluaran dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan *efisiensi daya yang baik*.
- Sine wave modified inverter, yaitu inverter dengan tegangan keluaran berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki *efisiensi daya yang rendah* apabila digunakan untuk mencatu beban induktor atau motor listrik.
- Square wave inverter, yaitu inverter dengan keluaran berbentuk gelombang kotak, inverter jenis ini *tidak dapat digunakan untuk mencatu tegangan ke beban induktif atau motor listrik*.

Dari ketiga jenis inverter tersebut, terlihat bahwa inverter gelombang sinus mempunyai pemakaian yang sangat luas, sehingga banyak dikembangkan inverter

jenis ini, baik untuk keperluan penelitian maupun memenuhi kebutuhan akan sumber daya listrik AC, baik untuk rumah tangga maupun industri.

Dengan latar belakang itulah, maka pada penelitian ini akan dilakukan rancang bangun inverter gelombang sinus dengan mengembangkan dari rangkaian inverter gelombang kotak yang diubah menjadi gelombang sinus. Penelitian dilakukan pada proses pengubahan gelombang kotak menjadi sinus dengan memanfaatkan rangkaian low-pass filter dan selanjutnya digunakan penguat daya yang disusun menggunakan transistor untuk memperoleh daya yang besar pada keluarannya.

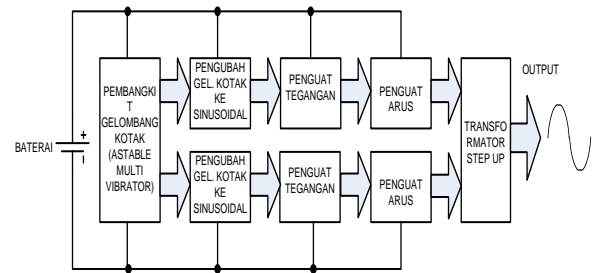
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah inverter gelombang sinus yang dibangun dari inverter gelombang kotak sebagai modul praktikum elektronika daya di program studi teknik elektronika jurusan teknik elektro Politeknik Negeri Semarang. Dengan modul ini diharapkan bahwa proses pengubahan sumber tegangan DC menjadi AC akan lebih mudah, terutama untuk mahasiswa, dalam memahami cara kerja sebuah inverter.

2. Metoetode Penelitian

Rancang bangun dari inverter pada penelitian ini dibagi ke dalam dua bagian besar, yakni bagian pembangkit gelombang sinus dan bagian driver. Bagian pembangkit gelombang sinus terdiri dari empat bagian, yakni pembangkit gelombang persegi, low pass filter, dan non inverting amplifier.

Sedangkan bagian driver terdiri dari rangkaian penguat daya yang beroperasi untuk memperbesar amplitudo dan arus keluaran.

Blok diagram lengkap dari inverter yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Blok diagram inverter gelombang sinus

2.1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah beberapa komponen elektronika sesuai kebutuhan untuk membuat sebuah inverter, seperti digambarkan pada blok diagram di atas. Komponen-komponen tersebut disusun sehingga membentuk konfigurasi sebagai sebuah sistem. Selanjutnya sistem inilah yang dibentuk menjadi sebuah modul inverter.

2.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini digunakan untuk melakukan uji sistem yang telah dibangun. Adapun alat-alat itu adalah;

- a. Osiloskop dual trace
- b. Multimeter Digital
- c. Multimeter Analog
- d. Kamera digital
- e. Aki 12 V
- f. Tool set

2.3. Tempat Penelitian

Tempat untuk melakukan penelitian, yang meliputi perancangan alat, simulasi, pengujian dan perakitan dilakukan di Laboratorium Elektronika Politeknik Negeri Semarang.

2.4. Cara Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif yang dapat dirumuskan menjadi 5 permasalahan utama, yaitu bagaimana merancang dan membuat inverter yang dapat digunakan sebagai modul praktikum dan bagaimana merancang dan membuat modul praktikum

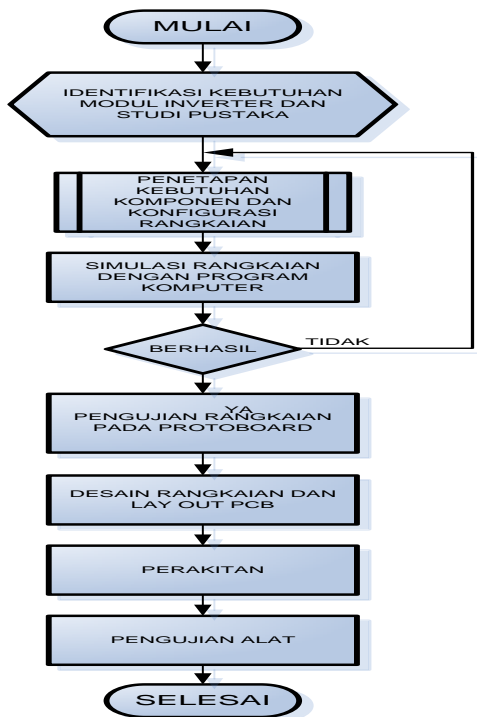
sebuah inverter dimana mahasiswa dapat memahami proses terbentuknya sebuah inverter gelombang sinus. Langkah-langkah penelitian dalam rancang bangun modul inverter digambarkan dalam diagram alir berikut ini.

2.4.1. Perancangan Pembangkit Gelombang Kotak (Astable Multivibrator)

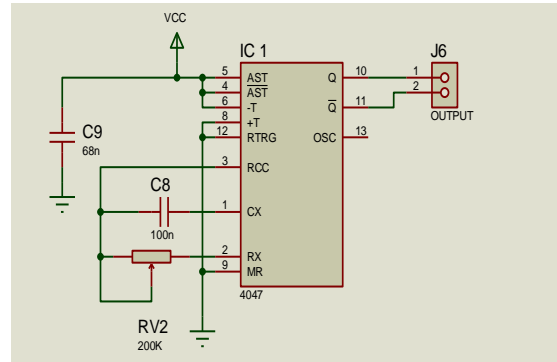
Sebagai rangkaian pembangkit gelombang kotak/pulsa pada penelitian ini digunakan IC 4047, dimana IC ini dapat dikonfigurasi sebagai Astable Multivibrator atau Monostable Multivibrator. Rangkaian selengkapnya pembangkit pulsa ditunjukkan pada gambar gambar 3.

Untuk menghasilkan gelombang kotak/pulsa, IC ini difungsikan sebagai astable mutivibrator dengan duty cycle 50%. Pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai R_{V2} dan C_8 . Berdasarkan datasheet, pengaturan frekuensinya didapatkan dengan persamaan berikut:

$$f_0 = \frac{1}{4,4 R_{V2} \cdot C_8} \text{ (Hz)} \quad (1)$$



Gambar 2. Diagram alir jalannya penelitian



Gambar 3. IC 4047 sebagai pembangkit pulsa (Astable Multivibrator)

Gelombang keluaran pada kaki 10 dan 11 dari IC ini akan memiliki beda fasa 180^0 state yang berlawanan.

Pada penelitian ini, Inverter dirancang untuk frekuensi 50 Hz. Untuk itu ditentukan nilai R_{V2} dan C_8 dengan menggunakan persamaan (1). Dengan nilai C_8 yang digunakan sebesar 100 nF, kemudian nilai R_{V2} dicari dengan persamaan:

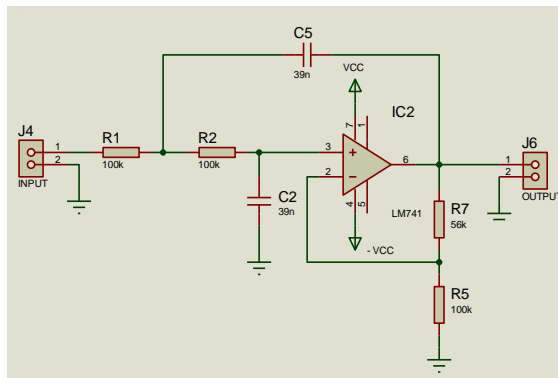
$$R_{V2} = \frac{1}{4,4 (100 \text{ nF})(50 \text{ Hz})} = 45454,5 \Omega$$

Dari perhitungan diatas, agar frekuensi bisa didapatkan sebesar 50 Hz maka digunakan resistor variabel dengan nilai 200 k Ω .

2.4.2. Perancangan Konverter Gelombang Kotak ke Sinus

Konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus adalah rangkaian yang digunakan untuk mengubah gelombang kotak/pulsa yang dihasilkan dari Astable Multivibrator menjadi gelombang sinus pada keluarannya. Rangkaian konverter gelombang kotak/sinus dibangun dari sebuah filter aktif dari jenis Low-pass Filter (LPF). Dengan dua buah gelombang keluaran dari Astable Multivibrator dengan nilai ampiltudo dan frekuensi yang sama, hanya berbeda fasa sebesar 180^0 , maka diperlukan juga dua buah konverter gelombang ke sinus sebanyak dua buah yang simetris.

Rangkaian selengkapnya dari konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus ditunjukkan pada gambar 4. di bawah ini.



Gambar 4. Rangkaian filter aktif dari jenis LPF orde dua sebagai konverter gelombang kotak ke sinus

Low pass filter (tapis lolos-rendah atau LPF) adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi dibawah frekuensi transisinya, dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diatas frekuensi transisinya.

Frekuensi transisi (frekuensi *cut-off*) dari sebuah LPF adalah suatu frekuensi dimana respon gain dari LPF tersebut turun menjadi 70,7% dari gain maksimumnya. Dengan kata lain, gain ($H(\omega)$) dari LPF tersebut bernilai $\frac{1}{\sqrt{2}}$ atau 0,707. Pada frekuensi cut-off, energi yang didisipasi pada rangkaian bernilai setengah dari energi maksimumnya.

Sinyal akan mengalami pelemahan yang besarnya sebanding dengan kuadrat rasio frekuensi. Persamaan inilah yang mendeskripsikan karakter LPF yang sebenarnya.

Rangkaian low pass filter tersebut memiliki nilai resistor dan kapasitor yang sama yakni $R_1 = R_2 = 100 \text{ K}\Omega$ dan $C_2 = C_5 = 39 \text{ nF}$. Persamaan-persamaan frekuensi cut-off LPF diatas adalah :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC} \text{ (Hz)} \quad (2)$$

Dengan nilai-nilai komponen seperti ditunjukkan di atas, maka frekuensi cut-off dapat dihitung :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi (100K)(39 \text{ nF})} = 40,8 \text{ Hz}$$

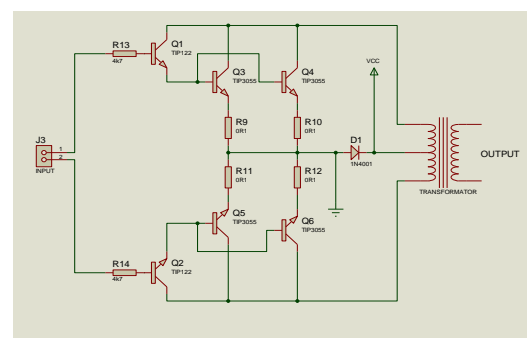
Sedangkan gain sistemnya adalah :

$$G = 1 + \frac{R_7}{R_5} = 1 + \frac{56 \text{ K}}{100 \text{ K}} = 1,56 \text{ x}$$

2.4.3. Perancangan Penguat Arus

Untuk memperbesar arus keluaran yang akan dihubungkan ke sekunder trafo, digunakan transistor dengan konfigurasi Darlington. Dimana konfigurasi darlington adalah rangkaian elektronika yang terdiri dari sepasang transistor bipolar (dwi kutub) yang tersambung secara tandem (seri). Sambungan seri seperti ini dipakai untuk mendapatkan penguatan (gain) yang tinggi, karena hasil penguatan pada transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor kedua. Keuntungan dari rangkaian Darlington adalah penggunaan ruang yang lebih kecil dari pada rangkaian dua buah transistor biasa dengan bentuk konfigurasi yang sama. Penguatan arus listrik atau gain dari rangkaian transistor Darlington ini sering dituliskan dengan notasi β atau h_{FE} .

Konfigurasi rangkaian darlington pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5. berikut ini.



Gambar 5. Rangkaian penguat arus

Rangkaian dasar penguat darlington dibentuk oleh transistor Q_1 dan Q_3 yang diparalel dengan Q_4 . Arus emitter pada tingkat akhir adalah :

$$I_E = \frac{V_i - 2V_{BE}}{R_E + \frac{R_{13}}{\beta}} \quad (3)$$

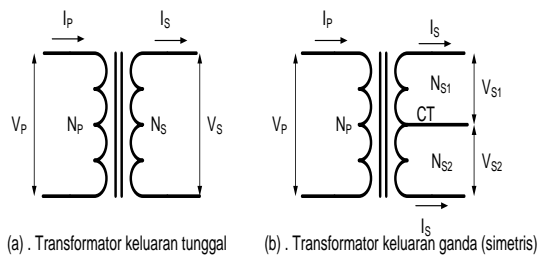
Dimana $R_E = R_9 // R_{10}$

Nilai I_E seperti ditunjukkan pada persamaan (3.3) adalah arus emitter maksimum yang dapat dialirkan ke sekunder trafo, dengan demikian arus maksimum yang dapat dicapai bergantung dari kapasitas arus dari baterai yang digunakan.

Penjelasan di atas berlaku untuk sisi yang lain dari penguat ini, karena kedua sisi penguat dibuat simetris, namun keduanya menghantar pada siklus yang berbeda dari masukan gelombang sinus yang diperoleh dari rangkaian konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus.

2.4.4. Transformator

Transformator atau trafo adalah suatu alat listrik yang memindahkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Trafo digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga yaitu dengan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis



Gambar 6. Simbol transformator

Dimana :

- V_P : tegangan primer
- V_S : tegangan sekunder
- I_P : arus primer
- I_S : arus sekunder
- N_P : jumlah lilitan primer
- N_S : jumlah lilitan sekunder

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, arus primer dengan tegangan

sekunder, jumlah lilitan sekunder dan arus sekunder dituliskan dalam persamaan berikut ini;

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (4)$$

Pada penelitian ini, digunakan transformator dengan keluaran simetris (ganda atau CT) sesuai kebutuhan dari keluaran penguat arus yang berbentuk gelombang sinus dengan dua keluaran yang masing-masing berbeda fasa 180° . Dari persamaan di atas, keluaran rangkaian penguat arus dihubungkan ke masukan sekunder transformator CT dan keluaran pada gulungan primer transformator pada titik tegangan 220V.

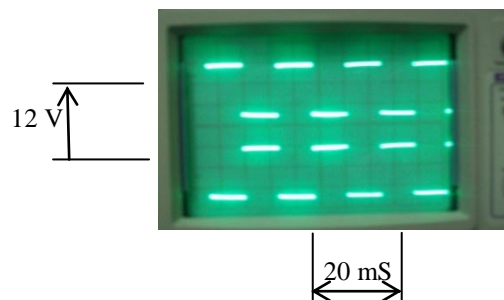
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dan pengukuran pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, antara lain bentuk gelombang, besarnya tegangan, frekuensi dan sebagainya. Pengujian dan pengukuran dilakukan untuk setiap bagian dari sistem inverter yang dibuat ini.

Berikut adalah adalah hasil pengujian yang dilakukan untuk setiap bagian.

3.1. Pengujian Rangkaian Pembangkit Gelombang Kotak/Pulsa

Seperti terlihat pada rangkaian gambar 3.3, pengujian dilakukan dengan mengamati gelombang keluaran yang dihasilkan pada pin 10 dan pin 11 dari IC 4047. Setelah terdapat gelombang keluaran pada pin 10 dan 11, selanjutnya diatur nilai R_{V2} agar diperoleh frekuensi 50 Hz. Hasil pengujian dan pengukuran ditunjukkan pada gambar 7. berikut ini.

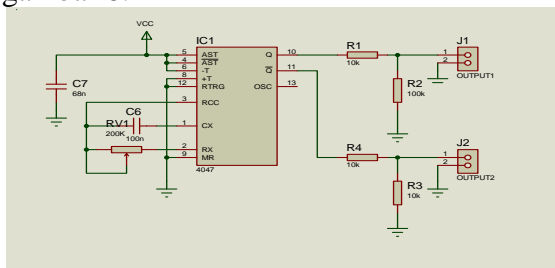


Gambar 7. Gelombang keluaran dari pembangkit gelombang kotak/pulsa

Hasil pengukuran menghasilkan amplitudo dari gelombang kotak/pulsa adalah 12 Volt dan frekuensi yang dihasilkan adalah 50 Hz. Terlihat dari hasil pengukuran, seperti gambar 7. di atas, kedua gelombang keluaran mempunyai bentuk dan nilai yang simetris, hanya terjadi beda fasa sebesar 180° .

Gelombang keluaran ini selanjutnya digunakan sebagai masukan pada rangkaian konverter gelombang kotak/pulsa ke sinus yang dibentuk dengan rangkaian filter aktif dari jenis LPF. Karena LPF yang digunakan menggunakan komponen aktif berupa Op-Amp LM 741, dimana gelombang sinus yang akan dihasilkan berayun pada periode positif dan negatif, maka diperlukan catu daya dc yang mempunyai keluaran ganda (+, - dan 0), untuk itu digunakan dua buah baterai yang disusun menjadi keluaran ganda.

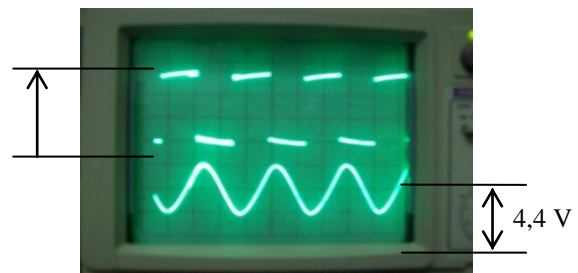
Selain catu daya dc untuk Op-Amp LM 741 yang harus keluaran ganda, besarnya sinyal masukan dari gelombang kotak/pulsa yang dihasilkan, yang amplitudonya 12 Volt, akan mengakibatkan bentuk gelombang sinus yang cacat pada keluaran LPF, hal ini karena tegangan keluaran dari Op-Amp LM 741 akan saturasi. Untuk itu sinyal masukan dari rangkaian LPF harus dikecilkan sampai diperoleh bentuk gelombang sinus yang murni (tidak cacat). Hal ini dapat diatasi dengan membagi dua tegangan masukan (gelombang kotak/pulsa) dengan memasang resistor secara seri, seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Resistor pembagi tegangan untuk memperkecil amplitudo gelombang kotak/pulsa

3.2. Pengujian Rangkaian Konverter Gelombang Kotak/Pulsa ke Sinus

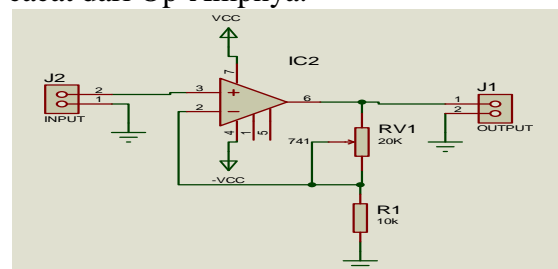
Setelah amplitudo sinyal masukan diperkecil menjadi hampir setengahnya, selanjutnya sinyal masukan, yang berupa pulsa, dihubungkan dengan masukan rangkaian LPF. Hasil pengukuran menunjukkan gelombang sinus yang dihasilkan pada keluarannya mendekati sempurna, artinya tidak ada cacat pada gelombang sinus dari proses perubahan ini. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 9. berikut ini.



Gambar 9. Hasil pengukuran konverter gelombang kotak/pulsa menjadi sinus

Proses pengubah gelombang kotak/pulsa menjadi sinus terjadi penurunan nilai amplitudo. Dari hasil pengujian nilai tegangan gelombang sinus yang dihasilkan sebesar 4,4 V_{P-P}. Nilai ini relatif kecil sebelum dihubungkan ke sekunder trafo, untuk itu sinyal ini perlu diperkuat menjadi nilai yang lebih besar. Untuk pemilihan penguat tersebut digunakan dari jenis penguat tak-membalik (Non inverting Amplifier) yang dibentuk dari Op-Amp, seperti ditunjukkan pada gambar 10.

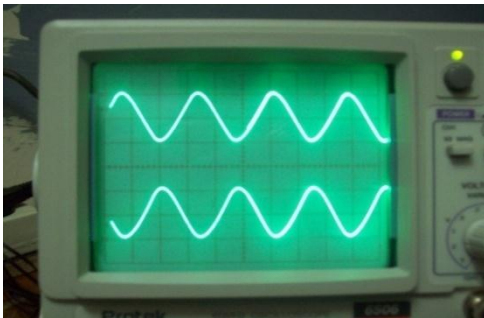
Pada penguat tak-membalik tersebut digunakan resistor variabel agar diperoleh nilai penguatan yang tepat sampai diperoleh nilai tegangan keluaran maksimum tidak cacat dari Op-Ampnya.



Gambar 10. Penguat Tak-membalik

Pemilihan penguat tak-membalik sebagai penguat tegangan pada sistem ini berdasarkan pada karakteristik dari penguat tak-membalik yang mempunyai impedansi masukan (R_i) yang mendekati tak terhingga, sehingga apabila dihubungkan dengan keluaran dari rangkaian LPF tidak terjadi pembebanan.

Selanjutnya, setelah melalui pengaturan nilai R_{V1} diperoleh nilai tegangan keluaran maksimum tanpa cacat yang dihasilkan dari penguat ini. Dan hasil dari kedua proses pengubah gelombang kotak/pulsa ke sinus ditunjukkan pada gambar 11. berikut ini.



Gambar 11. Gelombang sinus yang dihasilkan dari dua LPF

3.3. Pengujian Tegangan Keluaran

Gelombang sinus yang telah dihasilkan dari LPF dan telah diperkuat arusnya selanjutnya dihubungkan ke sekunder trafo. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan sekunder trafo dan tegangan bagian primer sebagai keluarannya. Hasil pengukuran tanpa beban menunjukkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Pengukuran tegangan sekunder trafo dan tegangan primer tanpa beban

Tegangan Sekunder, V_s (Volt AC)	Tegangan Primer, V_P (Volt AC)
5,33	172,8
5,33	172,6

3.4. Pembahasan

Hasil pengujian tiap tahap dalam penelitian ini telah menunjukkan hasil yang sesuai dengan rancangan. Pemilihan rangkaian pembangkit pulsa menggunakan IC 4047

sangat tepat karena IC ini telah memiliki dua keluaran yang berpasangan, selain itu gelombang kotak/pulsa yang dihasilkan dari rangkaian ini memiliki bentuk yang relatif bagus dan stabil. Karena catu daya dc yang digunakan dalam rangkaian ini besarnya 12 V maka keluaran dari IC 4047 mempunyai gelombang dengan amplitudo mendekati 12 V. Untuk menghindari gelombang yang cacat pada proses perubahan menjadi gelombang sinus, akibat tegangan saturasi Op-Amp, sebaiknya IC 4047 dioperasikan dengan catu daya dc yang lebih kecil, dengan cara memasang dioda zener, misal 5,6 V atau 9 Volt.

Untuk rangkaian LPF dan penguat tak-membalik, karena menggunakan komponen aktif Op-Amp maka harus digunakan catu daya dc dengan keluaran ganda, ini menjadi hal yang membuat rangkaian tidak praktis karena harus digunakan dua buah baterai. Sedangkan pada bagian trafo, kualitas trafo menentukan hasil tegangan keluaran yang dihasilkan. Jika diinginkan daya yang besar dengan ukuran fisik yang relatif kecil dapat digunakan transformator dari jenis toroid.

4. Kesimpulan

Inverter gelombang sinus merupakan pengubah sumber tegangan dc (baterai) menjadi AC dengan menggunakan rangkaian Astable Multivibrator (IC 4047) sebagai pembangkit gelombang kotak/pulsa dan rangkaian Low-pass Filter (LPF) orde dua sebagai pengubah gelombang kotak menjadi sinus. Sedangkan penentuan nilai frekuensi dasar sebesar 50 Hz dari inverter dilakukan dengan pengaturan nilai resistor dan kapasitor yang terpasang pada IC 4047.

Rancang bangun inverter gelombang sinus sebagai modul praktikum dapat membantu mahasiswa lebih memahami proses terbentuknya sebuah inverter karena sistem yang dibangun pada inverter ini menggunakan rangkaian-rangkaian yang sederhana.

Tegangan keluaran AC yang dihasilkan tidak dapat mencapai 220 Volt, hal ini

dapat terjadi karena pemilihan transformator. Untuk menghasilkan tegangan keluaran yang tepat dapat digunakan transformator dengan jumlah lilitan sesuai perhitungan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadhli MR, 2010, *Rancang Bangun Inverter 12 V DC ke 220 V AC Dengan Frekwensi 50 Hz dan Gelombang Keluaran Sinusoidal*, Skripsi, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro, UI Depok
- Jim Karki, 2000, *Active Low-Pass Filter Design, Application Report*, Texas Instruments SLOA049A - October 2000
- Pandu Sandi Pratama, Agung Warsito, Karnoto., *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing.*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro. Website : <http://eprints.undip.ac.id/25210/1/ML2F004499.pdf>.
- Pravin G.Bhangale, Prashant Sonare, S. R.Suralkar, Pankaj H Zope,. 2012, *Design and Implementation of carrier based Sinusoidal PWM Inverter*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 1, Issue 4, October 2012
- Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky, 2002, *Electronic Devices and Circuit Theory, 7th Edition*, Prentice Hall International, USA
- Rudolf F. Graf and William Sheets, 1992, *Encyclopedia of Electronic Circuits Volume 4*, TAB Book, USA