

Rancang Bangun Six-Step Inverter 3 Fasa Sebagai Modul Pembelajaran Elektronika Daya

Rulyanti Dyah Prawesti¹, Fathoni², Agus Pracoyo³

[Submission: 25-07-2021, Accepted: 31-07-2021]

Abstract— Inverters are electronic devices that can converting direct voltage (DC) into alternating voltage (AC). The inverter in this research is a three-phase inverter that can generate 3-phase AC waves using the six-step inverter method. This research purposed to produced a 3-phase inverter practicum module which has several frequency input options, as well as being able to regulate the switching of the MOSFET switching process which can produce AC waves that are close to the sinusoidal waveform. This manufacturing methodology is to change the input voltage from the power supply of 12 VDC to 12VAC. The switching technique used to activate the mosfet in this six-step inverter is the 120° switching method which uses 6 MOSFETs as a switch to generate AC waves. The selection of the 120° switching mode is considered the most efficient in making inverter circuits. The switching sequence settings are controlled by the Arduino uno as a controller. The results of this inverter are able to issue the same frequency value with the expected input frequency of 20Hz - 90Hz

Intisari— Inverter adalah perangkat elektronika untuk merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter pada penelitian ini merupakan inverter 3 fasa yang mampu membangkitkan gelombang AC 3 fasa menggunakan metode six-step inverter. Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat menghasilkan modul praktikum inverter 3 fasa yang memiliki beberapa pilihan input frekuensi, serta mampu mengatur pergantian proses switching mosfet yang dapat menghasilkan gelombang AC yang mendekati bentuk gelombang sinusoidal. Metodologi pembuatan ini adalah dengan mengubah tegangan input dari power supply sebesar 12 VDC menjadi 12VAC. Teknik switching yang digunakan untuk pengaktifan mosfet pada six-step inverter ini adalah metode switching 120° yang memanfaatkan 6 MOSFET sebagai saklar untuk membangkitkan gelombang AC. Pemilihan mode pensaklaran 120° ini dinilai paling efisien dalam pembuatan rangkaian inverter. Pengaturan urutan pensaklaran dikontrol oleh Arduino uno sebagai controller. Hasil dari inverter ini mampu mengeluarkan nilai frekuensi yang sama dengan frekuensi masukan yakni 20Hz - 90Hz.

Kata kunci – Inverter 3 Fasa, MOSFET, Six-step Inverter

¹Mahasiswa, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: Rulyantidy@gmail.com

^{2,3}Dosen, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: pakfapyrus@yahoo.com, agus.pracoyo@polinema.ac.id

I. PENDAHULUAN

Inverter merupakan teknologi *converter* yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). (*Authoritative Dictionary of IEEE*). AC yang dikonversi dapat menyesuaikan kebutuhan tegangan serta frekuensi dengan bantuan transformator, saklar, dan sirkuit kontrol yang tepat. Ada berbagai macam jenis inverter, jenis inverter yang banyak digunakan diantaranya adalah six-step inverter. Inverter jenis ini memiliki beberapa saklar dimana metode pensaklarannya sendiri dikendalikan oleh pengontrolan pulsa yang biasanya menghasilkan pulsa-pulsa pada gerbang *switching*.

Aplikasi dari *six-step* inverter 3 fasa sendiri ini faktanya banyak digunakan di industri. Listrik 3 fase merupakan listrik AC (alternating current) yang mempunyai 3 penghantar dimana ketiga penghantar tersebut memiliki tegangan sama namun setiap fasanya memiliki perbedaan 120°. Listrik 3 fasa sering disebut dengan system R-S-T. 3 fasa yang di simbolkan “R”, “S”, “T” untuk setiap penghantar pada setiap fasa dan simbol “N” pada penghantar netral. Inverter 3 fasa merupakan inverter dengan tegangan keluaran berupa tegangan bolak-balik (AC) 3 fasa yang berbentuk gelombang persegi. Rangkaian inverter 3 fasa tunggal sederhana terdiri dari 6 buah komponen *switching* yakni S1, S2, S3, S4, S5, S6 dan membutuhkan 6 sinyal PWM untuk dapat beroperasi. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan modul *six-step inverter* 3 fasa dengan frekuensi yang sesuai dengan *set point* dan dapat menganalisa keluaran dari modul *six-step inverter* 3 fasa dari *beberapa output test point*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Listrik 3 Fasa

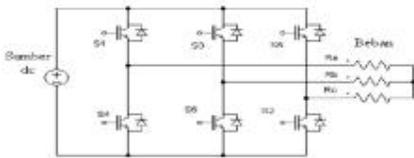
Listrik 3 fasa merupakan listrik *alternating current* yang sering disebut dengan system R-S-T. 3 fasa yang di simbolkan “R”, “S”, “T” untuk setiap penghantar pada setiap fasa dan simbol “N” pada penghantar netral. Kelebihan dari listrik 3 fasa adalah *supply* dari arus bolak-balik (AC) tiga fasa p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



ini mampu digunakan sebagai persediaan daya listrik yang terhubung secara langsung ke beban. Tegangan dan frekuensi pada *supply* 3 fasa ini tidak berubah. Daya listrik adalah laju dari saluran energi listrik yang mengalir pada suatu sirkuit listrik. Besaran dari daya listrik disebut watt. Pada sistem listrik 3 fasa, biasanya daya dari listrik yang dibangkitkan, disalurkan kemudian diserap oleh beban akan seimbang, Maka P pembangkitan sama dengan P pemakaian, dan pada tegangan yang seimbang. Tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fase (memiliki magnitudo) dan memiliki frekuensi yang sama tetapi adanya perbedaan antara 1 fase dengan fase lainnya sebesar 120° , sementara itu secara fisik mempunyai perbedaan derajat sebesar 60° , yang dapat dihubungkan dengan beban secara bintang (Y) maupun delta (Δ , D).

B. Six-step Inverter 3 Fasa

Inverter 3 fasa merupakan inverter dengan tegangan keluaran berupa tegangan bolak-balik (AC) 3 fasa yang berbentuk gelombang persegi. Rangkaian inverter 3 fasa tunggal sederhana biasanya terdiri dari 6 saklar yakni S1, S2, S3, S4, S5 dan S6. Ke enam saklar tersebut menggunakan MOSFET daya (*power MOSFET*) sebagai saklar yang nantinya dapat di kontrol oleh Arduino dan melalui *driver*.



Gambar 2 Inverter 3 Fasa [1]

TABEL 1
KONFIGURASI PENSAKLARAN INVERTER 3 FASA MODE
KONDUKSI 120° [1]

No	Durasi	Saklar					
1	120°	S1	S2				
2	120°		S2	S3			
3	120°			S3	S4		
4	120°				S4	S5	
5	120°					S5	S6
6	120°						S6

C. Driver MOSFET

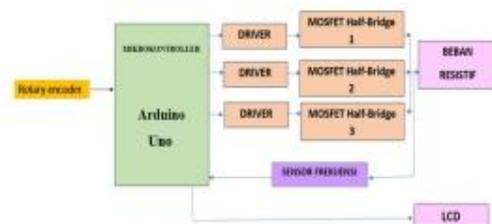
Aplikasi MOSFET dikonfigurasi sebagai sakelar *high-side* dan berkali-kali dikonfigurasi sebagai sakelar *high-side* dan *low-side*. Dalam aplikasi semacam itu digunakan *driver MOSFET high-low side*. IR2110 adalah IC *driver high-side* dan *low-side* paling populer. *Input* logis dari IC ini kompatibel dengan *output CMOS* atau LSTTL standar. *Driver output*

menampilkan tahap penyangga arus pulsa tinggi yang dirancang untuk konduksi silang *driver* minimum. Arus keluaran maksimum untuk IC ini adalah 2,5A dan arus suplai adalah $340\mu\text{A}$. Rentang tegangan pengoperasian untuk IC ini adalah 10V hingga 20V.

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Sistem yang akan dirancang terdiri dari perancangan elektronik dan perancangan mekanik. Perancangan elektronik berupa *software* mikrokontroler, pembuatan rangkaian inverter, *driver* MOSFET dan *hardware* lainnya. Sedangkan perancangan mekanik berupa desain dan rancang bangun dari *six-step* inverter 3 fasa. Berikut adalah blok diagram sistem terlihat di gambar 4:



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Six-Step Inverter 3 Fasa

B. Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja Inverter ini sama dengan catu daya yang menyediakan arus DC ke AC selain itu juga digunakan untuk merubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Prinsip kerja modul praktikum *six-step inverter* 3 fasa ini adalah sebagai piranti yang dapat mengubah frekuensi yang akan digunakan untuk mengubah arus listrik dari searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan metode pensaklaran. Inverter ini akan memberikan tegangan keluaran bolak-balik (AC) 3 fasa persegi. Terdiri dari 3 buah inverter 1 fasa yang dirancang menggunakan *power MOSFET* sebagai saklar.

Penggunaan inverter ini yaitu dengan memilih nilai frekuensi yang diinginkan. Pemilihan frekuensi diatur menggunakan *rotary encoder*. Pemilihan frekuensi disesuaikan dengan kebutuhan. Beberapa variable frekuensi yang tersedia diantaranya 20 Hz, 30Hz, 40Hz, 50Hz, 60Hz, 70Hz, 80Hz dan 90Hz.

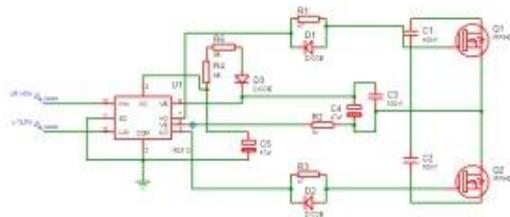
Input dari *rotary encoder* kemudian akan diproses oleh mikrokontroler (arduino), urutan pensaklaran akan berjalan sesuai program yang telah di upload pada Arduino. Perbedaan frekuensi dipengaruhi oleh *delay*



yang telah ditentukan. Urutan pensaklaran pada MOSFET nantinya akan membangkitkan gelombang six-step 3 fasa. Sinyal keluaran dari MOSFET nantinya akan dideteksi oleh sensor frekuensi sebagai *feedback*, sensor akan memberikan informasi hasil frekuensi keluaran MOSFET dan akan memunculkan frekuensi yang berhasil dibentuk oleh modul inverter dan memunculkannya pada LCD.

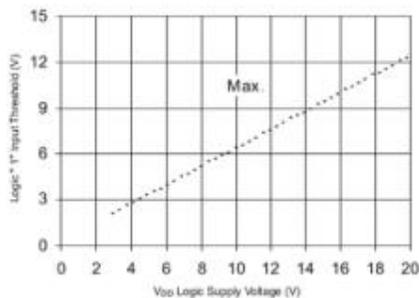
C. Perancangan Elektrik

1. Rangkaian *driver H-bridge* MOSFET



Gambar 5. Skema rangkaian *driver H-bridge* MOSFET

Inverter ini menggunakan IC IR2110 dalam pembuatan rangkaian *driver* MOSFET. IR2110 ini memerlukan tegangan catu yang baik dan stabil pada sisi masukan (V_{DD}) dan sisi keluarannya (V_{CC}). Penentuan besar tegangan catu pada sisi masukan (*input*) ditentukan oleh grafik V_{DD} terhadap batas masukan logik "1". Tegangan minimal yang diperlukan untuk logik "1" adalah 4,2 volt, maka tegangan catu masukan pada IR2110 harus diatur sebesar 5 volt. Untuk tegangan catu keluaran IR2110 diatur sebesar 12 volt agar nilai keluaran IR2110 dapat mencapai tegangan masukan minimal yang diperlukan MOSFET agar MOSFET dapat bekerja secara *fully on* yaitu 10 volt.



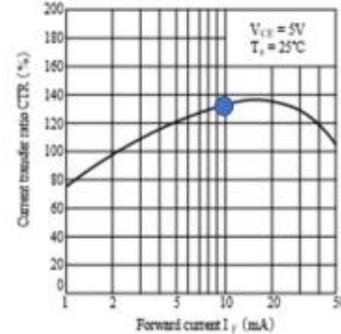
Gambar 6. Grafik tegangan V_{DD} terhadap batas masukan tegangan logik "1"

Setiap pasang saklar akan dikontrol oleh sebuah *driver H-bridge* (IR2110) untuk mengaktifkan dan menonaktifkan kedua saklar tersebut. Rangkaian inverter ini menggunakan 3 rangkaian *driver H-bridge* untuk 6 saklar. Saklar yang digunakan merupakan MOSFET IRF540 (N-Channel

MOSFET) yang digunakan sebagai saklar sisi atas dan saklar sisi bawah.

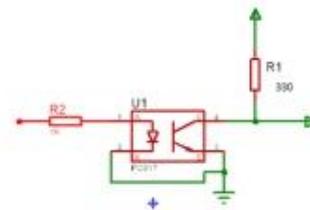
2. Rangkaian Sensor Frekuensi

Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current



Gambar 7. Grafik TCR Optocoupler

Grafik diatas menunjukkan parameter nilai CTR (*Current Transfer Ratio*) yang dibutuhkan pada arus 10mA. Arus tersebut adalah batas arus maksimum yang dapat dilewatkan tanpa menyebabkan kerusakan.



Gambar 8. Rangkaian Sensor Frekuensi

$$R_2 = \frac{V_o - V_f}{I_f}$$

$$R_2 = \frac{12 - 1.4}{0.01} = \frac{10.6}{0.01} = 1060$$

$$I_c = CTR \times I_f$$

$$I_c = 135\% \times 10\text{mA} = 0.0135 \text{ A}$$

$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{I_c}$$

$$R_1 = \frac{5 - 0.7}{0.0135} = 318.51$$

Sensor optocoupler ini berfungsi untuk menghitung banyak perubahan cahaya yang diterima photodiode dengan membidik garis hitam yang ada pada piringan. keluaran sensor ini adalah pulsa listrik yang nantinya mengirimkan sinyal kepada mikrokontroler. Perubahan cahaya yang diterima photodiode kemudian merubah nilai tegangan masukan inverting, tipe nilai keluarannya adalah 5 Volt atau 0 Volt sesuai dengan perubahan cahaya yang diterima oleh

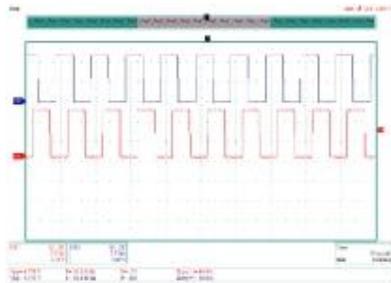


photodiode. Hasil dari pembacaan sensor dihubungkan dengan port mikrokontroler.

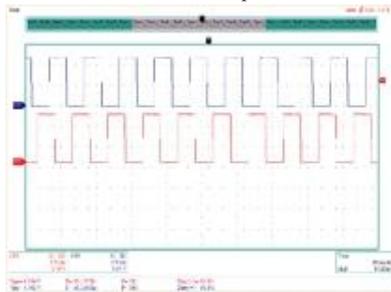
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Hasil PWM

Pengujian gelombang PWM ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana bentuk gelombang PWM keluaran pada rangkaian *switching inverter H-Bridge* yang digunakan untuk men-driver MOSFET pada rangkaian *switching six-step inverter*. Jenis gelombang yang digunakan merupakan gelombang *Pulse Width Modulation (PWM)*, berikut adalah hasil pengujian pembangkitan gelombang output PWM yang dihasilkan :



Gambar 9. Fasa R terhadap Fasa S 90Hz



Gambar 10. Fasa R terhadap Fasa T 90Hz

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 9 dan gambar 10 membuktikan bahwa listing program yang digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM oleh arduino dapat digunakan sebagai trigger untuk men-driver rangkaian *switching* pada *six-step inverter* 3 fasa, pengujian sinyal PWM dibangkitkan dan dilakukan secara berulang menggunakan arduino. Pengujian ini dilakukan agar memastikan bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki perbedaan sudut 120° pada tiap fasanya, selain itu setiap fasa pada MOSFET sisi *high* dan sisi *low* dipastikan tidak menyala bersamaan. *Dead time* (waktu mati) diperlukan agar kedua sisi MOSFET tidak aktif bersamaan dan tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*) ketika sinyal PWM dihubungkan dengan rangkaian inverter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua

channel pada osilloscope yang dihubungkan dengan sisi *high* dan sisi *low*.

B. Pengujian V_{GS} Low Side dan High Side Terhadap Fasa R, Fasa S dan Fasa T

Keluaran sinyal output V_{GS} *High Side* untuk fasa R, fasa S, dan fasa T pada rangkaian *six-step inverter* dapat bekerja sesuai seperti tujuan perancangan yang ditunjukkan oleh hasil grafik yang linear. V_{GS} *High Side* memiliki pulsa keluaran sebesar frekuensi input IC IR2110, pada kasus lain apabila sisi *High Side* tidak muncul pulsa maka dapat dipastikan ada kemungkinan IC yang bermasalah (rusak) atau rangkaian bootstrap tidak bekerja dengan baik. V_{GS} *Low Side* untuk fasa R, fasa S, dan fasa T pada rangkaian *six-step inverter* dapat bekerja dan menghasilkan keluaran yang linear. IC 4049 sudah bekerja sesuai yang diharapkan yaitu mampu membuat logika *High Input* dan *Low Input* pada IC IR2110 berkebalikan misal *High Input* berlogika "1" maka *Low Input* akan berlogika "0" dan sebaliknya. Fasa output *High Side* dan *Low Side* dibangkitkan secara bergantian oleh rangkaian *Inverting Buffer* (IC 4049), Output yang dihasilkan oleh driver MOSFET sesuai dengan apa yang diinginkan dimana sinyal HO (*High Side*) dan LO (*low Side*) bekerja secara bergantian agar memastikan tidak ada MOSFET yang aktif bersamaan sehingga kejadian hubung singkat yang diakibatkan oleh MOSFET yang aktif bersamaan dapat di minimalkan atau dihindari, selain itu memastikan bahwa frekuensi keluaran telah sesuai dengan frekuensi input.

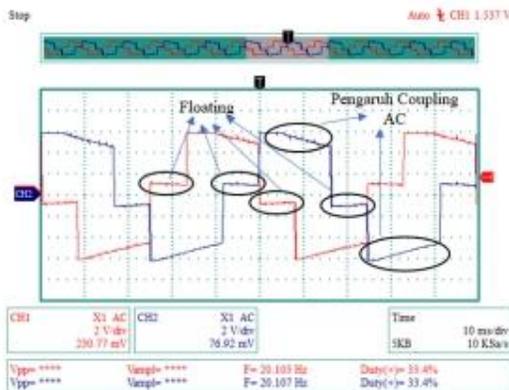
C. Pengujian pada Inverter Tanpa Beban Fasa Terhadap Netral

Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa keluaran sinyal atau gelombang sudah berbentuk *Modified Sine Wave* atau sudah menghasilkan *duty cycle* sebesar 33%, *duty cycle* senilai 33% tersebut didapatkan karena inverter yang digunakan ada 3 step sisi positif dan 3 step sisi negatif, sehingga *duty cycle* yang dihasilkan 100% dibagi 3 atau senilai 33%, dimana tidak sepenuhnya kotak melainkan ada *idle dead time* atau jeda setiap ada transisi, kondisi ini terjadi karena kedua MOSFET *High Side* dan *Low Side* tidak aktif, sehingga menyebabkan tegangan keluaran pada *inverter* ini mengambang (*floating*). Jeda ini ditujukan agar memberi jeda agar pada saat transisi "1" ke "0" atau "0" ke "1" tidak terjadi lonjakan arus atau sering disebut *surge current*, yang mana lonjakan ini terjadi karena adanya induksi dari beban yang bersifat induktif, efek dari lonjakan ini bisa berakibat pada beban yang



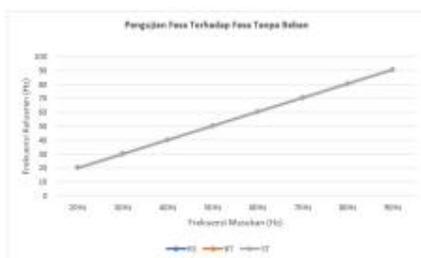
digunakan misal motor induksi akan cepat panas dan suara motor kasar, disisi rangkaian inverter akan berakibat terjadinya *over current* dan *over heat* pada MOSFET sehingga dapat merusak dan memperpendek usia komponen tersebut. Untuk pengujian ini, gelombang yang dihasilkan tidak kotak atau agak menurun amplitudonya terhadap waktu dikarenakan pada saat pengujian *coupling selector* pada osiloskop yang digunakan pada mode AC, pada mode AC ini umumnya setiap osiloskop memiliki filter atau *coupling* berupa kapasitor pada jalur sinyal yang akan diolah, yang tujuannya untuk suatu keperluan pengukuran pada tegangan AC.

Ketika pin SD berlogika “0” maka sinyal dari *High Input* (HI) dan *Low Input* (LI) akan diteruskan ke *High Output* (HO) dan *Low Output* (LO), tetapi ketika pin SD berlogika “1” maka HO dan LO akan berlogika “0” semua, sehingga menjadikan semua MOSFET baik HS dan LS akan tidak aktif dan output inverter menjadi mengambang.

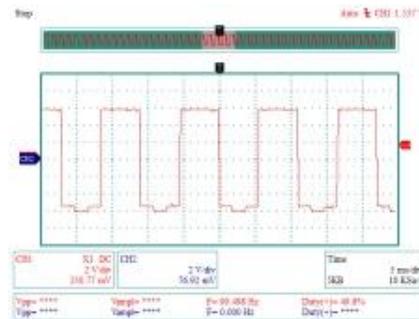


Gambar 11. Gelombang Ketika Terjadi Floating dan Efek Coupling AC pada Selektor Osiloskop

D. Pengujian Fasa Terhadap Fasa Tanpa Beban



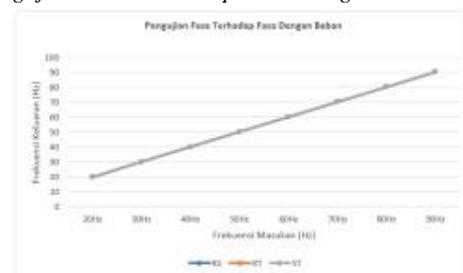
Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Fasa Terhadap Fasa Tanpa Beban



Gambar 13. Output Inverter Fasa RS 90Hz

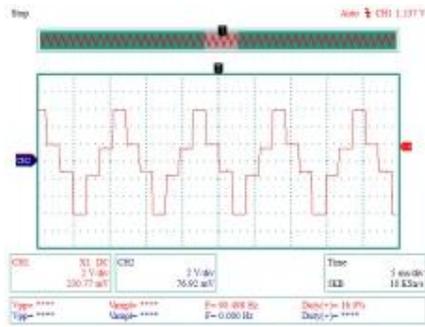
Pada pengujian ini sinyal yang dihasilkan mirip inverter kotak seperti pada umumnya. sinyal tersebut dikarenakan tidak adanya beban antar fasa sehingga ketika fasa R sedang transisi naik ke positif sedangkan fasa S pada posisi idle menyebabkan tegangan akan mengikuti ke fasa R, dikarenakan Fasa S sedang *idle* atau tidak terhubung kemanapun, apabila fasa R sedang pada transisi *idle* dan fasa S transisi naik ke positif akan menyebabkan fasa R akan tertarik ke fasa S dikarenakan hal yang sama yaitu kondisi *idle*, dan apabila fasa R sedang pada sisi positif dan fasa S atau alasan yang paling sederhana adalah karena faktor pembebanan, dimana ketika suatu konverter/inverter tidak ada beban sama sekali, maka menyebabkan tegangan keluaran yang dihasilkan akan mengalami *floating voltage* ini kan membuat sinyal yang dihasilkan tidak sesuai yang diinginkan dikarenakan pada kondisi ini tegangan tidak pasti “1” atau “0”.

E. Pengujian Fasa Terhadap Fasa Dengan Beban



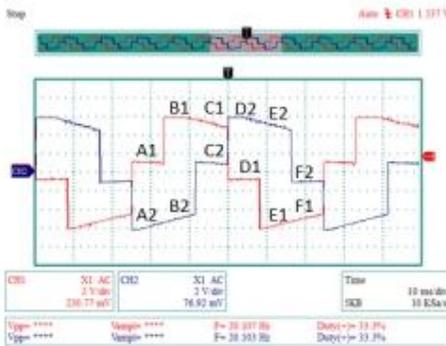
Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Fasa Terhadap Fasa Dengan Beban



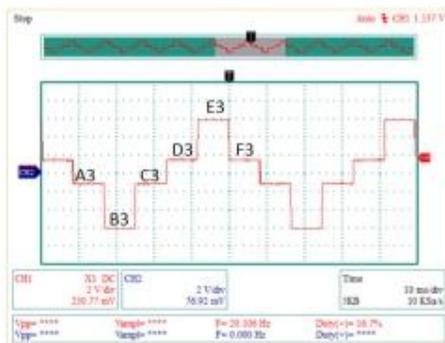


Gambar 15. Output Inverter Fasa RS 90Hz
Proses terjadinya six-step inverter

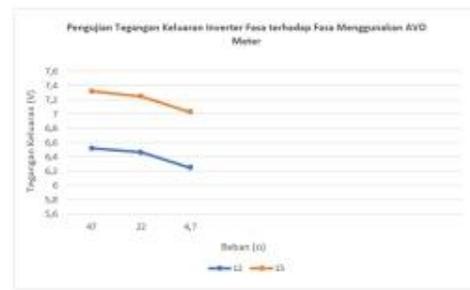
Gambar gelombang sebelum dijumlahkan :



Gambar 16. Output Inverter Sebelum Dijumlahkan
Proses terjadinya six-step merupakan hasil penjumlahan tegangan tiap fasa.



Gambar 17. Gelombang pada Fasa ke Fasa Lainnya Ketika Ada Beban
F. Pengujian Tegangan Keluaran Inverter Fasa terhadap Fasa Menggunakan AVO Meter



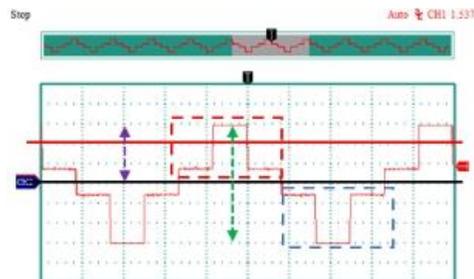
Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian Tegangan Keluaran Inverter Fasa terhadap Fasa Menggunakan AVO Meter

Drop tegangan terjadi ketika ada beban disebabkan karena saat inverter dalam kondisi tidak ada beban maka gelombang yang dihasilkan oleh inverter berupa gelombang kotak, sehingga AVO dapat membaca lebih tinggi dikarenakan gelombang kotak memiliki luas daerah pada sisi positif atau negatif yang lebar jika dibandingkan ketika sudah ada beban.

Ketika ada beban maka luas daerah gelombang menjadi semakin kecil karena adanya gelombang yang terpotong, sehingga luas daerah gelombang yang dapat diukur oleh AVO juga semakin kecil sehingga tegangan yang terbaca pada AVO menjadi turun. Dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 19. Luas Daerah yang Terukur oleh AVO Meter



Gambar 20. Luas Daerah yang Terukur oleh AVO Meter



tegang drop sekitar 4 volt ketika tidak ada beban dan ada beban terjadi karena faktor gelombang yang dihasilkan oleh rangkaian inverter, sedangkan AVO meter yang digunakan hanya dapat mengukur V_{RMS} atau berdasarkan luas gelombang yang terbaca sehingga timbul selisih tegangan ketika ada beban. Untuk V_{p-p} yang dikeluarkan tetap yakni $12 V_{p-p}$. Untuk solusi drop tegangan ini dapat diselesaikan dengan metode menaikkan tegangan input menggunakan *buck-boost converter*, tetapi pada penelitian ini hanya fokus pada pembuatan *six-step inverter* menggunakan IC IR2110.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem pada alat dan setelah didapatkan hasil yang sesuai dengan perencanaan pembuatan sistem maka didapatkan beberapa kesimpulan tentang sistem kerja alat ini secara keseluruhan diantaranya :

1. Gelombang PWM yang dihasilkan memiliki perbedaan sudut 120° pada tiap fasanya.
2. *Dead time* (waktu mati) diperlukan agar kedua sisi MOSFET tidak aktif bersamaan dan tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*) ketika sinyal PWM dihubungkan dengan rangkaian inverter.
3. Rangkaian bootstrap diperlukan agar V_{GS} *High Side* dapat memiliki pulsa keluaran sebesar frekuensi input IC IR2110.
4. IC4049 digunakan untuk membuat logika *High Input* dan *Low Input* pada IC IR2110 berkebalikan misal *High Input* berlogika “1” maka *Low Input* akan berlogika “0” dan sebaliknya.
5. drop tegangan terjadi ketika ada beban disebabkan karena ketika tidak ada beban gelombang yang dihasilkan berupa gelombang kotak, sehingga avo membaca lebih tinggi dikarenakan gelombang kotak memiliki luas daerah pada sisi positif atau negatif yang lebar jika dibandingkan ketika sudah ada beban.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian “Six-Step Inverter 3 Fasa Sebagai Modul Pembelajaran Elektronika Daya” yang telah dicapai diharapkan inverter ini dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya, diantaranya :

1. Inverter ini dapat di-*upgrade* menjadi inverter dengan keluaran 220Volt dengan cara mengganti

MOSFET yang mampu bekerja pada tegangan yang lebih tinggi tanpa harus mengubah rangkaian driver.

2. Diberikan penstabil tegangan untuk umpan balik dengan cara menambahkan *buck / boost converter*.

REFERENSI

- [1] Asnil, Krismadinata, and I. Husnaini, “Inverter tiga fasa untuk pembangkit listrik tenaga surya,” Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro (FORTEI 2017), pp. 163–166.
- [2] Babaei Ebrahim, Mahaei Mehdi, 2010, *Improving Output Voltage of the Three Phase SixSwitch Inverters*, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran Department of Electrical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
- [3] Biswas Shekhar Kumar, Gupta Puja, 2016, *Design, Simulation & Implementation Of Inverter*, Department Of Electrical & Electronics Engineering National Institute Of Technology, Sikkim
- [4] Harahap, Poerbahawatja., 1982, **Ensiklopedi Pendidikan, PT Gunung Agung, Jakarta.**
- [5] Krismadinata, Asnil, I. Husnaini, and H. Hendri, “Microcontroller based multilevel inverter for photovoltaic system,” Adv. Sci. Lett., vol. 23, pp. 3859–3863, 2017.
- [6] Krismadinata, Asnil, I. Husnaini, and E. Astrit, “Microcontroller based 120 and 180 conduction modes of three-phase inverter for photovoltaic generation,” ARPN J. Eng. Appl. Sci., vol. 13, no. 11, pp. 3579–3586, 2018
- [7] Erfan, Juna. Chairul, 2016, Inverter 3 Fasa 220 Volt Dengan Output Sinusoidal Frekuensi 50 Hz Menggunakan Arduino Dengan Teknik *Direct Digital Synthesis*, Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [8] Muhammad H.Rasyid “Elektronika Daya”. Edisi bahasa Indonesia jilid I. PT. Prenhallindo, Jakarta,1993.
- [9] Sungho Jung and Jung-Ik Ha. *Low Voltage Modulation Method in Six-step Operation of Three Phase Inverter*. 9th International Conference on Power Electronics-ECCE Asia June 1 – 5. 2015 / 63 Convention Center, Seoul, Korea
- [10] Raharja, L. P. S., Arief, Z., & Windarko, N. A. (2017). *Reduction of Total Harmonic Distortion (THD) on Multilevel Inverter with Modified PWM using Genetic Algorithm*. EMITTER International Journal of Engineering Technology, 5(1), 91- 118
- [11] Sachin Sharma, Alok Pandey, Nitin Kumar Saxena. *Modeling of Six Pulse Voltage Source Inverter Based STATCOM with PWM and Conventional Trogginger*. 2017
- [12] J J Messerly, *3-fas-spänningar*

