

Desain SPWM *Single Phase Full Bridge Inverter* pada Sistem *Uninterruptible Power Supply* 500W

Indra Ferdiansyah

indraferdi@pens.ac.id

Politeknik

Elektronika Negeri Surabaya

Indhana Sudiharto

indhana@pens.ac.id

Politeknik

Elektronika Negeri Surabaya

Epyk Sunarno

epyk@pens.ac.id

Politeknik

Elektronika Negeri Surabaya

Mahbub Gusti Muhammad

mahbubgusti@pe.student.pens.ac.id

Politeknik

Elektronika Negeri Surabaya

Abstrak

Indonesia memiliki sumber daya listrik cukup memadai yang disediakan oleh PLN. Namun pemadaman masih sering terjadi dikarenakan beberapa hal, seperti adanya gangguan disisi transmisi maupun distribusi terutama disaat cuaca sedang hujan. Hal ini berdampak pada ketidaknyamanan pelanggan. Untuk mengatasi hal tersebut beberapa rumah telah menggunakan sumber daya cadangan berupa generator set yang akan dioperasikan disaat terjadi pemadaman. Penyelesaian tersebut ternyata menimbulkan suara yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna. Untuk meningkatkan kenyamanan diusulkan sebuah UPS (*Uninterruptible Power Supply*). Pada sistem yang diusulkan terdapat sensor tegangan untuk mendeteksi terjadinya pemadaman listrik. Selain itu terdapat switch SSR sehingga dapat mengganti sumber daya dari jala – jala ke UPS dengan respon waktu yang cepat pada saat pemadaman. Inverter pada sistem UPS yang diusulkan menggunakan teknik *switching* SPWM sehingga menghasilkan gelombang output mendekati sinus serta penggunaan filter LC disisi output bertujuan untuk mengurangi riak pada sistem. Kontrol tegangan berbasis PID digunakan untuk menjaga tegangan keluaran inverter dengan mengubah nilai *magnitude amplitude*, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan UPS dapat bekerja dengan daya maksimal 500W dan tegangan dijaga konstan sebesar 215V.

Kata Kunci — Kontrol PI, pemadaman listrik, SPWM, UPS

Abstract

Indonesia has sufficient power resources provided by PLN. However, blackouts still occur frequently due to several reasons, such as disruption in transmission and distribution, especially when the weather is raining. This has an impact on customer inconvenience. To overcome this, several houses have used a backup power source in the form of a generator set that will be operated by a blackout. This solution turns out to cause noise that can interfere with user comfort. To increase user convenience, a system (*Uninterruptible Power Supply*) is proposed. The system there is a voltage sensor to detect a power outage. In addition, there is an SSR switch so that it can to switch main source to the UPS with a fast response time during a blackout. The inverter on UPS system uses the SPWM technique to produce a sine wave output, then the use of an LC filter to reduce ripple on the system. PID-based voltage control is used to maintain the output inverter by the setting value of *magnitude amplitude*. Based on the results of the test, the UPS can work

during a blackout with a maximum power of 500W and the voltage constant at 215V.

Keywords — Blackout, PI Controller, SPWM, UPS.

I. PENDAHULUAN

Listrik menjadi kebutuhan utama di zaman serba modern saat ini. Perkembangan teknologi membutuhkan suplai listrik yang memadai. Beberapa peralatan elektronik yang digunakan oleh masyarakat memiliki fungsi sebagai sarana hiburan, kenyamanan bahkan sumber penghasilan. Indonesia memiliki sumber daya listrik yang sudah cukup memadai, ditambah dengan berjalannya proyek 35MW membuat masyarakat tidak lagi kekurangan akan sumber daya listrik. Namun pemadaman masih saja terjadi, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal salah satunya gangguan disisi transmisi maupun distribusi [1-2]. Hal ini tentunya dapat mengurangi rasa nyaman masyarakat sebagai konsumen. Beberapa daerah di Indonesia memiliki suhu yang cukup panas di malam hari, sehingga selain sumber pencahayaan, penggunaan kipas angin juga cukup sering digunakan. Pada saat terjadi pemadaman, tentu saja hal ini menjadi masalah tersendiri. Beberapa rumah telah menggunakan sumber daya cadangan berupa generator set yang akan dioperasikan disaat terjadi pemadaman. Penggunaan genset sendiri memiliki beberapa kekurangan yaitu cara penggunaannya yang masih manual sehingga terdapat jeda waktu pada saat perpindahan switch sehingga menyebabkan beban off terlebih dahulu. Sistem operasi genset yang menggunakan mesin diesel sebagai pembangkit listrik menimbulkan bunyi yang tentunya dapat mengurangi rasa nyaman pengguna [1],[3].

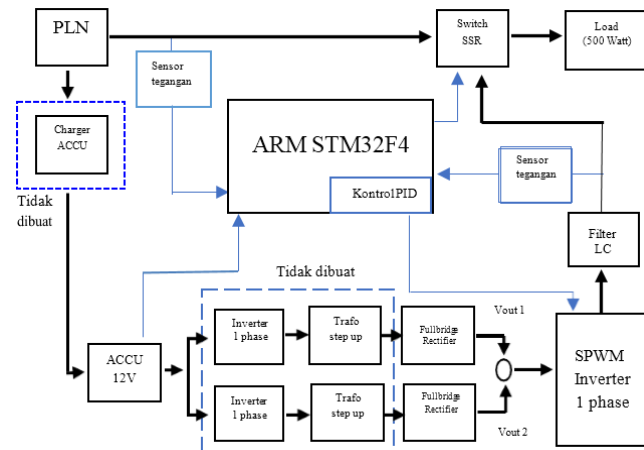
Sistem yang diusulkan adalah sebuah sumber cadangan sementara berupa sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*) sebagai solusi dari permasalahan diatas. UPS yang diusulkan menggunakan sumber daya dari baterai ACCU 12volt. Sensor tegangan untuk mendeteksi ada atau tidaknya sumber jala – jala dan juga menggunakan switch SSR sehingga dapat mengganti sumber daya dari jala – jala ke UPS dengan respon waktu yang cepat. Inverter yang digunakan menggunakan teknik *switching* SPWM sehingga menghasilkan gelombang output mendekati sinus, penggunaan filter LC disisi output

bertujuan untuk mengurangi riak yang ada. Terdapat kontrol tegangan untuk menjaga nilai tegangan keluaran inverter dengan mengubah nilai ma (magnitude amplitude) [4-6].

II. METODE PENELITIAN

UPS (Uninterruptible Power Supply) merupakan perangkat kelistrikan yang mampu melakukan *backup* pada suatu sistem kelistrikan yang terhubung dengan beban sehingga peralatan tetap hidup pada saat listrik padam. Sekarang ini penggunaan UPS semakin meluas mulai dari penggunaan di industri, pembangkit, rumah sakit hingga beban rumah tangga. Meskipun bersifat pemasok energy sementara UPS memiliki fungsi dan peranan penting untuk menjaga *lifetime* dari peralatan elektronik yang ketika listrik padam peralatan tidak boleh langsung mati, seperti komputer dan peralatan-peralatan di rumah sakit [1],[4-5]. Seiring berkembangnya zaman dan ketergantungan manusia terhadap peralatan elektronik yang menunjang semua kegiatan manusia, UPS juga memiliki peranan penting pada beban rumah tangga, karena tidak sedikit orang yang mengeluh ketika mengalami pemadaman listrik. Salah satunya adalah peralatan kipas angin atau lampu, ketika listrik padam maka akan sangat mengganggu kenyamanan dari pgunanya sehingga diperlukan adanya sistem yang mampu *backup* peralatan tersebut agar tetap menyala terlebih pada saat malam hari. Meskipun bersifat pemasok energi sementara (*Short-term*) UPS juga memiliki peran penting untuk menjaga *lifetime* peralatan dan kestabilan sistem. Jika ditinjau dari jenis konfigurasi pemasangan UPS, sistem yang diusulkan menggunakan metode *offline* UPS, atau *standby* UPS, dimana sistem akan bekerja ketika listrik padam dan sistem akan mati ketika pasokan listrik utama menyala kembali. UPS jenis ini terdiri dari *Rectifier*, Baterai, Inverter dengan filter LC dan SSR sebagai *switch* penggunaan dari UPS ataupun listrik utama. Detail blok diagram sistem yang diusulkan ditampilkan pada Gambar 1.

Dengan penambahan filter diharapkan mampu mengurangi riak dan menurunkan nilai THD sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari UPS tersebut. Kemudian SSR diharapkan memiliki respon yang cepat untuk melakukan perpindahan sumber energy listrik pada saat sumber utama padam sehingga kontinuitas aliran daya listrik tetap terjaga tanpa harus padam.

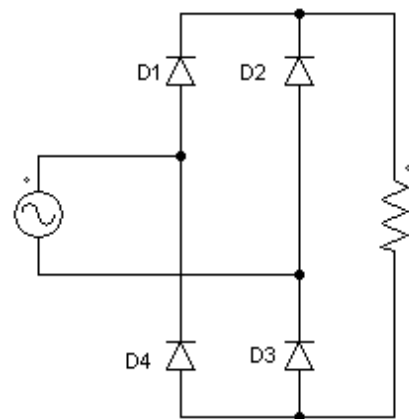


Gbr. 1 Blok diagram sistem

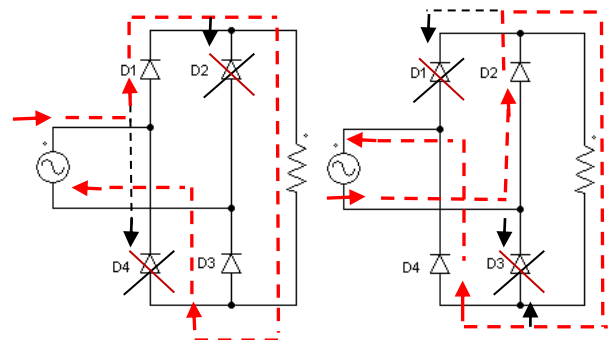
A. Rangkaian Penyearah (Rectifier)

Rangkaian penyearah atau biasa disebut dengan *rectifier* adalah suatu rangkaian konversi daya yang mengubah sistem tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Rangkaian penyearah dibagi menjadi 2 jenis, yaitu penyearah terkontrol menggunakan SCR dan penyearah tidak terkontrol menggunakan diode. Jika dilihat dari prinsip kerjanya penyearah juga terbagi menjadi 2 yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Dalam hal ini sistem yang diusulkan menggunakan jenis penyearah gelombang penuh tidak terkontrol dengan 4 buah dioda, konfigurasi dari rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 [6-7].

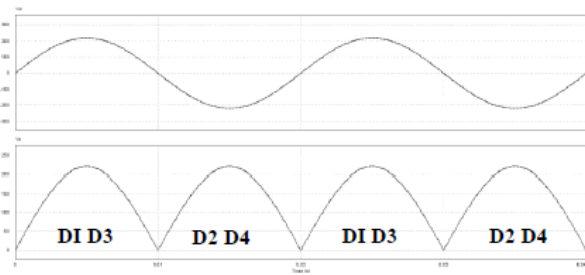
Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh yaitu di saat *input* berupa gelombang positif melewati D1 dan D3 maka diode berfungsi sebagai *forward* bias dan pada diode D2 dan D4 mengalami kondisi *reverse* bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D3. Kemudian pada saat *input* berupa gelombang negatif maka D2 dan D4 pada posisi *forward* bias dan kemudian kondisi diode pada D1 dan D3 mengalami *reverse* bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2 ke D4. Detail analisis rangkain dan bentuk gelombang rangkain penyearah gelombang penuh tidak terkontrol ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gbr. 2 Rangkaian penyearah gelombang penuh tidak terkontrol



Gbr. 3 Analisis rangkaian penyearah gelombang penuh tidak terkontrol



Gbr. 4 Detail bentuk keluaran penyearah gelombang penuh tidak terkontrol

B. SPWM (Sinus Pulse Width Modulation)

Sebuah Inverter membutuhkan sebuah penyulutan agar dapat bekerja secara bolak balik, SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) merupakan teknik *switching* yang membandingkan sinyal *sinusoidal* sebagai sinyal referensi dengan sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa (*carrier*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 [6], [8-9].

Dengan teknik SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) nilai tegangan *output* dapat diatur dengan cara memodulasi bentuk sinyal, sedangkan untuk frekuensi sinyal *output* Inverter, dapat diatur dengan mengubah melalui frekuensi sinyal *reference*.

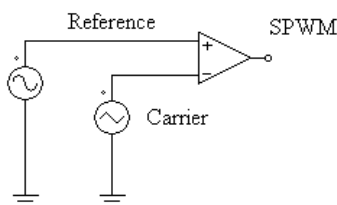
$$M_f = \frac{f_c}{f_m} \tag{1}$$

Dimana: M_f = rasio modulasi
 f_c = frekwensi gelombang segitiga
 f_m = frekwensi gelombang sinus

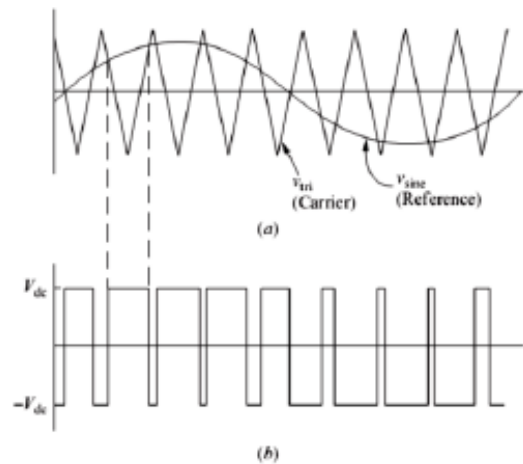
$$M_a = \frac{A_m}{A_c} \tag{2}$$

Dimana: M_a = rasio modulasi amplitudo
 A_m = amplitude gelombang sinus (*modulating*)
 A_c = amplitude gelombang segitiga (*carrier*)

Terdapat dua teknik *switching* SPWM yaitu bipolar dan unipolar. Prinsip dari *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) bipolar di ilustrasikan pada Gambar 6. Sinyal sinusoidal sebagai referensi dan sinyal segitiga sebagai carrier. Ketika nilai sinyal sinus referensi lebih besar daripada sinyal segitiga *carrier* maka *output* berada pada +VDC, sedangkan jika sinyal sinus referensi kurang dari sinyal segitiga *carrier* maka *output* berada pada -VDC [10].



Gbr. 5 Teknik SPWM



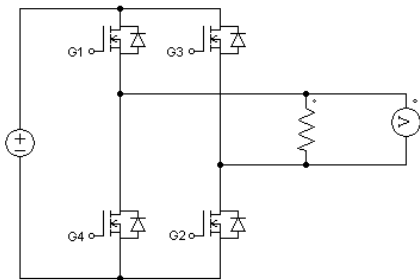
Gbr. 6 (a) Sinyal *refrence* dan *Carrier* (b) Sinyal *output* SPWM

C. Single Phase Full Bridge Inverter

Inverter merupakan perlatan konversi daya yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC (searah) menjadi tegangan keluaran AC (bolak-balik) yang variabel ataupun yang tetap. Sumber atau *input* dari inverter berupa tegangan DC yang bisa didapatkan dari baterai, panel surya atau sumber tegangan DC yang lainnya. Inverter terus dikembangkan dan terus diaplikasikan secara luas pada sistem pengaturan kecepatan motor AC sebagai *Variable Speed Drive*, *uninterruptible power supplies* (UPS) dan aplikasi-aplikasi lainnya yang membutuhkan tegangan AC dengan sumber input dari baterai. Komponen elektronik yang dapat digunakan pada inverter yaitu SCR, IGBT, dan MOSFET atau sejenisnya. Komponen-komponen tersebut sebagai sakelar (*switching*) untuk mengubah tegangan sesuai pada kondisi atau daerah operasi inverter. Jika ditinjau dari prinsip dan proses konversi, inverter dibedakan menjadi 3 jenis yaitu series, parallel dan model jembatan. Untuk model jembatan sendiri terdiri dari model setengah gelombang (*Half bridge*) dan model gelombang penuh (*Full Bridge*). Dalam hal ini sistem yang diusulkan menggunakan model konversi (*Full Bridge*).

TABEL I
 PRINSIP KERJA PENSAKLARAN FULL BRIDGE INVERTER 1 FASA

Kondisi	V _{aN}	V _{bN}	Komponen aktif
Q1,Q2 ON dan Q3,Q4 OFF	V _i /2	-V _i /2	Q1 dan Q2 jika i _o >0 D1 dan D2 jika i _o <0
Q3,Q4 ON dan Q1,Q2 OFF	-V _i /2	V _i /2	D3 dan D4 jika i _o >0 Q3 dan Q4 jika i _o <0
Q1,Q3 ON dan Q2,Q4 OFF	V _i /2	-V _i /2	Q1 dan D3 jika i _o >0 D1 dan Q3 jika i _o <0
Q2,Q4 ON dan Q1,Q3 OFF	-V _i /2	V _i /2	D4 dan Q2 jika i _o >0 Q4 dan D2 jika i _o <0
Q1,Q2,Q3,Q4 OFF	-V _i /2 V _i /2	V _i /2 -V _i /2	D3 dan D4 jika i _o >0 D1 dan D2 jika i _o <0



Gbr. 7 Rangkaian Full Bridge inverter 1 fasa

Prinsip kerja pensaklaran dari rangkaian Full Bridge inverter 1 fasa dapat dilihat pada Tabel 1. Pada sistem ini digunakan 4 buah Mosfet dan 4 buah dioda yang terpasang secara paralel pada setiap mosfetnya. Dimana ketika Transistor G1 dan G2 (On) maka tegangan input akan masuk pada beban. Pada kondisi ini yaitu tegangan pada sisi positif (+Vs). Kemudian selanjutnya ketika Mosfet G3 dan G4 (On) maka tegangan input akan masuk ke beban juga yaitu tegangan pada sisi negatif (-Vs). Detail rangkaian Full Bridge inverter 1 fasa ditampilkan pada Gambar 7 [7-9].

D. Kontrol PID

PID merupakan gabungan dari tiga mode, yaitu Proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D). Penggabungan ini berfungsi untuk menutupi kekurangan dan menonjolkan kelebihan dari masing-masing mode kendali. Misalnya mode P berfungsi mempercepat waktu naik agar respon sistem lebih cepat mencapai setpoint, namun masih meninggalkan offset. Kelemahan mode P dapat diatasi dengan menggabungkan mode I yang mampu menghilangkan offset dan mengurangi terjadinya maksimum overshoot yang terlalu besar. Karena mode I dapat menyebabkan respon sistem lambat, maka dapat digabungkan dengan mode D [11]. Bentuk umum sistem kendali PID ditunjukkan pada persamaan berikut. Detail dari blok kendali PID ditampilkan pada Gambar 8:

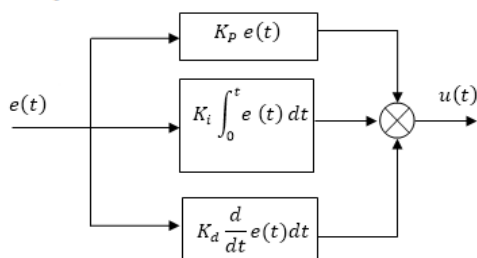
$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \tag{3}$$

atau dalam bentuk persamaan lain dapat ditulis sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{4}$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{5}$$

Bila $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ dan $K_d = K_p T_d$



Gbr. 8 Diagram blok pengendali PID

Pada penalaan parameter kontrol PID, gain K_p tidak boleh terlalu besar karena semakin besar gain K_p maka sistem akan semakin sensitif dan cenderung tidak stabil. Jika K_p kecil, maka offset menjadi besar. Jika T_i kecil, maka dapat menghilangkan offset tetapi cenderung membawa sistem menjadi lebih sensitif dan mudah beresilasi. Jika T_i besar, maka belum tentu efektif menghilangkan offset dan juga membuat respon menjadi lebih lambat. Jika T_d besar, maka akan membuat unsur derivative menjadi lebih menonjol sehingga respon cenderung cepat. Jika T_d kecil, maka kurang membantu pada saat pencapaian setpoint.

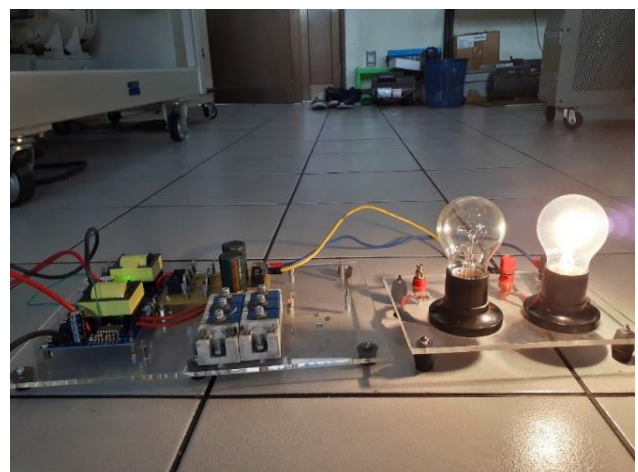
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian system UPS menggunakan SPWM-Single Phase Full Bridge Inverter digunakan untuk melihat performa dari system secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian rectifier dan kit inverter, filter LC, SPWM-Inverter dan control PID. Selanjutnya keseluruhan sistem akan diintegrasikan untuk di uji secara open loop dan close loop untuk melihat kehandalan dan respon dari system dengan memberikan beberapa variasi beban dan juga beberapa variasi gangguanya.

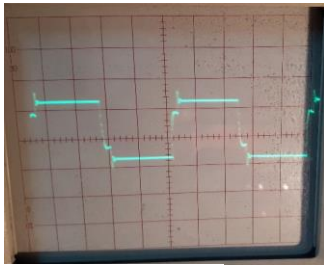
A. Pengujian Kit-Inverter dan Rectifier

Pada pengujian ini dilakukan pengujian kit inverter dan rectifier. Dimana sistem yang diusulkan menggunakan sumber daya cadangan yaitu 2 buah inverter kit dengan sumber accu 12v. Detail prose pengujian ditampilkan pada Gambar 9.

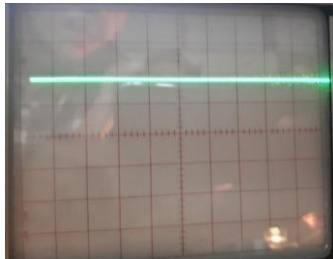
Sumber tersebut nantinya akan menjadi sumber tegangan bagi SPWM-Single Phase Full Bridge Inverter agar dapat diatur tegangan keluaran sesuai dengan setpoint atau tegangan yang diinginkan, maka dari itu sehingga harus di searahkan terlebih dahulu menggunakan penyearah gelombang penuh tidak terkontrol. Hal ini dilakukan diharapkan dapat mengurangi ripple dari inverter dan membuat gelombang inverter lebih mendekati sinus. Gambar keluaran tegangan kit-inverter ditunjukkan pada Gambar 10.



Gbr. 9 Pengujian kit-inverter dan rectifier



Gbr. 10 Bentuk gelombang output inverter-kit



Gbr. 11 Bentuk gelombang output rectifier

Dari Gambar 10, terlihat bentuk gelombang masih *Square Wave* (kotak) sehingga sangat tidak disarankan jika langsung digunakan untuk keperluan beban, terlebih pada beban induktif karena akan mengurangi kerja dari peralatan elektronik dikarenakan sumber atau suplai energinya yang kurang, sehingga dapat menurunkan *lifetime* dari peralatan hingga mengakibatkan kerusakan jika hal tersebut terus terjadi.

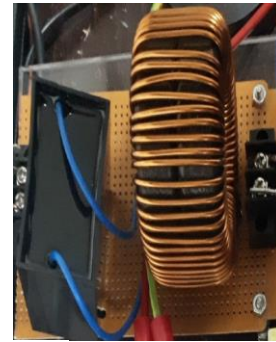
Selanjutnya keluaran dari kit-inverter akan digunakan sebagai input pada rangkaian penyearah tidak terkontrol gelombang penuh untuk di searahkan sebelum digunakan sebagai inverter. Untuk mendapatkan hasil yang optimal diharapkan gelombang keluaran dari rectifier yang telah dibuat dengan penambahan kapasitor yang difungsikan sebagai filter dapat membuat keluaran rectifier sama halnya seperti gelombang DC murni yaitu seperti garis lurus. Detail hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 11.

Pada Gambar diatas menunjukkan gelombang *output* dari *fullbridge rectifier* merupakan DC murni, sehingga dapat disimpulkan bahwa filter C yang didesain telah bekerja dengan baik.

B. Pengujian Filter LC

Filter LC merupakan komponen yang digunakan untuk memfilter harmonisa yang pada sistem ini adalah tegangan output dar inverter yang berupa gelombang kotak. Berdasarkan perhitungan yang didapatn sesuai dengan persamaan 6 maka didapatkan bahwa nilai kapasitor yang digunakan adalah 10 uF dan induktor di desain dengan nilai 500 uH. Dari nilai induktor tersebut didapat nilai frekuensi cutt off 2,3kHz sesuai dengan perhitungan. Pada Gambar 12 dapat dilihat tampilan dari filter LC yang telah diselesaiakn.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{6}$$



Gbr. 12 Bentuk fisik filter LC



Gbr. 13 Pengujian Induktor

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menggunakan perlatan LCR meter seperti yang ditampilkan pada Gambar 13, menunjukkan bahwa pengujian induktor yang dilakukan menghasilkan nilai induktansi sebesar 528uH dengan factor Q sebesar 226,1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengerjaan induktor telah sesuai dengan desain. Detail hasil pengujian performa filter LC ditampilkan pada Tabel 2.

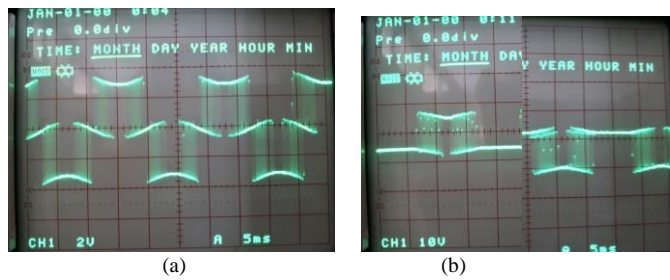
Pada Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian *low pass filter* dapat diketahui bahwa pada saat frekuensi cut off yaitu sebesar 2300 Hz tegangan sudah mendekati nol, sehingga dapat disimpulkan bahwa *low pass filter* telah bekerja dengan baik.

C. SPWM-Single Phase Full Bridge Inverter 500Watt

Pengujian integrasi secara keseluruhan system digunakan untuk melihat kinerja dari inverter dengan teknik pensaklaran SPWM. Sinyal SPWM yang dimaksudkan ini digunakan sebagai masukan untuk dua buah rangkaian driver Inverter dalam hal ini menggunakan IC IR2111. Bentuk gelombang sinyal SPWM ditunjukan Pada Gambar 14 (a) dan *output* driver yang digunakan untuk melakukan penyulutan pada Mosfet inverter ditampilkan pada Gambar 14 (b).

TABEL II
DATA PENGUJIAN FILTER LC

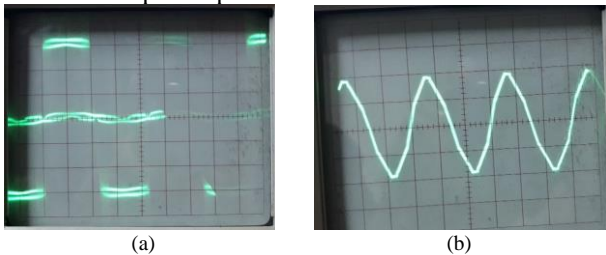
Vin	F (Hz)	Vo	F(hz)	Vout
6.95 V	50	6.95	2	1.006
	100	6.73	2.3k	0.913
	200	5.97	2.5 K	0.831
	300	5.16	3 k	0.67
	400	4.44	3.5k	0.552



Gbr. 14 (a) Bentuk sinyal SPWM (b) Sinyal Driver Mosfet

Setelah dilakukan pengujian sinyal SPWM dan driver inverter selanjutnya pengujian tegangan keluaran inverter sebelum dan sesudah diberikan filter LC yang ditampilkan hasilnya pada Gambar 15.

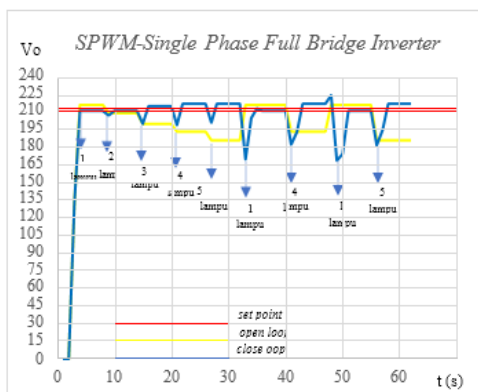
Keluaran dari inverter yang telah di filter akan diuji dengan diberikan beban sebesar 500 Watt secara bertahap, hal ini dilakukan untuk melihat respon dari sistem ketika dibebani serta membandingkan antara respon sistem terkontrol dan tanpa kontrol. Detail pengujian dan respon system yang diusulkan ditampilkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gbr. 15 Bentuk gelombang SPWM-Inverter (a) sebelum (b) sesudah filter



Gbr. 16 Pengujian SPWM-Inverter dengan beban lampu 5x100watt



Gbr. 17 Respon SPWM-Inverter dengan beban lampu 5x100watt

TABEL III
DATA PENGUJIAN INVERTER DENGAN BEBAN LAMPU 5x100W

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Eff (%)	Beban
12.3	16.7	215	0.84	205.4	180.6	87.9	1 lampu
	25.8	216	0.87	317.3	187.9	59.7	2 lampu
	35.7	214	1.57	439.1	335.9	76.4	3 lampu
	46.9	216	1.77	576.8	382.3	66.2	4 lampu
	57.9	216	2.2	712.1	475.2	66.7	5 lampu

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan data pengujian integrasi sistem dengan kontrol PID dapat menjaga tegangan keluaran sesuai dengan *set point* meskipun diberi gangguan berupa penambahan beban. Dari data yang didapatkan diketahui bahwa kontrol telah bekerja dengan baik untuk menstabilkan tegangan sebesar 215v dengan *error* tegangan terbsesar adalah 2,33% dengan daya maksima sebesar 475.2 watt.

IV. KESIMPULAN

Beberapa tahapan pengujian dilakukan untuk melihat performa dari sistem yang diusulkan mulai dari pengujian secara parsial hingga pengujian secara integrasi keseluruhan sistem. Dari hasil yang didapatkan penggunaan teknik SPWM pada inverter sangat cocok untuk mendapatkan tegangan keluaran mendekati sinus, terlebih dengan adanya penambahan filter LC akan menghilangkan riak sehingga memperbaiki tegangan keluarannya. Penggunaan kontrol PID memberikan dampak yang baik menjaga sistem ketika sistem mengalami gangguan, terlihat dari hasil yang didapatkan sistem dijaga dan dapat kembali ke posisi stabil meskipun terdapat gangguan.

REFERENSI

- [1] Sangjin Kim, Minho Kwon, and Sewan Choi, "Operation and Control Strategy of a New Hybrid ESS-UPS System," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, pp. 4746–4755, June. 2018.
- [2] Krzysztof Przystupa, Joana Koziel, "Analysis of the quality of uninterruptible power supply using a UPS," in *Proc. Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE)*, 2018, pp 191-194.
- [3] Vladimir Burlaka, Sergey Gulakov, Svetlana Podnebennaya, and Ekaterina Kudinova, "Low-Cost Online Uninterruptible Power Supply with Input Power Factor Correction and Wide Input Voltage Range," in *Proc. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp 234-237.
- [4] Keyan Shi, Xiaojun Wang, Dezhi Dong, Changsheng Hu, Dehong Xu, "Unified control scheme design for both the PWM rectifier and the inverter in the uninterruptible power supply (UPS) system," in *Proc. 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia)*, 2017, pp 1462-1467.
- [5] Dipesh Atkar, Pratik S, Sateesh Chiriki, and V. B Borghate, "Control of seven level cascaded H-Bridge inverter by hybrid SPWM technique," in *Proc. 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2016, pp 1-6.
- [6] Sundas Hannan, Sohob Aslam, and Muhammad, "Design and real-time implementation of SPWM based inverter," in *Proc. International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, 2018, pp 1-6.
- [7] Baoquan Kou, Jian Wei, and Lu, "Switching and Conduction Loss Reduction of Dual-Buck Full-Bridge Inverter Through ZVT Soft-Switching Under Full-Cycle Modulation," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, pp. 5031–5046, September. 2019.

- [8] Pungky Satrio Wibowo, Slamet Riyadi, "SPWM Volt/Hz Based Speed Control of Induction Motor," in *Proc. International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, 2019, pp 482-486.
- [9] Indhana Sudiharto, Sutedjo, Farid Dwi Murdianto, Epyk Sunarno, Syechu Dwitya Nugraha, Ony Asrarul Qudsi, "Design and Implementation Unipolar SPWM FullBridge Inverter Using Fuzzy Sugeno in DC Microgrid Isolated System," in *Proc ICITISEE*, 2018, Vol 18 pp 368-373.
- [10] Indra Ferdiansyah, Sutedjo, Diah Septi Yanaratri, Lucky Pradigta Setya Raharja, "Comparative Study of Maximum Boost Control ZSource Inverter with SPWM-VSI for Induction Motor Drive," in *Proc ICITISEE*, 2018, Vol 10 pp 193-198.
- [11] M. Blachuta, Zbigniew R. R. Bieda, K. Bernacki, and Rafal G., "Design, Modeling and Simulation of PID Control for DC/AC Inverters," in *Proc. International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 2019, pp 428-433.

