



## Desain Inverter Satu Fasa 400Watt dengan Kontrol Fuzzy Sugeno Berbasis Mikrokontroler Untuk Sistem Uninterruptible Power Supply

Suryono<sup>1</sup>, Endro Wahjono<sup>2</sup>, Nasrul Annafi<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Teknik Elektro Industri, Indonesia

\* Corresponding Author: [nasrulannafi@pe.student.pens.ac.id](mailto:nasrulannafi@pe.student.pens.ac.id)

### Abstrak

Saat ini, kebutuhan listrik umat manusia semakin melonjak naik dan energi listrik dialirkan langsung dari PLN yang sering kali mengalami gangguan yang menyebabkan pemadaman listrik, pemadaman itu sendiri dilakukan karena kapasitas pada beban yang melebihi kapasitas yang sudah ditentukan. Maka dari itu perlu diupayakan energi listrik alternatif sebagai pengganti gangguan pemadam. Uninterruptible Power Supply (UPS) dimanfaatkan sebagai alat elektronik yang dapat bekerja dalam kondisi sumber PLN padam. Penelitian ini merencanakan sistem UPS yang terdapat sensor tegangan untuk mendeteksi terjadinya pemadaman. Terdapat SSR sebagai peralihan sumber daya PLN ke sistem UPS. Fullbridge Inverter Satu Fasa pada sistem UPS di modulasi dengan metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) dengan kontrol logika Fuzzy. Inverter satu fasa menggunakan teknik pensaklaran SPWM dapat menghasilkan gelombang output mendekati sinus. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, UPS dapat bekerja dengan daya maksimal 394.2W dan tegangan dijaga konstan sebesar 219V.

**Kata kunci:** UPS, SPWM, Inverter, Kontrol Logika Fuzzy.

### Abstract

At present, humanity's electricity needs are increasing and electricity is flowing directly from PLN which often experiences interruptions which causes power outages, the blackouts themselves are carried out because the load capacity exceeds the specified capacity. Therefore, it is necessary to seek alternative electrical energy as a substitute for extinguishing disturbances. Uninterruptible Power Supply (UPS) is used as an electronic device that can work in conditions where the PLN source is out. This study plans a UPS system that has a voltage sensor to detect blackouts. There is an SSR as a switch from the PLN power supply source to the UPS system. Single Phase Fullbridge Inverter in the UPS system is modulated by the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) method with Fuzzy logic control. A single phase inverter using the SPWM switching technique can produce an output wave close to sine. Based on the results of the tests carried out, the UPS can work with a maximum power of 394.2W and the voltage is kept constant at 219V.

**Keywords:** UPS, SPWM, Inverter, Fuzzy Logic Control

## 1. Pendahuluan

Saat ini, energi listrik merupakan salah satu elemen yang sangat dibutuhkan bagi kehidupan saat ini. Kebutuhan akan kontinuitas suplai daya listrik tiap tahun semakin meningkat karena seiring dengan berkembangnya sektor industri dan teknologi. Sumber energi listrik yang berasal dari PLN sering mengalami gangguan. Pemadaman listrik dilakukan karena kapasitas beban sudah melebihi kapasitas yang telah ditentukan. Oleh karena itu perlu adanya pemeliharaan di sektor distribusi daya dengan dilakukannya pemadaman bergilir [1]. Pemadaman listrik secara tiba-tiba ini akan menyebabkan peralatan elektronika menjadi cepat rusak dan pekerjaan (data) yang kita kerjakan hilang. Tentu saja, tidak semua orang menginginkan ini karena itu akan membuat pekerjaan menjadi lebih keras [2].

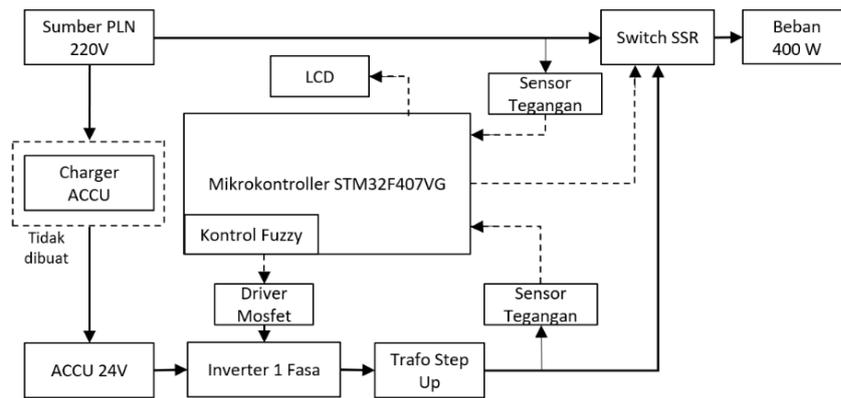
Dalam situasi tersebut, penting untuk mencari solusi energi listrik alternatif. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah Uninterruptible Power Supply (UPS), yang berfungsi sebagai perangkat elektronik yang dapat menyediakan pasokan daya ketika sumber daya utama dari PLN mati. Uninterruptible Power Supply atau UPS merupakan alat yang digunakan untuk memback up aliran listrik ketika terjadi pemadaman listrik. UPS berfungsi agar peralatan elektronika tidak mati ketika terjadi pemadaman listrik secara tiba-tiba. Di dalam UPS terdapat baterai, ketika listrik mengalir ke UPS, maka secara otomatis akan mengisi baterai. Baterai inilah yang akan menjadi sumber listrik ketika listrik dari PLN padam [3].

Selanjutnya, untuk memaksimalkan nilai tegangan keluaran dari Inverter dan menjaga sesuai dengan set point yang diinginkan, diperlukan penggunaan sistem kontrol tertutup dengan metode tertentu. Langkah ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, penyesuaian tegangan pada Inverter dengan Metode tuning kontrol PID (Proportional Integral Derivative) berhasil menjaga tegangan keluaran sesuai dengan set point meskipun ada penambahan beban yang mempengaruhinya. Dalam data yang dikumpulkan, diketahui bahwa sistem kontrol bekerja dengan baik untuk mempertahankan tegangan sebesar 215 volt, dengan kesalahan tegangan maksimum sebesar 2,33% dan daya maksimum sebesar 475,2 watt [4]. Tujuan dari penelitian ini yaitu akan dilakukan pengembangan kontrol pada inverter sehingga dapat menghasilkan regulasi tegangan output yang lebih konstan. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini akan dibahas sebuah sistem inverter dengan menggunakan kontrol logika fuzzy.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Perencanaan Sistem

Pada blok diagram tersebut dijelaskan mengenai sistem yang akan dirancang. Pada rancangan alat ini digunakan mikrokontroler STM32F407VG sebagai pusat kendali dengan kelengkapan sensor tegangan, driver inverter, inverter, dan lain-lain. Sistem UPS terhubung ke sumber daya listrik utama dari jaringan PLN. Sumber daya ini digunakan untuk mengisi baterai UPS dan juga untuk menyediakan pasokan langsung ke peralatan yang terhubung. Ketika pasokan listrik utama tersedia, UPS menggunakan daya tersebut untuk mengisi ACCU yang berfungsi sebagai sumber daya cadangan saat terjadi pemadaman listrik. Arus DC (arus searah) dari ACCU akan dikonversi oleh inverter menjadi arus AC (arus bolak balik). Pada output inverter terdapat sebuah sensor tegangan untuk mendeteksi berapa tegangan yang dikeluarkan. Kemudian mikrokontroler digunakan untuk memberikan suplai terhadap MOSFET untuk diberikan kepada driver inverter satu fasa yaitu driver IR2111. Saat terjadi pemadaman listrik dari PLN, sistem UPS mendeteksinya secara cepat. Ketika pemadaman terjadi, UPS akan segera beralih ke sumber daya cadangan (ACCU) untuk memasok listrik ke peralatan yang terhubung. Switching sumber energi listrik dari PLN ke sumber daya ACCU akan dilakukan menggunakan Solid State Relay (SSR).



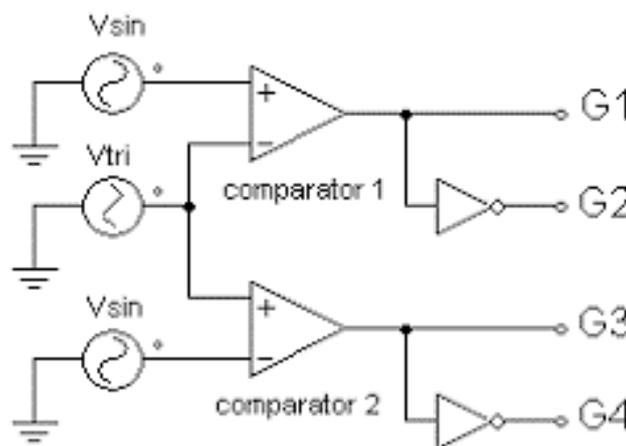
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

### 2.2 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) adalah gelombang sinyal yang dibentuk dari dua buah sinyal yang dibandingkan. Sinyal pembentuk dari SPWM adalah sinyal reference dan sinyal carrier. Pembangkitan dari SPWM memiliki kemiripan dengan pembangkitan PWM pulsa jamak, frekuensi sinyal carrier diset lebih tinggi dari frekuensi sinyal referensi [5], [6]. Prinsip dari SPWM unipolar di ilustrasikan pada Gambar 2. Dengan teknik pensaklaran SPWM, tegangan keluaran inverter dapat diatur dengan memodulasi bentuk sinyal (1), sedangkan untuk frekuensi sinyal output Inverter, dapat diatur dengan mengubah melalui frekuensi sinyal reference (2).

$$ma = \frac{V_{reference}}{V_{carrier}} \tag{1}$$

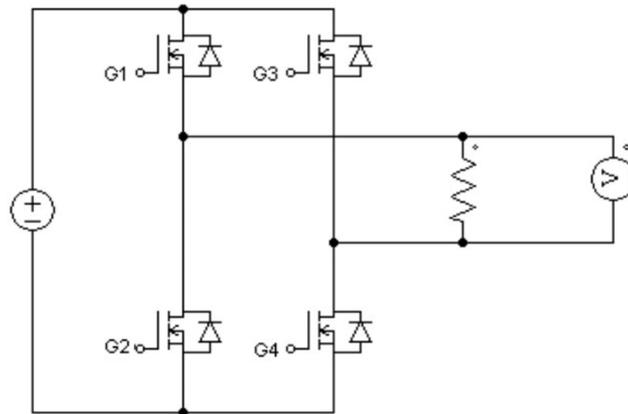
$$mf = \frac{f_{reference}}{f_{carrier}} \tag{2}$$



Gambar 2. Teknik SPWM

### 2.3 Single Phase Full Bridge Inverter

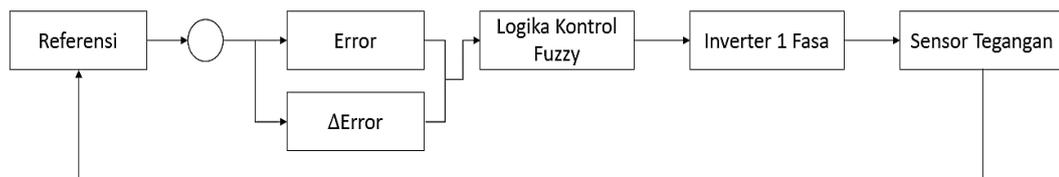
Inverter satu fasa jembatan penuh adalah rangkaian untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Sumber atau input dari inverter berupa tegangan DC yang bisa didapatkan dari baterai, panel surya, atau sumber tegangan DC yang lainnya. Inverter satu fasa jembatan penuh (full bridge) ditunjukkan pada Gambar 3, yang tersusun dari 4 komponen semikonduktor (Mosfet atau IGBT).



Gambar 3. Single Phase Full Bridge Inverter

#### 2.4 Kontrol Fuzzy

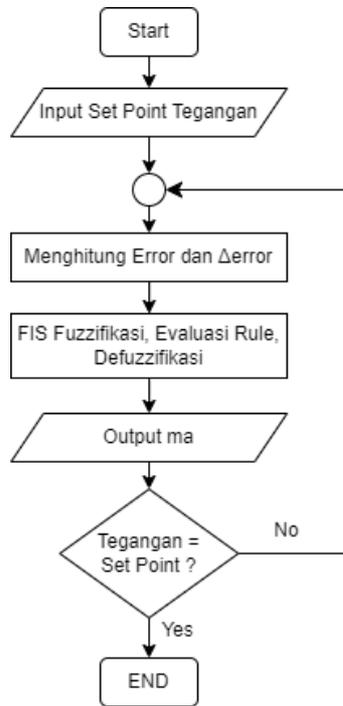
Pada penelitian ini menggunakan kontrol logika fuzzy untuk menghasilkan tegangan output yang konstan dari Single Phase Full-bridge Inverter sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan. Perencanaan kontrol logika fuzzy pada penelitian ini menggunakan metode sugeno dikarenakan dengan menggunakan metode keluaran dari metode ini berupa persamaan linier [7]. Tidak seperti sistem kontrol biasanya yang menghasilkan harga yang ditentukan secara pasti, mirip dengan konsep logika 0 dan 1 atau bekerja dalam area on dan off, hal ini dapat mengakibatkan perubahan yang tidak signifikan. Dalam sistem logika kontrol fuzzy, pengontrol dapat dirancang agar bekerja mirip dengan sistem saraf manusia. Seperti halnya manusia dapat mempersepsikan lingkungan sekitar dalam tingkat kurang, sedikit, normal, banyak, atau bahkan lebih dari itu, pengontrol fuzzy menggunakan faktor-faktor linguistik yang dikumpulkan dalam bentuk derajat keanggotaan. Dengan demikian, sistem ini dapat menginterpretasikan informasi dengan tingkat ketidakpastian dan mengambil keputusan berdasarkan aturan-aturan logika fuzzy. Blok diagram serta Flowchart pengaturan tegangan dengan menggunakan logika kontrol fuzzy ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Blok Diagram Logika Kontrol Fuzzy

Dalam Gambar 5, terdapat sebuah flowchart yang menjelaskan program kontrol logika fuzzy untuk menjaga tegangan pada tingkat yang konstan, meskipun terdapat gangguan dari luar sistem. Ketika program dijalankan dengan set point tegangan yang ditentukan, langkah-langkah logika fuzzy akan menghitung error (selisih antara tegangan sebenarnya dengan set point) dan delta error (perubahan error dari waktu ke waktu). Data error dan delta error ini kemudian diproses dalam Fuzzy Inference System (FIS)[8], Pada tahap fuzzyfikasi di dalam FIS, derajat keanggotaan dari semua label error dan delta error dihitung. Selanjutnya, derajat keanggotaan hasil fuzzyfikasi error dan delta error akan dikombinasikan atau dirata-ratakan dengan semua label delta. Hasil dari tahap ini adalah keluaran crisp yang berupa bilangan fuzzy. Bilangan fuzzy tersebut kemudian diproses lebih lanjut melalui tahap defuzzyfikasi Weighted Average[9]. Sistem logika fuzzy dalam penelitian ini memiliki dua masukan, yaitu error dan delta error. Setelah melalui tahap

defuzzifikasi, keluaran akhir yang diperoleh adalah nilai  $m_a$  yang menunjukkan keluaran sistem berdasarkan kontrol logika fuzzy.

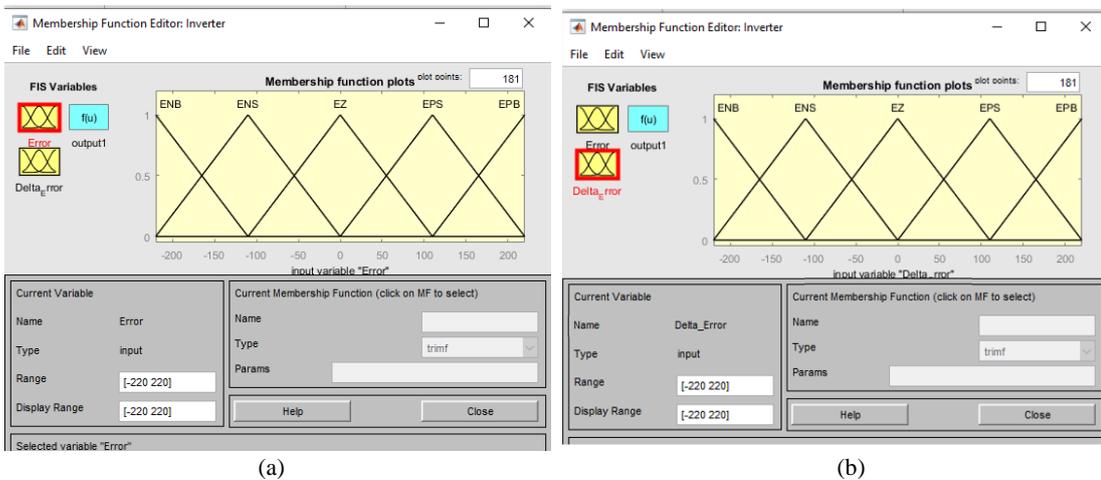


Gambar 5. Flowchart Logika Kontrol Fuzzy

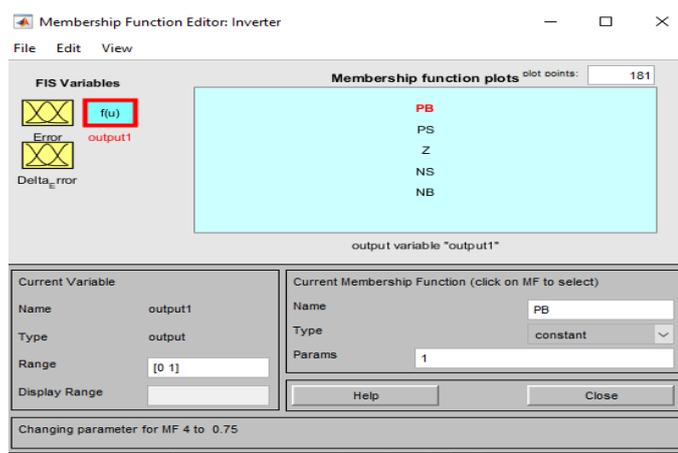
$$Error = Referensi - tegangan terukur \tag{3}$$

$$\Delta error = Error(t) - Error(t - 1) \tag{4}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan untuk masukan pada fuzzy. Pada sistem pengaturan tegangan ini kontrol fuzzy yang mengubah nilai  $m_a$  pada driver inverter saat terjadi perubahan tegangan. Masukan fungsi keanggotaan error dan delta error masing-masing memiliki 5 fungsi keanggotaan, seperti terlihat pada Gambar 6 (a), (b), dan Gambar 7.



Gambar 6. (a) Desain Fungsi Keanggotaan *Error*, (b) Desain Fungsi Keanggotaan *delta Error*



**Gambar 7. Desain Fungsi Keanggotaan Keluaran**

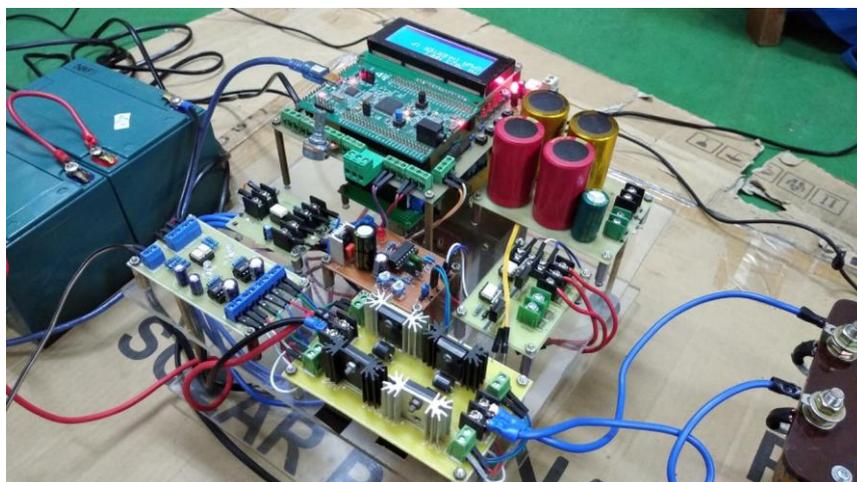
Setelah merancang fungsi keanggotaan input fuzzy yang berupa nilai error dan delta error. Langkah selanjutnya adalah menetapkan rule base dari fuzzy. Fungsi keanggotaan input memiliki 5 variable linguistic, sehingga jumlah rule base yang dirancang adalah sebanyak 25 seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Rule Base Fuzzy**

E / $\Delta E$	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

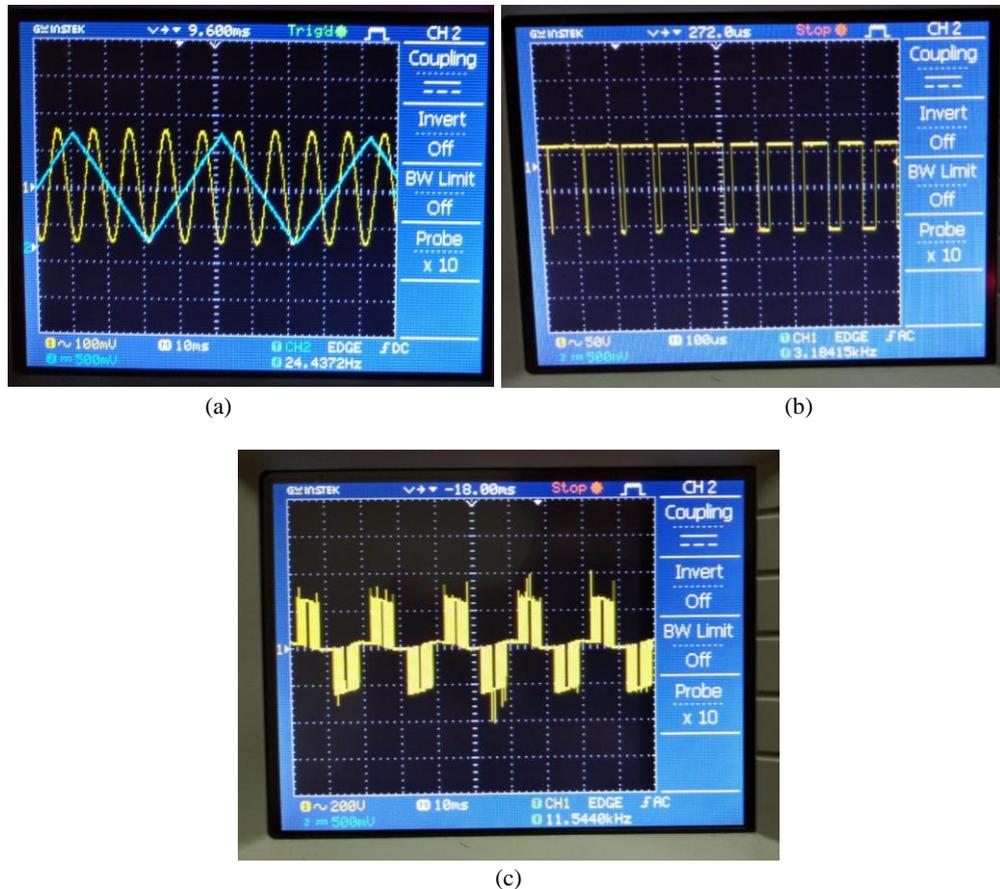
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini akan ditunjukkan hasil dari pengujian hardware inverter satu fasa secara sistem kontrol open loop dan close loop untuk melihat keandalan dan respon dari sistem dengan memberikan beberapa variasi beban. Gambar keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8. Hardware System**

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk melihat kinerja inverter dengan menggunakan teknik switching SPWM. Dalam pengujian ini, sinyal SPWM digunakan sebagai input untuk dua driver inverter yang menggunakan IC IR2111. Bentuk gelombang teknik switching SPWM ditunjukkan pada Gambar 9 (a), bentuk gelombang output driver ditunjukkan pada Gambar 9 (b), dan bentuk gelombang output dari inverter ditunjukkan pada Gambar 9 (c).

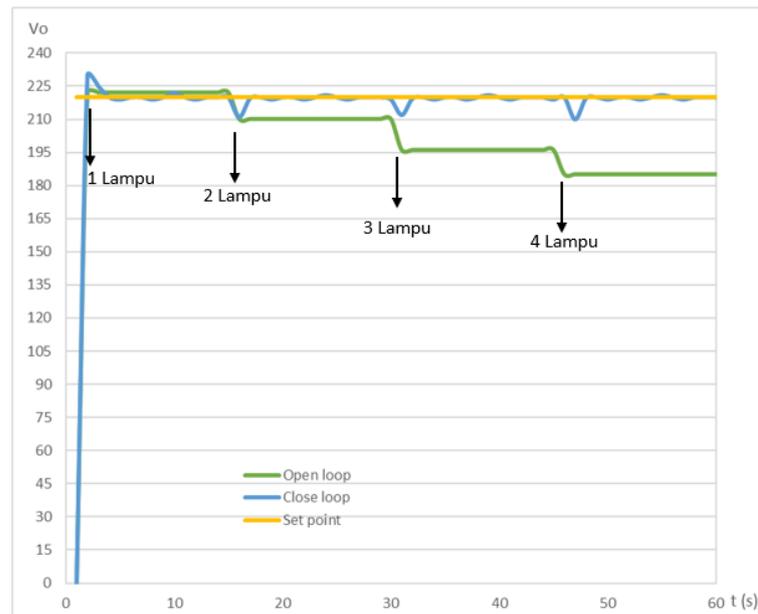


**Gambar 9. (a) Bentuk gelombang teknik pensaklaran SPWM (b) Gelombang Driver Mosfet (c) Gelombang keluaran Inverter**

Pengujian keluaran dari inverter akan dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap sebesar 400 Watt. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat respons sistem saat diberikan beban dan membandingkan antara respons sistem tanpa kontrol dan sistem yang telah dikontrol. Rincian pengujian dan respons sistem yang diusulkan dapat ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



**Gambar 10. Pengujian Inverter dengan Beban Lampu 4×100watt**



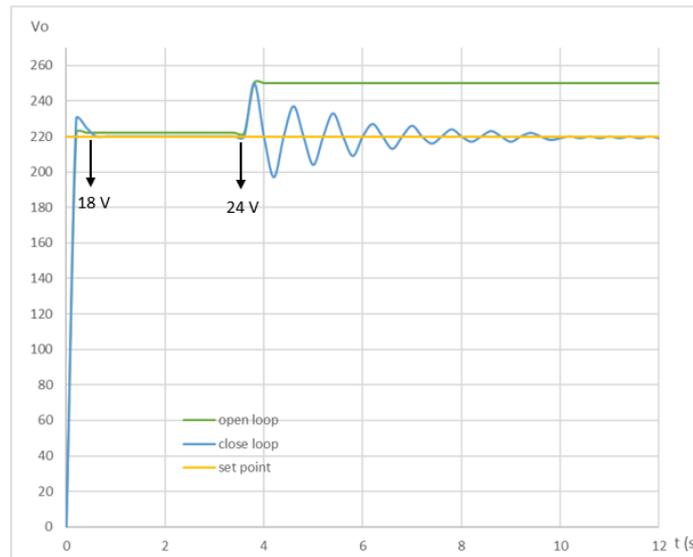
**Gambar 11. Respon Inverter dengan beban lampu 4×100watt**

Gambar 11 merupakan grafik respon sistem pengujian inverter dengan sistem kontrol Fuzzy sugeno menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga tegangan output mendekati dengan set point, bahkan saat diberi gangguan berupa penambahan beban.

**Tabel 2. Pengujian Inverter dengan Beban Lampu 4×100watt**

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Eff (%)	Load
24	6.66	220	0.45	159.84	99	61.9	1 Lampu
24	10.7	220	0.98	256.8	215.6	83.9	2 Lampu
24	15.34	219	1.4	368.16	308	83.7	3 Lampu
24	20.1	219	1.8	482.4	394.2	81.7	4 Lampu

Berdasarkan Tabel 2, data pengujian inverter dengan kontrol Fuzzy menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga tegangan output sesuai dengan set point, bahkan saat diberi gangguan berupa penambahan beban. Dari data yang telah dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa kontrol berfungsi dengan baik dalam menstabilkan tegangan sebesar 219V. Error tegangan terbesar yang terjadi adalah sebesar 0.46%, dengan daya maksimum mencapai 394.2 watt.



**Gambar 12. Respon Inverter dengan Variasi  $V_{in}$**

Gambar 12 merupakan grafik respon sistem pengujian inverter dengan sistem kontrol Fuzzy sugeno menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga tegangan output mendekati dengan set point, bahkan saat terdapat perubahan tegangan input.

**Tabel 3. Pengujian Inverter dengan Variasi  $V_{in}$**

$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (A)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$P_{out}$ (W)	Eff (%)	Beban (W)
18	3.8	220	0.28	68.4	61.6	90.05	60
24	2.6	220	0.26	62.4	57.2	91.67	60

Berdasarkan data yang telah didapatkan pada Tabel 3, dilakukan pengujian dengan mengubah tegangan input pada inverter. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui respon sistem ketika terjadi perubahan tegangan input. Dalam proses penstabilan output, sistem kontrol Fuzzy sugeno berfungsi dengan baik untuk menstabilkan tegangan sebesar 220V

#### 4. Kesimpulan

Pengujian telah dilakukan untuk melihat kinerja dari sistem yang diusulkan, mulai dari pengujian integrasi sistem keseluruhan. Penggunaan kontrol Fuzzy telah memberikan dampak yang baik dalam menjaga tegangan keluaran saat mengalami gangguan. Hal ini terlihat dari hasil pengujian dimana sistem berhasil dipertahankan dan kembali ke posisi stabil meskipun mendapat gangguan.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] S. Warjono and S. Suryono, "RANCANG BANGUN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS) 1300 VA," *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, vol. 11, no. 3, 2015.
- [2] V. T. Bawotong, D. J. Mamahit, and S. R. U. A. Sompie, "Rancang bangun uninterruptible power supply menggunakan tampilan LCD berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2015.
- [3] M. Hammam and A. Feriansah, "RANCANG BANGUN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS) BERKAPASITAS DAYA 1500 WATT DENGAN SISTEM SOFT START Studi Kasus: Laboratorium Sistem Kelistrikan SMSI," *Cahaya Bagaskara: Jurnal Ilmiah Teknik Elektronika*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [4] I. Ferdiansyah, I. Sudiharto, E. Sunarno, and M. G. Muhammad, "DESAIN SPWM SINGLE PHASE FULL BRIDGE INVERTER PADA SISTEM UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY 500W," *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 10–16, May 2021, doi: 10.19184/jaei.v7i1.23438.
- [5] A. Marzuki, R. Ramli, and B. Hermanto, "Rancang Bangun Bipolar SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) Pada Beban Non Linier Pada Inverter 1 Phase," *Jurnal ELIT*, vol. 1, no. 1, pp. 22–34, Apr. 2020, doi: 10.31573/elit.v1i1.54.
- [6] I. Hidayat, A. Mahdali, and M. Afandy, "Analisis Perbandingan Inverter Satu Fasa PWM dan SPWM dengan Trafo," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, 2022.
- [7] E. A. HW, R. TULLOH, S. HADIYOSO, and D. N. RAMADAN, "Sistem Pemantauan dan Pendeteksi Kebakaran berbasis Logika Fuzzy dan Real-time Database," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 3, pp. 577–591, Jul. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i3.577.
- [8] J. Aliyya, Y. C. Arif, and O. A. Qudsi, "Performance Comparison of PI Control and Fuzzy Logic for Speed Control of DC Shunt Motor Using Matlab/Simulink," *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, vol. 4, no. 2, 2020.
- [9] I. Sudiharto, F. D. Murdianto, E. Sunarno, S. D. Nugraha, and O. A. Qudsi, "Design and implementation unipolar SPWM full-bridge inverter using fuzzy Sugeno in DC microgrid isolated system," in *2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE)*, IEEE, 2018, pp. 368–373.