

Pengiriman Daya dari *Inverter* Lima Tingkat ke *Grid* Satu Fasa Menggunakan Arduino Due

Iwan Kristiawan¹ dan Leonardus Heru Pratomo²

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang, 50234, Indonesia

*iwankristiawan54@gmail.com*¹, *leonardus@unika.ac.id*²

Abstract— *Inverter has been used for a wide variety of applications in renewable energy system. The use of inverter in a solar power plant system can off-grid and on-grid. H-Bridge inverter is one of the commonly used inverter. One of its disadvantages is the requirement of high frequency in order to get a low defect level on the output current. The use of a five-level inverter with considering the amount of a power semiconductor switch in can be as an alternative. This study aims to use a five-level inverter with five power semiconductor switches to deliver power to the grid. The working principle uses two sinusoidal signals that are shifted by 180° compared to two carrier signals to produce a sinusoidal pulse width modulation signal. A sinusoidal pulse width modulation signal is used as a controller on each power semiconductor switch. The transmitted power is in the form of a current that is injected into the single-phase grid. The transmission of a power using five-level inverter to a single-phase grid was validated by a Power Simulator software. The final stage was a hardware implementation in the laboratory. The result shows that the inverter could transmit a power as current with 4.01% THD_i, transmitted power as 36.4 Watts, and transmitted current as 0.52 Amps.*

Keywords— *power, five-level inverter, on-grid, THD_i*

Abstrak— *Inverter telah digunakan untuk berbagai macam aplikasi dalam sistem energi baru terbarukan. Penggunaan inverter dalam sistem PLTS dapat berupa off-grid dan on-grid. H-bridge inverter merupakan salah satu inverter yang lazim digunakan. Salah satu kekurangan inverter tersebut adalah penggunaan frekuensi tinggi agar mendapatkan tingkat kecacatan yang rendah pada sisi arus keluaran. Penggunaan inverter lima tingkat dengan pertimbangan jumlah sakelar daya dapat digunakan sebagai alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan inverter lima tingkat dengan lima sakelar daya untuk mengirimkan daya ke grid. Prinsip kerja menggunakan dua buah sinyal sinusoidal yang saling bergeser sebesar 180° dibandingkan dengan dua sinyal pembawa untuk menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa sinusoidal. Sinyal modulasi lebar pulsa sinusoidal digunakan sebagai pengendali pada setiap sakelar daya. Daya yang dikirimkan berupa besaran arus yang diinjeksikan ke grid satu fasa. Pengiriman daya menggunakan inverter lima tingkat ke grid satu fasa divalidasi dengan menggunakan simulasi perangkat lunak Power Simulator. Tahap akhir dilakukan implementasi perangkat keras di laboratorium. Hasil yang diperoleh adalah inverter dapat mengirimkan daya dalam bentuk arus dengan nilai THD_i 4,01%, daya dikirim sebesar 36,4 Watt, dan arus dikirim sebesar 0,52 Ampere.*

Kata kunci— *daya, inverter lima tingkat, on-grid, THD_i*

I. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik saat ini banyak digunakan. Dengan bertambah banyaknya pengguna, maka dibutuhkan energi alternatif lain yang disebut dengan energi baru terbarukan (EBT) atau *renewable energy* [1]. Sumber EBT yang sedang dikembangkan seperti pembangkit listrik tenaga air, angin, surya, dan biogas. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diterapkan untuk berbagai aplikasi misalnya perumahan, industri, dan kendaraan listrik [2]. Penggunaan *inverter* dalam sistem PLTS dapat berupa *off-grid* dan *on-grid*. Pada sistem *on-grid*, energi yang dihasilkan oleh PLTS terhubung dengan jaringan listrik PLN dan juga digunakan untuk mensuplai beban peralatan listrik [3]. Sistem PLTS *on-grid* dibagi menjadi *single stage* [4] dan *dual stage* [5]. *Single stage*

menggunakan satu konverter sedangkan *dual stage* menggunakan dua konverter. Panel surya atau *photovoltaic* (PV) pada sistem PLTS menghasilkan bentuk listrik *direct current* (DC). Pengaplikasian dalam sistem distribusi kelistrikan yang umum digunakan adalah sumber *alternating current* (AC). Untuk mengubah sumber listrik DC menjadi sumber listrik AC digunakan sebuah perangkat yang dinamakan *inverter*.

Inverter yang memiliki kualitas daya yang baik dan efisien menjadi perhatian besar para peneliti [6]. *Inverter* yang lazim digunakan adalah *H-Bridge inverter*. Kelemahan dari *inverter* jenis ini harus menggunakan frekuensi tinggi agar mendapatkan tingkat kecacatan yang rendah pada sisi keluaran arus [7]. *Inverter* bertingkat menjadi solusi untuk mendapatkan kualitas daya yang baik dengan menggunakan

frekuensi rendah. *Inverter* bertingkat memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan *inverter* konvensional [8]. *Inverter* bertingkat memiliki keuntungan seperti produksi daya yang lebih tinggi, kualitas bentuk gelombang keluaran, dan kemampuan tegangan tinggi. Tetapi juga memiliki kerugian seperti jumlah sakelar daya yang lebih banyak dan metode kontrol modulasi lebar pulsa sinusoidal dapat mempengaruhi distorsi harmonik [9].

Inverter sumber tegangan bertingkat secara luas terdiri dari tiga kelompok utama yaitu *inverter* bertingkat-dioda atau konverter multi-jepit [10], *inverter* bertingkat-kapasitor atau *inverter* multi-sel [11], dan *cascade inverter* atau *H-bridge* bertingkat [12]. Setiap kelompok memiliki kontrol yang berbeda [13]. Kontrol yang digunakan dapat berupa *unipolar* atau *bipolar* [14]. Metode kontrol yang digunakan akan mempengaruhi kualitas bentuk gelombang dari *inverter* tersebut. Kontrol *unipolar* memiliki distorsi harmonik yang lebih rendah dibandingkan dengan *bipolar* [15]. Selain *inverter* sumber tegangan terdapat juga *inverter* sumber arus. *Inverter* sumber arus menggunakan tapis induktor.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengirimkan daya ke *grid* satu fasa menggunakan *inverter* lima tingkat. Metode penelitian diimplementasikan dengan mikrokontroler Arduino Due. Kendali kontrol *unipolar* dipakai pada setiap sakelar daya. Untuk membuat arus keluaran *inverter* lima tingkat sesuai dengan arus referensi yang diinginkan, digunakan kendali tipe proposional integral (PI). *Inverter* lima tingkat diharapkan menghasilkan THD_i sesuai *standart* IEEE 519 menggunakan frekuensi yang rendah dan tapis induktor yang kecil dibandingkan dengan *inverter* konvensional [7]. *Inverter* lima tingkat yang diteliti mempunyai lebih sedikit sakelar daya daripada *inverter* lima tingkat lainnya (misal pada [16]). Sehingga rugi pensakelaran dapat dikurangi.

II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kajian teori, perumusan masalah, simulasi, dan implementasi *inverter* lima tingkat, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kajian teori dilakukan terkait peran *inverter* dalam sistem *on-grid* kemudian dirumuskan permasalahan penggunaan *inverter* pada sistem *on-grid*. Simulasi komputasi dilakukan untuk memastikan konsep yang diteliti berjalan. Langkah terakhir adalah membuat perangkat keras dan melakukan pengujian terhadap data yang diambil.

Inverter pada sistem *on-grid* berfungsi sebagai perangkat keras yang menginjeksi daya dalam besaran arus. Sehingga diperlukan *inverter* yang arus keluarannya terkendali. Kandungan harmonisa arus (THD_i) harus memenuhi *standart* IEEE 519. Untuk mendapatkan nilai THD_i sesuai *standart* IEEE, *inverter* dioperasikan pada frekuensi yang tinggi. Solusi yang ditawarkan adalah menggunakan *inverter* bertingkat. *Inverter* bertingkat memiliki jumlah sakelar daya yang banyak. Sedangkan *inverter* lima tingkat yang diteliti hanya memakai lima sakelar daya.

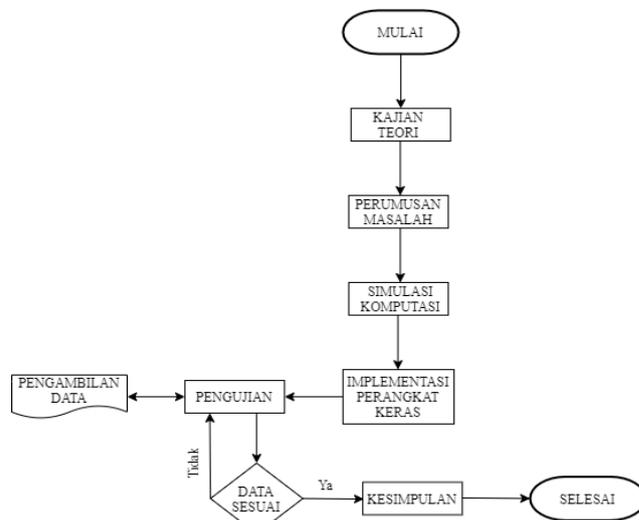
Dapat dilihat pada Gambar 2, jika arus *inverter* lebih besar dari arus beban maka arus *inverter* akan menuju ke jaringan listrik. Jika arus *inverter* lebih kecil dari arus *grid* maka arus

inverter menuju ke beban. Hubungan antara I_{load} , $I_{inverter}$, dan I_{grid} dinyatakan sebagai berikut:

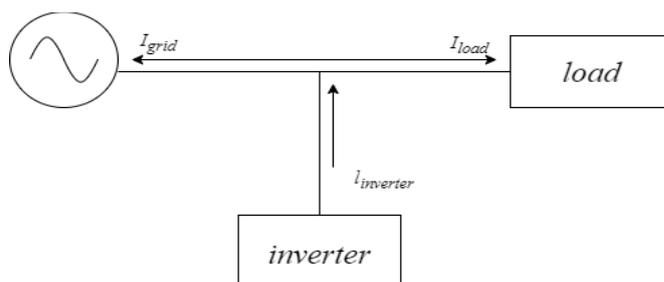
$$I_{load} = I_{grid} + I_{inverter} \quad (1)$$

$$I_{inverter} = I_{load} - I_{grid} \quad (2)$$

$$I_{grid} = I_{load} - I_{inverter} \quad (3)$$

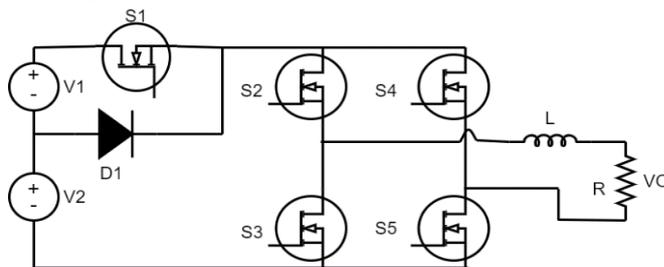


Gambar 1. Diagram alir metode penelitian



Gambar 2. Pengiriman arus *inverter* pada sistem *on-grid*

Pada penelitian ini, *inverter* lima tingkat terdiri dari dua buah sumber tegangan ($V1$ dan $V2$), lima buah sakelar daya ($S1$, $S2$, $S3$, $S4$, dan $S5$), tapis induktor (L), satu dioda ($D1$), dan beban (R). Gagasan ini telah disimulasikan dengan desain seperti Gambar 3. Sakelar daya ($S1$) disebut sebagai pembentuk tingkat pada polaritas positif dan negatif $2E$. Sakelar daya ($S2 - S5$) sebagai pembentuk tingkat E . Dalam penerapan pensakelarannya rangkaian *inverter* lima tingkat terdiri dari 5 mode operasi yaitu mode operasi satu, mode operasi dua, mode operasi tiga, mode operasi empat, dan mode operasi lima [17].



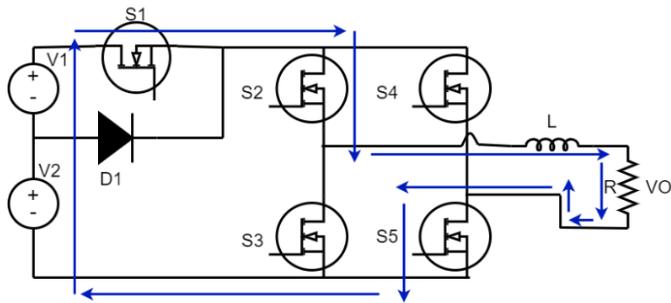
Gambar 3. Topologi rangkaian *inverter* lima tingkat

Pada mode operasi satu menghasilkan keluaran sebesar $2E$ di mana $S1$, $S2$, dan $S5$ aktif sedangkan $S3$ dan $S4$ mati. Gambar 4 menunjukkan jalur arus yang aktif pada mode operasi satu. Arus mengalir dari $V2$ menuju $V1$, melalui $S1$, $S2$, tapis induktor dan beban lalu $S5$ dan kembali ke $V2$. Persamaan pada mode operasi satu sebagai berikut:

$$E - E = V_{(L)} + V_{(o)} \quad (4)$$

$$L \frac{di_{(L)}}{dt} = 2E - V_{(o)} \quad (5)$$

$$L\Delta i_{(L)} = (2E - V_{(o)})\Delta t = (2E - V_{(o)}) \quad (6)$$



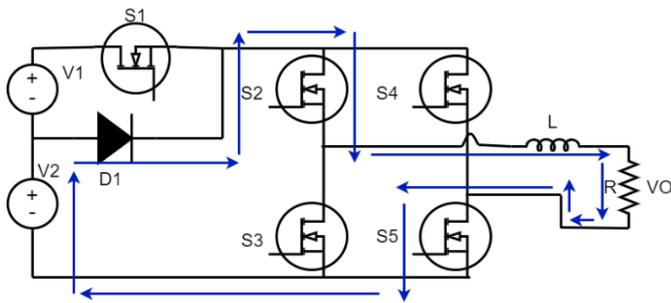
Gambar 4. Mode operasi satu, saat sakelar $S1$, $S2$, dan $S5$ konduksi

Pada operasi dua menghasilkan keluaran sebesar E di mana $S2$ dan $S5$ aktif sedangkan $S3$, $S4$, dan $S5$ mati. Gambar 5 menunjukkan jalur arus yang aktif pada mode operasi dua. Arus mengalir dari $V2$ menuju $S2$, tapis induktor, dan beban lalu $S5$ dan kembali ke $V2$. Persamaan pada mode operasi dua sebagai berikut:

$$E = V_{(L)} + V_{(o)} \quad (7)$$

$$L \frac{di_{(L)}}{dt} = E - V_{(o)} \quad (8)$$

$$L\Delta i_{(L)} = (E - V_{(o)})\Delta t = (E - V_{(o)})t_{(on)} \quad (9)$$



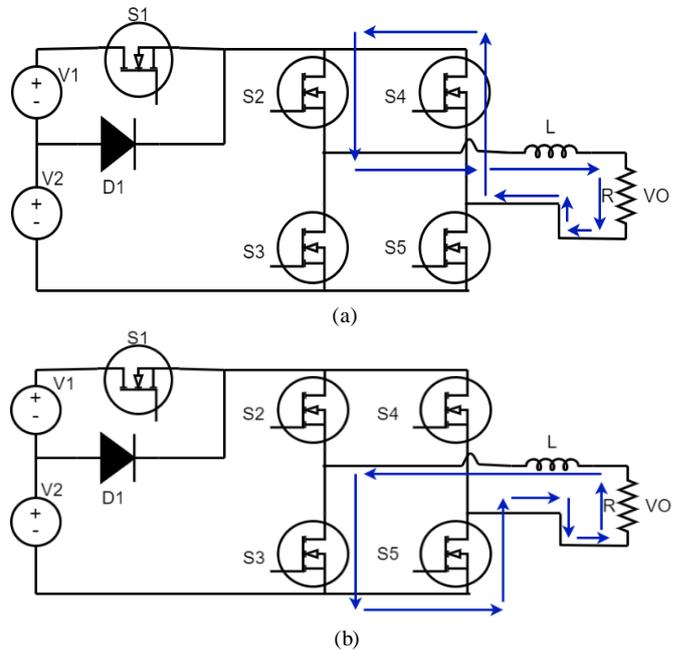
Gambar 5. Mode operasi dua, saat sakelar $S2$ dan $S5$ konduksi

Pada mode operasi tiga adalah kondisi *freewheeling*, menghasilkan dua keluaran sebesar nol. Pada siklus positif $S2$ dan $S4$ aktif sedangkan $S1$, $S3$, dan $S5$ mati. Gambar 6(a) menunjukkan jalur arus yang aktif pada tahap ini. Arus dari tapis induktor menuju beban, melalui $S4$ dan $S2$, kemudian kembali ke tapis induktor. Pada siklus negatif $S3$ dan $S5$ aktif sedangkan $S1$, $S2$, dan $S4$ mati. Gambar 6(b) menunjukkan jalur arus yang aktif pada mode operasi tiga. Arus dari tapis induktor menuju $S3$, $S5$ lalu ke beban. Persamaan pada mode operasi tiga sebagai berikut:

$$V_{(L)} = V_{(o)} - V_{(d)} \quad (10)$$

$$L \frac{di_{(L)}}{dt} = V_{(o)} - 0 \quad (11)$$

$$L\Delta i_{(L)} = (V_{(o)})\Delta t = (V_{(o)})t_{(off)} \quad (12)$$



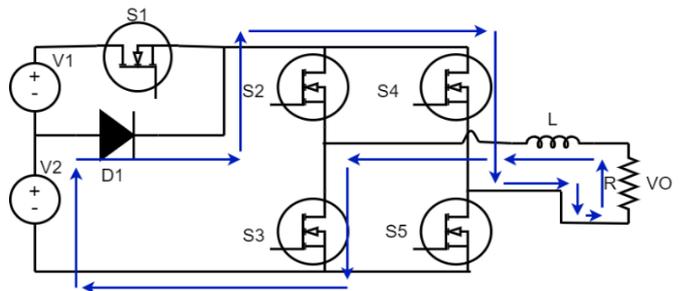
Gambar 6. Mode operasi tiga. (a) siklus positif, saat sakelar $S2$ dan $S4$ konduksi, (b) siklus negatif, saat sakelar $S3$ dan $S5$ konduksi

Pada mode operasi empat menghasilkan keluaran sebesar $-E$ di mana $S3$ dan $S4$ aktif sedangkan $S1$, $S2$, dan $S5$ mati. Gambar 7 menunjukkan jalur arus yang aktif pada tahap ini. Arus mengalir dari $V2$ menuju dioda, $S4$, beban, tapis induktor, $S3$ lalu kembali ke $V2$. Persamaan pada mode operasi empat sebagai berikut:

$$-E = V_{(L)} + V_{(o)} \quad (13)$$

$$L \frac{di_{(L)}}{dt} = V_{(o)} - E \quad (14)$$

$$L\Delta i_{(L)} = (V_{(o)} - E)\Delta t = (V_{(o)} - E)t_{(on)} \quad (15)$$



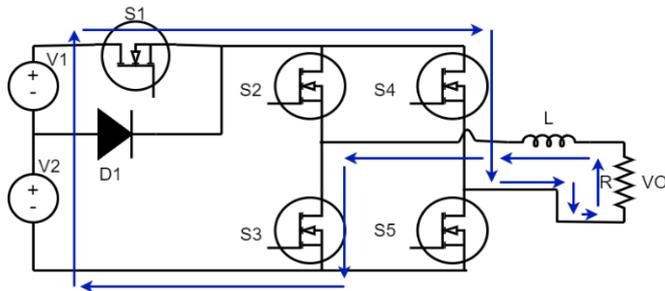
Gambar 7. Mode operasi empat, saat sakelar $S3$ dan $S4$ konduksi

Pada mode operasi lima menghasilkan keluaran sebesar $-2E$ di mana $S1$, $S3$, dan $S4$ aktif sedangkan $S2$ dan $S5$ mati. Gambar 8 menunjukkan jalur arus yang aktif pada tahap ini. Arus mengalir dari $V2$ menuju $V1$, $S1$, $S4$, beban, tapis induktor, $S3$ dan kembali ke $V2$. Persamaan pada mode operasi lima sebagai berikut:

$$-(E - E) = V_{(L)} + V_{(o)} \quad (16)$$

$$L \frac{di_{(1)}}{dt} = V_{(o)} - 2E \quad (17)$$

$$L\Delta i_{(L)} = (V_{(o)} - 2E)\Delta t = (V_{(o)} - 2E)t_{(on)} \quad (18)$$

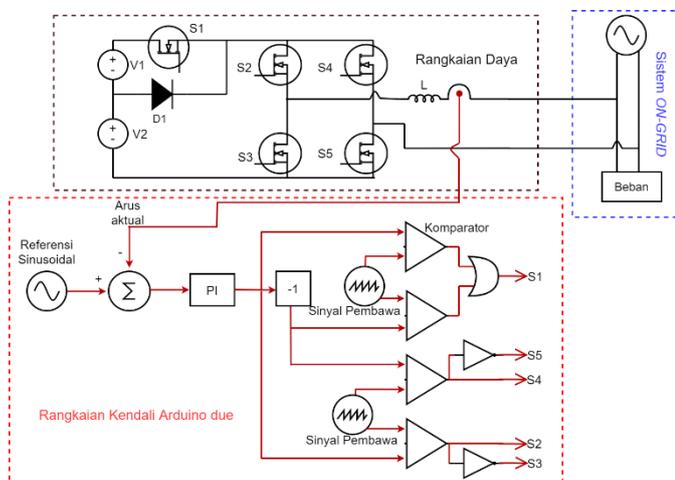


Gambar 8. Mode operasi lima, saat sakelar S1, S3, dan S4 konduksi

Berdasarkan mode operasi satu sampai mode operasi lima, maka didapatkan pola pensakelaran seperti pada Tabel I. Blok diagram sistem kendali *inverter* lima tingkat ditunjukkan pada Gambar 9.

TABEL I. POLA PENSAKELARAN *INVERTER* LIMA TINGKAT

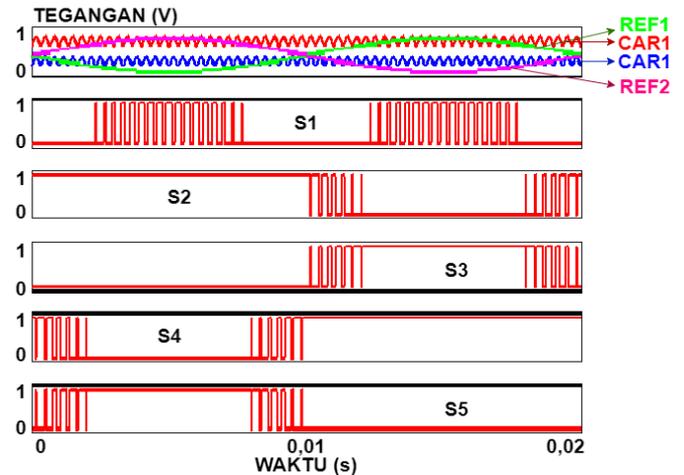
S1	S2	S3	S4	S5
1	1	0	0	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0



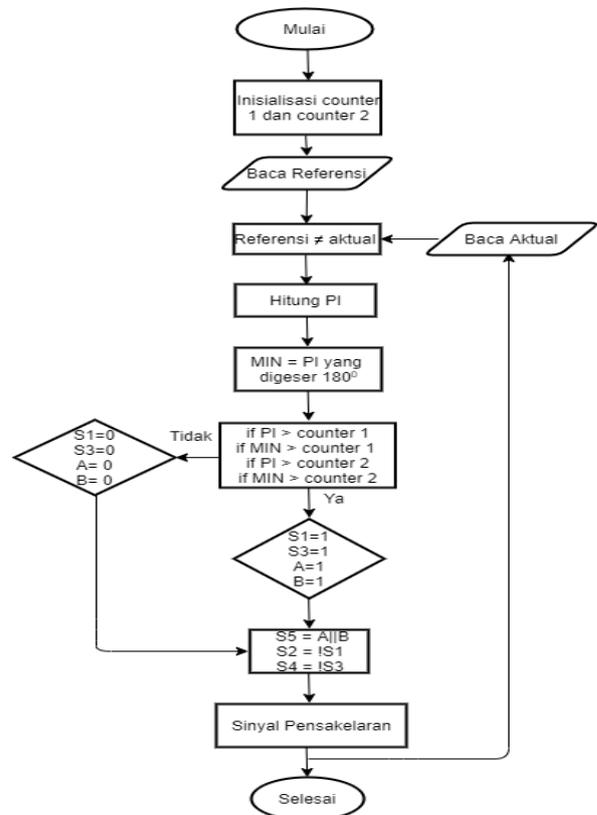
Gambar 9. Blok diagram sistem kendali *inverter* lima tingkat

Berdasarkan Gambar 9 dilakukan suatu pemrograman perangkat lunak dengan menggunakan Arduino IDE yang diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino Due. Referensi sinusoidal merupakan referensi arus dan arus aktual adalah hasil dari keluaran sensor arus. Kendali yang digunakan adalah kendali PI. Sinyal keluaran kendali di modulasi dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan modulasi lebar pulsa sinusoidal. Bentuk sinyal pensakelaran pada tiap sakelar daya ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada Gambar 10, strategi kontrol modulasi lebar pulsa sinusoidal menggunakan dua sinyal pembawa bertingkat dan sinyal referensi berupa satu gelombang sinusoidal. Dari gelombang referensi sinusoidal tersebut dibuatlah gelombang sinusoidal tambahan yang bergeser 180°. Kedua gelombang referensi tersebut dimodulasi dengan dua buah sinyal pembawa. Teknik ini dinamakan dengan kontrol *unipolar*. Hasil modulasi digunakan untuk pensakelaran setiap sakelar daya. Berdasarkan rangkaian blok kendali pada Arduino Due, maka dibuatlah diagram alur program seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Bentuk sinyal pensakelaran pada tiap sakelar daya



Gambar 11. Diagram alur program

Gambar 11 menunjukkan alur program yang digunakan. Terdapat satu referensi sinusoidal yang dikontrol dengan PI. Hasil sinyal keluaran PI digeser 180° sehingga menghasilkan dua buah sinyal kontrol PI yang tergeser 180° . Dua sinyal kontrol ini akan di modulasi dengan *counter* 1 dan *counter* 2 dengan tingkatan yang berbeda. Hasil sinyal modulasi ini digunakan untuk pensakelaran setiap sakelar daya. Jika referensi tidak sama dengan aktual maka kontrol PI akan menghitung dan kontrol PI berhenti menghitung jika referensi sama dengan aktual.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

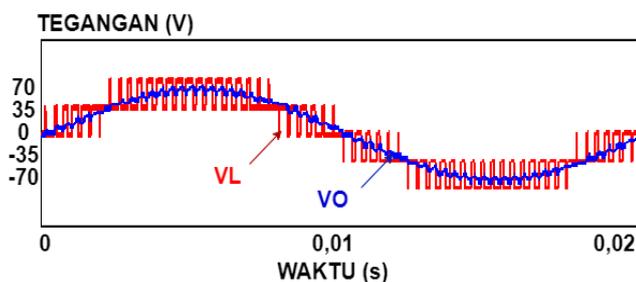
Berdasarkan rancangan kontrol dan mode operasi yang telah diuraikan, dibuatlah suatu simulasi komputasi dengan bantuan perangkat lunak Power Simulator dan implementasi perangkat keras untuk memastikan bahwa konsep yang diteliti berjalan dengan baik menggunakan parameter seperti pada Tabel II dan Tabel III. Tapis induktor digunakan sebagai *filter* pada keluaran *inverter* lima tingkat. Keluaran tegangan sebelum dan sesudah tapis induktor dapat dilihat pada Gambar 12.

TABEL II. PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
V1	35V
V2	35V
Tapis Induktor	2mh
Frekuensi Pensakelaran	5KHz

TABEL III. PARAMETER IMPLEMENTASI

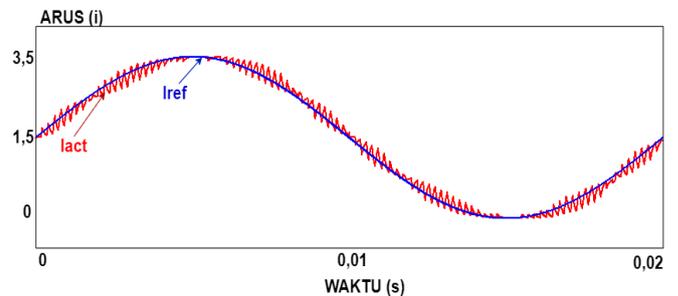
Parameter	Nilai
V1	35V
V2	35V
Tapis Induktor	2mh
Bohlam	100W
Frekuensi Pensakelaran	5KHz



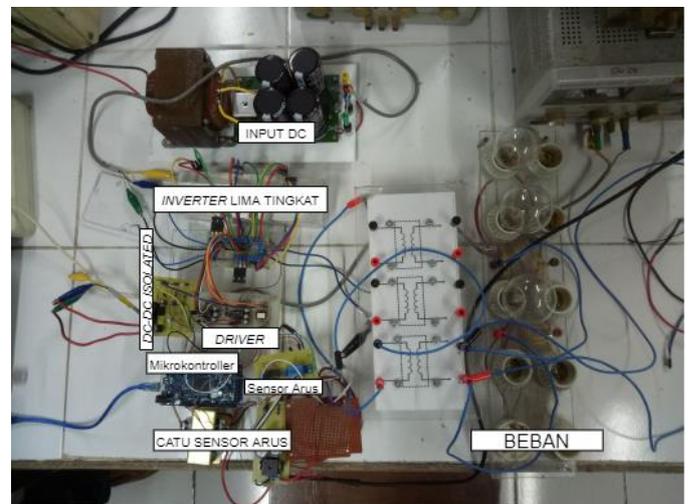
Gambar 12. Hasil simulasi bentuk tegangan keluaran *inverter* lima tingkat sebelum tapis induktor (VL) dan sesudah tapis induktor (VO)

Kontrol *unipolar* yang telah dibuat digabungkan dengan kontrol kendali arus. Sinyal referensi dikurangi sinyal aktual akan menghasilkan sinyal *error*, lalu diolah dengan kontroler jenis PI dan menghasilkan sinyal kontrol. Sinyal kontrol PI dimodulasi dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan modulasi lebar pulsa sinusoidal. Hasil dari simulasi kendali arus dapat dilihat pada Gambar 13.

Strategi kontrol *unipolar* yang diajukan diimplementasi pada perangkat keras pada Gambar 14. Perangkat keras terdiri atas dua buah buah input DC, DC-DC *converter* B1212S-1W, *driver* yang terdiri dari IR2110 dan TLP 250, sensor arus LEM HX 10-p, mikrokontroler Arduino Due, dan beban berupa tiga bohlam 100 Watt.

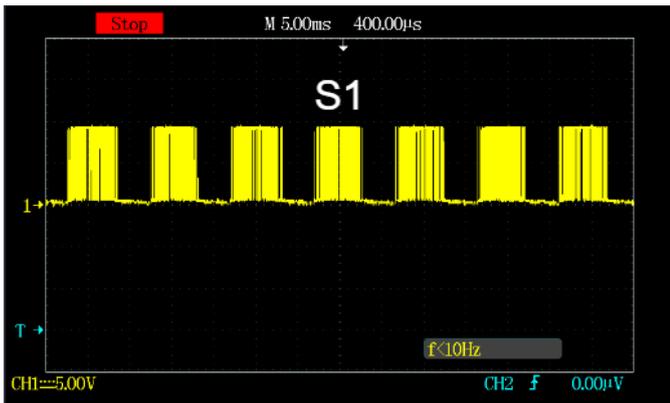


Gambar 13. Hasil simulasi bentuk gelombang *inverter* lima tingkat arus aktual (biru) dan referensi arus (merah)

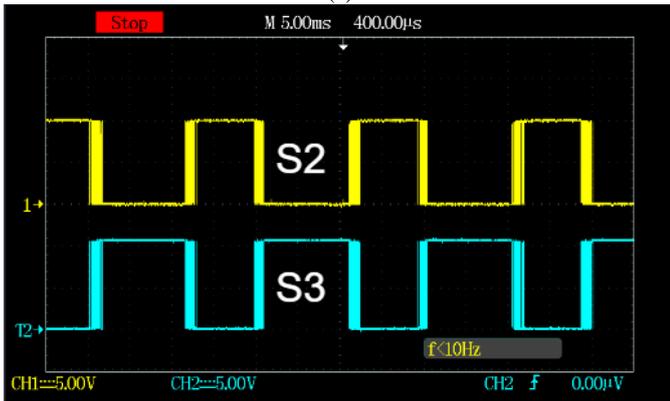


Gambar 14. Perangkat keras *inverter* lima tingkat

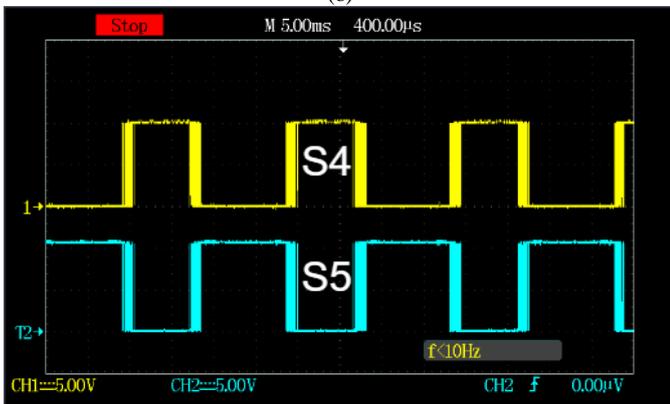
Hasil gelombang keluaran *inverter* lima tingkat ditunjukkan pada Gambar 15 sampai Gambar 19. Bentuk sinyal pensakelaran pada setiap sakelar daya terdapat pada Gambar 15. Pada Gambar 16 keluaran tegangan antar lengan membentuk tingkatan tegangan, hal ini terjadi karena sinyal modulasi lebar pulsa sinusoidal diimplementasikan pada semua sakelar daya. Tingkatan tegangan yang dihasilkan yaitu 2E dan E pada keluaran antar lengan. Tegangan 2E didapat dari penjumlahan tegangan V1 dan V2. Tegangan E didapatkan dari nilai tegangan V2. Tapis induktor digunakan pada keluaran *inverter* lima tingkat. Gambar 17 menunjukkan bentuk tegangan keluaran *inverter* sebelum dan sesudah tapis induktor. Hasil implementasi pada perangkat keras membuktikan bahwa arus aktual mengikuti arus referensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18. Nilai arus aktual sebesar 2,24 VRMS dan arus referensi sebesar 2,12 VRMS. Hasil keluaran arus dan tegangan *inverter* lima tingkat dapat dilihat pada Gambar 19. Nilai arus keluaran *inverter* lima tingkat sebesar 0,52 Ampere dan tegangan keluaran *inverter* lima tingkat sebesar 70 VPP.



(a)

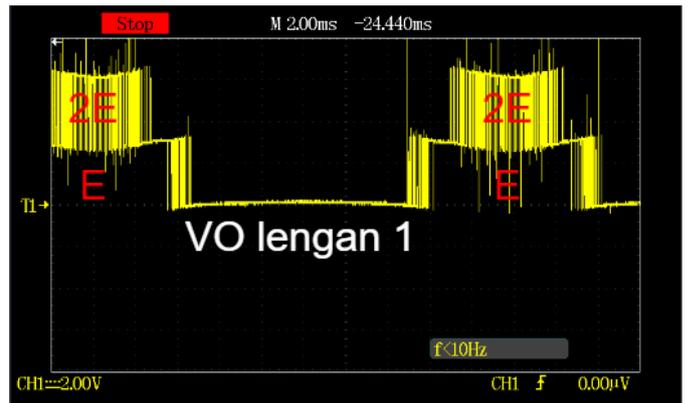


(b)

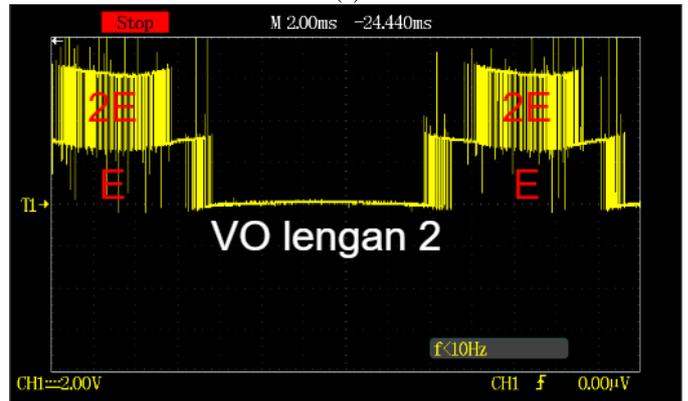


(c)

Gambar 15. Hasil implementasi bentuk gelombang pada pensaklaran *inverter* lima tingkat (a) sinyal pada sakelar daya S1, (b) sinyal pada sakelar daya S2 dan S3, (c) sinyal pada sakelar daya S4 dan S5

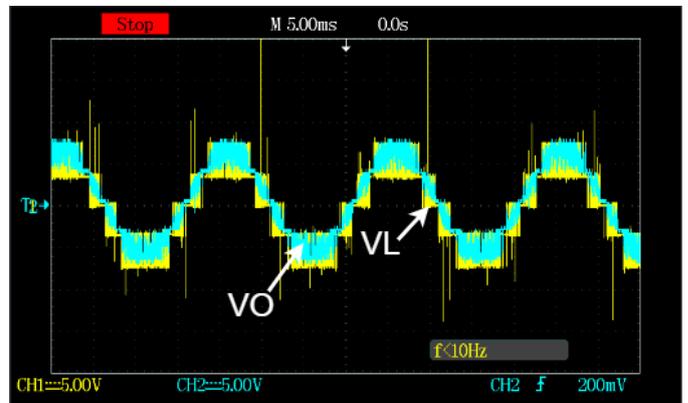


(a)

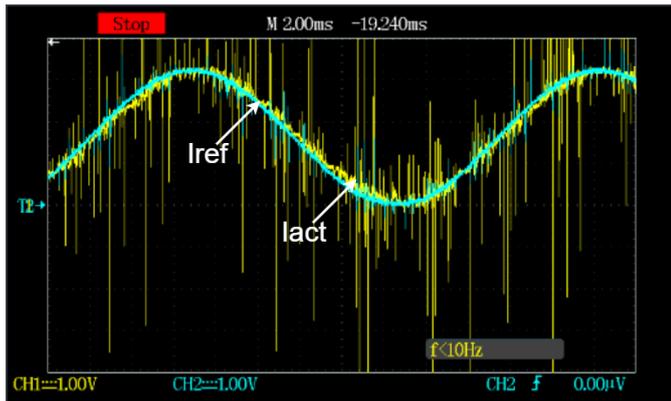


(b)

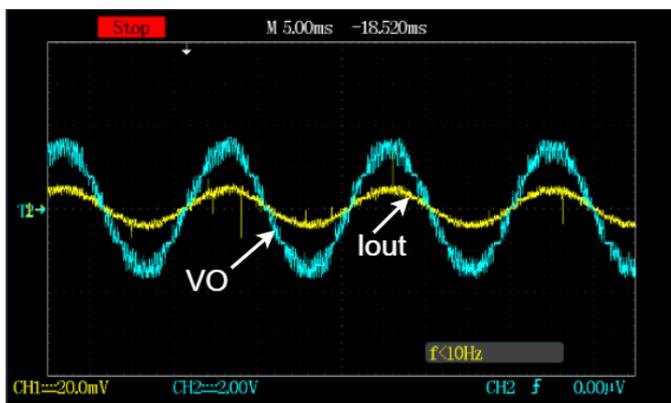
Gambar 16. Hasil implementasi bentuk gelombang tegangan antar lengan *inverter* lima tingkat (VO) (a) pada sakelar daya S2 dan S3, (b) pada sakelar daya S3 dan S4



Gambar 17. Hasil implementasi bentuk tegangan *inverter* lima tingkat sebelum (VL) dan sesudah tapis induktor (VO)

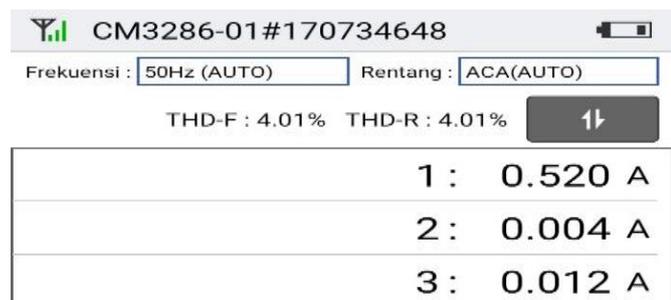


Gambar 18. Hasil implementasi bentuk gelombang arus aktual (Iact) dan referensi arus (Iref) inverter lima tingkat



Gambar 19. Hasil implementasi bentuk gelombang arus (Iout) dan tegangan (VO) inverter lima tingkat

Dalam implementasi inverter lima tingkat ini dilakukan pengukuran kandungan THD_i . Pada Gambar 20 didapatkan THD_i sebesar 4,01%. Hasil pengukuran ini memenuhi standart IEEE 519 karena di bawah 5%.



Gambar 20. Hasil implementasi THD_i Inverter lima tingkat

Inverter yang digunakan pada sistem *on-grid* lazimnya adalah *H-bridge inverter* dengan frekuensi tinggi untuk mendapatkan THD_i yang rendah [18]. Inverter bertingkat dengan frekuensi rendah menggunakan lima sakelar daya dapat digunakan sebagai alternatif [19]. Inverter lima tingkat dengan lima sakelar daya memiliki efisiensi rata-rata sebesar 82,14%. Berdasarkan hasil pengujian, inverter lima tingkat dengan lima sakelar daya yang arus keluarannya dikendalikan mampu mengirimkan daya ke *grid* sesuai dengan standart IEEE 519. Standart THD_i IEEE 519 sebesar 5% [20]. Daya

yang dikirimkan sebesar 36,4 Watt. Daya yang dikirimkan berupa besaran arus sebesar 0,52 Ampere.

IV. PENUTUP

Inverter lima tingkat dengan menggunakan lima buah sakelar daya yang dikendalikan arus keluarannya mampu mengirimkan daya ke *grid* satu fasa. Inverter lima tingkat menghasilkan tegangan sebesar 70 VPP dan arus 0,52 Ampere. Daya yang dikirimkan sebesar 36,4 Watt. Daya yang dikirimkan berupa besaran arus sebesar 0,52 Ampere. Kandungan THD_i yang dihasilkan inverter lima tingkat sebesar 4,01% dan memenuhi standart IEEE 519 yaitu di bawah 5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas pembiayaan dari Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional dalam skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun anggaran 2020 dengan Nomor SK: 010/LL6/PG/SP2H.1/AMD/PENELITIAN/2020

REFERENSI

- [1] P. Pangaribuan, D. Darlis, and R. Prabudi, "Implementation of the Sun Tracker System with fuzzy logic on solar panels," *VOLT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 78–84, 2018.
- [2] S. Y. Panggabean, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Width Modulation)," *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 1–9, 2017.
- [3] R. Hariyati, M. N. Qosim, and A. W. Hasanah, "Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT PLN," *Energi dan Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [4] A. Ketabi and S. E. Tabatabaei M., "Photovoltaic single-stage grid tied inverter with One-Cycle Control," *6th Annu. Int. Power Electron. Drive Syst. Technol. Conf. PEDSTC*, pp. 257–262, 2015.
- [5] F. Xie, Z. Luo, D. Qiu, B. Zhang, Y. Chen, and L. Huang, "Study on a simplified structure of a two-stage grid-connected photovoltaic system for parameter design optimization," *Energies*, vol. 12, no. 11, pp. 1-16, 2019.
- [6] F. A. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, "Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 62–70, 2015.
- [7] J. Ismiyadinata, H. Yuliansyah, M. R. K. Aziz, and A. S. Rohman, "Desain dan Implementasi Inverter Satu Fasa 400 Watt dengan Metode Switching High Frequency," *J. Sci. Appl. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 9-16, 2019.
- [8] A. Sudarsanan, R. Roopa, and S. Sanjana, "Comparison of Conventional & New Multilevel Inverter Topology," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, no. 2, pp. 330–334, 2015.
- [9] I. Kristiawan and L. Heru Pratomo, "Design and simulation full control strategy in single-phase five-level inverter," in *J. Phys. Conf. Ser* 1444, pp. 1-7, 2020.
- [10] H. Semendawai and T. Sutikno, "Pemodelan Neutral Point Clamped-Multilevel Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode Phase Disposition Pulse Width Modulation Sinyal Pembangkit Sumber Tegangan Rangkaian Tegangan Keluaran," *Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 4, no. 1, pp. 28–34, 2018.
- [11] S. Khadse, R. Mendole, and A. Pandey, "A 5-Level Single Phase Flying Capacitor Multilevel Inverter," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 348–352, 2017.
- [12] I. Husnami, "Komparasi Multilevel Inverter Satu Fasa," *Jurnal EECIS*, vol. 13, no. 2, pp. 95–99, 2019.
- [13] S. B. G. C. Srikanth, and V. Yatnalli, "Review on Multi Level Inverter Topologies and Control Strategies for Solar Power Conversion," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 295–315, 2020.

- [14] B. A. Yomahudaya and T. Sutikno, "Pembangkit Sinyal SPWM untuk Multilevel Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Berbasis Mikrokontroler ATmega32," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Infom.*, vol. 3, no. 2, pp. 73-81, 2017.
- [15] M. Azri, A. Alias, Musa, A. A. Nazmudi, and Z. Rasin, "Comparison performance of nine level multilevel inverter using bipolar and unipolar switching schemes," *Univers. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 8-22, 2019.
- [16] A. J. Gray, B. M. Vargheese, and M. G. James, "Two Stage Five Level Inverter for Grid Connected Application," *Int. J. Eng. Tech.*, vol. 2, no. 5, pp. 65-70, 2016.
- [17] L. H. Pratomo, "One Leg Control Strategy in Single-Phase Five-Level Inverter," in *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*, pp. 216-220, 2019.
- [18] L. Hassaine and M. R. Bengourina, "Design and control technique for single phase bipolar H-bridge inverter connected to the grid," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 3057-3065, 2020.
- [19] H. Bhattacharjee and J. Nakka, "A single-phase cascaded H-Bridge inverter for grid-tie photovoltaic system addressing the problem of unbalances in H-Bridge cells," in *Int. Conf. Microelectron. Comput. Commun. MicroCom*, pp. 1-6, 2016.
- [20] I. P. Adi Wirajaya, I. W. Rinas, and I. W. Sukerayasa, "Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 2, pp. 121, 2019.