

5-Stage Single Phase Inverter Using Photovoltaic (PV) For Electrical System Application

Inverter 5-Tingkat Satu Fasa Menggunakan Photovoltaic (PV) Untuk Aplikasi System Kelistrikan

Eko Yoyok Pujianto¹, Leonardus Heru Pratomo²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang

E-mail: *¹18f10013@student.unika.ac.id, ²leonardus@unika.ac.id

Abstract – Solar power plants (PLTS) by applying Photovoltaic (PV) as a means of energy conversion is a form of renewable energy. In order to obtain maximum power, a DC-DC converter with a maximum power point tracker (MPPT) algorithm is needed, so the system needs to be integrated into one. This integration is known as a two-stage conversion. The problem faced is that a single-phase 5-stage converter is commonly applied using a four-arm power converter, where on each arm there are two power switches. This will cause a high switching system, filter and a large voltage stress. To overcome these problems, research on inverters that utilize 5-level inverters has been carried out. The 5-level inverter under study utilizes the sinusoidal pulse width modulation (SPWM) method as an inverter controller. The control and switching system utilizes the STM32F407 type microcontroller. Verification using PSIM software and hardware implementation. From the test results, the method that has been implemented is able to obtain a 5-level inverter output current and voltage with a current THD value of 4.38%.

Keywords — 5-level inverter, MPPT, STM32F407, THD

Abstrak – Pembangkit listrik tenaga surya dengan mengaplikasikan *Photovoltaic* (PV) sebagai sarana konversi energi merupakan salah satu bentuk dari energi terbarukan. Agar didapatkan daya yang maksimal dibutuhkan konverter DC-DC dengan algoritma *maximum power point tracker* (MPPT), sehingga sistem perlu diintegrasikan menjadi satu. Integrasi tersebut dikenal dengan istilah konversi dua tahap. Kendala yang dihadapi adalah konverter 5-tingkat satu fasa lazim diaplikasikan dengan memakai konverter daya empat lengan, dimana pada masing-masing lengannya ada dua buah saklar daya. Hal tersebut akan menyebabkan sistem pensaklaran yang tinggi, tapis dan stress tegangan yang besar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah dilakukan penelitian mengenai inverter yang memanfaatkan *5-level inverter*. Inverter 5-tingkat yang diteliti memanfaatkan metode *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) sebagai pengendali inverter. Sistem kendali dan pensaklaran dengan memanfaatkan mikrokontroler jenis STM32F407. Verifikasi memakai *software* PSIM dan implementasi perangkat keras. Dari hasil pengujian dengan metode yang telah dilaksanakan mampu memperoleh arus dan tegangan keluaran inverter 5-tingkat dengan nilai THD arus 4,38%.

Kata Kunci — *inverter 5-tingkat, MPPT, STM32F407, THD*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik sangat penting bagi kehidupan manusia sehari-hari. Hal tersebut disebabkan karena peningkatan rata-rata jumlah penduduk yang semakin bertambah serta perkembangan teknologi di zaman sekarang, kegunaan distribusi energi listrik yang stabil membuat sangat penting bagi manusia. Di negara berkembang contohnya Indonesia kebutuhan listrik sangatlah tinggi, disebabkan permintaan pengguna energi listrik semakin luas. Hal ini memicu pengguna listrik yang didapatkan semakin naik. Pembangkit listrik yang ada dibuat berdasarkan sumber yang ada pada

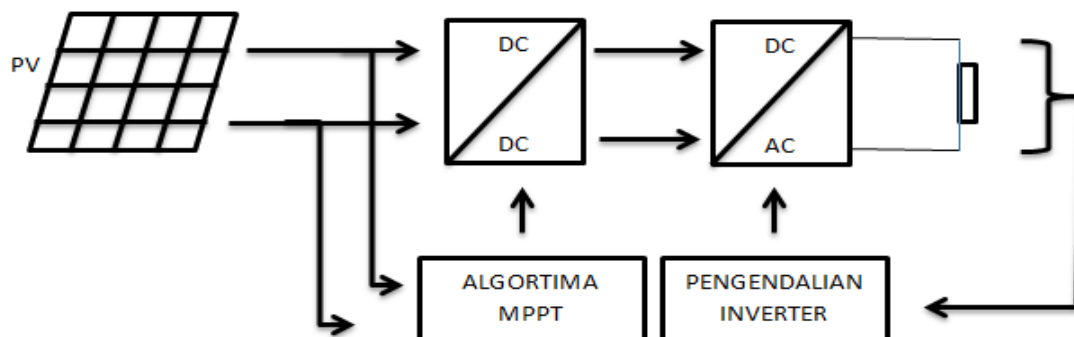
lokasi geografis seperti Indonesia. Seperti kita lihat banyak generator pembangkit yang memiliki dampak, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Hasil gas buangan dari pembangkit merugikan masyarakat karena mencemipolusi udara yang tersebar.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat kita jumpai pada semua lokasi, sebab pembangkit ini hanya membutuhkan energi matahari. Di daerah yang kurang maju, kebutuhan energi listrik tidak tersebar secara merata, dengan adanya *photovoltaic* (PV) kebutuhan energi listrik akan terpenuhi. Untuk menjadi energi listrik, panel surya ini hanya membutuhkan radiasi matahari. Pada umumnya listrik yang didapat dari PV dalam bentuk arus listrik yang searah. Oleh sebab itu kita membutuhkan konverter daya yang memiliki algoritma kurva maksimal. Agar arus yang dihasilkan oleh PV dapat dipakai maka dibutuhkan pengubah arus listrik. Pengubah arus searah dari PV menjadi arus bolak-balik membutuhkan rangkaian daya yang disebut inverter. Inverter mempunyai banyak jenis pensaklaran, seperti bipolar, unipolar dan lain sebagainya. Pada umumnya inverter mempunyai dua jenis yaitu *Current Source Inverter* (CSI) dan *Voltage Source Inverter* (VSI). Diluar dua jenis tersebut topologi inverter yang dimiliki berbeda-beda baik satu fasa maupun tiga fasa. Inverter satu fasa pada umumnya memakai satu buah lengan sehingga lebih sering digunakan. Karena bekerja pada frekuensi yang rendah dibandingkan dengan tiga fasa, sehingga tidak membutuhkan tapis induktor yang besar.

Pada penelitian ini pengaplikasian inverter dalam pembangkit mandiri, inverter satu fasa yang konvensional hanya memakai frekuensi yang rendah dan tapis yang kecil. Standar IEEE 519 *Total Harmonic Distortion* (THD) yang dipakai yaitu dengan nilai maksimum harmonik 5% untuk tegangan 2.3-68 kV.

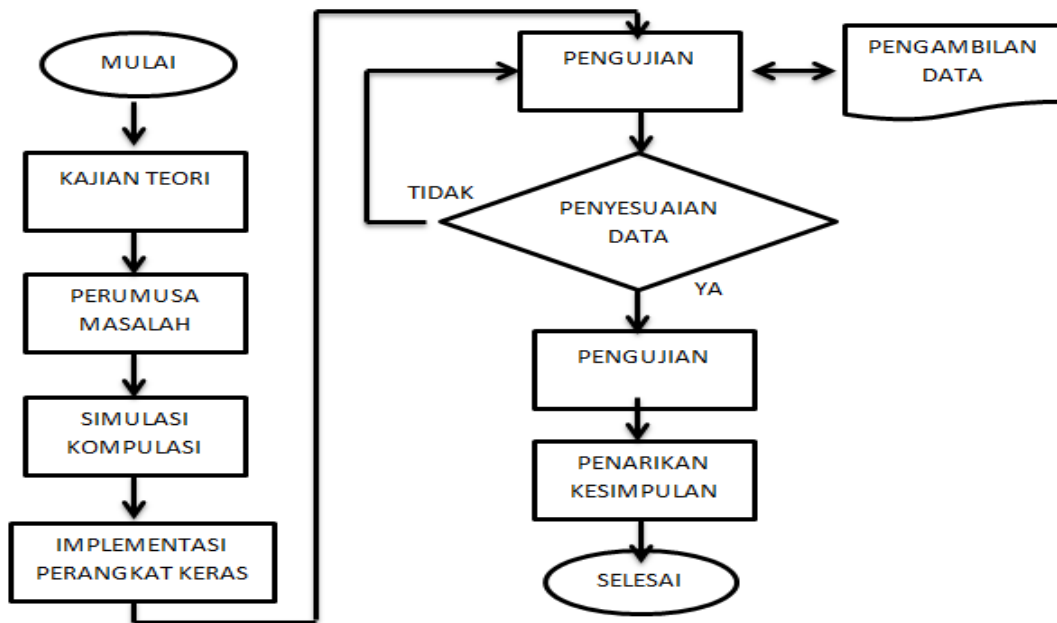
2. METODE PENELITIAN

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ini membutuhkan 2 tahap konversi, PV yang harus dimaksimalkan menggunakan konverter yang berbasis algoritma MPPT dijadikan arus yang searah lalu dirubah jadi arus yang bolak-balik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Dua Tahap Konversi Pada PLTS

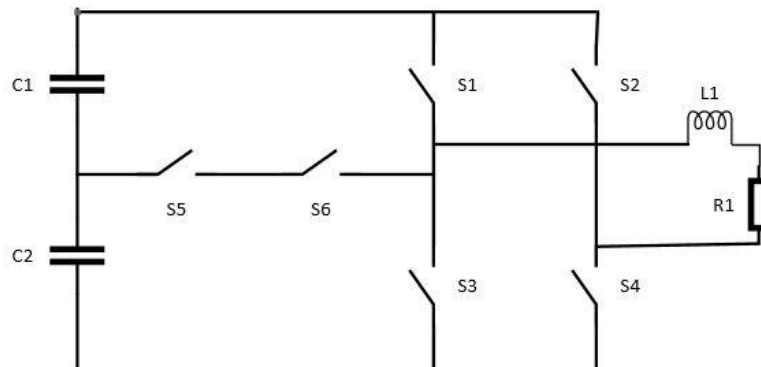
Pada penelitian ini kita menggunakan metode diagram alir yang diperlihatkan seperti pada Gambar 2. Tahap Pertama mengkaji inverter-5 tingkat supaya membentuk gelombang sinusoda. menggunakan metode satu panjang gelombang sebagai contoh pembentuk gelombang keluaran, kami gunakan sebuah mikrokontroler STM32F407 sebagai pengontrolnya. Kemudian merumuskan sebuah masalah dan membuat simulasi di *software* PSIM untuk mengatasi hal yang tidak diinginkan. Lalu kami ujikan pada implementasi perangkat keras serta melakukan pengambilan data. Dan membentuk kesimpulan mengenai permasalahan yang ada.



Gambar 2. Flowchart metode penelitian

2.1. Inverter 5-Tingkat

Pada penelitian kali ini peneliti menggunakan enam buah saklar, dimana saklar daya yang kelima dan keenam digunakan untuk membentuk level atas dan empat saklarnya digunakan sebagai inverter H-Bridge. Topologi inverter 5-tingkat dapat kita lihat seperti gambar 3 berikut.



Gambar 3. Skema Pemodelan Alat

2.1.1. Prinsip kerja inverter 5-tingkat

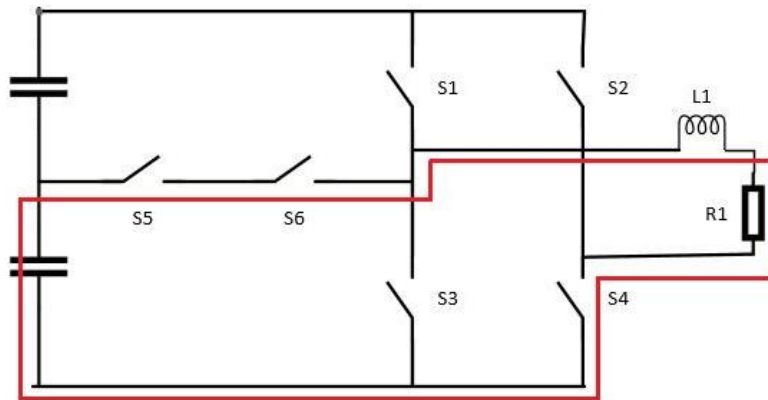
Dalam inverter 5-tingkat ini memiliki lima mode operasi, salah satunya adalah mode *freewheeling*:

- a. Mode Operasi Pertama

Gambar 4 memperlihatkan mode operasi pertama. Persamaan matematika dari mode operasi tersebut disajikan oleh Persamaan 1.

$$E = VL + Vo$$

$$E = L \frac{diL}{dt} + V_o \dots\dots\dots(1)$$



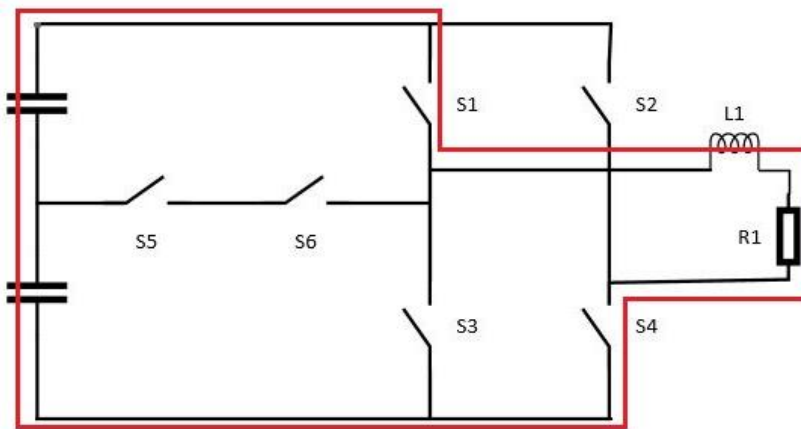
Gambar 4. Mode Operasi Satu

b. Mode Operasi Kedua

Gambar 5 menunjukkan mode operasi kedua. Persamaan matematika dari mode operasi tersebut ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$E + E = VL + V_o$$

$$2E = L \frac{diL}{dt} + V_o \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 5. Mode Operasi Kedua

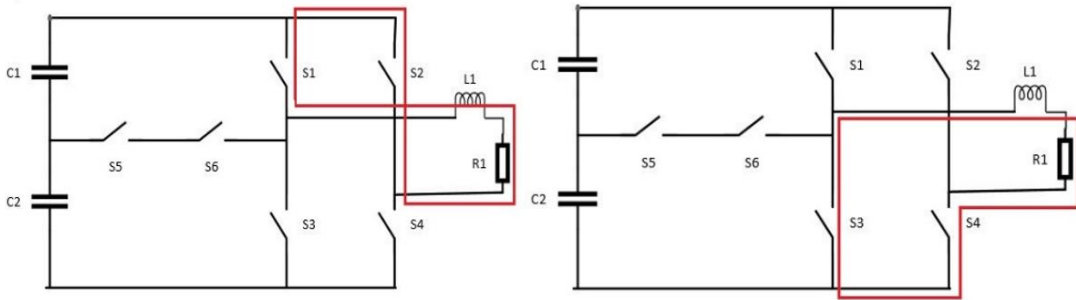
c. Mode Operasi Ketiga

Gambar 6 menunjukkan mode operasi ketiga. Persamaan matematika dari mode operasi tersebut diperlihatkan oleh Persamaan 3.

$$VL = V_o - V_d$$

$$L \frac{diL}{dt} = V_o - 0$$

$$V_o = L \frac{diL}{dt} \dots\dots\dots(3)$$



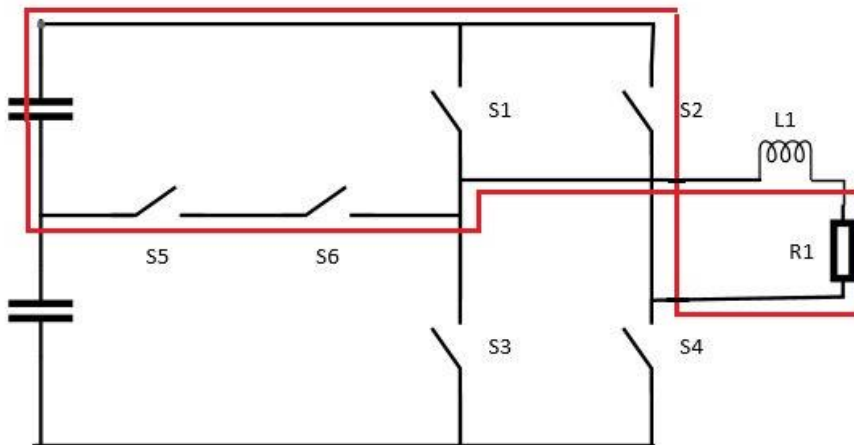
Gambar 6. Mode Operasi Tiga *Freewheeling* Positif dan *Freewheeling* Negatif

d. Mode Operasi Keempat

Gambar 7 memperlihatkan mode operasi keempat. Persamaan matematika dari mode operasi tersebut disajikan oleh Persamaan 4.

$$-E = VL + Vo$$

$$-E = L \frac{diL}{dt} + Vo \dots\dots\dots(4)$$



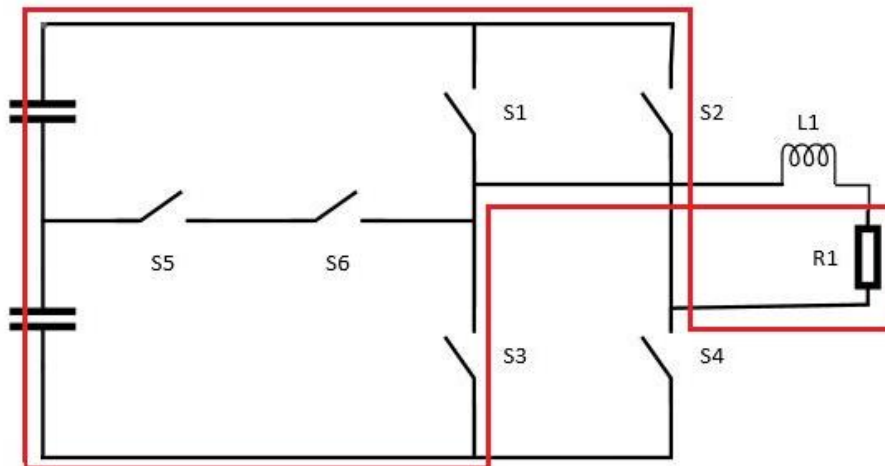
Gambar 7. Mode Operasi Keempat

a. Mode Operasi Kelima

Gambar 8 memperlihatkan mode operasi kelima. Persamaan matematika dari mode operasi tersebut disajikan oleh Persamaan 5.

$$-E + E = VL + Vo$$

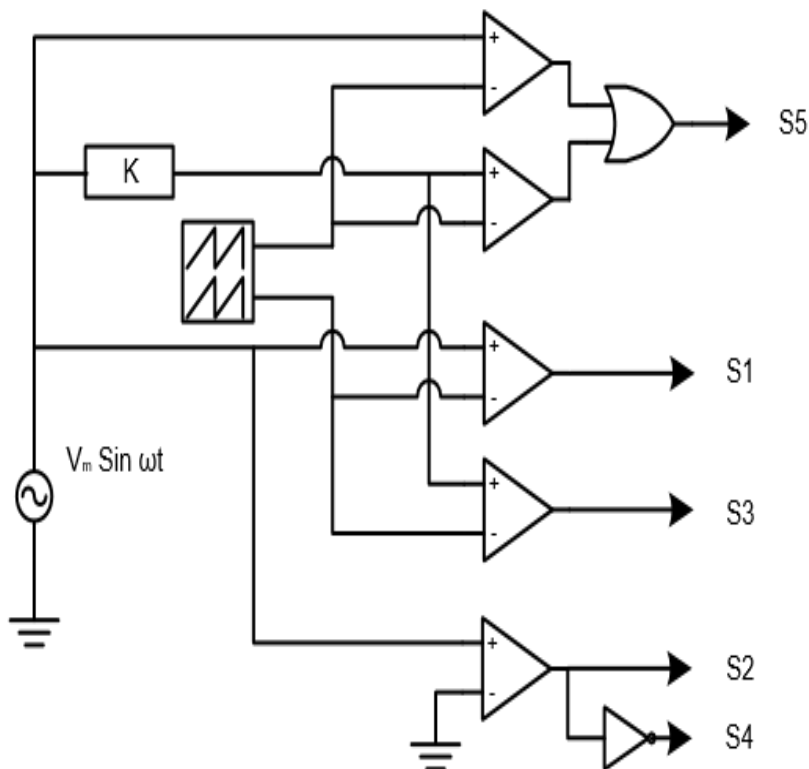
$$-2E = L \frac{diL}{dt} + Vo \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 8. Mode Operasi Keempat

2.2. Modulasi lebar pulsa digital sinusoidal (MLPDS)

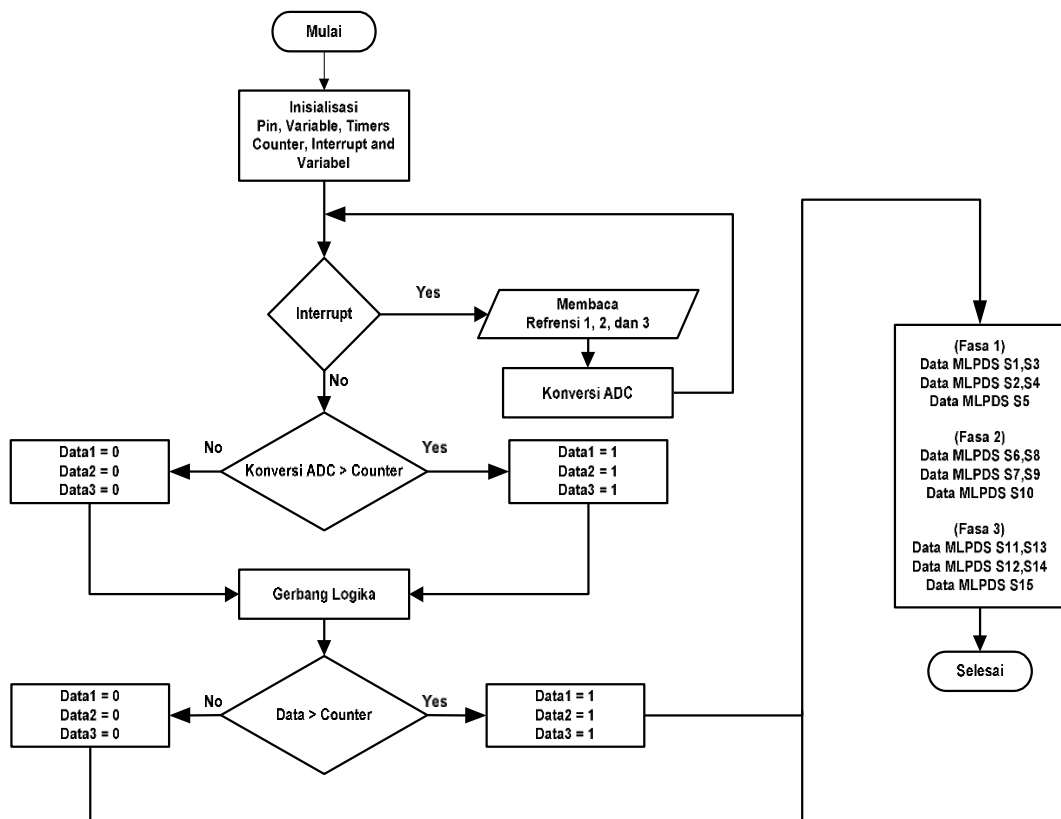
Untuk mengendalikan *inverter* ini dapat dikendalikan banyak hal, umumnya *inverter* dikendalikan menggunakan metode *ON* dan *OFF* menjadikan arus keluaran berbentuk persegi. Supaya keluaran *inverter* ini berbentuk sinusoidal maka memerlukan sebuah MLPDS untuk mengaktifkan saklar dayanya. Gambar 9 dibawah memperlihatkan rangkian pembentuk MLPDS untuk *inverter* 5-tingkat. Dengan membandingkan dua sinyal, referensi sinusoda dan segi tiga (*carrier*) maka akan dihasilkan sinyal keluaran MLPDS yang akan digunakan untuk pensaklaran saklar daya.



Gambar 9 Rangkian Komparator Inverter 5-Tingkat

2.3. Algoritma Pemrograman

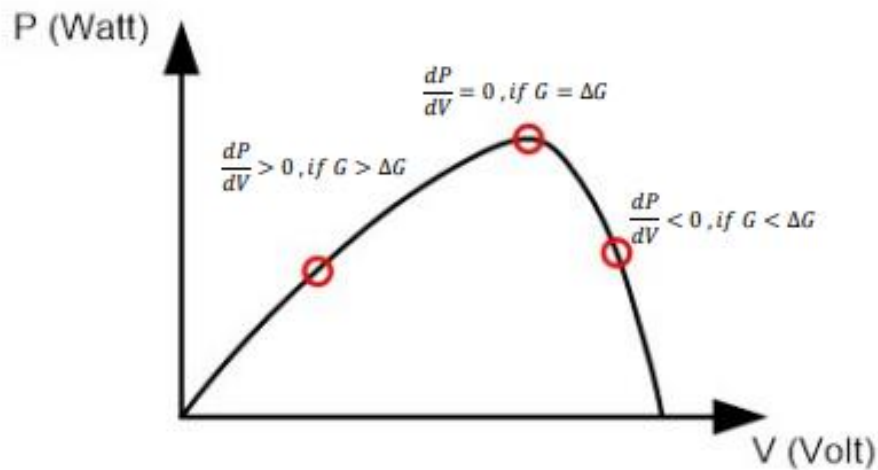
Algoritma pemrograman ini menggunakan mikrokontroler STM32F407 dimana mikrokontroler tersebut memiliki 18 pin keluaran digital, 3 pin masukan ADC dan memiliki 3 timer counter. Pertama-tama program menginisial pin mikrokontroler yang kami gunakan. Lalu menginisial timer counter. Kemudian Pengambilan data dari ADC di mikrokontroler dan dilakukan berdasarkan interrupt timer. Data ADC dipakai untuk referensi yang selanjutnya akan dimodulasi dengan timer counter (sinyal segitiga) dan hasilnya tersebut dihubungkan ke gerbang logika. Agar membentuk polaritas inverter, dilakukan dengan metode zero crossing yang digunakan untuk pensaklaran. Untuk lebih tepatnya dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



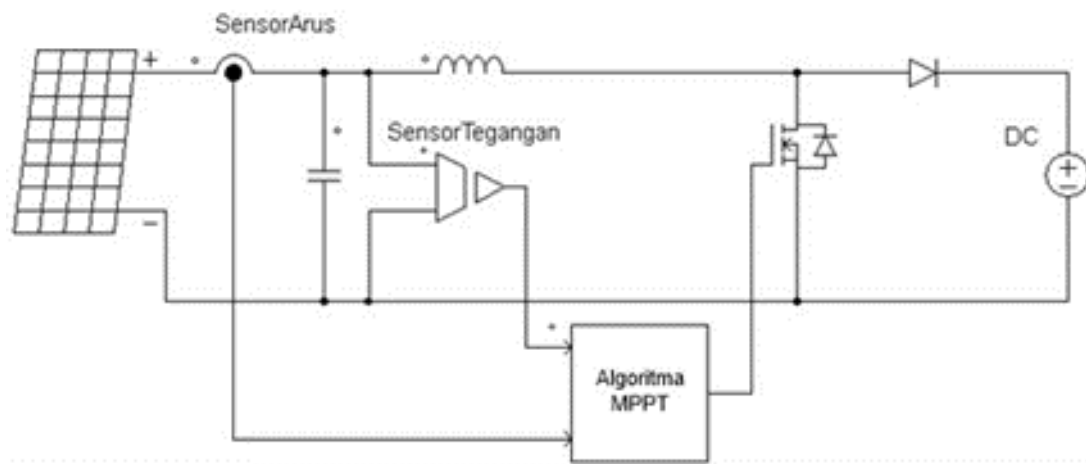
Gambar 10. Diagram Alir Pemrograman

2.4. Kontrol Boost Pengisian Untuk MPPT

Guna memperoleh daya keluaran dari PV ke baterai secara maksimal, topologi boost converter yang digunakan berupa Konverter Boost terintegrasi dengan MPPT. Gambar 11 memperlihatkan kurva karakteristik PV, pada Gambar 12 untuk MPPT yang dipakai digunakan untuk mengendalikan konverter.



Gambar 11. kurva karakteristik PV

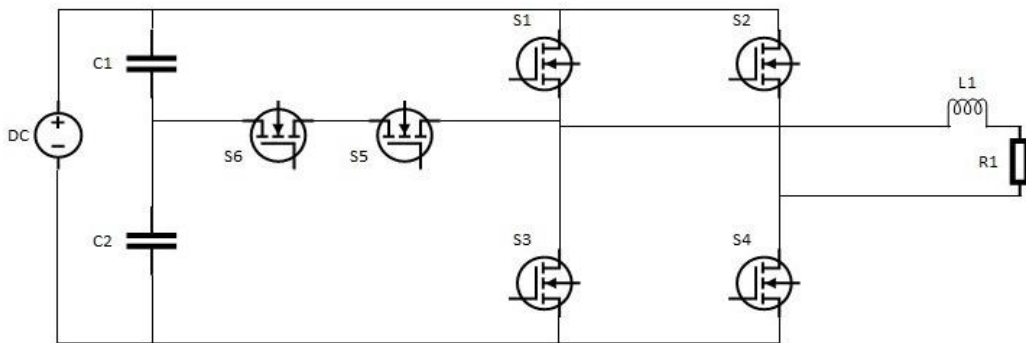
Gambar 12. Rangkaian *Boost* MPPT

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan kali ini akan membandingkan hasil keluaran *inverter* 5-tingkat pada simulasi komputasi dengan menggunakan *software power simulator* (PSIM) dengan implementasi secara nyata di Labotarium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang. Dan sebagai pembanding dapat ditampilkan parameter dan gambar simulasi pada *software* PSIM Tabel 1 Dan Gambar 13. Serta ditampilkan parameter dan gambar implementasi secara nyata pada Tabel 2 Dan Gambar 14.

Tabel 1. Parameter Simulasi Pada PSIM

No	Parameter	Nilai
1	Sumber DC	32 V
2	<i>Induktor</i>	6 Mh
3	Beban	24 Ohm
4	Capasitor	4700 u



Gambar 13. Simulasi Pada Software PSIM

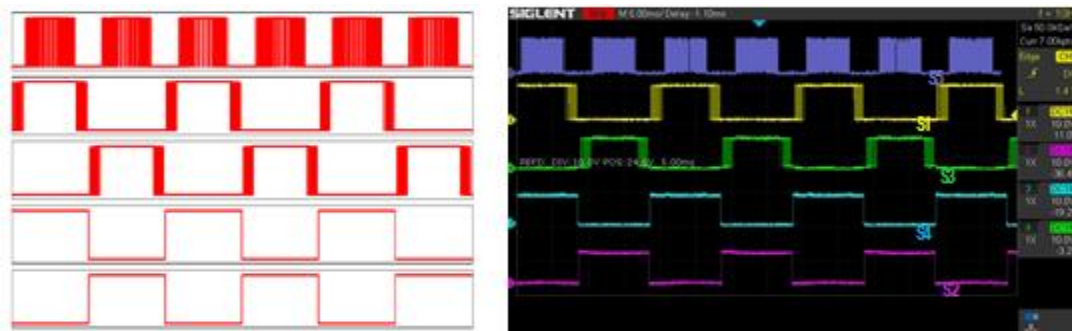
Tabel 2. Parameter implementasi secara nyata

No	Parameter	Nilai
1	Tegangan DC	32 V
2	Induktor	1 Mh
3	Beban	1200 W
4	Saklar	IRFP 460
5	Capasitor	4700 u
6	Frekuensi pensaklaran	5 KHz



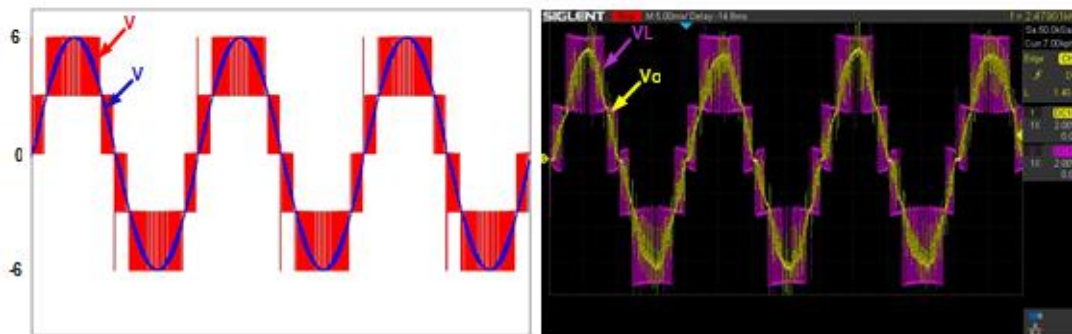
Gambar 14. Perangkat Keras Inverter 5-Tingkat

Berikut adalah hasil pengujian simulasi power simulator (PSIM) dan implementasi pada perangkat keras yang di lakukan di Laboratorium Teknik Elktro Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



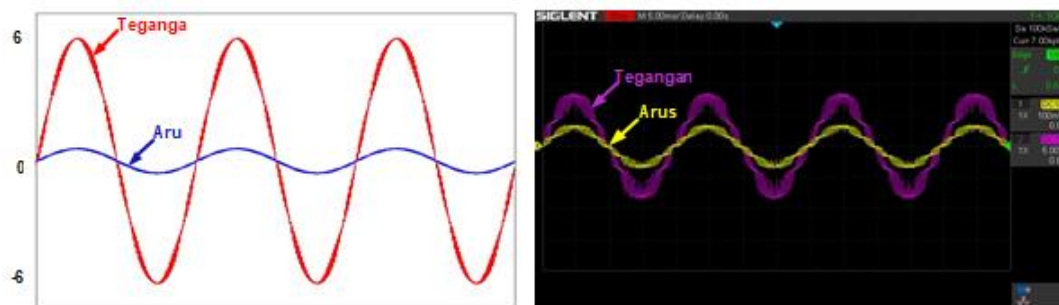
Gambar 15. Hasil pensaklaran S1-S5

Dari Gambar 15 tersebut terlihat bahwa hasil pensaklaran S1-S5 pada *inverter* 5-tingkat yang dibangun ini mampu menghasilkan tegangan keluaran berbentuk persegi.



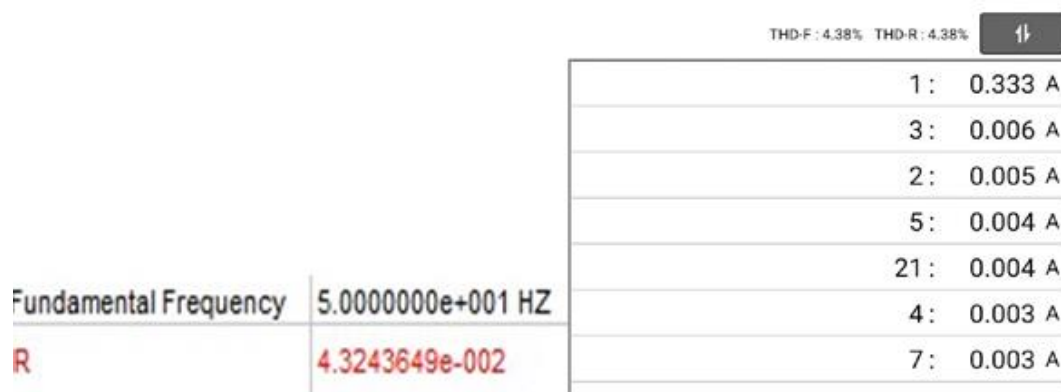
Gambar 16. Tegangan Keluaran *Inverter* 5-Tingkat

Dari hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* 5-tingkat Gambar 16 tersebut terlihat bahwa *inverter* 5-tingkat yang dibangun ini mampu menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai.



Gambar 17. Tegangan Dan Arus *Inverter* 5-Tingkat

Dari hasil pengujian tegangan dan arus *inverter* 5-tingkat seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 17 tersebut terlihat bahwa bahwa *inverter* 5-tingkat yang dibangun ini mampu menghasilkan arus keluaran yang sesuai.



Gambar 18. THD Arus 5-Tingkat

Dari hasil pengujian THD arus 5-tingkat seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 18 tersebut diperoleh data bahwa *inverter* 5-tingkat yang dibangun ini mampu menghasilkan gelombang yang bergeser 120° dengan nilai THD arus 4,38% yang sesuai dengan standar IEEE 519.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian mengenai inverter 5-tingkat satu fasa menggunakan PV untuk aplikasi sistem kelistrikan, dapat kami simpulkan bahwa inverter 5-tingkat satu fasa menggunakan PV ini dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang sesuai untuk aplikasi sistem kelistrikan. Selain itu inverter 5-tingkat satu fasa menggunakan PV yang dibangun ini mampu menghasilkan gelombang yang bergeser 120° dengan nilai THD arus 4,38% yang sesuai dengan standar IEEE 519.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aheshri, S., & Khampariya, P. (2014). Simulation of Single Phase SPWM (Unipolar) Inverter. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 1(9), 12–18.
- [2] Ahmad, A., & Maqbool, S. (2019). Square Wave Inverters – A Performance Comparison with Pure Sine Wave Inverters. *International Journal Of Research in Electronics and Computer Engineering*, 7(1), 237–39.
- [3] Algaddafi, A., Elnaddab, K., Al Ma'Mari A., & Esgiar, A.N. (2017). Comparing the Performance of Bipolar and Unipolar Switching Frequency to Drive DC-AC Inverter. *Proceedings of 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2016*, (pp. 680–85).
- [4] Ardin, F., Rahardjo, A., & Hudaya, C. (2017). Electricity Price and Subsidy Scenario for Hybrid Power Generations on Off-Grid System. *ICCREC 2017 - 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy, and Communications*, (pp. 132–38).
- [5] IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*.
- [6] Hakim, A.R., Handoyo, W.T., & Wullandari, P. (2018). An Energy and Exergy Analysis of Photovoltaic System in Bantul Regency, Indonesia Arif.
- [7] Hamid, N. F. A. I, Jalil, M.A.A., & Mohamed, N.S.S. (2019). Design and Simulation of SinglePhase Inverter Using SPWM Unipolar Technique. *Journal of Physics: Conference Series* 1432(1), 1–9.
- [8] Neukirchner, L., & Magyar, A. (2017). Modelling a Three-Phase Current Source Inverter. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 44(2), 105–11.
- [9] Pratomo, L.H., & Tjokro, C. (2019). Hardware Implementation of an Asymmetrical 11-Level Inverter with Automatic Boost Charge Control in PV Applications. *Proceedings - 2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication: Industry 4.0: Retrospect, Prospect, and Challenges, iSemantic 2019*. (pp. 336–41).
- [10] Pratomo, L.H., Wijaya, F.D., & Firmansyah, E. (2015). Capacitor Bank Voltage Equilibrium for MPPT in Single-Phase Single-Stage Capacitor Bank Voltage Equilibrium for MPPT in Single- Phase Single-Stage Five-Level Inverter for PV-Grid Application.
- [11] Pratomo, L.H., & Riyadi, S. (2020). Desain Dan Implementasi Algoritma Korelasi Daya Dan Tegangan Di Kapasitor Untuk Maximum Power Point Trackking Pada Photovoltaic Menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(1), 9–16.
- [12] Rahman, T., Motakabber, S.M.A., & Ibrahimy, M.I. (2016). Design of a Switching Mode Three Phase Inverter. *Proceedings - 6th International Conference on Computer and Communication Engineering: Innovative Technologies to Serve Humanity, ICCCE 2016* (pp. 155–60).

- [13] Sanadeera, M., & Miller, W. (2015). Residential Electricity Costs — Assessment Of Queensland Electricity Tariffs For Solar Households. IEEE PES Asia-Pacific Power Engineering Conference (APPEC), (pp. 6–9).
- [14] Tran, V.R., Nguyen, M.K., Yoo M.H., Choi, Y.O., & Cho, G.B. (2017). A Three-Phase Cascaded H-Bridge Quasi Switched Boost Inverter for Renewable Energy. 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2017.
- [15] Trivedi, J., Shah, M., & Shah, J. (2016). Three Phase 150 Degree Mode of Conduction Voltage Source Inverter Using Arduino. International Journal of Engineering Research And 5(12), 272–75.
- [16] Wilson, A.O.M., & Jiménez, J.B. (2016). Electricity Demand Modeling for Rural Residential Housing: A Case Study in Colombia. 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America, ISGT LATAM 2015. Colombia: IEEE. (pp. 614-618).
- [17] Dagomis, ivaniles putra utama dan Pratomo, leonardus heru. (2020) inverter 5-tingkat tiga fasa empat kawa menggunakan STM32F407 untuk catu daya mandiri, ELKOMIKA: jurnal teknologi energi, Teknik telekomunikasi, dan Teknik elektronika, ISSN(p): 2338-8323 | ISSN(e): 2459-9638.