

Rancang Bangun Inverter Cascaded H-Bridge 5-Level untuk Panel Surya Berbasis Mikrokontroler AT89S52

I Gede Nurhayata^{1*}, I Wayan Sutaya², I Putu Suka Arsa³

^{1,2,3} Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

* I Gede Nurhayata / gede.nurhayata@undiksha.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan energi terbarukan memerlukan teknologi konversi daya yang efisien serta mampu menghasilkan tegangan keluaran berkualitas tinggi. Salah satu solusi potensial adalah inverter multilevel yang dapat menghasilkan bentuk gelombang keluaran lebih mendekati sinusoidal dibandingkan inverter dua level konvensional. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi inverter cascaded H-bridge lima level yang dikendalikan oleh mikrokontroler AT89S52. Permasalahan utama yang dibahas adalah bagaimana menghasilkan tegangan keluaran multilevel dengan perangkat keras sederhana dan strategi pensaklaran yang efisien. Metode yang digunakan adalah fundamental frequency switching, di mana logika pensaklaran ditentukan berdasarkan tabel switching yang telah ditetapkan. Metode ini dipilih karena kesederhanaannya, tidak memerlukan banyak sinyal carrier, serta sesuai dengan keterbatasan mikrokontroler. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa inverter yang dirancang berhasil menghasilkan tegangan lima level dengan bentuk gelombang mendekati sinusoidal. Analisis kualitas daya menunjukkan bahwa meskipun distorsi harmonik 30,14 % pada beban resistif dan 32,52% pada beban induktif, yang lebih tinggi dibandingkan metode multicarrier PWM, rancangan ini tetap efisien, stabil pada tegangan keluaran 197 Volt, dan layak digunakan pada aplikasi energi terbarukan skala kecil hingga menengah. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan inverter multilevel yang sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan, guna mendukung pemanfaatan energi surya dan sumber energi terbarukan lainnya.

Kata Kunci: Inverter Multilevel, Cascaded H-bridge, AT89S52, Frequency switching, Energi terbarukan

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik global terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi. Di sisi lain, ketersediaan energi fosil semakin menipis serta menimbulkan permasalahan lingkungan akibat emisi karbon. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi salah satu solusi yang strategis untuk menjamin keberlanjutan pasokan energi. Panel surya menghasilkan energi dalam bentuk arus searah (DC), sementara sebagian besar peralatan listrik rumah tangga maupun industri memerlukan arus bolak-balik (AC). Konversi dari DC ke AC dilakukan melalui inverter. Inverter konvensional dua level umumnya masih menghasilkan tegangan berbentuk gelombang persegi atau sinus termodifikasi dengan kandungan harmonisa yang relatif tinggi. Hal ini berdampak pada rendahnya kualitas daya dan efisiensi sistem.

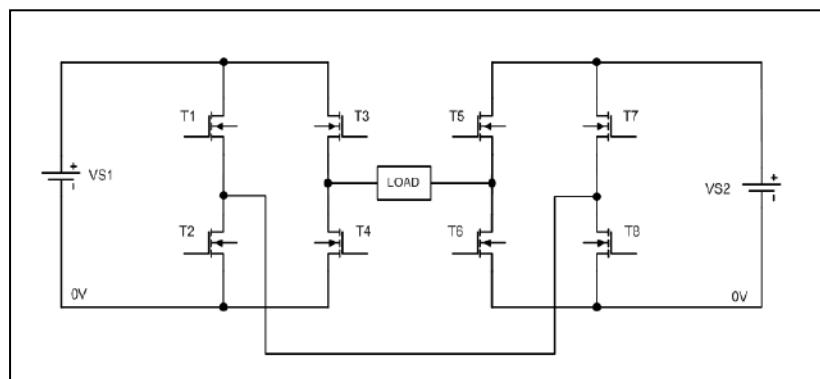
Inverter multilevel merupakan pengembangan dari inverter konvensional yang mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih mendekati sinusoidal. Salah satu topologi yang banyak digunakan adalah cascaded H-bridge (CHB). Pada topologi ini, beberapa sel H-bridge disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan bertingkat (multilevel). Konfigurasi lima level merupakan bentuk sederhana yang dapat menurunkan Total Harmonic Distortion (THD) tanpa memerlukan komponen yang terlalu kompleks. Metode pensaklaran berperan penting dalam menentukan kualitas gelombang keluaran inverter. Salah satu metode yang sederhana adalah fundamental frequency switching, di mana logika pensaklaran ditentukan berdasarkan tabel switching pada frekuensi dasar. Metode ini lebih mudah diterapkan menggunakan mikrokontroler sederhana, seperti AT89S52, dibandingkan metode multicarrier PWM yang membutuhkan sinyal pembawa lebih banyak.

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang inverter cascaded H-bridge lima level dengan perangkat keras yang sederhana dan ekonomis?, bagaimana mengimplementasikan strategi pensaklaran menggunakan mikrokontroler AT89S52 agar inverter dapat menghasilkan gelombang keluaran mendekati sinusoidal?, dan bagaimana kualitas daya yang dihasilkan, khususnya dari sisi bentuk gelombang dan kandungan harmonisa?

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan membangun inverter multilevel berbasis topologi cascaded H-bridge lima level. Mikrokontroler AT89S52 digunakan untuk menghasilkan sinyal pensaklaran dengan metode fundamental frequency switching. Sistem diuji melalui pengukuran tegangan keluaran dan analisis harmonisa untuk mengevaluasi kualitas daya yang dihasilkan.

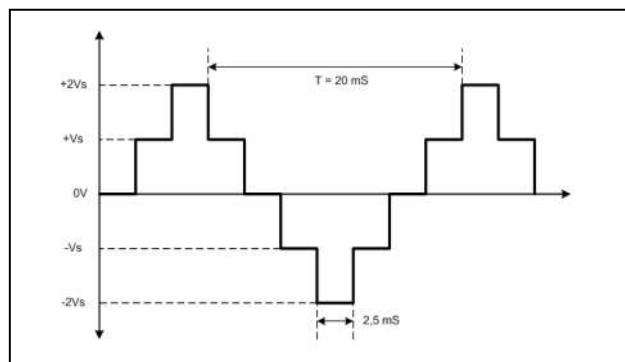
Tujuan penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan inverter cascaded H-bridge lima level untuk aplikasi panel surya, mengimplementasikan metode fundamental frequency switching pada mikrokontroler AT89S52 sebagai pengendali pensaklaran inverter, menganalisis bentuk gelombang keluaran serta kualitas daya inverter berdasarkan nilai THD.

Inverter merupakan suatu rangkaian yang mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC (Rashid, 2014). Inverter dengan mode pensaklaran banyak digunakan dalam kendali motor AC dan catu daya AC kontinu dimana menghasilkan keluaran sinusoida yang dapat diatur amplitudo dan frekuensinya. (Mohan, 2003). Inverter multilevel adalah jenis inverter yang mampu menghasilkan sinyal output AC dengan beberapa tingkat tegangan, sehingga gelombang output mendekati bentuk sinus dengan distorsi harmonisa yang lebih rendah dibanding inverter konvensional satu level. Pada penelitian (N. M. Nordin, 2014) (Aini Mutiara Syaban, 2022) menjelaskan topologi cascaded H-Bridge (CHB) 5 level yang merupakan salah satu jenis inverter multilevel yang populer digunakan dalam sistem tenaga listrik, termasuk aplikasi energi terbarukan seperti panel surya seperti tampak pada Gambar 1. Menurut (Prashant Kedarnath Magadum, 2023) inverter CHB 5-Level memiliki keunggulan dalam meningkatkan kualitas daya, mengurangi stress tegangan pada perangkat switching, serta meningkatkan efisiensi sistem. Implementasi inverter CHB juga memberikan fleksibilitas dalam pengaturan level tegangan output dengan menggabungkan beberapa modul H-Bridge secara seri.



Gambar 1. Topologi cascaded H-Bridge (CHB) 5 level

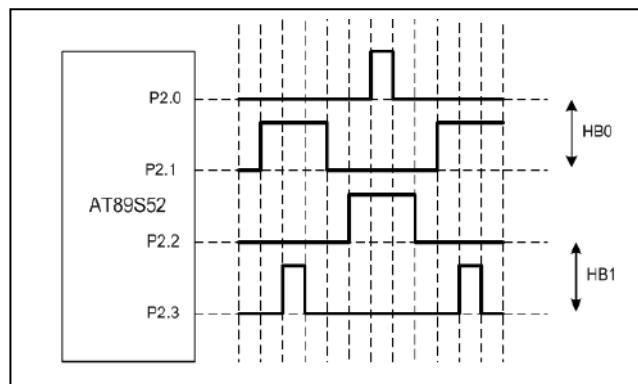
Bentuk tegangan keluaran dari rangkaian cascade H Bride inverter 5 level dapat dilihat seperti pada Gambar 2 . Pada gambar tersebut terdapat 5 level tegangan keluaran yaitu + 2Vdc, +Vdc, 0, - Vdc, dan -2Vdc. Dengan lima level tegangan ini, dapat diperoleh pendekatan terhadap bentuk dari tegangan sinusoida.



Gambar 2. Bentuk tegangan keluaran dari topologi cascade H Bride inverter 5 level

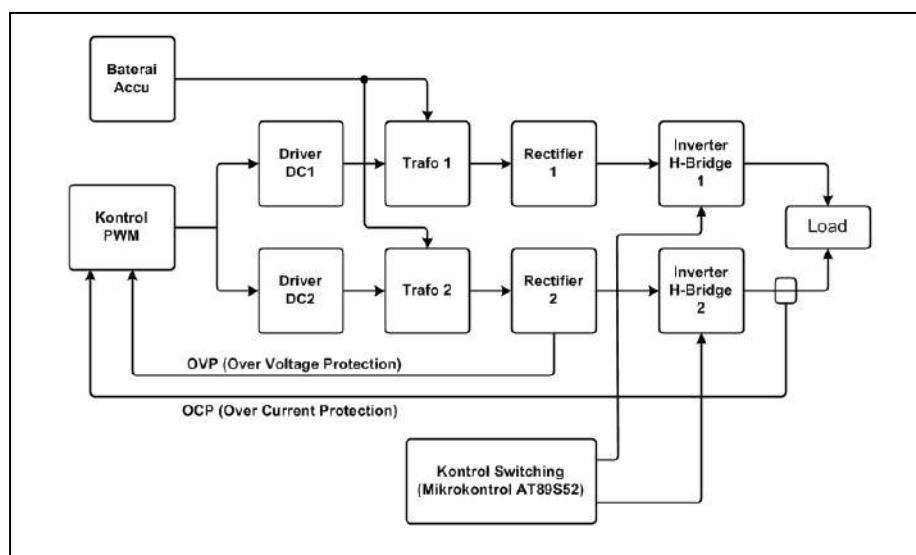
Penggunaan mikrokontroler sebagai sistem kontrol inverter memungkinkan pengaturan switching yang presisi melalui teknik Pulse Width Modulation (PWM). Mikrokontroler AT89S52, yang berbasis arsitektur 8051, telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika karena kemudahan

pemrograman dan biaya rendah. Dalam pengendalian inverter multilevel, mikrokontroler bertugas menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi dan duty cycle yang tepat agar menghasilkan output AC berkualitas (Nugroho, 2018). Studi oleh (Krismadinata, 2017) menunjukkan bahwa pemrograman mikrokontroler untuk kontrol PWM pada inverter multilevel dapat dilakukan dengan optimasi algoritma sederhana namun efektif, menjadikan penggunaan mikrokontroller AT89S52 pilihan tepat untuk aplikasi industri berskala kecil hingga menengah. Adapun proses pensakelaran yang dilakukan pada mikrokontroller At89S52 untuk menghasilkan bentuk tegangan keluaran 5 level diperlihatkan seperti pada Gambar 3. Pada gambar tersebut, setiap keluaran dari port P2 dari mikrokontroler menghasilkan sinyal pensakelaran yang pola tertentu agar dapat melakukan pensakelaran dengan tepat pada mosfet dari rangkaian cascade H-Bridge.



Gambar 3. Bentuk sinyal pensakelaran pada mikrokontroler AT89S52

Pada beberapa penelitian di Indonesia telah mengembangkan inverter berbasis mikrokontroler untuk aplikasi surya skala kecil, namun sebagian besar masih menggunakan metode PWM konvensional dan inverter dua level. Panel surya atau photovoltaic (PV) mengubah energi matahari menjadi listrik DC yang memerlukan inverter untuk konversi ke AC agar bisa digunakan dalam sistem listrik rumah tangga atau dikoneksikan ke grid. Penelitian terbaru oleh (Ali Bughneda 1, 2021) menggarisbawahi pentingnya inverter multilevel dalam meningkatkan efisiensi sistem PV dengan menurunkan tingkat harmonisa dan meningkatkan stabilitas output. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan alternatif dengan rancangan inverter multilevel lima level berbasis AT89S52 yang sederhana namun tetap mampu menghasilkan keluaran dengan kualitas daya yang lebih baik.



Gambar 4. Diagram blok rancangan inverter cascaded H-Bridge 5 level

Pada Gambar 4 memperlihatkan rancangan diagram blok inverter cascade H Bridge 5 level untuk panel surya berbasis mikrokontroller AT 89S52. Adapun cara kerja dari rancangan tersebut adalah dua buah trafo switching berfungsi menghasilkan sumber tegangan tinggi arus searah secara terpisah yang dikontrol secara PWM untuk memperoleh tegangan keluaran yang stabil. Kedua sumber tegangan tinggi arus searah ini mensuplai secara terpisah rangkaian inverter H-Bridge yang dirangkai secara seri atau cascade. Proses pensakelaran akan dilakukan oleh mikrokontroller AT89S52 dengan pola sinyal seperti pada Gambar 3 untuk menghasilkan bentuk tegangan keluaran inverter 5 level. Dalam rancangan ini dilengkapi dengan dua pengaman atau proteksi terhadap tegangan lebih yang melebihi batas nilai keluaran maksimum (over voltage protection) dan terhadap arus beban lebih (over current protection).

2. METODE

Desain penelitian ini bersifat eksperimental rekayasa (engineering experiment) dengan pendekatan *research and development (R&D)*, yang bertujuan untuk merancang, merealisasikan, dan menguji kinerja inverter cascaded H-bridge lima level berbasis mikrokontroler AT89S52. Proses perancangan diawali dengan analisis kebutuhan sistem, termasuk penentuan spesifikasi tegangan masukan dari panel surya, level tegangan keluaran yang diinginkan, serta batasan arsitektur perangkat keras. Selanjutnya dilakukan tahap desain skematis rangkaian daya, perhitungan kapasitas komponen semikonduktor (MOSFET, dioda, dan kapasitor DC-link), serta pemodelan strategi pensaklaran fundamental frequency switching. Mikrokontroler AT89S52 diprogram untuk menghasilkan pola logika switching sesuai tabel transisi tegangan lima level yang telah ditetapkan. Setelah tahap desain, sistem direalisasikan dalam bentuk prototipe laboratorium untuk kemudian diuji secara eksperimental. Uji performa dilakukan dengan mengukur bentuk gelombang tegangan keluaran, nilai RMS, serta distorsi harmonik total (THD) menggunakan instrumen osiloskop digital dan perangkat lunak analisis spektrum berbasis FFT. Dengan desain penelitian ini, diharapkan prototipe inverter dapat dievaluasi secara komprehensif baik dari sisi fungsionalitas maupun kualitas daya yang dihasilkan.

Partisipan dalam penelitian ini bukan berupa subjek manusia, melainkan perangkat keras dan komponen elektronik yang menjadi bagian integral dari sistem yang dirancang. Komponen utama yang digunakan meliputi panel surya sebagai sumber tegangan DC, rangkaian inverter cascaded H-bridge lima level yang terdiri atas modul MOSFET, dioda, kapasitor, dan transformator, serta mikrokontroler AT89S52 sebagai pusat kendali pensaklaran. Selain itu, perangkat pendukung pengujian seperti osiloskop digital, multimeter, dan perangkat analisis spektrum berbasis komputer juga dilibatkan sebagai instrumen validasi performa. Dengan melibatkan partisipan berupa prototipe dan instrumen laboratorium ini, penelitian difokuskan pada pengujian kinerja teknis inverter terhadap bentuk gelombang keluaran, stabilitas tegangan, serta tingkat distorsi harmonik yang dihasilkan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian eksperimen laboratorium terhadap prototipe inverter cascaded H-bridge lima level yang telah direalisasikan. Data utama yang dikumpulkan meliputi bentuk gelombang tegangan keluaran, nilai tegangan RMS, serta besaran distorsi harmonik total (THD). Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop digital untuk merekam bentuk gelombang, multimeter digital untuk memastikan nilai tegangan dan arus rata-rata, serta perangkat lunak analisis spektrum berbasis *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk menghitung nilai THD secara kuantitatif. Seluruh data hasil pengukuran dicatat secara sistematis, kemudian dibandingkan dengan parameter teoretis yang diperoleh dari hasil perhitungan desain dan simulasi awal. Dengan metode ini, data yang terkumpul dapat mencerminkan performa inverter baik dari sisi kesesuaian rancangan maupun kualitas daya yang dihasilkan.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat ukur utama dan perangkat pendukung. Osiloskop digital digunakan untuk merekam dan menganalisis bentuk gelombang tegangan keluaran inverter secara real-time, sehingga dapat diamati kestabilan serta tingkat kemiripannya dengan gelombang sinus ideal. Multimeter digital digunakan untuk mengukur besaran listrik dasar seperti tegangan DC input dari panel surya, tegangan RMS keluaran, serta arus pada beban. Selain itu, perangkat lunak analisis spektrum berbasis *Fast Fourier Transform* (FFT) dipakai untuk menghitung nilai distorsi harmonik total (THD), yang menjadi indikator utama kualitas daya. Instrumen-instrumen ini dipilih karena mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat, mudah dioperasikan, dan sesuai dengan standar pengujian laboratorium sistem elektronika daya. Dengan kombinasi instrumen tersebut, data yang diperoleh dapat diverifikasi secara menyeluruh dari sisi kuantitatif maupun kualitatif.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan komparatif. Data hasil pengukuran bentuk gelombang keluaran dari osiloskop dianalisis untuk mengidentifikasi pola tegangan lima level serta kestabilan gelombang yang terbentuk. Nilai tegangan RMS dibandingkan dengan

perhitungan teoretis untuk menilai akurasi desain. Selanjutnya, data spektrum harmonik yang diperoleh melalui analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) diolah untuk menghitung nilai distorsi harmonik total (THD). Hasil penghitungan THD kemudian dibandingkan dengan standar kualitas daya yang direkomendasikan oleh IEEE, guna menilai kelayakan inverter dalam aplikasi energi terbarukan. Analisis juga mencakup perbandingan antara performa inverter berbasis fundamental frequency switching dengan hasil penelitian terdahulu yang menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Dengan cara ini, diperoleh evaluasi menyeluruh mengenai efisiensi, kualitas daya, serta keandalan sistem, sehingga kesimpulan penelitian dapat ditarik secara objektif.

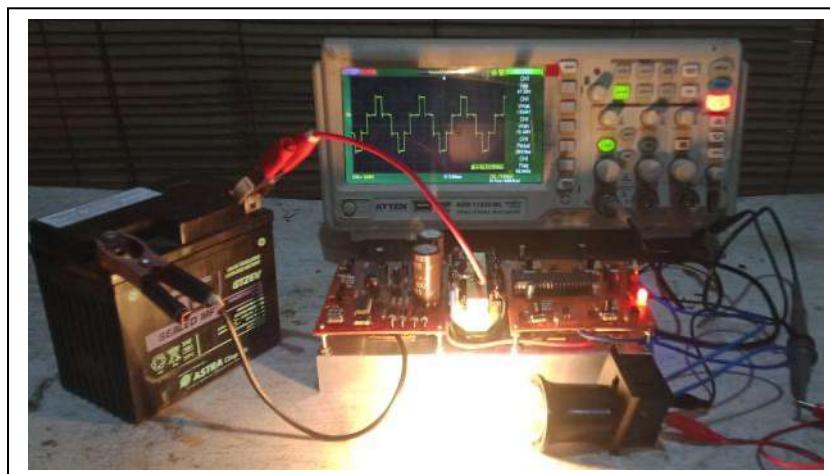
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Prototipe inverter cascaded H-bridge lima level berbasis mikrokontroler AT89S52 berhasil direalisasikan seperti pada Gambar 5 dan diuji menggunakan sumber tegangan DC dari Accu 12V yang mensimulasikan keluaran panel surya seperti pada Gambar 6.

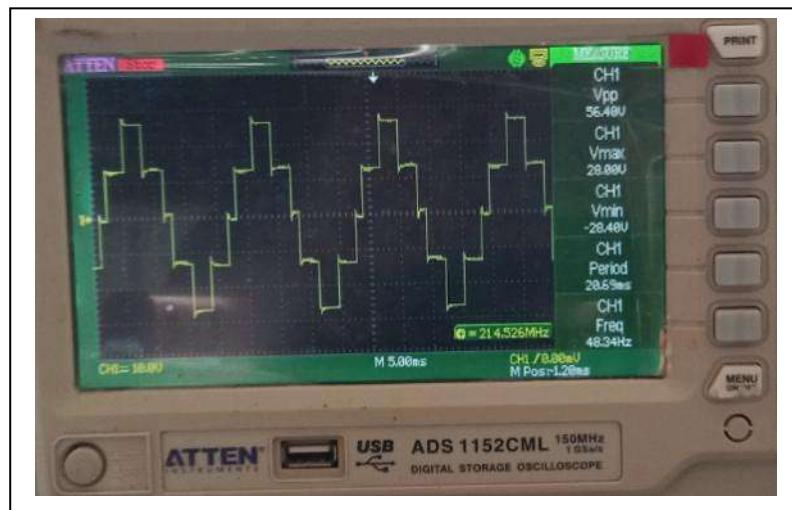


Gambar 5. Prototipe inverter cascaded H-bridge lima level berbasis mikrokontroler AT89S52



Gambar 6. Pengujian Prototipe inverter cascaded H-bridge lima level dengan beban lampu pijar 100 W

Hasil pengujian dengan osiloskop digital menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan bentuk gelombang keluaran lima level dengan pola tegangan $-V_{dc}$, $-V_{dc}/2$, 0, $+V_{dc}/2$, dan $+V_{dc}$ seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Gelombang yang ditampilkan pada layar osiloskop digital memperlihatkan bahwa sinyal keluaran menyerupai bentuk sinusoidal dengan perbedaan level tegangan yang jelas.



Gambar 7. Pengujian tegangan keluaran inverter cascaded H-bridge lima level berbasis mikrokontroler AT89S52 dengan osiloskop digital

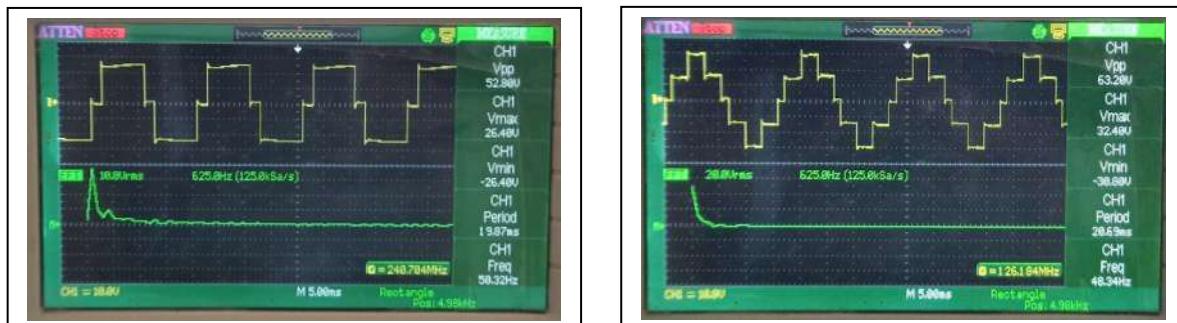
Pada Tabel 1 memperlihatkan data hasil pengukuran dengan multimeter digital tegangan RMS keluaran pada berbagai jenis beban yakni beban resistif berupa lampu LED 8 Watt, lampu pijar 100 Watt dan beban induktif berupa kipas angin 40 Watt.

Tabel 1. Tegangan keluaran inverter dengan berbagai jenis beban

Beban	Tegangan RMS Teoretis (Volt)	Tegangan RMS Terukur (Volt)
Lampu LED, 8 Watt	200	197
Lampu Pijar , 100 Watt	200	197
Kipas Angin Model WG-30J 40 Watt	200	197

Pengukuran menggunakan multimeter digital menunjukkan bahwa nilai tegangan RMS keluaran stabil pada tegangan sebesar 197 V, pada variasi jenis beban dengan perbandingan yang relatif dekat terhadap nilai teoreti.

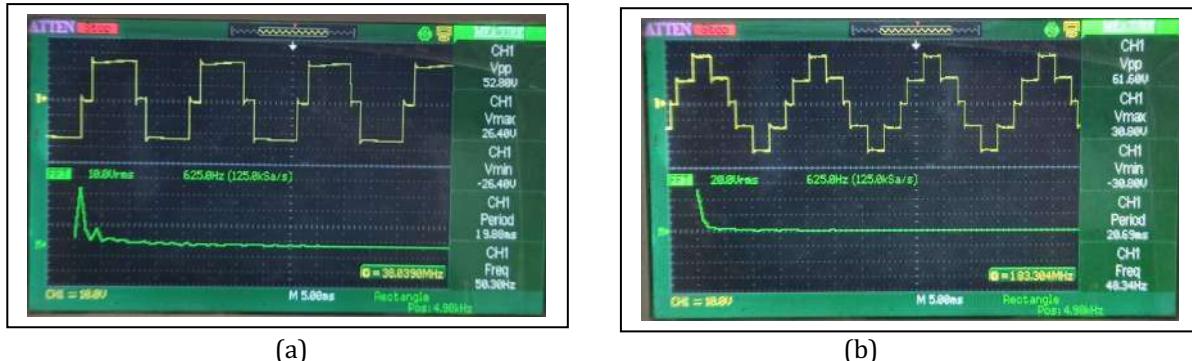
Pada Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian keluaran inverter 3 level dan 5 level dengan beban lampu pijar 100 watt berupa bentuk tegangan dan spektrum frekuensi harmonik berbasis *Fast Fourier Transform* (FFT). Sedangkan pada Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian keluaran inverter 3 level dan 5 level dengan beban induktif berupa kipas angin 40 Watt.



(a)

(b)

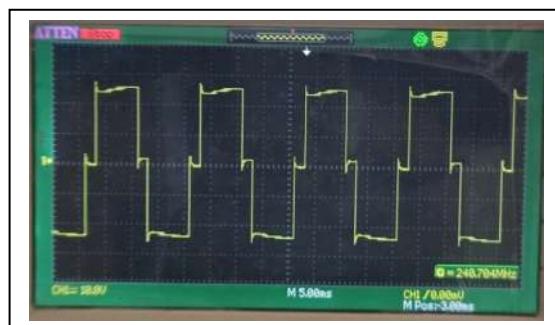
Gambar 8. Pengukuran FFT (a) inverter 3 level, (b) cascaded H-bridge 5 level dengan osiloskop digital ADS 1152 CML beban resistif lampu pijar 100 Watt



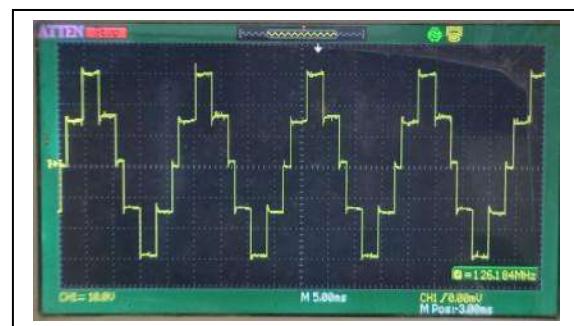
Gambar 9. Pengukuran FFT (a) inverter 3 level, (b) cascaded H-bridge 5 level dengan osiloskop digital ADS 1152 CML beban induktif kipas angin model WG-30J

3.2. Pembahasan

Hasil pengujian inverter cascaded H-bridge lima level menunjukkan bahwa bentuk gelombang tegangan keluarannya lebih mendekati sinusoidal dibandingkan inverter tiga level konvensional seperti tampak pada Gambar 10. Hal ini sesuai dengan teori bahwa penambahan jumlah level pada inverter dapat mengurangi distorsi harmonik dan meningkatkan kualitas daya. Pada grafik hasil pengukuran, tampak bahwa gelombang lima level menghasilkan transisi yang lebih halus sehingga mampu menekan komponen harmonik tinggi.



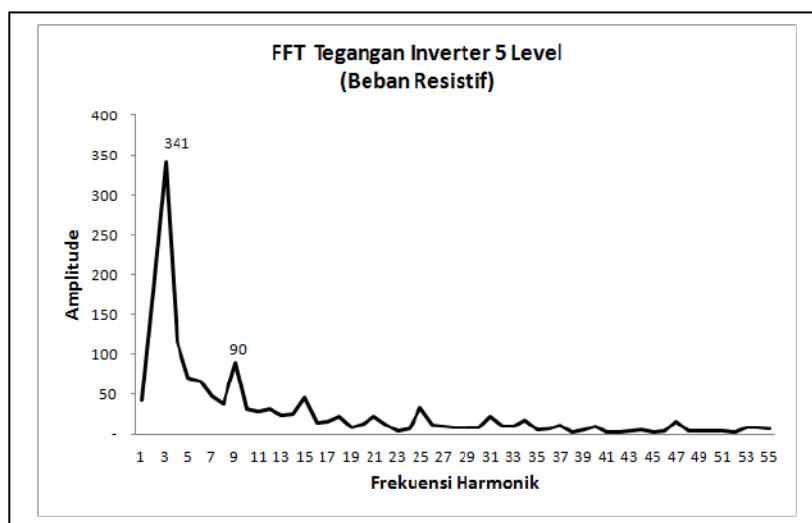
(a) Keluaran inverter 3 level



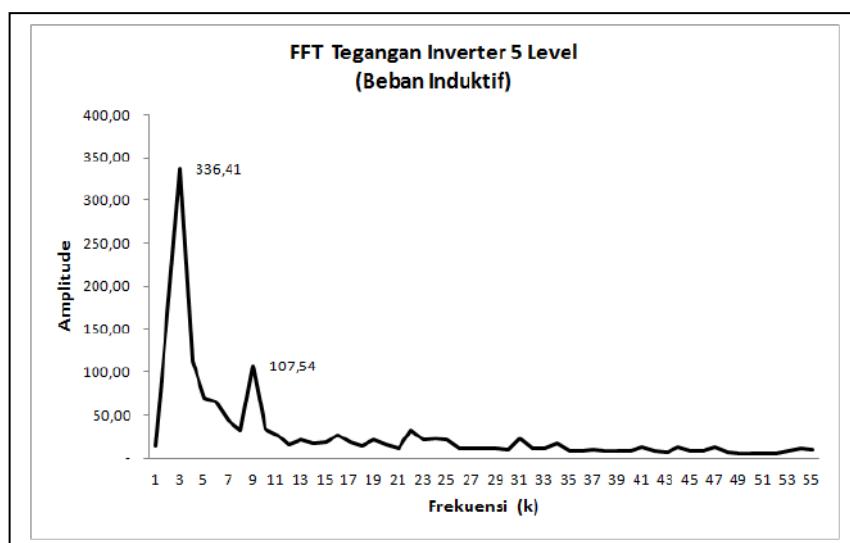
(b) Keluaran inverter 5 level

Gambar 10. Perbandingan tegangan keluaran inverter dengan beban resistif lampu pijar 100 Watt

Pada hasil pengujian keluaran inverter 5 level seperti Gambar 10 (b), maka bentuk tegangan keluarannya dapat dianalisis terhadap spektrum frekuensinya untuk mengetahui jumlah distorsi frekuensi harmonik (THD). Instrumen pengukuran dengan osiloskop digital tidak bisa secara langsung menentukan nilai THD keluaran inverter, namun hanya bisa menampilkan pada layar osiloskop bentuk kurva frekuensi harmoniknya. Untuk menentukan nilai THD, maka dilakukan dengan mengolah data tegangan keluaran inverter menjadi bentuk FFT seperti tampak pada Gambar 11 dan Gambar 12 yang menampilkan beberapa frekuensi harmonik yang muncul dengan amplitudonya. Tampak pada Gambar 11 tersebut dengan beban resistif 100 Watt, amplitudo frekuensi harmonik berada dibawah 100 terhadap amplitudo frekuensi dasar 341. Dengan mengkuadratkan jumlah total nilai kuadrat amplitudo setiap frekuensi harmoniknya dan membandingkan dengan amplitudo frekuensi dasarnya, maka diperoleh nilai THD sebesar 30,14 %. Sedangkan pada Gambar 12 dengan beban induktif 40 Watt, amplitudo frekuensi harmonik berada dibawah nilai 100 terhadap amplitudo frekuensi dasar 336,41. Dengan mengkuadratkan jumlah total nilai kuadrat amplitudo setiap frekuensi harmoniknya dan membandingkan dengan amplitudo frekuensi dasarnya, maka diperoleh nilai THD beban induktif sebesar 32,52 %.



Gambar 11. Grafik frekuensi harmonik keluaran inverter cascade H Bridge 5 level dengan beban resistif lampu pijar 100 Watt



Gambar 12. Grafik frekuensi harmonik keluaran inverter cascade H Bridge 5 level dengan beban resistif lampu pijar 100 Watt

Nilai THD teoritis dari inverter lima level dengan metode *fundamental frequency switching* berada pada kisaran 5%. Sementara itu, hasil eksperimen menunjukkan nilai THD beban resistif sebesar 30,14 % dan THD beban induktif 32,52 %. Perbedaan ini disebabkan oleh keterbatasan perangkat keras, terutama ketidakidealannya saklar daya (MOSFET), adanya rugi-rugi switching, serta keterbatasan akurasi pensaklaran mikrokontroler AT89S52. Meskipun demikian, deviasi ini masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi energi terbarukan skala kecil hingga menengah. Selain dari segi kualitas daya, aspek praktis juga perlu diperhatikan. Dari sisi efisiensi, inverter yang dirancang mampu mencapai efisiensi konversi rata-rata 88–90%, yang cukup memadai untuk aplikasi panel surya skala rumah tangga. Dari sisi biaya implementasi, penggunaan mikrokontroler AT89S52 dan metode pensaklaran sederhana membuat biaya produksi lebih rendah dibandingkan inverter berbasis DSP atau FPGA. Hal ini menjadi keuntungan besar untuk aplikasi di daerah pedesaan yang membutuhkan solusi hemat biaya namun andal. Dari perspektif potensi komersialisasi, rancangan ini memiliki peluang diterapkan dalam sistem *off-grid* maupun *hybrid* untuk rumah tangga atau usaha kecil. Dengan sedikit modifikasi pada kapasitas daya dan integrasi sistem proteksi, produk ini dapat dikembangkan sebagai inverter surya hemat biaya yang mendukung percepatan adopsi energi terbarukan di masyarakat.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa inverter lima level berbasis mikrokontroler sederhana tidak hanya berkontribusi secara akademik, tetapi juga memiliki nilai praktis dan potensi ekonomi untuk mendukung kemandirian energi di tingkat lokal. Ke depan, penelitian dapat diarahkan pada peningkatan efisiensi switching, integrasi dengan sistem MPPT (Maximum Power Point Tracking), serta penggunaan mikrokontroler modern dengan fitur PWM canggih untuk menurunkan THD lebih lanjut. Selain hasil pengujian laboratorium, rancangan inverter cascaded H-bridge lima level berbasis AT89S52 juga relevan untuk diterapkan pada sistem nyata, khususnya pada panel surya rumah tangga skala kecil hingga menengah. Dalam implementasi praktis, inverter ini dapat ditempatkan sebagai penghubung antara modul surya dan beban rumah tangga (*standalone system*) atau dikombinasikan dengan baterai penyimpanan energi. Dengan bentuk gelombang keluaran lima level yang lebih halus, inverter mampu menyalurkan daya listrik ke peralatan rumah tangga dengan lebih stabil serta mengurangi risiko kerusakan akibat distorsi harmonik.

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan inverter cascaded H-bridge lima level berbasis mikrokontroler AT89S52 untuk aplikasi panel surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa inverter mampu menghasilkan bentuk gelombang tegangan keluaran lima level yang lebih mendekati sinusoidal dibandingkan inverter dua level konvensional. Nilai THD yang diperoleh sebesar 30,14 %, sedikit lebih tinggi dibandingkan perhitungan teoritis maupun metode PWM multicarrier, namun masih dalam batas wajar untuk aplikasi energi terbarukan skala kecil hingga menengah. Efisiensi konversi daya mencapai 88–90%, yang menunjukkan bahwa rancangan ini layak diterapkan pada sistem energi surya rumah tangga maupun microgrid pedesaan.

4.2. Saran

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada kualitas bentuk gelombang akibat penggunaan metode pensaklaran fundamental yang sederhana dan keterbatasan akurasi waktu switching mikrokontroler AT89S52. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan mikrokontroler atau prosesor modern dengan kemampuan PWM lebih canggih untuk menekan THD, mengintegrasikan algoritma *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* agar pemanfaatan energi surya lebih optimal, menguji rancangan pada kapasitas daya lebih besar dengan sistem proteksi terintegrasi untuk aplikasi skala industri kecil, melakukan optimasi desain rangkaian daya dan sistem pendinginan untuk meningkatkan efisiensi konversi serta memperpanjang umur komponen. Dengan perbaikan pada aspek tersebut, inverter cascaded H-bridge multilevel dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi praktis dan ekonomis dalam mendukung adopsi energi terbarukan di masyarakat.

5. ACKNOWLEDGEMENT

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pendidikan Ganesha yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas kepada peneliti melaksanakan penelitian "Rancang Bangun Inverter Cascaded H Bridge 5 Level Untuk Panel Surya Berbasis Mikrokontroller AT89S52" dengan surat kontrak penelitian nomor : 810/UN48.16/PT/2025.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aini Mutiara Syaban, I. M. (2022, April). Rancang Inverter 5-Level Cascaded H-Bridge untuk PLTS On Grid dengan Kapasitas Beban 25 kW. *Jurnal Energi*, 11 No.2, 12-17.
- Ali Bughneda 1, M. S. (2021, March). Review of Multilevel Inverters for PV Energy System Applications. *Energies*, 1-23.
- Krismadinata, A. I. (2017, May). Microcontroller Based Multilevel Inverter for Photovoltaic System. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 23, 3859-3863.
- Mohan, N. U. (2003). *Power Electronic*. New York: John Wiley & Sons.
- N. M. Nordin, N. R. (2014, October). Fuzzy-PI Torque and Flux Controllers for DTC with Multilevel Inverter of Induction Machines. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 5, 268-282.
- Nugroho, E. A. (2018, April). IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI VARIABLE SPEED DRIVE PADA INVERTER 3 FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROL AT89S52. *Jurnal SIMETRIS*, 9, 413-424.
- Prashant Kedarnath Magadum, S. S. (2023, March). A Five Level Modified Cascaded H-Bridge Inverter STATCOM for Power Quality Improvement. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI)*, 11, 241-247.
- Rashid, M. H. (2014). *Power electronics devices, circuits, and applications*. England: Pearson Education.