

Desain Algoritma Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Sistematis Review

Bayu Adi Pambudi¹, Muhamad Meimull Muzaki¹, Aditya Puspa Ramaninda¹, Mohammad Radhi Zafrannanda¹

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang;

Email : bayuadipambudi@students.unnes.ac.id(B.A.P), meimullmuzaki@students.unnes.ac.id(M.M.M),
adityaramaninda@students.unnes.ac.id(A.P.R), radhizafran@students.unnes.ac.id(M.R.Z);

Abstrak : Penelitian terbaru dalam dekade terakhir, banyak penulis semakin tertarik pada desain algoritma inverter DC/AC yang diterapkan pada pembangkit listrik tenaga surya. Kontribusi ini merupakan tinjauan sistematis dengan metodologi PICOC, yang mengkaji kriteria desain utama di balik meningkatnya minat inverter. Peningkatan dalam jumlah artikel baru terkait topik inverter terus meningkat setiap tahunnya. Artikel review ini mendalami tren dan keterbatasan algoritma inverter DC/AC terbaru, yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi pembangkit listrik tenaga surya dengan memanfaatkan penggunaan inverter dengan berbagai algoritma yang digunakan. Mengidentifikasi artikel algoritma inverter DC/AC dari tahun 2019 hingga 2024, dengan hasil yang ditemukan 15 artikel yang dipilih dari 641 artikel yang diambil dari sumber database Scopus, yang berisi desain yang terkait dengan algoritma inverter DC/AC. Review ini menyimpulkan beberapa mode kegagalan yang menyebabkan ketidakterediaan atau kerugian efisiensi pada desain saat ini. Temuan hasil artikel penelitian menunjukkan bahwa 15 artikel dengan kontribusi dalam desain algoritma DC/AC dengan topologinya. Systematic Literature Review (SLR) kali ini dapat menjadi pedoman untuk peneliti dalam mengembangkan algoritma inverter DC/AC pada sistem pembangkit listrik tenaga surya di masa mendatang.

Kata Kunci : DC-AC konverter, IGBT, PV, Algoritma DC-AC

Abstract : Recent research in the last decade has seen an increasing interest among authors in designing DC/AC inverter algorithms applied to solar power generation. This contribution is a systematic review using the PICOC methodology, which examines the main design criteria behind the growing interest in inverters. The number of new articles related to inverters continues to rise each year. This review delves into the trends and limitations of the latest DC/AC inverter algorithms, aiming to enhance the performance and efficiency of solar power generation by utilizing various algorithms in inverter

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2025, Vol. 6, No. 1, pp 1 – 13

Received : 3 Januari 2025

Accepted : 26 Februari 2025

Published : 25 Maret 2025



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

applications. In identifying DC/AC inverter algorithm articles from 2019 to 2024, 15 articles were selected from 641 articles sourced from the Scopus database, focusing on designs related to DC/AC inverter algorithms. This review concludes with several failure modes that lead to unavailability or efficiency losses in current designs. The findings from the research articles indicate that these 15 articles contribute to the design of DC/AC algorithms and their topologies. This Systematic Literature Review (SLR) can serve as a guideline for researchers in developing DC/AC inverter algorithms for solar power generation systems in the future.

Keywords : DC-AC converter, IGBT, PV, algorithm DC-AC

1. Pendahuluan

Sumber daya matahari merupakan sumber energi yang sangat vital bagi kehidupan di bumi. Tanpa energi ini, kehidupan seperti yang kita kenal tidak akan ada. Energi yang dihasilkan dari sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui sistem pembangkit listrik fotovoltaik (PV)(Oviedo dkk., 2024). Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak negatif dari pembangkit energi berbasis bahan bakar fosil, seperti pemanasan global dan emisi CO₂ yang tinggi, penggunaan energi terbarukan, khususnya tenaga surya, semakin berkembang pesat. Sistem PV menawarkan desain yang ramah lingkungan dan sederhana, serta mampu menghasilkan output dari mikrowatt hingga megawatt. Selain itu, sistem ini mudah dipasang dan memanfaatkan sumber energi yang tidak memerlukan biaya. Namun, efisiensi sistem PV dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, termasuk radiasi matahari dan suhu lingkungan. Proses konversi sinar matahari menjadi listrik dilakukan melalui sel fotovoltaik yang terbuat dari bahan semikonduktor, terutama silikon, menjadikannya solusi energi terbarukan yang terjangkau.

Dengan kemudahan penggunaan dan potensi yang luas, permintaan terhadap sistem PV terus meningkat setiap tahunnya. Meskipun sistem pembangkit listrik tenaga surya memiliki banyak keuntungan, mereka juga menghadapi beberapa tantangan, seperti ketidakakuratan dalam pengaturan daya, kinerja yang kurang optimal dalam kondisi naungan parsial, dan masalah stabilitas pada sistem yang terhubung ke jaringan listrik. Daya keluaran sistem PV mencapai puncaknya pada titik yang dikenal sebagai Maximum Power Point (MPP), yang bervariasi seiring dengan perubahan radiasi matahari dan suhu. Untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan, inverter DC/AC digunakan untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh jaringan listrik(Kuppuraj & Premkumar, 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai teknologi inverter telah meningkat secara signifikan, mencerminkan permintaan yang tinggi untuk inverter yang efisien dan handal. Berbagai algoritma, seperti Proportional-Integral-Derivative (PID), Model Predictive Control (MPC), Incremental Conductance (INC), dan Proportional-Integral (PI), telah diterapkan dalam pengembangan sistem inverter DC/AC untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi pembangkit listrik tenaga surya(Mahto dkk., 2024; Mittal dkk., 2023). Penggunaan algoritma-algoritma ini sangat penting dalam menentukan hasil yang dicapai, di mana masing-masing algoritma memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu diperhatikan. Karakteristik dari setiap algoritma juga mempengaruhi kinerjanya dalam berbagai kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pemilihan algoritma yang tepat harus disesuaikan dengan kondisi spesifik dari sistem untuk mencapai efisiensi dan kinerja yang optimal. Makalah ini disusun dengan

struktur sebagai berikut: pertama, latar belakang penelitian; kedua, tinjauan pustaka; ketiga, metodologi penelitian; keempat, hasil dan pembahasan; dan diakhiri dengan kesimpulan.

2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini mengeksplorasi penggunaan algoritma yang efisien dalam desain inverter DC/AC yang diterapkan pada sistem fotovoltaik. Selanjutnya, beberapa pertanyaan diajukan untuk diteliti. Artikel-artikel yang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan akan dianalisis untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan ini. Algoritma kontrol apa yang diusulkan dalam artikel penelitian? Bagaimana hasil efisiensi dari penggunaan algoritma yang diusulkan dalam konteks inverter? Tinjauan literatur ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman terhadap artikel-artikel yang ditinjau dan memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai tren dan keterbatasan dalam desain inverter DC/AC.

2.1. DC-AC Konverter

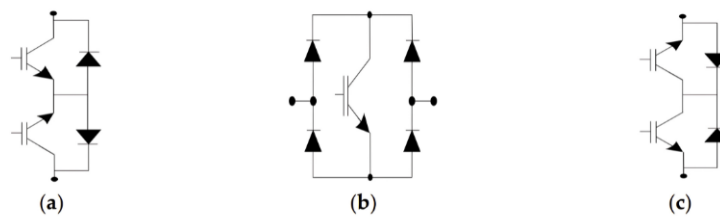
DC-AC konverter, khususnya dalam konteks sistem fotovoltaik (PV) yang terhubung ke jaringan, memainkan peran penting dalam mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh jaringan listrik. Dalam sistem ini, konverter berfungsi sebagai jembatan antara sumber energi terbarukan dan jaringan, memastikan bahwa energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara efisien (Madani dkk., 2022).

Salah satu jenis konverter yang banyak digunakan adalah H-bridge inverter, yang memungkinkan konversi DC menjadi AC dengan kontrol yang presisi. H-bridge inverter bekerja dengan mengatur saklar untuk menghasilkan gelombang sinusoidal yang diperlukan untuk aplikasi listrik. Penggunaan teknik modifikasi seperti Multicarrier Sinusoidal Pulse Width Modulation (PWM) dapat untuk meningkatkan kualitas keluaran dan efisiensi konverter (Stallmann dkk., 2022). Teknik ini memungkinkan penyesuaian siklus tugas inverter, yang penting untuk mencapai performa optimal dalam berbagai kondisi beban dan lingkungan.

2.2. Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT)

Elektronika daya telah merevolusi bidang sistem tenaga dengan menawarkan kontrol dan efisiensi yang lebih baik. Salah satu teknologi modern yang signifikan dalam bidang ini adalah transistor bipolar gerbang terisolasi (IGBT), yang memiliki kemampuan frekuensi switching yang cepat, memungkinkan kontrol yang presisi dalam aplikasi daya. Meskipun IGBT memiliki banyak keunggulan, komponen elektronika daya, khususnya saklar seperti IGBT, rentan terhadap berbagai mekanisme kegagalan. Dua mekanisme kegagalan yang paling dominan adalah stres termal dan kelebihan beban listrik (Zheng dkk., 2022).

Stres termal merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap ketidakandalan IGBT. Frekuensi switching yang tinggi dalam operasi IGBT dapat menghasilkan panas yang berlebihan. Tanpa sistem pendinginan yang memadai atau setelah terpapar pada kondisi ekstrem, panas ini dapat menyebabkan kelelahan termal dan degradasi material, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kegagalan perangkat. Selain itu, kelebihan beban listrik juga menjadi mekanisme kegagalan yang penting, karena IGBT dirancang untuk menangani tingkat tegangan dan arus tertentu (Li dkk., 2024). Ketika beroperasi di luar batas-batas ini, IGBT dapat mengalami kerusakan atau peningkatan stres termal, yang dapat mengurangi umur sisa perangkat.



Gambar 1. Berbagai jenis konfigurasi saklar dua arah (a) Emiter Umum; IGBT (b) Jembatan Dioda dengan satu Saklar Daya (c) Kolektor Umum IGBT.

2.3. Algoritma DC-AC

Algoritma kontrol memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas keluaran sistem. Salah satu algoritma adalah Sunflower Optimization (SFO), yang diterapkan pada konverter DC-AC satu tahap yang terhubung ke jaringan. Algoritma SFO bertujuan untuk meminimalkan Total Harmonic Distortion (THD) dan meningkatkan efisiensi sistem. SFO digunakan untuk mengoptimalkan parameter sistem dan mengontrol konverter boost induktor yang dipilih, menawarkan keuntungan seperti pengurangan stres tegangan dan regulasi tegangan yang lebih baik (Panda dkk., 2021).

Proses optimasi menggunakan SFO melibatkan beberapa langkah, termasuk penghitungan fitness berdasarkan THD dan penyesuaian parameter untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari. Metode lain seperti Recurrent Neural Network (RNN), Garra-Rufa Fish Optimization-Student Psychology Optimization Algorithm (GRFO-SPOA), dan Fuzzy Logic Control (FLC).

3. Metodologi

Fokus utama dari paper ini adalah untuk mengevaluasi algoritma inverter DC/AC yang digunakan pada sistem photovoltaic (PV) untuk mencapai efisiensi optimal. Penelitian ini mengadopsi pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan metode Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Langkah-langkah dalam metode PRISMA meliputi 1. Seleksi Kriteria Inklusi dan Eksklusi; 2. Pemilihan dan Pencarian Sumber Data; 3. Screening Keyword dan Judul; 4. Seleksi Abstrak dan Penilaian Akhir; dan 5. Ekstraksi Data.

1. Seleksi Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas desain algoritma inverter DC/AC yang terkait dengan efisiensi dan performa pada sistem photovoltaic (PV). Artikel yang termasuk hanya yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2024, berbahasa Inggris, dan memenuhi kriteria kuartil jurnal Q1 sesuai tujuan penelitian.

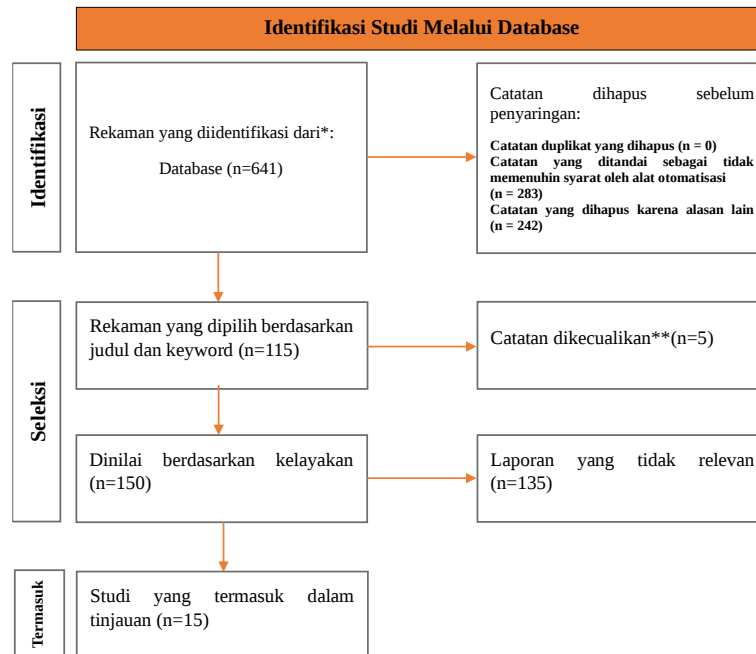
2. Pemilihan dan Pencarian Sumber Data

Database yang digunakan adalah Scopus, dengan menggunakan kata kunci yang spesifik seperti pada tabel 1. Tabel tersebut nantinya akan digunakan sebagai pencarian awal.

Tabel 1. Pencarian Artikel

Keyword	Database	N
"dc-ac" AND "converter", AND "IGBT", AND "pv", AND "topology" AND "dc-ac"	Scopus (www.scopus.com) "18-10-2024"	641

Artikel yang ditinjau sebagai penelitian ini diseleksi dalam lingkup Engineering. Gambar 2 menunjukkan hasil diagram PRISMA proses pencarian metadata hingga jumlah artikel yang di review. Hasil pencarian disimpan dan disaring menggunakan Microsoft Excel untuk menyeleksi artikel yang relevan atau disebut dengan screening.



Gambar 2. Diagram PRISMA

3. Screening Keyword dan Judul

Dari hasil pencarian, judul, dan kata kunci dari semua artikel diseleksi. Setelah proses screening awal, artikel yang tidak relevan dieliminasi, sehingga hanya artikel yang terkait dengan topik desain algoritma inverter DC-AC pada sistem PV yang disertakan dalam penelitian.

4. Seleksi Abstrak dan Penilaian Akhir

Semua abstrak dari artikel yang telah terseleksi dibaca untuk memastikan relevansi terhadap topik. Jika abstrak memenuhi kriteria, artikel tersebut dipilih; jika tidak, artikel tersebut dieliminasi. Melalui tahap ini, jumlah artikel dikurangi lebih lanjut hingga artikel yang sangat relevan saja yang tersisa.

5. Ekstraksi Data

Pada tahap akhir, data dari artikel yang telah dipilih diekstraksi untuk menjawab pertanyaan penelitian terkait efisiensi dan performa algoritma inverter berjumlah 15 artikel. Informasi ini dianalisis untuk menentukan tren algoritma terbaru yang memberikan efisiensi optimal pada sistem PV.

4. Hasil dan Pembahasan

Dalam mencapai efisiensi performa inverter, terdapat berbagai macam algoritma kontrol yang digunakan, seperti PID, PI, PIR, WOA, INC, dan sebagainya. Keseluruhan 15 artikel yang terpilih ditinjau untuk memberikan hasil analisis dan pengamatan mengenai penggunaan algoritma performa algoritma inverter yang digunakan sebagai bahan literature review pada penelitian yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Literature Review*

Label	Judul	Metode	Hasil
#1	High gain switched inductor split source inverter for solar energy applications	Metode "perturb and observe" digunakan untuk menjaga tegangan panel tetap konstan meskipun intensitas cahaya bervariasi, sedangkan skema PWM yang dimodifikasi bersama kontrol dc-link mempertahankan tegangan keluaran konstan.	Inverter sumber terpisah dengan induktor beralih bertingkat tinggi satu fase (SISSI) yang diusulkan mampu mencapai kenaikan tegangan lebih tinggi, ukuran induktor lebih kecil, dan tekanan switching lebih rendah, sehingga cocok untuk aplikasi energi surya DC rendah dengan tegangan keluaran 150V dan arus 1A (untuk beban R) serta tegangan 150V dan arus 0,7A (untuk beban RL).(Pinjala Mohana Kishore dkk., 2020)
#2	Z-source reversing voltage multilevel inverter for photovoltaic applications with inherent voltage balancing	<i>Z-source reversing voltage multilevel inverter</i> dengan keseimbangan tegangan terintegrasi untuk aplikasi fotovoltaiik.	Simulasi Z-source reversing voltage multilevel inverter menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dengan THD berkurang dari 23.7% menjadi kurang dari 3% setelah filtrasi, menggunakan lebih sedikit komponen untuk menekan biaya dan kompleksitas, serta menghindari arus bocor pada aplikasi PV.(Najafi dkk., 2022)
#3	An Extendable Zeta Converter Based Grid-Connected Multilevel Inverter with Model Predictive Control Method	metode Model Predictive Control pada topologi inverter multilevel berbasis Zeta converter untuk optimasi sinyal saklar dan koneksi jaringan pada aplikasi energi terbarukan.	inverter multilevel grid-terhubung dengan konverter zeta yang dimodifikasi berhasil mempertahankan tegangan dan arus yang stabil dengan THD rendah (1,80%, 1,13%, dan 1,35%) dalam berbagai kondisi, sesuai dengan batas harmonik IEC 61000-3-2.(Ortatepe & Aksoz, 2024)
#4	Reduced 2ndHarmonic Input	Artikel ini menggunakan metode modifikasi	Simulasi komputer menunjukkan bahwa dengan

	Current Ripple Quasi Z-source Microinverter for On-Grid PV Power Conversion	microinverter quasi-Z-source (qZS) dengan induktor yang digabungkan secara magnetis untuk mengurangi ripple arus harmonik kedua, sehingga arus yang ditarik dari modul PV menjadi lebih mendekati DC dan meningkatkan efisiensi sistem PV	kopling induktor dalam jaringan qZS, mikroinverter yang diusulkan dapat mengurangi riak arus harmonik kedua hingga 43%, menghasilkan arus input berkualitas tinggi dan kinerja optimal dalam menginjeksikan daya ke jaringan.(Palma, 2022)
#5	Design and Development of a B-Type Inverter for Harmonic Mitigation in a Grid Integrated System Using Whale Optimization Algorithm	Artikel ini menggunakan metode simulasi komputer di PSIM untuk memverifikasi kinerja topologi mikroinverter qZS yang diusulkan dalam menghubungkan modul PV ke jaringan.	Inverter ABMLI yang diuji dengan Whale Optimization Algorithm (WOA) menghasilkan THD lebih rendah dan akurasi lebih tinggi dibandingkan Genetic Algorithm (GA), dengan THD 4,31% untuk WOA versus 7,11% untuk GA pada indeks modulasi 0,9, serta peningkatan kinerja dengan pengendali WOA-PI yang mencapai THD jaringan sebesar 2,47% sesuai standar IEEE 519.(Raj dkk., 2023)
#6	Design of DC - DC Luo Converter for Solar Applications using MATLAB/SIMULINK	pemodelan dan simulasi konverter DC-DC Luo yang dikendalikan oleh kontroler PI yang dituning dengan metode Ziegler-Nichols menggunakan perangkat lunak MATLAB/SIMULINK.	menguji konverter DC-DC Luo yang dikendalikan oleh kontroler PI dengan tuning Ziegler-Nichols pada berbagai tingkat irradiance, menunjukkan efisiensi sekitar 90% yang dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan teknik MPPT.(Shanthi dkk., 2023)
#7	Performance Analysis of PV system with Quasi Z-Source Switched Inductor/Capacitor Voltage Gain Converter	Analisis kinerja dilakukan dengan menggunakan konverter Z-sumber beralih yang mengintegrasikan sel penguat dan Z-sumber untuk mencapai	Konverter yang diusulkan menunjukkan penguatan tegangan lebih dari 10 kali pada rasio tugas (D) 0,35, dengan pengurangan stres tegangan pada komponen, serta peningkatan keandalan

		penguatan tinggi dan penerimaan variasi input yang luas.	konverter. Penilaian keandalan selama 20 tahun menunjukkan keunggulan dibandingkan struktur penguat tinggi lainnya.(Singh & Agrawal, 2021)
#8	Single-Stage Grid-Connected PV System with Finite Control Set Model Predictive Control and an Improved Maximum Power Point Tracking	Metode yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup penggunaan Finite Control Set Model Predictive Control (FCS-MPC) dan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang ditingkatkan. Penelitian ini menguji sistem dalam kondisi bayangan parsial dan membandingkannya dengan konfigurasi PV lainnya, dengan simulasi dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink untuk analisis kinerja.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PV satu tahap dengan kontrol yang diusulkan efektif dalam mengekstrak daya maksimum dan mempertahankan stabilitas keluaran dalam kondisi transien. Sistem ini berhasil melacak titik daya maksimum global (GMPP) di bawah bayangan parsial dan menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol PI dan CCS-MPC, dengan validasi tambahan melalui pendekatan control hardware-in-the-loop (C-HIL).(Vanti dkk., 2022)
#9	Comparative Analysis of Non-Isolated DC-DC Converters for Solar-Photovoltaic System	Sendekatan analitis untuk membandingkan berbagai jenis konverter DC-DC non-terisolasi, termasuk Buck, Boost, dan Buck-Boost converters. Metode ini melibatkan analisis kinerja dari segi efisiensi, kompleksitas, dan aplikasi dalam sistem PV.	Konverter Buck menunjukkan efisiensi tinggi dalam aplikasi penurunan tegangan, sementara konverter Boost lebih efektif untuk meningkatkan tegangan. Konverter Buck-Boost menawarkan fleksibilitas, tetapi dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah.(Yadav dkk., 2021)
#10	Advanced sensorless nonlinear control and stability analysis of single-stage PV systems connected to the grid via a 3L-NPC inverter	Desain kontrol nonlinear sensorless dengan tiga loop kontrol, yang dianalisis menggunakan teori Lyapunov. Simulasi numerik dilakukan di MATLAB/SIMULINK untuk menguji kinerja	Kontrol yang diusulkan berhasil mencapai regulasi tegangan bus DC, penyeimbangan tegangan kapasitor, dan pengendalian faktor daya. Sistem menunjukkan ketahanan terhadap variasi parameter dan

		kontrol dengan parameter yang ditentukan.	kondisi iklim, dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode kontrol tradisional.(Mchaouar dkk., 2024)
#11	A new partially isolated hybrid output of multiport multilevel converter for photovoltaic based power supplies	Desain konverter multiport yang mengintegrasikan beberapa sumber DC dengan output AC dan DC. Konverter ini menggunakan struktur inverter multilevel yang baru dan diuji melalui simulasi di MATLAB/SIMULINK serta studi eksperimental untuk mengevaluasi kinerjanya.	Konverter yang diusulkan memiliki efisiensi tinggi dan mengurangi jumlah komponen dibandingkan dengan struktur konverter tradisional. Kinerja konverter diuji dalam berbagai kondisi, menunjukkan kemampuan untuk memberikan output berkualitas tinggi baik dalam mode AC maupun DC.(Rajan & Jeevananthan, 2021)
#12	Research on Control Method of Photovoltaic Inverter Based on PIR	Melibatkan desain kontrol ganda dengan loop kontrol arus dalam menggunakan pengendali proporsional dan loop kontrol tegangan luar menggunakan pengendali PIR.	Metode kontrol yang ditingkatkan dapat menghasilkan output tegangan yang stabil dan mengurangi distorsi harmonik.(Meng dkk., 2023)
#13	Performance ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters	Pengumpulan data dari 200 instalasi fotovoltai di Prancis, dengan 100 menggunakan inverter sentral dan 100 menggunakan mikro-inverter.	Rasio kinerja untuk instalasi dengan inverter sentral dan mikro-inverter hampir identik, sekitar 79%. Namun, mikro-inverter menunjukkan keunggulan dalam mengurangi dampak kehilangan akibat bayangan dan kerusakan panel, serta memiliki umur yang lebih panjang dibandingkan inverter sentral.(Lagarde dkk., 2023)
#14	A Comprehensive Review of Grid-Connected PV Systems Based on Impedance Source Inverter	Analisis berbagai strategi kontrol dan topologi inverter sumber impedansi.	Inverter sumber impedansi menawarkan keuntungan dalam hal peningkatan efisiensi dan kemampuan untuk

					mengatasi fluktuasi daya. (Jamal dkk., 2022)
#15	MMC Based Solid State Transformer for Large-Scale Distributed Integration Medium AC/DC Interconnection			Analisis sistem MMC-SST yang terdistribusi, dengan fokus pada kontrol daya dan pengelolaan energi dari sumber PV.	Sistem MMC-SST dapat mengelola integrasi PV secara efisien, dengan pengurangan fluktuasi daya dan peningkatan stabilitas sistem. Hasil simulasi menunjukkan kinerja yang baik dalam kondisi beban yang bervariasi dan saat terjadi gangguan.(Farzamkia dkk., 2024)

Tabel 2 telah menyajikan 15 artikel yang digunakan pada literature review ini dimana setiap artikel mempunyai algoritma dan efisiensi yang dihasilkan. Artikel-artikel ini dianalisis untuk menentukan tren terbaru dalam algoritma inverter yang memberikan efisiensi optimal pada sistem photovoltaic (PV) dengan basis kontroler adalah algoritma Incremental Conductance (INC), Proportional-Integral-Derivative (PID), Model Predictive Control (MPC), Whale Optimization Algorithm (WOA), Proportional-Integral (PI), dan Proportional-Integral-Reset (PIR) serta kombinasi akan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tren Algoritma Inverter

Metode	Artikel
PID	#2, #4, #7, #9
MPC	#3, #8, #14
INC	#1, #15
WOA	#5
PI	#6, #11, #13
Nonlinear Control	#10
PIR	#12

Hasil literature review menunjukkan beragam metode algoritma yang digunakan dalam pengembangan sistem inverter untuk aplikasi photovoltaic (PV). Metode Proportional-Integral-Derivative (PID) muncul sebagai yang paling umum, digunakan dalam 4 artikel (28,57%), termasuk artikel yang membahas Z-source inverter dan microinverter quasi-Z-source. Kedua artikel ini menunjukkan efektivitas PID dalam mengatur dan menstabilkan keluaran inverter, yang sangat penting untuk memastikan kualitas daya yang baik dalam sistem PV. Selain itu, Proportional-Integral (PI) terdapat dalam 3 artikel (21,43%), yang juga menunjukkan kinerja tinggi dalam konverter DC-DC Luo dan konverter multiport, menyoroti kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi sistem.

Model Predictive Control (MPC) dan Incremental Conductance (INC) masing-masing digunakan dalam 2 artikel (14,29%). MPC, yang diterapkan dalam artikel yang menguji inverter grid-connected, menunjukkan kemampuan untuk mengoptimalkan kinerja inverter dalam kondisi variabel, termasuk saat terjadi bayangan parsial. Sementara itu, INC, yang dibahas dalam artikel mengenai inverter sumber terpisah, terbukti efektif dalam menjaga tegangan panel tetap konstan meskipun ada variasi dalam intensitas cahaya. Penggunaan Whale Optimization Algorithm

(WOA), Nonlinear Control, dan Proportional-Integral-Reset (PIR) masing-masing diadopsi dalam 1 artikel (7,14%), menyoroti keberagaman pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini. Pada kebanyakan artikel metode konvensional digunakan sebagai pembanding.

5. Kesimpulan

Tujuan dari pelaksanaan systematic literature review (SLR) ini adalah untuk mengetahui tren penggunaan algoritma kontrol pada sistem inverter untuk aplikasi photovoltaic (PV) dari 15 penelitian berbasis artikel. Ke-15 artikel tersebut menjawab pertanyaan penelitian mengenai efisiensi dan stabilitas sistem inverter yang dihasilkan oleh berbagai metode algoritma, di mana metode berbasis Proportional-Integral-Derivative (PID) menjadi yang paling banyak digunakan, diikuti oleh Proportional-Integral (PI) dan Model Predictive Control (MPC). Inovasi dalam topologi inverter, seperti Z-source inverter dan microinverter quasi-Z-source, menunjukkan potensi untuk mengurangi total harmonik distorsi (THD) dan meningkatkan kualitas daya. Temuan ini memberikan wawasan berharga untuk pengembangan algoritma kontrol dan teknologi inverter di masa mendatang, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam integrasi teknologi baru untuk sistem PV yang lebih efisien.

Daftar Pustaka

- Farzamkia, S., Zhang, M., Zou, H., Vetrivelan, A., & Huang, A. Q. (2024). MMC Based Solid State Transformer for Large-Scale Distributed PV Integration and Medium Voltage AC/DC Interconnection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 39(4), 2495–2506. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2024.3417807>
- Jamal, I., Elmorshedy, M. F., Dabour, S. M., Rashad, E. M., Xu, W., & Almakhles, D. J. (2022). A Comprehensive Review of Grid-Connected PV Systems Based on Impedance Source Inverter. *IEEE Access*, 10, 89101–89123. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3200681>
- Kuppuraj, S., & Premkumar, K. (2024). Grid-Connected Single-Stage DC–AC Converter for Solar PV Applications. *IETE Journal of Research*, 70. <https://doi.org/10.1080/03772063.2024.2378470>
- Lagarde, Q., Beillard, B., Mazen, S., Denis, M. S., & Leylaverigne, J. (2023). Performance ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters. Dalam *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* (Vol. 35, Nomor 8, hlm. 531–538). King Saud University. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.11.007>
- Li, M., Yang, H., Xia, Q., Yan, P., Duan, Y., & Wang, G. (2024). Inverter fault prediction and diagnosis method based on Spark and PSO-FCM algorithm. *2024 3rd International Conference on Energy, Power and Electrical Technology, ICEPET 2024*, 1566–1570. <https://doi.org/10.1109/ICEPET61938.2024.10627031>
- Madani, H., Hesar, H. M., & Liang, X. (2022). Selective Harmonic Elimination in Cascade H-bridge Multilevel Voltage Source Inverters Using A Hybrid Optimization Algorithm. *2022 IEEE Electrical Power and Energy Conference, EPEC 2022*, 13–17. <https://doi.org/10.1109/EPEC56903.2022.10000145>
- Mahto, K. K., Mahato, B., Chandan, B., Das, D., Das, P., Fotis, G., Vita, V., & Mann, M. (2024). A New Symmetrical Source-Based DC/AC Converter with Experimental Verification. *Electronics (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/electronics13101975>
- Mchaouar, Y., Abouelmahjoub, Y., Abouloifa, A., Abouobaida, H., Lachkar, I., Giri, F., Taghzaoui, C., Elallali, A., & Guerrero, J. M. (2024). Advanced sensorless nonlinear control and stability analysis

- of single-stage PV systems connected to the grid via a 3L-NPC inverter. *European Journal of Control*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2023.100907>
- Meng, F., Liao, Q., Wang, M., & Liu, J. (2023). Research on Control Method of Photovoltaic Inverter Based on PIR. *2023 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2023*, 1021–1026. <https://doi.org/10.1109/ICMA57826.2023.10215833>
- Mittal, S., Singh, A., & Chittora, P. (2023). Design and development of leaky least mean fourth control algorithm for single-phase grid-connected multilevel inverter. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 52(1), 328–345. <https://doi.org/10.1002/cta.3746>
- Najafi, E., Rashidi, A. H., & Dehghan, S. (2022). Z-source reversing voltage multilevel inverter for photovoltaic applications with inherent voltage balancing. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 13, 267–274. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i1.pp267-274>
- Ortatepe, Z., & Aksoz, S. (2024). An Extendable Zeta Converter Based Grid-Connected Multilevel Inverter with Model Predictive Control Method. *4th International Conference on Smart Grid and Renewable Energy, SGRE 2024 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/SGRE59715.2024.10428816>
- Oviedo, S., Davari, M., Zhao, S., & Blaabjerg, F. (2024). Artificial-Intelligence-Enabled Lifetime Estimation of Photovoltaic Systems Considering the Mission Profile of the DC-AC Inverter. *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, 598–603. <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon52093.2024.10500096>
- Palma, L. (2022). Reduced 2ndHarmonic Input Current Ripple Quasi Z-source Microinverter for On-Grid PV Power Conversion. *2022 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2022*, 901–905. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM53979.2022.9842120>
- Panda, A., Dyanamina, G., & Singh, R. K. (2021, Januari 21). MATLAB Simulation of Space Vector Pulse Width Modulation for 3-level NPC Inverter and 2-level Inverter. *2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation, SeFet 2021*. <https://doi.org/10.1109/SeFet48154.2021.9375668>
- Pinjala Mohana Kishore, Akhila Sabnaveesu, & Ravikumar Bhimasingu. (2020). High Gain Switched Inductor Split Source Inverter for Solar Energy Applications. *Science and Engineering Research Board*, 916.
- Raj, D., Venkatraman, T., Balasubramanian, M., & Vanaja, D. S. (2023). Design and Development of a B-Type Inverter for Harmonic Mitigation in a Grid Integrated System Using Whale Optimization Algorithm. *Electric Power Components and Systems*, 51(2), 151–170. <https://doi.org/10.1080/15325008.2022.2158500>
- Rajan, P., & Jeevananthan, S. (2021). A new partially isolated hybrid output of multiport multilevel converter for photovoltaic based power supplies. *Journal of Energy Storage*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103436>
- Shanthi, T., Kavitha, R., Maithili, P., Poojavarshini, S., Sowmiya, V. N., & Saran, D. K. G. (2023). Design of DC - DC Luo Converter for Solar Applications using MATLAB/SIMULINK. *2nd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation, ICAECA 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICAECA56562.2023.10199640>
- Singh, M., & Agrawal, S. (2021, Agustus 27). Performance Analysis of PV system with Quasi Z-Source Switched Inductor/Capacitor Voltage Gain Converter. *2021 Asian Conference on Innovation in Technology, ASIANCON 2021*. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544963>

- Stallmann, F., Liebchen, G., & Mertens, A. (2022). Initial Start and Synchronization Algorithm for Droop-Controlled Inverters with Consideration of the Inner Voltage Control Loop. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2022-November*. <https://doi.org/10.1109/APPEEC53445.2022.10072235>
- Vanti, S., Bana, P. R., D'Arco, S., & Amin, M. (2022). Single-Stage Grid-Connected PV System with Finite Control Set Model Predictive Control and an Improved Maximum Power Point Tracking. *IEEE Transactions on Sustainable Energy, 13*(2), 791–802. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2021.3132057>
- Yadav, S., Mishra, S., & Garima. (2021). Comparative Analysis of Non-Isolated DC-DC Converters for Solar-Photovoltaic System. *Proceedings of the 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2021*, 880–885. <https://doi.org/10.1109/SPIN52536.2021.9565976>
- Zheng, X., Li, H., Chen, X., & Min, Z. (2022). Three-level microgrid inverter optimization algorithm based on model prediction control. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 2022-October*. <https://doi.org/10.1109/IECON49645.2022.9968941>