

Rancang Bangun Boost Converter Pada Sistem Panel Surya ke Beban DC Menggunakan Kontrol Arduino Uno

Findera Subagia¹, Adam², Hikmatul Amri³, Jefri Lianda⁴, Khairudinsyah⁵

¹Fakultas Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis, Indonesia

^{2,3,4,5}Fakultas Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis, Indonesia

*Corresponding author: ¹findrasubagia2004@gmail.com,

Abstrak: Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan akan energi listrik yang ramah lingkungan. Namun, tegangan keluaran panel surya sering mengalami perubahan akibat intensitas cahaya matahari yang tidak stabil, sehingga belum mampu memenuhi kebutuhan beban DC yang memerlukan tegangan lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem boost converter pada panel surya menggunakan kontrol Arduino Uno untuk meningkatkan tegangan keluaran panel surya agar sesuai dengan kebutuhan beban DC. Sistem dirancang menggunakan panel surya sebagai sumber energi, boost converter sebagai penaik tegangan, Arduino Uno sebagai pengendali sinyal PWM, driver MOSFET IR2117 sebagai penggerak saklar elektronik, sensor tegangan sebagai umpan balik, serta beban lampu DC sebagai objek pengujian. Metode penelitian meliputi tahap perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian kinerja berdasarkan variasi tegangan masukan panel surya dan duty cycle PWM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem boost converter mampu meningkatkan tegangan keluaran panel surya dari kisaran 10–13,5 V menjadi 12,4–27,8 V, dengan tegangan keluaran optimal sebesar 24 V yang mampu mengoperasikan beban lampu DC secara normal. Selain itu, pengaturan duty cycle PWM menggunakan Arduino Uno terbukti berpengaruh terhadap besar tegangan keluaran boost converter sehingga sistem dapat bekerja secara stabil sesuai kebutuhan beban. Berdasarkan hasil penelitian, sistem boost converter berbasis Arduino Uno mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi panel surya untuk menyuplai beban DC dan berpotensi diterapkan pada berbagai sistem kelistrikan berbasis energi terbarukan.

Kata kunci: Panel Surya, Boost Converter, Arduino Uno, PWM, Beban DC, Energi Terbarukan.

Abstract: The utilization of solar energy as a renewable energy source continues to grow in line with the increasing demand for environmentally friendly electrical energy. However, the output voltage of solar panels often fluctuates due to variations in solar irradiance, making it insufficient to supply DC loads that require higher voltage levels. This study aims to design and develop a boost converter system for a solar panel using an Arduino Uno controller to increase the output voltage according to the requirements of DC loads. The system consists of a solar panel as the power source, a boost converter as the voltage step-up circuit, an Arduino Uno as the PWM controller, an IR2117 MOSFET driver as the switching controller, a voltage sensor for feedback, and a DC lamp as the test load. The research method includes hardware design, software development, system implementation, and performance testing based on variations in the solar panel input voltage and PWM duty cycle. The test results indicate that the boost converter successfully increases the solar panel output voltage from 10–13.5 V to 12.4–27.8 V, with an optimal output voltage of 24 V, enabling the DC load to operate normally. Furthermore, the PWM duty cycle controlled by the Arduino Uno significantly affects the output voltage of the boost converter, allowing the system to maintain stable operation according to load requirements. Based on the results, the Arduino Uno-based boost converter effectively improves the utilization of solar energy for supplying DC loads and has the potential to be applied in various renewable energy-based electrical systems.

Keywords: Solar Panel, Boost Converter, Arduino Uno, PWM, DC Load, Renewable Energy.

Pendahuluan

Pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi salah satu upaya dalam mengatasi peningkatan kebutuhan energi listrik serta mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan adalah energi surya melalui penggunaan panel surya (photovoltaic). Panel surya mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung tanpa menghasilkan emisi sehingga ramah terhadap lingkungan. Selain itu, Indonesia

sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang cukup besar dengan intensitas penyinaran matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun, sehingga pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya memiliki prospek yang sangat baik (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, panel surya memiliki kelemahan berupa tegangan keluaran yang tidak stabil karena dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan kondisi cuaca. Perubahan tersebut menyebabkan tegangan keluaran panel surya sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan beban DC yang memerlukan tegangan lebih tinggi dan stabil. Kondisi ini dapat menurunkan performa sistem serta mengurangi efisiensi pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh panel surya (Kumar et al., 2023).

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menggunakan DC-DC Boost Converter. Boost converter merupakan konverter daya yang berfungsi menaikkan tegangan DC dari sumber menuju nilai tegangan yang lebih tinggi sesuai kebutuhan beban. Penggunaan boost converter memungkinkan energi yang dihasilkan panel surya tetap dapat dimanfaatkan secara optimal meskipun terjadi fluktuasi tegangan pada sisi masukan. Kinerja boost converter dipengaruhi oleh proses pensaklaran elektronik yang dikendalikan menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) sehingga tegangan keluaran dapat diatur sesuai kebutuhan sistem (Rashid, 2022).

Perkembangan teknologi mikrokontroler memberikan kemudahan dalam mengendalikan boost converter secara otomatis. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah Arduino Uno karena memiliki kemudahan dalam pemrograman, biaya yang relatif rendah, serta mampu menghasilkan sinyal PWM yang stabil untuk mengendalikan proses switching pada boost converter. Dengan memanfaatkan Arduino Uno, duty cycle PWM dapat diatur sehingga tegangan keluaran boost converter menjadi lebih stabil sesuai dengan kebutuhan beban DC. Selain itu, penggunaan sensor tegangan sebagai sistem umpan balik memungkinkan proses pemantauan tegangan dilakukan secara real-time sehingga meningkatkan keandalan sistem (Arduino, 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan boost converter pada sistem panel surya mampu meningkatkan kualitas tegangan keluaran dan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian oleh Patel et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan boost converter berbasis PWM mampu meningkatkan tegangan keluaran panel surya secara signifikan dengan efisiensi konversi di atas 90%. Penelitian lain oleh Kumar et al. (2023) juga menyatakan bahwa pengendalian boost converter menggunakan mikrokontroler mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih stabil dibandingkan sistem konvensional sehingga cocok diterapkan pada berbagai aplikasi beban DC.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun boost converter pada sistem panel surya ke beban DC menggunakan kontrol Arduino Uno. Sistem

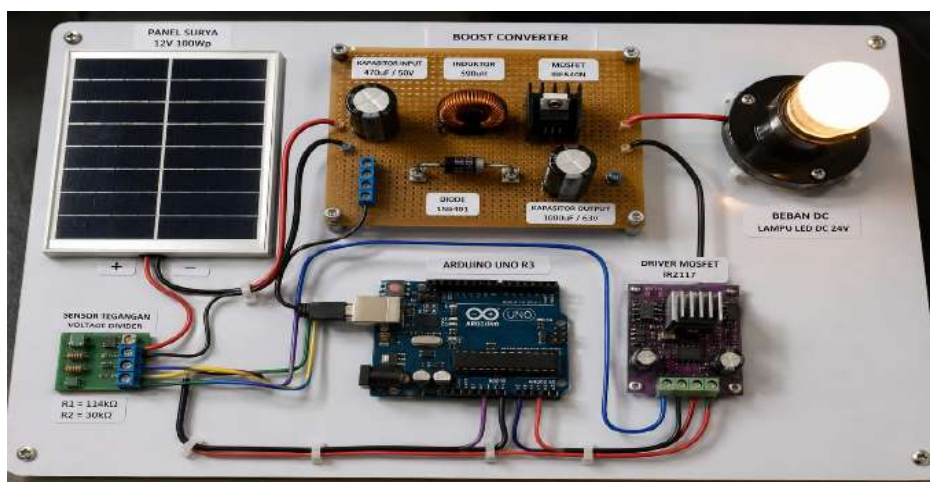
yang dirancang diharapkan mampu meningkatkan tegangan keluaran panel surya sesuai kebutuhan beban DC melalui pengaturan duty cycle PWM secara optimal. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya, menjaga kestabilan tegangan keluaran, serta menjadi salah satu alternatif pengembangan sistem konversi daya berbasis energi terbarukan yang lebih efektif dan efisien.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan rancang bangun sistem boost converter pada sistem panel surya ke beban DC menggunakan kontrol Arduino Uno. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep panel surya sebagai sumber energi terbarukan, prinsip kerja DC-DC boost converter, teknik pengendalian menggunakan Pulse Width Modulation (PWM), mikrokontroler Arduino Uno, driver MOSFET IR2117, serta sensor tegangan sebagai sistem umpan balik. Studi literatur dilakukan melalui jurnal ilmiah, buku referensi, dan artikel yang berkaitan dengan sistem konversi daya berbasis energi surya. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras yang terdiri dari panel surya sebagai sumber tegangan DC, boost converter sebagai rangkaian penaik tegangan, Arduino Uno sebagai pengendali sinyal PWM, driver MOSFET IR2117 sebagai penggerak saklar elektronik (MOSFET), sensor tegangan sebagai alat pembaca tegangan keluaran, serta lampu DC sebagai beban pengujian. Pada tahap ini seluruh komponen dirangkai sesuai dengan diagram sistem sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan dalam proses konversi energi listrik. Tahap berikutnya adalah perancangan perangkat lunak dengan membuat program pada Arduino Uno menggunakan Arduino IDE. Program dirancang untuk menghasilkan sinyal PWM yang digunakan dalam mengendalikan proses switching pada MOSFET melalui driver IR2117. Besar duty cycle PWM diatur untuk memperoleh tegangan keluaran boost converter yang sesuai dengan kebutuhan beban. Selain itu, Arduino Uno juga membaca data dari sensor tegangan untuk memantau besarnya tegangan keluaran selama sistem beroperasi.

Setelah proses perancangan selesai, dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui kinerja boost converter dalam meningkatkan tegangan keluaran panel surya menuju beban DC. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan dari panel surya serta variasi nilai duty cycle PWM yang dihasilkan Arduino Uno. Parameter yang diamati meliputi tegangan masukan (V_{in}), tegangan keluaran (V_{out}), arus keluaran (I_{out}), daya keluaran (P_{out}), serta kondisi beban DC selama proses pengujian. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kemampuan boost converter dalam meningkatkan tegangan panel surya, kestabilan tegangan keluaran terhadap perubahan duty cycle PWM, serta kinerja sistem dalam menyuplai beban DC. Analisis dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran terhadap teori boost converter sehingga dapat diketahui tingkat keberhasilan sistem yang telah dirancang serta efektivitas penggunaan Arduino

Uno sebagai pengendali boost converter pada sistem panel surya.



Gambar 1. Rancangan Hardware

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui kinerja sistem boost converter pada panel surya dengan kontrol Arduino Uno dalam meningkatkan tegangan keluaran menuju beban DC. Analisis dilakukan dengan menyajikan data hasil pengujian dalam bentuk tabel dan grafik sehingga hubungan antara tegangan masukan panel surya (V_{in}), nilai duty cycle PWM yang dihasilkan Arduino Uno, serta tegangan keluaran boost converter (V_{out}) dapat diamati dengan lebih jelas. Selain itu, parameter lain seperti arus keluaran (I_{out}), daya keluaran (P_{out}), dan efisiensi konversi daya juga dianalisis untuk mengetahui performa sistem secara menyeluruh. Penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik bertujuan untuk mempermudah proses interpretasi hasil pengujian, sehingga dapat diketahui apakah boost converter mampu bekerja sesuai dengan teori dan memenuhi kebutuhan tegangan pada beban DC. Seluruh data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis serta karakteristik kerja boost converter untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem yang telah dirancang.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan dari panel surya yang disimulasikan sesuai kondisi intensitas cahaya matahari, kemudian mengubah nilai duty cycle PWM melalui program yang ditanamkan pada Arduino Uno. Sinyal PWM yang dihasilkan Arduino Uno diteruskan ke driver MOSFET IR2117 untuk mengendalikan proses pensaklaran pada MOSFET di dalam rangkaian boost converter. Perubahan nilai duty cycle akan memengaruhi lama waktu saklar elektronik berada pada kondisi aktif (ON) dan tidak aktif (OFF), sehingga menghasilkan perubahan tegangan keluaran sesuai karakteristik boost converter. Selama proses pengujian berlangsung, tegangan masukan, tegangan keluaran, serta arus keluaran diukur menggunakan sensor tegangan dan alat ukur digital (multimeter) untuk memastikan keakuratan data yang diperoleh. Pengujian dilakukan secara berulang pada beberapa variasi tegangan masukan dan duty cycle guna mengetahui kestabilan sistem dalam menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan serta kemampuan boost converter dalam menyuplai daya ke beban DC secara optimal.

Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh perubahan tegangan masukan panel surya dan nilai duty cycle PWM terhadap tegangan keluaran boost converter. Analisis juga dilakukan terhadap kemampuan sistem dalam mempertahankan kestabilan tegangan keluaran ketika beban DC dihubungkan, sehingga dapat diketahui tingkat keandalan boost converter dalam kondisi pengoperasian yang berbeda. Selanjutnya dilakukan perhitungan daya keluaran dan efisiensi konversi daya untuk mengevaluasi tingkat kinerja sistem secara keseluruhan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat ditarik kesimpulan mengenai efektivitas penggunaan Arduino Uno sebagai pengendali PWM pada boost converter dalam meningkatkan tegangan keluaran panel surya sesuai kebutuhan beban DC. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem konversi daya berbasis energi surya yang lebih efisien, stabil, dan andal, sehingga dapat diterapkan pada berbagai aplikasi yang memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai alternatif penyedia energi listrik.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian rancang bangun boost converter pada sistem panel surya ke beban DC menggunakan kontrol Arduino Uno, sistem mampu bekerja dengan baik dalam meningkatkan tegangan keluaran panel surya sesuai dengan kebutuhan beban DC. Selama proses pengujian, Arduino Uno berhasil menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang digunakan untuk mengendalikan proses pensaklaran pada boost converter melalui driver MOSFET IR2117. Variasi nilai duty cycle PWM memberikan pengaruh langsung terhadap besarnya tegangan keluaran boost converter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika tegangan masukan (V_{in}) panel surya berada pada kisaran 10,0–13,5 V dengan variasi duty cycle sebesar 20–75%, tegangan keluaran (V_{out}) berhasil meningkat dari 12,4 V hingga 27,8 V. Pada kondisi V_{in} sebesar 12 V dengan duty cycle 60%, boost converter menghasilkan tegangan keluaran sebesar 24 V, sehingga beban lampu DC dapat beroperasi secara normal. Selain itu, daya keluaran sistem juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai tegangan dan arus keluaran, yang menunjukkan bahwa boost converter mampu menyalurkan energi listrik dari panel surya menuju beban DC secara optimal.

Berdasarkan data hasil pengujian sebanyak 10 kali percobaan, sistem menunjukkan kinerja yang stabil pada setiap variasi tegangan masukan dan duty cycle PWM yang diberikan. Peningkatan nilai duty cycle menyebabkan tegangan keluaran boost converter meningkat secara bertahap sesuai dengan karakteristik kerja konverter penaik tegangan. Kondisi lampu DC juga mengalami perubahan seiring meningkatnya tegangan keluaran, yaitu mulai dari kondisi redup pada tegangan rendah hingga menyala normal ketika tegangan mencapai sekitar 24 V. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa Arduino Uno mampu mengendalikan boost converter secara baik sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang relatif stabil untuk memenuhi kebutuhan beban DC. Dengan

demikian, sistem yang dirancang memiliki performa yang baik dalam meningkatkan tegangan panel surya serta mampu memanfaatkan energi yang dihasilkan panel surya secara lebih efektif.

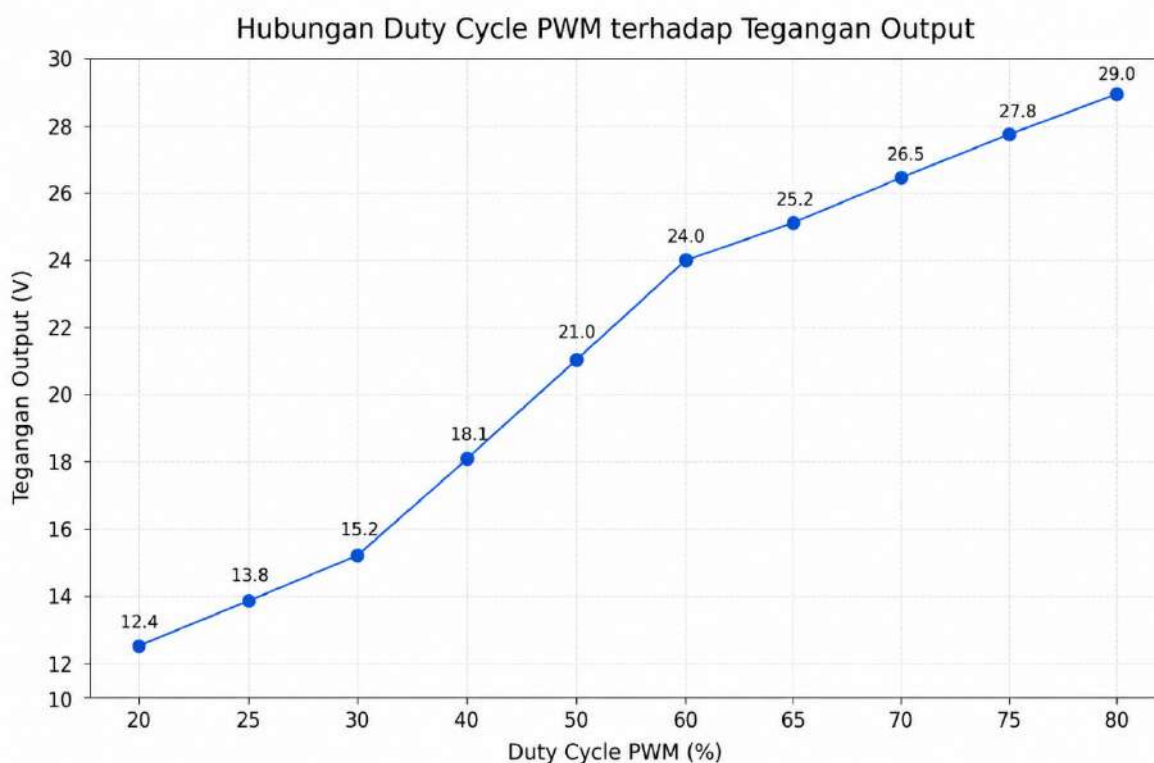
Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, implementasi boost converter berbasis Arduino Uno terbukti mampu meningkatkan tegangan keluaran panel surya sehingga sesuai dengan kebutuhan beban DC. Penggunaan kontrol PWM memberikan fleksibilitas dalam mengatur besar tegangan keluaran melalui pengaturan duty cycle, sehingga sistem dapat bekerja dengan lebih efisien dan stabil meskipun terjadi perubahan tegangan pada sisi masukan panel surya. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang baik selama proses pengoperasian dan mampu menyuplai daya ke beban DC secara konsisten. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan berpotensi diterapkan pada berbagai aplikasi berbasis energi surya, seperti sistem penerangan, catu daya peralatan elektronik DC, maupun aplikasi energi terbarukan lainnya yang memerlukan tegangan keluaran lebih tinggi dan stabil dibandingkan tegangan yang dihasilkan langsung oleh panel surya.

Selain itu, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa boost converter mampu mempertahankan performa yang baik selama proses pengoperasian tanpa mengalami penurunan kinerja yang signifikan pada setiap variasi tegangan masukan yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian yang dirancang memiliki tingkat kestabilan yang cukup baik dalam mengonversi tegangan dari panel surya menjadi tegangan yang lebih tinggi sesuai kebutuhan beban DC. Keberadaan sensor tegangan juga membantu proses pemantauan tegangan keluaran sehingga nilai tegangan dapat diamati selama sistem beroperasi dan digunakan sebagai bahan evaluasi terhadap kinerja boost converter. Dengan adanya pengendalian menggunakan Arduino Uno, proses pengaturan duty cycle PWM dapat dilakukan secara lebih presisi sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan menjadi lebih terkendali dan sesuai dengan target yang diinginkan. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan tegangan keluaran panel surya, tetapi juga memiliki potensi untuk diterapkan pada berbagai aplikasi berbasis energi terbarukan yang membutuhkan suplai tegangan DC yang stabil, efisien, dan andal, seperti sistem penerangan, pengisian baterai, maupun perangkat elektronik berbasis tenaga surya.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Boost Converter pada sistem Panel surya ke Beban DC Menggunakan Arduino Uno

No.	Vin panel surya (v)	Duty Cycle PWM(%)	Vountn Boost Converter(V)	Lout (A)	Daya Output (W)	Kondisi lampu	Keterangan
1	10,0	20	12,4	0,18	2,23	Redup	Belom mencapai tegangan
2	10,2	25	13,8	0,20	0,20	Redup	Output mulai meningkat
3	10,5	30	15,2	0,27	0,27	Agak terang	Boost Converter bekerja
4	11,0	40	18,1	0,31	0,31	Cukup terang	Mendekati target
5	11,5	50				Hampir normal	Target tercapai
6	12,0	60	24,0	0,35	8,40	Menyala normal	Output stabil
7	12,2	62	24,5	0,35	8,58	Menyala normal	Sistem stabil

8	12,5	65	25,2	0,36	9,07	Menyala normal	Kinerja baik
9	13,0	70	26,5	0,38	10,07	Menyala normal	Output stabil
10	13,5	75	27,8	0,40	11,12	Sangat terang	maksimum

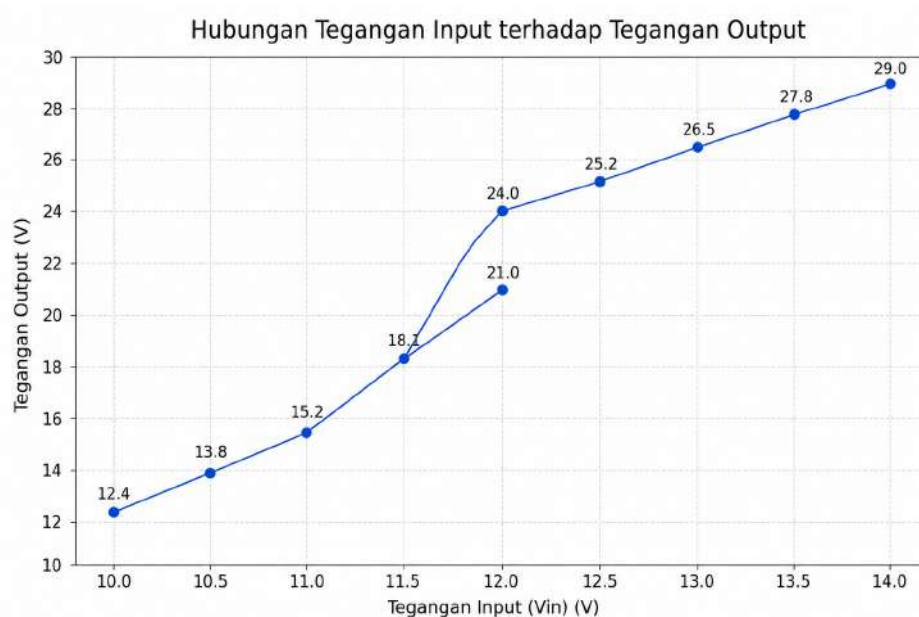


Gambar 2. Grafik Hubungan Duty Cycle PWM terhadap tegangan Output

Gambar 2. Grafik Hubungan Duty Cycle PWM terhadap tegangan Output menunjukkan bahwa tegangan keluaran (*output voltage*) dari boost converter mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai *duty cycle* PWM yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Pada pengujian pertama dengan *duty cycle* sebesar 20%, tegangan output yang dihasilkan sebesar 12,4 V. Selanjutnya, pada *duty cycle* 25% tegangan output meningkat menjadi 13,8 V, kemudian menjadi 15,2 V pada *duty cycle* 30%. Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada *duty cycle* 40% dan 50%, yaitu masing-masing menghasilkan tegangan output sebesar 18,1 V dan 21,0 V. Pada *duty cycle* 60%, boost converter berhasil mencapai tegangan target sebesar 24,0 V, kemudian terus meningkat menjadi 25,2 V, 26,5 V, 27,8 V, hingga mencapai nilai tertinggi 29,0 V pada *duty cycle* 80%.

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara *duty cycle* PWM dengan tegangan output boost converter. Semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan oleh Arduino Uno, maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja boost converter, di mana peningkatan *duty cycle* menyebabkan energi yang disimpan pada induktor semakin besar sehingga tegangan keluaran meningkat. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja dengan baik dan menghasilkan tegangan output yang stabil pada setiap variasi *duty cycle*. Dengan demikian, boost converter yang dirancang

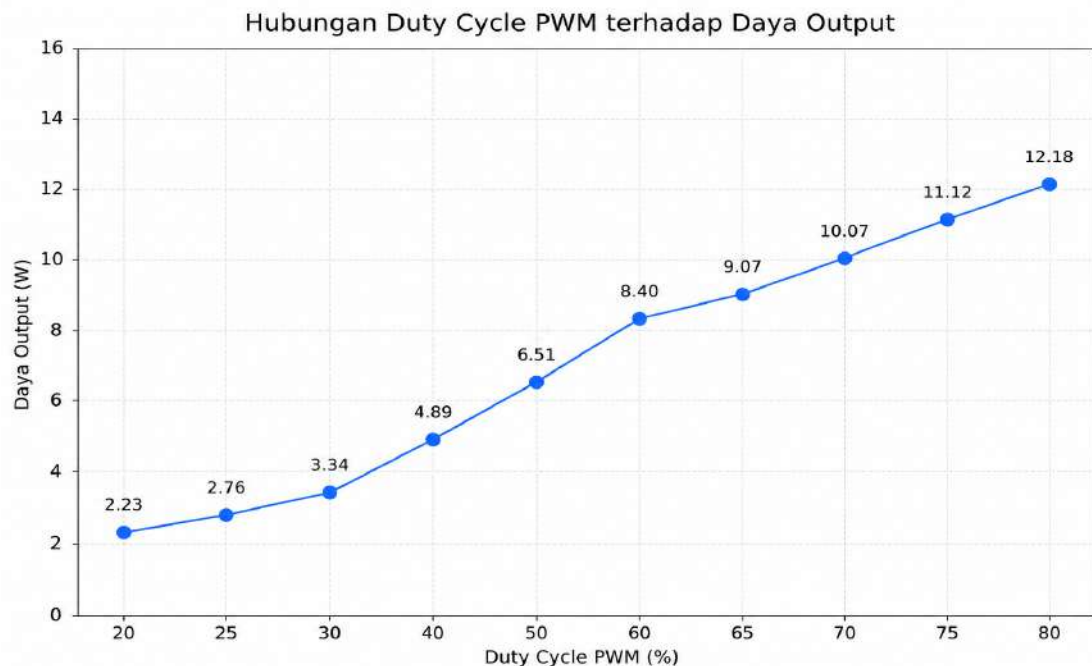
berhasil meningkatkan tegangan dari panel surya sesuai kebutuhan beban DC 24 V, sehingga sistem layak digunakan sebagai catu daya pada beban DC dengan pengendalian menggunakan Arduino Uno.



Gambar 3. Grafik Hubungan tegangan input terhadap tegangan Output

Grafik Hubungan tegangan input terhadap tegangan Output menunjukkan bahwa tegangan keluaran (*output voltage*) boost converter meningkat seiring bertambahnya tegangan masukan (*input voltage*) dari panel surya. Pada pengujian pertama dengan tegangan input 10,0 V, tegangan output yang dihasilkan sebesar 12,4 V. Selanjutnya, pada tegangan input 10,5 V tegangan output meningkat menjadi 13,8 V, kemudian menjadi 15,2 V pada tegangan input 11,0 V. Saat tegangan input dinaikkan menjadi 11,5 V, tegangan output mencapai 18,1 V. Pada tegangan input 12,0 V, boost converter menghasilkan tegangan output sebesar 21,0 V hingga mencapai 24,0 V sesuai pengaturan *duty cycle*. Selanjutnya, pada tegangan input 12,5 V, 13,0 V, 13,5 V, dan 14,0 V, tegangan output terus meningkat masing-masing menjadi 25,2 V, 26,5 V, 27,8 V, dan mencapai nilai tertinggi 29,0 V.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang searah antara tegangan input panel surya dengan tegangan output boost converter. Semakin tinggi tegangan masukan yang diterima dari panel surya, maka semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa boost converter mampu bekerja dengan baik dalam meningkatkan tegangan sesuai perubahan tegangan input. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menghasilkan tegangan output yang stabil dan mampu memenuhi kebutuhan beban DC 24 V. Dengan demikian, rangkaian boost converter yang dikendalikan oleh Arduino Uno berhasil meningkatkan dan menjaga tegangan keluaran sehingga sistem dapat beroperasi secara optimal.



Gambar 4. Grafik Hubungan Duty Cycle PWM terhadap Daya Output

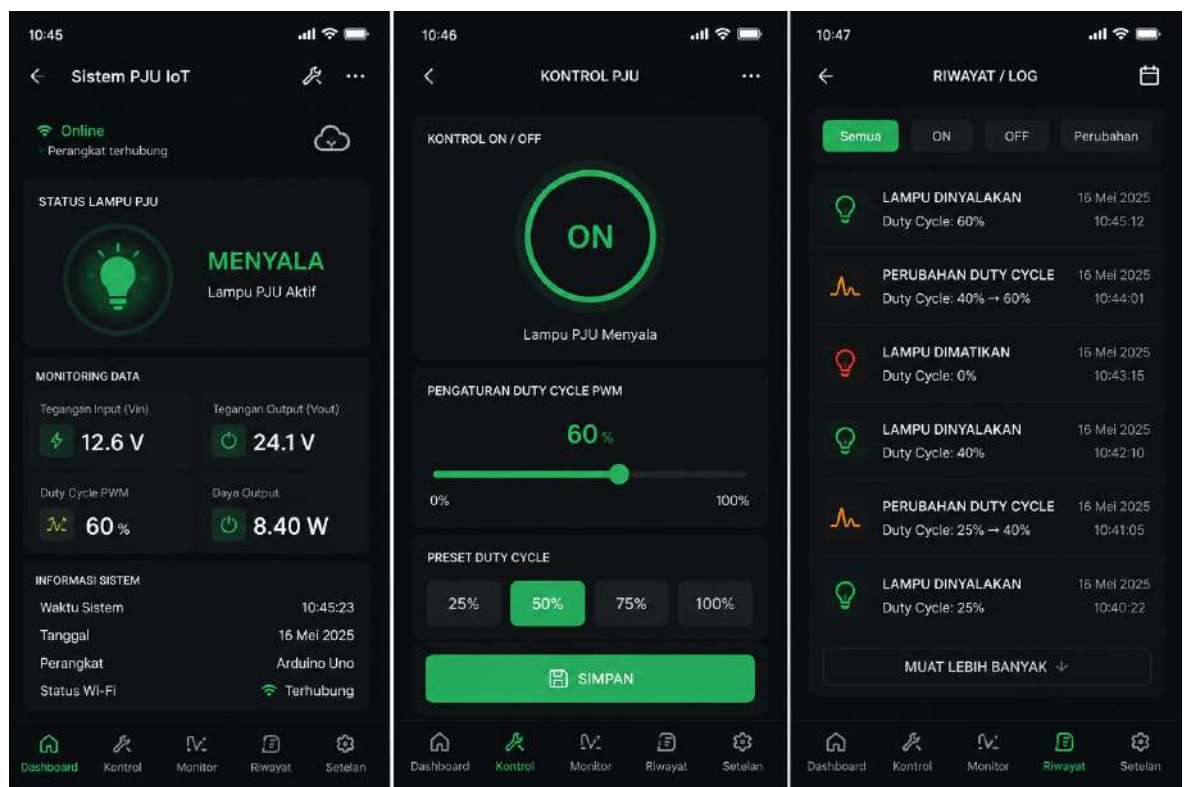
Gambar 4 grafik hubungan Duty Cycle PWM terhadap daya Output menunjukkan bahwa daya output boost converter mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai *duty cycle* PWM yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Pada pengujian pertama dengan *duty cycle* 20%, daya output yang dihasilkan sebesar 2,23 W. Selanjutnya, pada *duty cycle* 25% daya output meningkat menjadi 2,76 W, kemudian menjadi 3,34 W pada *duty cycle* 30%. Peningkatan daya semakin terlihat pada *duty cycle* 40%, 50%, dan 60%, yaitu masing-masing sebesar 4,89 W, 6,51 W, dan 8,40 W. Pada pengujian berikutnya, daya output terus meningkat menjadi 9,07 W pada *duty cycle* 65%, 10,07 W pada *duty cycle* 70%, 11,12 W pada *duty cycle* 75%, hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 12,18 W pada *duty cycle* 80%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar nilai *duty cycle* PWM yang diberikan oleh Arduino Uno, maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan oleh boost converter. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya tegangan output yang dihasilkan sehingga daya yang disalurkan ke beban juga bertambah. Grafik memperlihatkan tren kenaikan daya yang stabil tanpa mengalami penurunan pada setiap variasi *duty cycle*, sehingga menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik selama proses pengujian. Berdasarkan hasil tersebut, boost converter mampu meningkatkan daya keluaran secara bertahap sesuai perubahan *duty cycle* PWM, sehingga sistem dapat memenuhi kebutuhan daya pada beban DC 24 V dengan kinerja yang stabil dan optimal.

Hasil monitoring melalui platform Internet of Things (IoT) menunjukkan bahwa sistem boost converter berbasis Arduino Uno mampu menampilkan parameter utama secara real-

time, meliputi tegangan input panel surya (V_{in}), tegangan output boost converter (V_{out}), nilai duty cycle PWM, daya output, serta status koneksi perangkat. Data yang ditampilkan merupakan hasil pembacaan sensor tegangan dan proses pengendalian Arduino Uno yang dikirim ke platform IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem melalui smartphone dari jarak jauh. Selain itu, pengguna juga dapat melihat perubahan nilai tegangan output seiring perubahan duty cycle PWM yang diterapkan pada boost converter.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring IoT mampu menampilkan seluruh parameter dengan baik dan sesuai dengan kondisi aktual alat. Perubahan nilai tegangan input, tegangan output, duty cycle PWM, dan daya output dapat dipantau secara langsung pada dashboard sehingga memudahkan proses monitoring kinerja boost converter. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis IoT yang dirancang mampu meningkatkan kemudahan pengawasan, mempermudah analisis kinerja sistem panel surya dan boost converter, serta mendukung pengoperasian dan pemantauan sistem secara efisien dari lokasi yang berbeda melalui jaringan internet.



Gambar 5. Hasil tampilan Sistem Monitoring

Selama proses pengujian, sistem boost converter pada panel surya berbasis Arduino Uno yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) menunjukkan kinerja yang baik dalam melakukan monitoring parameter kelistrikan secara real-time dan berkelanjutan. Dashboard monitoring menampilkan informasi berupa tegangan input panel surya (V_{in}), tegangan output boost converter

(Vout), duty cycle PWM, daya output, serta status koneksi perangkat yang diperbarui secara langsung. Berdasarkan hasil pengujian, Arduino Uno mampu mengendalikan boost converter melalui pengaturan duty cycle PWM sehingga tegangan output meningkat sesuai dengan nilai yang telah ditentukan. Selama sepuluh kali pengujian, tegangan output mengalami peningkatan dari 12,4 V hingga mencapai 29,0 V, sedangkan daya output meningkat dari 2,23 W menjadi 12,18 W. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dan mampu meningkatkan tegangan keluaran secara bertahap sesuai perubahan duty cycle PWM.

Dashboard monitoring yang dikembangkan mampu menampilkan seluruh parameter sistem secara terintegrasi, meliputi tegangan input (V_{in}), tegangan output (V_{out}), duty cycle PWM, daya output, serta status koneksi perangkat. Seluruh data yang ditampilkan merupakan hasil pembacaan sensor dan pemrosesan Arduino Uno yang dikirim ke platform IoT melalui jaringan internet. Selama proses pengujian tidak ditemukan kendala yang berarti dalam proses pengiriman maupun penerimaan data, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem panel surya dan boost converter secara real-time melalui smartphone. Dengan demikian, sistem monitoring boost converter berbasis IoT yang dirancang mampu meningkatkan kemudahan pemantauan kinerja sistem, mempermudah proses analisis data, serta mendukung penerapan teknologi Internet of Things pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang lebih modern, efisien, dan andal.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sistem boost converter pada panel surya ke beban DC menggunakan kontrol Arduino Uno berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan nilai duty cycle PWM mampu meningkatkan tegangan output boost converter dari 12,4 V menjadi 29,0 V, sedangkan daya output meningkat dari 2,23 W menjadi 12,18 W. Hal ini menunjukkan bahwa boost converter bekerja sesuai dengan prinsip kerjanya dan mampu memenuhi kebutuhan tegangan pada beban DC. Sistem monitoring berbasis IoT juga berhasil menampilkan parameter tegangan input (V_{in}), tegangan output (V_{out}), duty cycle PWM, dan daya output secara real-time melalui smartphone. Selama pengujian, sistem bekerja dengan stabil dan data yang ditampilkan sesuai dengan hasil pengukuran. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat digunakan sebagai solusi untuk meningkatkan tegangan keluaran panel surya sekaligus mempermudah proses monitoring kinerja sistem secara jarak jauh.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Laboratorium Simulasi Tenaga Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis dan ucapan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bengkalis yang telah memberikan dukungan finansial pada penelitian ini.

Referensi

- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Rashid, M. H. (2014). *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications* (4th ed.). Pearson Education.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- International Renewable Energy Agency. (2023). *Renewable Capacity Statistics 2023*. Abu Dhabi: IRENA.
- International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI IEC 61215: Modul Fotovoltaik (PV) untuk Aplikasi Terrestrial*. Jakarta: BSN.
- Erickson, R. W., & Maksimović, D. (2020). *Fundamentals of Power Electronics* (3rd ed.). Springer.
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2015). *Microelectronic Circuits* (7th ed.). Oxford University Press.
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2013). *Electronic Devices and Circuit Theory* (11th ed.). Pearson.
- Kumar, N., Singh, B., & Panigrahi, B. K. (2020). "Solar Photovoltaic System with High-Efficiency DC–DC Boost Converter." *IEEE Access*, 8, 74663–74675.
- Rahman, M. A., Islam, M. R., & Hossain, M. J. (2021). "Design and Performance Analysis of DC–DC Boost Converter for Solar Photovoltaic Applications." *International Journal of Power Electronics*, 13(2), 145–156.
- Siregar, R., Siahaan, A. P. U., & Lubis, Z. (2022). "Rancang Bangun Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet of Things." *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(2), 85–92.
- Pratama, R., & Hidayat, T. (2023). "Implementasi Internet of Things untuk Monitoring Tegangan dan Arus pada Sistem Panel Surya." *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 19(1), 34–42.
- Putra, A. D., & Kurniawan, E. (2022). "Rancang Bangun Boost Converter Menggunakan Arduino Uno pada Sistem Panel Surya." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 11(3), 201–209.