

Magnetika

SISTEM MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) MENGGUNAKAN METODE FUZZY TYPE 2 DENGAN BUCK BOOST CONVERTER BERBASIS ARDUINO PADA PLTS

Among Dwi Wardani¹, Awan Uji Krismanto², Radimas Putra Davi Labib³

Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

amongdwiwardani@gmail.com¹, awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id², radimas@lecturer.itn.ac.id³

Abstract— Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi matahari sepanjang hari, yang menjadikannya sangat ideal untuk pembangkit listrik menggunakan panel surya. Untuk meningkatkan efektivitas konversi energi pada panel surya, beberapa metode digunakan. Salah satunya adalah metode pelacakan dinamis yang menggunakan motor listrik untuk mengarahkan panel surya agar tetap menghadap matahari. Sementara itu, metode pelacakan statis atau Maximum Power Point Tracking (MPPT) menggunakan konverter daya untuk menjaga panel pada titik daya maksimum berdasarkan kurva karakteristik daya-tegangan (P-V) panel surya. Titik daya maksimum ini terus berubah karena variasi intensitas cahaya (iradiasi) dan suhu. Penelitian ini memperkenalkan pendekatan baru untuk mengoptimalkan pelacakan posisi matahari melalui gabungan perhitungan logika fuzzy tipe 2 dan sistem kendali. Kombinasi ini bertujuan untuk mengatasi kelemahan sistem kendali dalam mengelola ketidakpastian dan variasi yang kompleks pada panel surya. Dengan pelacakan posisi matahari secara real-time yang lebih optimal, efisiensi pengumpulan energi matahari dapat meningkat. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar teknologi sistem kendali berbasis fuzzy tipe 2 dalam meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan panel surya.

Kata kunci: *Maximum Power Point Tracking, Efisiensi Energi, Fuzzy Type 2.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dan tingginya harga bahan bakar fosil merupakan masalah signifikan yang merugikan pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil. Dalam konteks ini, energi terbarukan, khususnya panel surya, muncul sebagai alternatif yang diharapkan dapat mengubah pola distribusi energi. Keuntungan dari penggunaan energi alternatif melalui panel surya antara lain adalah tidak tergantung pada sumber bahan bakar fosil, tidak menghasilkan pencemaran, serta membutuhkan waktu pemeliharaan yang lebih sedikit.

Untuk mengatasi masalah pencemaran dan ketergantungan pada bahan bakar fosil, perlu dikembangkan sistem pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Indonesia, dengan iklim tropis dan potensi sumber energi matahari yang melimpah, memiliki peluang besar untuk memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Meskipun panel

surya merupakan solusi yang menjanjikan dalam energi terbarukan, masih ada beberapa tantangan, terutama terkait dengan efisiensi output yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim dan intensitas cahaya. Dengan memanfaatkan sumber energi matahari yang berlimpah, PLTS dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil di Indonesia dan berkontribusi pada perlindungan lingkungan.

Dengan demikian, pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi baru dan terbarukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mulai dikembangkan. Daya listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sehingga seringkali daya keluaran yang dihasilkan tidak berada pada tingkat maksimum. Untuk meningkatkan efisiensi modul fotovoltaik, teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) digunakan. MPPT adalah perangkat yang dilengkapi dengan algoritma khusus untuk melacak dan menemukan titik daya maksimum dalam sistem fotovoltaik. Dengan memanfaatkan teknologi ini, sistem dapat secara otomatis menyesuaikan kondisi operasi untuk memastikan bahwa output daya dari modul fotovoltaik tetap optimal meskipun terjadi variasi dalam intensitas cahaya dan faktor lingkungan lainnya.[1]

Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi modul fotovoltaik, teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) diterapkan. MPPT adalah perangkat yang dilengkapi dengan algoritma yang berfungsi untuk melacak dan menentukan titik daya maksimum dalam sistem fotovoltaik. Dengan teknologi ini, sistem dapat secara otomatis menyesuaikan kondisi operasional untuk memastikan bahwa output daya dari modul fotovoltaik selalu optimal, meskipun terjadi variasi dalam intensitas cahaya dan kondisi lingkungan lainnya.[2]

Daya yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh iradiasi matahari yang diterima di permukaan panel. Karena daya keluaran panel surya akan bervariasi seiring dengan perubahan iradiasi matahari, diperlukan konverter yang dilengkapi dengan algoritma Maximum Power Point

Tracking (MPPT) untuk mengidentifikasi titik daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam berbagai kondisi iradiasi. MPPT berfungsi dengan cara mengatur nilai duty cycle dari konverter, yang pada gilirannya mengatur nilai resistansi input (R_{in}) konverter agar mendekati atau sama dengan nilai resistansi maksimum daya (R_{mpp}) pada panel surya. Dengan demikian, panel surya dapat selalu beroperasi pada daya maksimumnya setiap kali terjadi perubahan iradiasi matahari. Dalam penelitian ini, digunakan panel surya dengan kapasitas 100 WP dan jenis konverter buck (penurun tegangan) yang menerapkan algoritma MPPT perturb and observe. Algoritma ini berfungsi untuk mengoptimalkan pengambilan daya dari panel surya, sehingga efisiensi sistem dapat ditingkatkan secara signifikan. [3]

DC-DC buck converter adalah rangkaian listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih kecil. Prinsip kerja dasar dari buck converter adalah mengatur lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan rangkaian. Dengan mengubah durasi waktu ini, converter dapat mengontrol rata-rata tegangan keluaran yang dihasilkan. Pada buck converter, proses switching dilakukan oleh komponen seperti transistor, yang berfungsi sebagai saklar. Ketika saklar dalam posisi ON, energi disimpan dalam induktor, dan ketika saklar dalam posisi OFF, energi tersebut disalurkan ke beban melalui dioda. Dengan cara ini, buck converter mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan masukan dengan efisiensi yang tinggi. [2]

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan latar belakang di atas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Mengimplementasikan MPPT dengan metode fuzzy type 2
2. Bagaimana mengimpementaskan MPPT fuzzy type 2 menggunakan buckboost converter

C. Tujuan Masalah

1. Untuk mengimplmentasikan MPPT dengan metode fuzzy type 2
2. Untuk mengimplementasikan MPPT fuzzy type 2 menggunakan buckboost converter

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab dua ini membahas mengenai teori penunjang dari penelitian yang akan dilakukan. Pada tinjauan pustaka akan membahas mengenai teori dan komponen apa saja yang akan digunakan sebagai berikut

A. Konversi energi

Konversi energi adalah proses mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lain. Dalam konteks energi surya, konversi ini mengacu pada proses mengubah energi matahari (berupa radiasi elektromagnetik) menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan. Proses ini biasanya dilakukan menggunakan panel surya atau sel fotovoltaik, yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi arus listrik

Konversi energi matahari menjadi energi listrik memerlukan perangkat yang disebut panel surya, yang tersusun dari banyak sel surya. Sel surya ini umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Saat sinar matahari mengenai sel surya, energi foton dari cahaya tersebut diubah menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotolistrik. Dalam proses ini, foton dari cahaya matahari mendorong elektron-elektron dalam bahan semikonduktor untuk bergerak, menciptakan aliran listrik yang bisa digunakan sebagai energi listrik. (2.1)

B. Efisiensi Energi

Suatu panel surya adalah kemampuan panel untuk mengubah energi cahaya matahari atau energi surya menjadi suatu energi listrik. Hal ini adalah suatu parameter penting karena semakin tinggi efisiensi panel surya maka akan semakin banyak energi yang dapat dihasilkan dari jumlah cahaya matahari yang telah diterima oleh suatu panel surya. Efisiensi energi diukur dalam suatu persentase yaitu perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dengan energi cahaya matahari yang diterimanya.

Efisiensi energi pada panel surya (solar PV) menjadi alasan utama mengapa penggunaan sistem pelacak surya (solar tracker) sangat penting untuk meningkatkan produksi listrik. Salah satu tantangan utama pada panel surya adalah efisiensinya yang relatif rendah, sekitar 16%. Meskipun penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi ini, peningkatan efisiensi tetap menjadi tujuan utama dalam industri energi terbarukan. (2.2):

Meningkatkan efisiensi panel surya memiliki banyak manfaat, di antaranya menambah ketersediaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Selain itu, efisiensi yang lebih tinggi memungkinkan panel surya menghasilkan lebih banyak energi dalam area yang lebih kecil, sehingga menjadikannya lebih fleksibel dan efisien untuk dipasang di berbagai lokasi.

Efisiensi energi bergantung pada beberapa faktor termasuk kualitas bahan semikonduktor dalam sel surya desain panel surya kebersihan panel surya dan faktor lingkungan lainnya seperti intensitas cahaya matahari dan suhu.

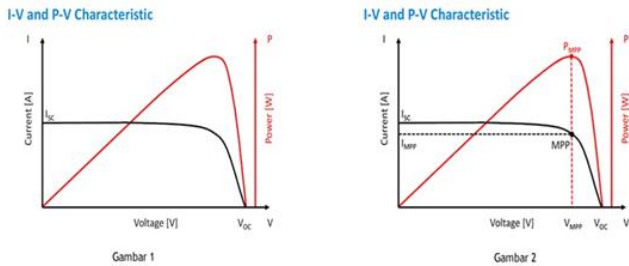
C. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT merupakan controller yang bertugas mencari titik maksimum pada kurva karakteristik daya dan tegangan input (P-V) serta tegangan dan arus input (V-I) pada panel surya. Peran utama MPPT adalah mengoptimalkan kinerja sistem dengan mengurangi biaya panel surya dan meningkatkan efisiensi keseluruhan.

Dalam operasinya, MPPT menggunakan controller yang mengandung algoritma sebagai pengatur nilai duty cycle, memastikan panel surya beroperasi pada titik daya maksimum untuk memaksimalkan pengumpulan energi.

Pada titik Maximum Power Point (MPP), panel surya (PV) menghasilkan daya maksimum karena nilai arus dan tegangannya juga berada pada titik optimal. Lokasi titik MPP ini tidak tetap; ia berubah-ubah tergantung pada intensitas cahaya matahari (iradiasi) dan suhu permukaan panel. Untuk memastikan panel PV tetap berada pada titik MPP dan menghasilkan daya maksimal, digunakan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT). Algoritma MPPT

ini berfungsi sebagai pengendali yang terus menyesuaikan kinerja PV agar selalu menghasilkan daya optimal meskipun kondisi lingkungan berubah.[4]



Gambar 1. Algoritma MPPT

D. Panel Surya

Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor yang memanfaatkan fenomena fotoelektrik di dalam lapisan semikonduktornya. Lapisan semikonduktor ini dapat menyerap energi cahaya matahari dalam bentuk iradiasi dan suhu, lalu mengubahnya menjadi arus listrik searah (DC). Proses ini memungkinkan energi matahari dikonversi secara efisien menjadi arus listrik yang siap digunakan untuk berbagai kebutuhan listrik.

Panel surya adalah komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Proses konversi ini terjadi di dalam sel-sel surya yang menyusun panel, memungkinkan sistem untuk menghasilkan listrik dari sinar matahari tanpa melalui proses pembakaran atau pergerakan mekanis.

Daya listrik yang dihasilkan dari konversi energi matahari oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, arah datangnya sinar, dan spektrum cahaya matahari. Karena kondisi lingkungan ini terus berubah sepanjang hari, daya keluaran panel surya juga ikut berfluktuasi. Variasi intensitas cahaya dan suhu, misalnya, membuat panel beradaptasi secara dinamis dalam menghasilkan daya yang optimal..[5]



Gambar 2. Panel Surya

E. Buck-boost converter XL6009

Buck-boost converter adalah perangkat elektronik yang sangat fleksibel dalam hal pengaturan tegangan. Tidak seperti konverter lain yang hanya bisa menurunkan (buck) atau menaikkan (boost) tegangan, buck-boost converter dapat melakukan keduanya, tergantung pada kebutuhan sistem. Ini

berarti jika sistem membutuhkan tegangan output yang lebih rendah dari tegangan input, converter akan bekerja dalam mode "buck." Sebaliknya, jika sistem membutuhkan tegangan output yang lebih tinggi dari input, maka converter akan bekerja dalam mode "boost." Fleksibilitas ini membuat buck-boost converter sangat berguna dalam aplikasi yang menggunakan sumber daya dengan tegangan input yang bervariasi, seperti baterai atau panel surya, di mana output stabil tetap diperlukan.

Operasi Buck-boost converter mengoperasikan sirkuitnya dengan cara mengatur waktu sakelar (switch) transistor untuk memanipulasi tegangan input dan menghasilkan tegangan output yang diinginkan. Ini dilakukan dengan prinsip switching dan induktor untuk menyaring tegangan, mempertahankan Integritas Spesifikasi.

Dengan fleksibilitasnya dalam menangani variasi tegangan input dan output, buck-boost converter merupakan pilihan yang populer dalam aplikasi elektronik modern yang membutuhkan stabilisasi tegangan dengan efisiensi tinggi.

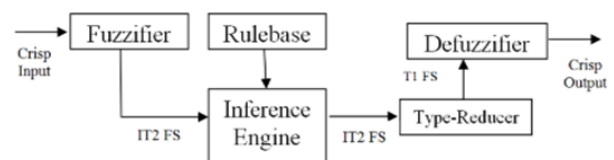


Gambar 3. Buck-boost converter

F. Fuzzy Logic type 2

Logika fuzzy merupakan sebuah wilayah dari komputasi lunak yang sesuai dengan sistem komputer untuk menjawab ketidakpastian. Terdapat dua jenis generasi logika fuzzy, yaitu logika fuzzy tipe-1 dan logika fuzzy tipe-2. Logika fuzzy tipe-2 merupakan perkembangan dari logika fuzzy tipe-1 dengan perbedaan pada fungsi keanggotaannya

Logika fuzzy tipe-2 memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan logika fuzzy tipe-1 yaitu dapat mengatasi ketidakpastian pemodelan fungsi keanggotaan pada logika fuzzy tipe 1[2]



Gambar 3. Fuzzy Logic

G. Arduino uno

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software*nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Bahasa pemrograman yang di pakai di *Arduino* yati C++,

jenis – jenis *Arduino* juga bermacam macam, yaitu *Arduino micro, nano, mega, Ethernet, wifi, dsb.* *Arduino* bekerja di tegangan 5v – 9v, jika konsumsi tegangan *Arduino* melebihi batas kapasitas maka akan terjadi kerusakan pada *Arduino* tersebut.[5]



Gambar 4. Arduino uno

H. Arus Sensor

Sensor arus adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengukur arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian. Sensor ini hadir dalam berbagai bentuk dan bekerja berdasarkan prinsip-prinsip yang berbeda, seperti efek Hall, efek elektromagnetik, atau perubahan resistansi. Sensor arus biasanya digunakan untuk memantau dan mengontrol arus dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem pembangkit tenaga listrik, perangkat elektronika daya, dan sistem otomatisasi industri.



Gambar 5. Sensor arus

I. Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik dalam suatu rangkaian atau sistem. Cara kerja sensor ini melibatkan konversi tegangan menjadi sinyal yang dapat diukur atau diproses lebih lanjut oleh perangkat elektronik lainnya. Dengan demikian, sensor tegangan memungkinkan pemantauan dan analisis tegangan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem kelistrikan, perangkat elektronik, dan otomatisasi industri.

Sensor tegangan tersedia dalam berbagai bentuk dan prinsip kerja, seperti menggunakan pembagi tegangan (voltage divider), transformator tegangan (voltage transformer), atau metode lainnya yang disesuaikan dengan aplikasi dan kebutuhan spesifik. Sensor tegangan memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem pengukuran, kontrol otomatis, pengawasan keamanan, dan industri otomasi. Dengan kemampuannya untuk memberikan informasi yang akurat tentang tegangan, sensor ini membantu memastikan kinerja yang aman dan efisien dalam berbagai sistem listrik.



Gambar 6. Sensor Tegangan

J. Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem fotovoltaik adalah komponen penting yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik. Baterai, atau akumulator, adalah alat yang dirancang untuk menyimpan energi dalam bentuk listrik. Kapasitas baterai biasanya dinyatakan dalam satuan Ah (ampere hours), yang menunjukkan jumlah arus yang dapat disuplai selama satu jam. Semakin besar kapasitas baterai, semakin banyak energi listrik yang dapat disimpan, sehingga memungkinkan sistem fotovoltaik untuk menyediakan pasokan listrik yang lebih stabil dan berkelanjutan, terutama saat sinar matahari tidak tersedia.[5]



Gambar 7. Baterai

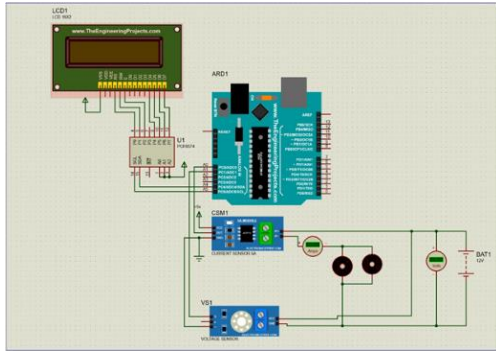
III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini, akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan alat secara keseluruhan, dimulai dari desain buck-boost converter hingga sistem kontrol yang mengatur operasi alat ini. Proses perancangan mencakup pemilihan komponen, konfigurasi rangkaian, dan implementasi algoritma kontrol.

A. Alur Penelitian

Dalam penelitian ini, sistem pembangkit listrik tenaga surya (PV) yang digunakan adalah buck-boost converter, yang berfungsi untuk menstabilkan output dari panel surya dengan memanfaatkan metode logika fuzzy. Panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 100 WP (Watt Peak). Sistem buck-boost converter ini akan mengatur dan menyesuaikan tegangan dan arus keluaran panel surya, memastikan bahwa output tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi dalam kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya dan suhu. Metode logika fuzzy diimplementasikan untuk meningkatkan efisiensi pengambilan energi dengan mengoptimalkan pengoperasian sistem berdasarkan kondisi yang ada

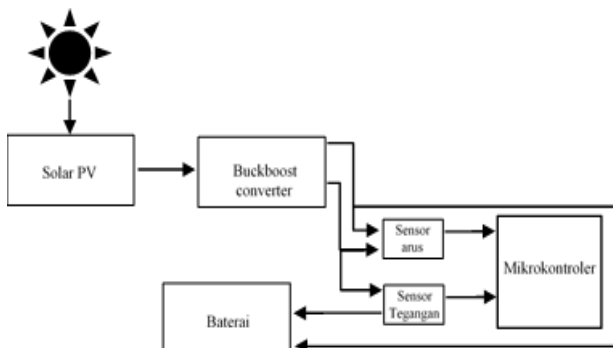
B. Perancangan alat



Gambar 8. Perancangan Alat

Desain yang ditampilkan dalam gambar mencerminkan keseluruhan arsitektur sistem yang sedang dikembangkan. Sistem ini menggunakan Arduino Uno sebagai pengontrol utama, yang merupakan mikrokontroler kecil dan efisien untuk menangani berbagai input dan output. Panel surya menjadi sumber utama energi, sementara sensor tegangan dan arus digunakan untuk memantau kondisi kerja dari panel surya dan sistem secara keseluruhan.

C. Blok Diagram



Gambar 9. Blok Diagram

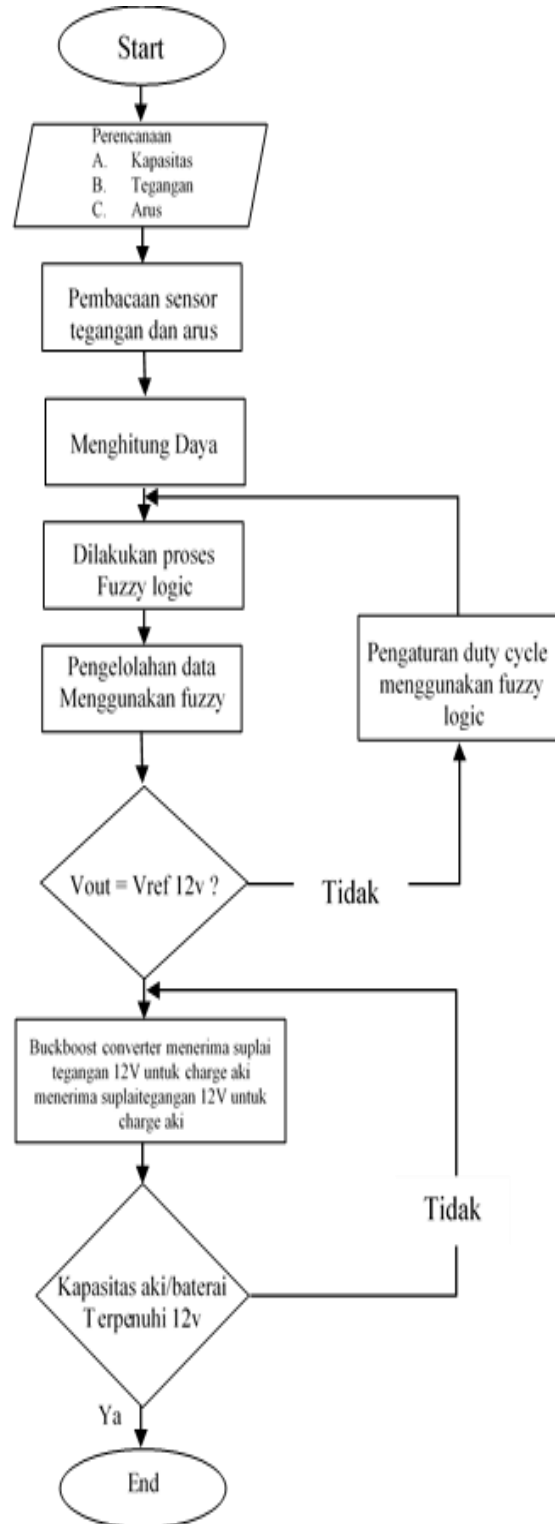
Buck-boost converter berfungsi sebagai penghubung antara energi yang dihasilkan oleh panel surya dan sistem penyimpanan energi, seperti baterai. Dalam sistem ini, panel surya mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang berupa tegangan dan arus. Energi tersebut kemudian diarahkan ke buck-boost converter, yang memiliki kemampuan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Sebelum energi ini diproses lebih lanjut, sensor tegangan dan arus melakukan pengukuran terhadap nilai-nilai tersebut dan mengirimkannya sebagai input ke pengontrol MPPT (Maximum Power Point Tracking). Pengontrol ini, yang menggunakan metode logika fuzzy, berfungsi untuk mengoptimalkan pengambilan energi dari panel surya dengan menyesuaikan kondisi operasinya agar selalu berada pada titik daya maksimum. Dengan cara ini, sistem dapat memaksimalkan efisiensi dalam mengubah dan menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. [6]

1. Pv mengambil tegangan dari matahari
2. Masuk diconverter oleh buckboost

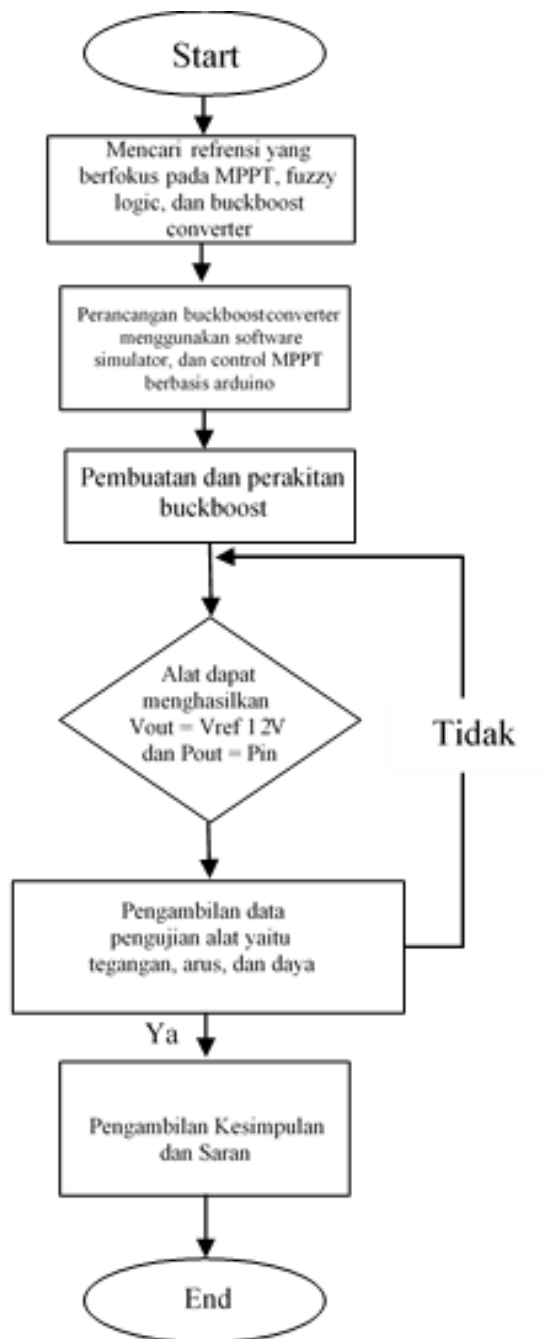
3. Mengatur Vout 12v pada buckboost
4. Sensor arus dan tegangan memberikan sinyal pada mikrokontroler
5. Yang dilanjutkan masuk ke dalam layer

D. Flowchart cara kerja alat



Gambar 10. Flowchart Cara Kerja Alat

E. Flowchart Perancangan alat



Gambar 11. Flowchart Perancangan Alat

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan penelitian, diperlukan penulisan secara sistematis yang bertujuan untuk mempermudah langkah pengerjaan penelitian ini. Penelitian ini dimulai dengan langkah – langkah yang akan dijelaskan sebagai berikut :

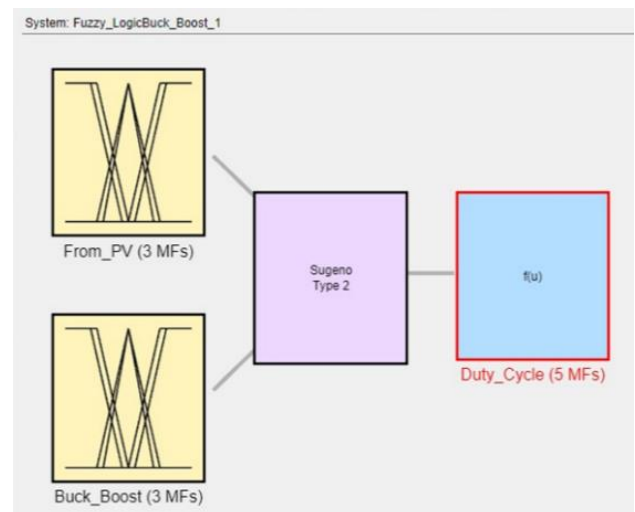
1. Mulai
2. Melakukan studi literatur untuk mengkaji penelitian dan teori terkait buckboost.
3. Perancangan buckboost converter menggunakan software simulator.
4. Pembuatan dan perakitan buckboost conveter.
5. Mengatur alat sehingga menghasilkan vout ref 12v.

6. Pengambilan data dan pengujian, arus, tegangan dan daya.
7. Pengambilan simpulan dan saran.
8. Selesai.

IV. PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini akan menyajikan analisis mendalam mengenai hasil dari perancangan sistem yang menggunakan logika fuzzy. Di dalamnya, akan diuraikan metode pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan pada panel surya, serta bagaimana daya (P) dihitung dari parameter-parameter tersebut. Selain itu, bab ini juga akan membandingkan daya yang masuk (P_{in}) dengan daya yang keluar (P_{out}), memberikan wawasan tentang efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan membandingkan kedua nilai ini, kita dapat mengevaluasi kinerja sistem dan memahami seberapa efektif sistem logika fuzzy dalam mengoptimalkan pengendalian energi yang dihasilkan oleh panel surya.

A. Hasil Perancangan Sistem fuzzy



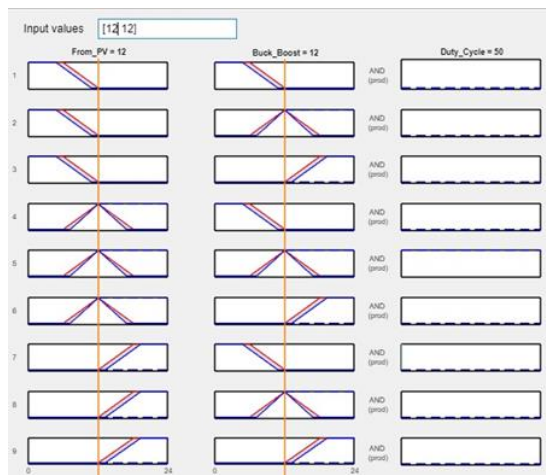
Gambar 12. Sistem Fuzzy

Gambar ini menampilkan hasil perancangan sistem yang diimplementasikan dengan menggunakan logika fuzzy. Dalam desain ini, sistem berfungsi untuk mengolah data yang diterima dari sensor, seperti tegangan dan arus. Berdasarkan data tersebut, sistem kemudian menghasilkan output yang berfungsi untuk mengatur orientasi panel surya, memastikan bahwa panel selalu berada dalam posisi optimal untuk menangkap sinar matahari secara maksimal. Dengan demikian, logika fuzzy berperan penting dalam pengambilan keputusan, memungkinkan sistem untuk menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi pencahayaan dan lingkungan secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi produksi energi dari panel surya.

	Rule	Weight	Name
1	If From_PV is Rendah and Buck_Boost is Rendah then Duty_Cycle is Normal	1	rule1
2	If From_PV is Rendah and Buck_Boost is Sedang then Duty_Cycle is Boost	1	rule2
3	If From_PV is Rendah and Buck_Boost is Tinggi then Duty_Cycle is Super_...	1	rule3
4	If From_PV is Sedang and Buck_Boost is Rendah then Duty_Cycle is Buck	1	rule4
5	If From_PV is Sedang and Buck_Boost is Sedang then Duty_Cycle is Normal	1	rule5
6	If From_PV is Sedang and Buck_Boost is Tinggi then Duty_Cycle is Boost	1	rule6
7	If From_PV is Tinggi and Buck_Boost is Rendah then Duty_Cycle is Super_...	1	rule7
8	If From_PV is Tinggi and Buck_Boost is Sedang then Duty_Cycle is Buck	1	rule8
9	If From_PV is Tinggi and Buck_Boost is Tinggi then Duty_Cycle is Normal	1	rule9

Gambar 13. Rules Base Sistem Fuzzy

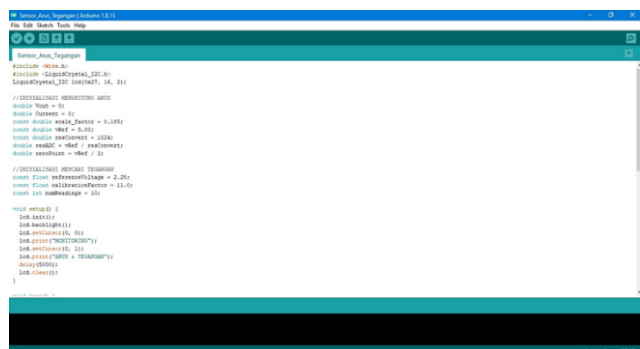
B. Rules inference sistem fuzzy



Gambar 14. Rules Inference Sistem Fuzzy

Dalam konteks sistem yang menggunakan logika fuzzy, gambar ini menggambarkan basis aturan yang menjadi pedoman dalam pengambilan keputusan. Basis aturan ini terdiri dari serangkaian aturan yang mengatur interaksi antara input yang diterima dari sensor dan output yang dihasilkan. Setiap aturan dirancang untuk mengidentifikasi kondisi tertentu dari input dan menetapkan respons yang sesuai. Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem dapat menangani ketidakpastian dan variasi dalam data sensor, sehingga output yang dihasilkan lebih adaptif dan efisien. Aturan-aturan ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik dalam berbagai kondisi, memaksimalkan kinerja keseluruhan sistem.

C. Coding



Gambar 15. Sistem Coding

Gambar ini menggambarkan tahapan inferensi dalam sistem yang menggunakan logika fuzzy. Proses ini melibatkan penerapan aturan-aturan yang telah dirancang sebelumnya untuk menganalisis dan menafsirkan input yang diterima dari sensor. Input tersebut dapat mencakup berbagai parameter, seperti tegangan dan arus yang diukur dari panel surya. Dengan menggunakan aturan-aturan ini, sistem dapat menghasilkan keputusan yang tepat, yang pada gilirannya akan mempengaruhi output dan kontrol panel surya. Proses inferensi ini sangat penting karena memungkinkan sistem untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi dan memberikan respons yang optimal, sehingga meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan dari sistem energi terbarukan.

D. Hasil pengujian fuzzy pada buckboost converter

Implementasi alat dengan fuzzy logic bertujuan untuk melihat hasil implementasi pada MPPT.



Gambar 16. Implementasi Hardware

E. Hasil dari pengukuran

Tabel 1. Data Pin

Wib	P in	V in	I in
09.00	31,13397 W	15,39 V	2,023 A
09.20	48,9 W	16,3 V	3 A
09.40	43,7004 W	17,91 V	2,44 A
10.00	46,8864 W	17,76 V	2,64 A
10.20	49,896 W	17,82 V	2,8 A
10.40	52,5378 W	17,87 V	2,94 A
11.00	50,4384 W	17,76 V	2,84 A
11.20	48,73 W	17,72 V	2,75 A
11.40	49,84 W	17,8 V	2,8 A
12.00	66,24 W	18,4 V	3,6 A

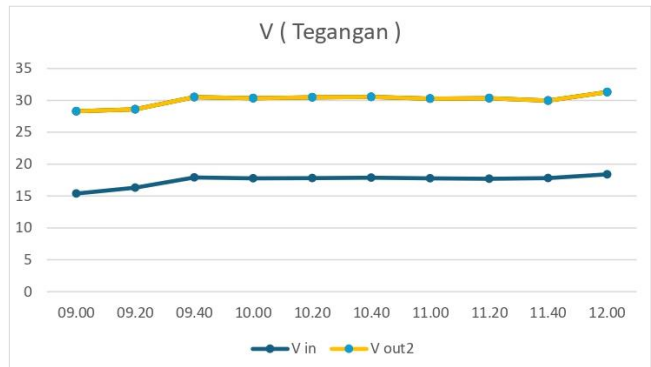
Tabel 2. Data Pout

Pukul	Satuan	V Out	I Out
09.00	19,35 W	12,9 V	1,5 A
09.20	23,37 W	12,3 V	1,9 A
09.40	22,68 W	12,6 V	1,8 A
10.00	23,902 W	12,58 V	1,9 A
10.20	23,8896 W	12,64 V	1,89 A
10.40	24,073 W	12,67 V	1,9 A
11.00	22,2678 W	12,51 V	1,78 A
11.20	19,6872 W	12,62 V	1,56 A
11.40	19,44 W	12,15 V	1,6 A
12.00	25,78 W	12,89 V	2 A

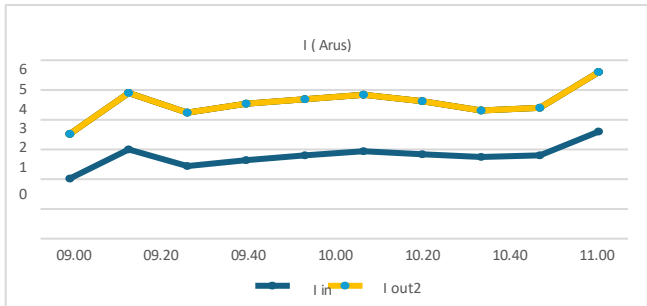
Dapat dilihat dari data diatas tegangan dan arus yang dihasilkan mengalami konversi yang dari Pin ke Pout menjadi

12 volt. Untuk data daya, di dapatkan dengan melakukan perkalian tegangan dan arus yang di hasilkan oleh panel surya.

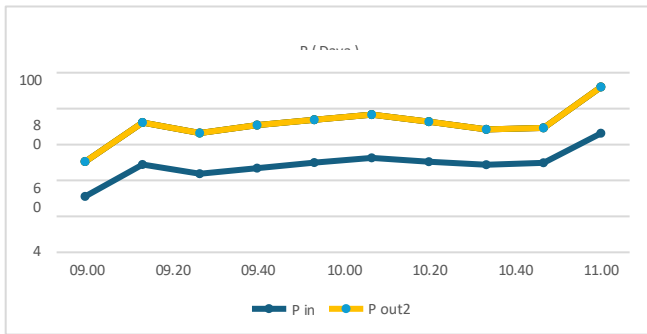
$P = V \times I$
Keterangan:
P : Daya (wat)
V : Tegangan (V)
I : Arus (A)



Gambar 17. Grafik V In Dan V Out



Gambar 18. Grafik I In Dan I Out



Gambar 19. Grafik P In Dan P Out

Dalam data grafik tersebut, terdapat dua hasil yang dibedakan berdasarkan penggunaan buck-boost converter. Garis berwarna kuning menunjukkan hasil tanpa penerapan buck-boost converter, yang mungkin merepresentasikan kondisi dasar atau awal tanpa pengaturan tambahan. Di sisi lain, garis berwarna biru mencerminkan hasil yang lebih rendah, yang diakibatkan oleh penggunaan buck-boost converter. Converter ini diatur untuk mencapai tegangan keluaran referensi (Vout ref) sebesar 12 volt. Dengan adanya pengaturan ini, grafik biru menunjukkan bahwa penggunaan buck-boost converter mempengaruhi nilai yang dihasilkan,

terutama dalam menjaga stabilitas tegangan pada target yang telah ditentukan, yaitu 12V.

Tabel 3. Data Pin

Pukul	P in	V in	I in	Cuaca	Suhu
09.00	33,088 W	15,04 V	2,2 A	cerah berawan	27
09.20	48,09 W	16,03 V	3 A	cerah berawan	27
09.40	43,676 W	17,9 V	2,44 A	cerah berawan	28
10.00	46,728 W	17,7 V	2,64 A	cerah berawan	28
10.20	49,84 W	17,8 V	2,8 A	cerah berawan	28
10.40	51,156 W	17,4 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	53,7 W	17,9 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	58,41 W	17,7 V	3,3 A	cerah berawan	29
11.40	64,08 W	17,8 V	3,6 A	cerah berawan	29
12.00	73,6 W	18,4 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	70,3 W	18,5 V	3,8 A	cerah berawan	30
12.40	70,68 W	18,6 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	66,5 W	17,5 V	3,8 A	cerah berawan	31
13.20	57,6 W	16 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	54,215 W	15,49 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	40,32 W	14,4 V	2,8 A	cerah berawan	29
14.20	37,44 W	14,4 V	2,6 A	berawan	29
14.40	39,76 W	14,2 V	2,8 A	berawan	29
15.00	34,875 W	13,95 V	2,5 A	berawan	28
1520	29,92 W	13,6 V	2,2 A	berawan	28
15.40	27,5W	12,5 V	2,2 A	berawan	30
16.00	25,254 W	12,2 V	2,07 A	berawan	28

Tabel 3. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Senin 26 Agustus 2024.

Tabel 4. Data Pin

Pukul	P in	V in	I in	Cuaca	Suhu
09.00	34,5 W	15 V	2,3 A	cerah berawan	27
09.20	50,904 W	16,8 V	3,03 A	cerah berawan	27
09.40	42,96 W	17,9 V	2,4 A	cerah berawan	28
10.00	46,02 W	17,7 V	2,6 A	cerah berawan	28
10.20	49,56 W	17,7 V	2,8 A	cerah berawan	28
10.40	51,156 W	17,4 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	52,5 W	17,5 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	54,6915 W	18,05 V	3,03 A	cerah berawan	29
11.40	55,1718 W	18,03 V	3,06 A	cerah berawan	29
12.00	73,6 W	18,4 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	74,37 W	18,5 V	4,02 A	cerah berawan	30
12.40	70,68 W	18,6 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	64,872 W	18,02 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.20	60,12 W	16,7 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	54,215 W	15,49 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	40,32 W	14,4 V	2,8 A	cerah berawan	29
14.20	37,44 W	14,4 V	2,6 A	berawan	29
14.40	39,76 W	14,2 V	2,8 A	berawan	29
15.00	30,69 W	13,95 V	2,2 A	berawan	28
1520	34 W	13,6 V	2,5 A	berawan	28
15.40	27,5 W	12,5 V	2,2 A	berawan	30
16.00	25,376 W	12,2 V	2,08 A	berawan	28

Tabel 4. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Selasa 27 Agustus 2024

Tabel 5. Data Pin

Pukul	P in	V in	I in	Cuaca	Suhu
09.00	36,34 W	15,8 V	2,3 A	cerah berawan	27
09.20	48 W	16 V	3 A	cerah berawan	27
09.40	41,52 W	17,3 V	2,4 A	cerah berawan	28
10.00	44,2 W	17 V	2,6 A	cerah berawan	28
10.20	49 W	17,5 V	2,8 A	cerah berawan	28

10.40	49,98 W	17 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	53,7 W	17,9 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	54,237 W	17,9 V	3,03 A	cerah berawan	29
11.40	56,304 W	18,4 V	3,06 A	cerah berawan	29
12.00	73,6 W	18,4 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	74,772 W	18,6 V	4,02 A	cerah berawan	30
12.40	70,3 W	18,5 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	64,44 W	17,9 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.20	63 W	17,5 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	59,5 W	17 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	46,2 W	16,5 V	2,8 A	cerah berawan	29
14.20	39 W	15 V	2,6 A	berawan	29
14.40	41,44 W	14,8 V	2,8 A	berawan	29
15.00	30,8 W	14 V	2,2 A	berawan	28
1520	34,875 W	13,95 V	2,5 A	berawan	28
15.40	30,36 W	13,8 V	2,2 A	berawan	30
16.00	26,208 W	12,6 V	2,08 A	berawan	28

Tabel 5. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Selasa 28 Agustus 2024

Tabel 6. Data Pout

Pukul	P out	V out	I Out	Cuaca	Suhu
09.00	26,4 W	12 V	2,2 A	cerah berawan	27
09.20	38,1 W	12,7 V	3 A	cerah berawan	27
09.40	31,232 W	12,8 V	2,44 A	cerah berawan	28
10.00	33,792 W	12,8 V	2,64 A	cerah berawan	28
10.20	35,84 W	12,8 V	2,8 A	cerah berawan	28
10.40	37,632 W	12,8 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	38,4 W	12,8 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	42,24 W	12,8 V	3,3 A	cerah berawan	29
11.40	46,08 W	12,8 V	3,6 A	cerah berawan	29
12.00	51,2 W	12,8 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	49,02 W	12,9 V	3,8 A	cerah berawan	30
12.40	49,02 W	12,9 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	48,64 W	12,8 V	3,8 A	cerah berawan	31
13.20	45,72 W	12,7 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	44,1 W	12,6 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	35 W	12,5 V	2,8 A	cerah berawan	29
14.20	32,5 W	12,5 V	2,6 A	berawan	29
14.40	35 W	12,5 V	2,8 A	berawan	29
15.00	31 W	12,4 V	2,5 A	berawan	28
1520	27,28 W	12,4 V	2,2 A	berawan	28
15.40	27,06 W	12,3 V	2,2 A	berawan	30
16.00	24,84 W	12 V	2,07 A	berawan	28

Tabel 6. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Senin 26 Agustus 2024.

Tabel 7. Data P Out

Pukul	P Out	V Out	I Out	Cuaca	Suhu
09.00	28,29 W	12,3 V	2,3 A	cerah berawan	27
09.20	38,481 W	12,7 V	3,03 A	cerah berawan	27
09.40	30,744 W	12,81 V	2,4 A	cerah berawan	28
10.00	33,28 W	12,8 V	2,6 A	cerah berawan	28
10.20	35,84 W	12,8 V	2,8 A	cerah berawan	28
10.40	37,632 W	12,8 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	38,4 W	12,8 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	39,087 W	12,9 V	3,03 A	cerah berawan	29
11.40	39,474 W	12,9 V	3,06 A	cerah berawan	29
12.00	51,6 W	12,9 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	51,858 W	12,9 V	4,02 A	cerah berawan	30
12.40	49,02 W	12,9 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	46,44 W	12,9 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.20	45,72 W	12,7 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	44,1 W	12,6 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	35 W	12,5 V	2,8 A	cerah berawan	29

14.20	32,5 W	12,5 V	2,6 A	berawan	29
14.40	35 W	12,5 V	2,8 A	berawan	29
15.00	27,28 W	12,4 V	2,2 A	berawan	28
1520	31 W	12,4 V	2,5 A	berawan	28
15.40	27,06 W	12,3 V	2,2 A	berawan	30
16.00	24,4 W	12,2 V	2 A	berawan	28

Tabel 7. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Selasa 27 Agustus 2024.

Tabel 8. Data P Out

Pukul	P Out	V Out	I Out	Cuaca	Suhu
09.00	28,98 W	12,6 V	2,3 A	cerah berawan	27
09.20	38,1 W	12,7 V	3 A	cerah berawan	27
09.40	30,72 W	12,8 V	2,4 A	cerah berawan	28
10.00	33,28 W	12,8 V	2,6 A	cerah berawan	28
10.20	35,84 W	12,8 V	2,8 A	cerah berawan	28
10.40	37,926 W	12,9 V	2,94 A	cerah berawan	28
11.00	38,4 W	12,8 V	3 A	cerah berawan	29
11.20	38,784 W	12,8 V	3,03 A	cerah berawan	29
11.40	39,474 W	12,9 V	3,06 A	cerah berawan	29
12.00	51,56 W	12,89 V	4 A	cerah berawan	30
12.20	51,858 W	12,9 V	4,02 A	cerah berawan	30
12.40	48,982 W	12,89 V	3,8 A	cerah berawan	30
1300	46,08 W	12,8 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.20	46,08 W	12,8 V	3,6 A	cerah berawan	31
13.40	44,8 W	12,8 V	3,5 A	cerah berawan	31
14.00	35 W	12,5 V	2,8 A	cerah berawan	29
14.20	32,24 W	12,4 V	2,6 A	berawan	29
14.40	34,44 W	12,3 V	2,8 A	berawan	29
15.00	27,28 W	12,4 V	2,2 A	berawan	28
1520	30,5 W	12,2 V	2,5 A	berawan	28
15.40	26,84 W	12,2 V	2,2 A	berawan	30
16.00	24,96 W	12 V	2,08 A	berawan	28

Tabel 8. diatas berisi data yang diambil dari panel surya mulai pukul 09.00 wib sampai 16.00 wib, terdapat data tegangan, arus, daya, cuaca dan suhu yang dilakukan pada hari Rabu 28 Agustus 2024.

1. Pengaruh Suhu:

- Panel surya memang bergantung pada sinar matahari untuk beroperasi, namun panas berlebih bisa menjadi masalah. Ketika suhu lingkungan atau suhu panel itu sendiri menjadi terlalu tinggi, sel fotovoltaik yang ada di dalam panel mengalami peningkatan resistansi internal. Resistansi ini membuat arus listrik yang dihasilkan lebih sulit mengalir, yang pada gilirannya menurunkan tegangan output dari panel. Hasil akhirnya adalah penurunan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Panel surya biasanya lebih efisien dalam kondisi cuaca yang cerah tapi sejuk, di mana ada cukup sinar matahari namun suhu tetap terkendali.
- Suhu rendah memberikan kondisi yang lebih optimal bagi panel surya untuk beroperasi. Saat suhu lebih dingin, resistansi internal dalam sel fotovoltaik berkurang, yang memungkinkan arus listrik mengalir lebih efisien dan menghasilkan tegangan output yang lebih stabil. Dengan demikian, panel surya dapat bekerja dengan lebih baik dan memanfaatkan sinar matahari yang tersedia secara maksimal. Meskipun sinar matahari yang kuat diperlukan untuk produksi energi, suhu rendah sebenarnya mendukung efisiensi konversi energi, yang berarti pada hari-hari cerah tapi

sejuk, panel surya dapat mencapai kinerja terbaiknya.

2. Pengaruh Cuaca:

- Pada cuaca berawan, meskipun matahari masih ada, intensitas sinarnya jauh berkurang karena tertutup awan. Hal ini menyebabkan jumlah cahaya yang sampai ke panel surya juga menurun. Meskipun begitu, panel surya tetap mampu menangkap dan mengubah sebagian kecil cahaya yang tersisa menjadi listrik. Namun, efisiensi produksi energi pada cuaca mendung biasanya turun drastis, hanya mencapai sekitar 10% hingga 25% dari kapasitas maksimalnya. Panel surya didesain untuk tetap berfungsi dalam berbagai kondisi pencahayaan, namun performa terbaiknya tentu akan terlihat di bawah sinar matahari yang langsung dan cerah.
- Hujan dapat memiliki efek positif pada panel surya karena membantu menghilangkan debu, kotoran, atau partikel lainnya yang mungkin menempel di permukaan panel. Setelah dibersihkan oleh hujan, panel surya dapat lebih efisien menangkap sinar matahari, terutama saat cuaca kembali cerah. Namun, salju bisa menjadi masalah bagi panel surya. Saat salju menumpuk di atas panel, permukaannya tertutup, dan ini mencegah panel menangkap sinar matahari. Sebagai solusi, beberapa desain panel surya memiliki sudut kemiringan khusus yang dirancang agar salju bisa dengan mudah meluncur dari permukaannya, menjaga agar panel tetap berfungsi optimal.
- Meskipun angin tidak memiliki dampak langsung pada proses konversi energi dalam panel surya, kehadiran angin yang kencang dapat memberikan manfaat dengan mendinginkan permukaan panel. Ketika panel surya lebih dingin, efisiensi konversi energi menjadi lebih baik karena resistansi internal pada sel fotovoltaik berkurang. Dengan kata lain, angin berfungsi sebagai pendingin alami yang dapat membantu panel surya beroperasi lebih efisien, terutama dalam kondisi panas. Sehingga, meskipun angin tidak terlibat dalam proses produksi energi, perannya dalam menjaga suhu panel tetap rendah dapat berkontribusi positif terhadap kinerja keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Buck-boost Converter dalam pengendalian panel surya berkontribusi positif terhadap efisiensi daya yang dihasilkan. Dengan adanya sistem kontrol berbasis logika fuzzy, panel surya dapat berfungsi lebih efektif, menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan model tanpa sistem kontrol. Keberhasilan ini dapat dijelaskan oleh kemampuan sistem untuk secara aktif mengatur posisi panel agar selalu menghadap ke arah sinar matahari dengan sudut yang tepat. Dengan demikian, daya yang diserap oleh panel surya menjadi maksimal, meningkatkan kinerja keseluruhan dari sistem energi terbarukan ini.

Analisis data menunjukkan bahwa suhu tidak mempengaruhi kinerja output panel surya secara langsung. Justru, kondisi dingin dapat meningkatkan efisiensi dan output yang

dihasilkan oleh panel. Di sisi lain, kondisi cuaca terbukti sangat berpengaruh terhadap produksi energi panel surya. Saat cuaca cerah atau cerah berawan, panel mampu memaksimalkan produksi energi, menghasilkan output yang tinggi. Namun, ketika cuaca berawan, intensitas sinar matahari yang mencapai panel berkurang, yang mengakibatkan penurunan dalam output energi. Hal ini menekankan pentingnya memahami faktor cuaca dan suhu dalam merancang sistem energi surya yang efektif.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk:

1. Salah satu rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas penggunaan energi surya adalah dengan memilih panel surya yang memiliki kapasitas lebih besar. Dengan menggunakan panel yang lebih besar, jumlah energi yang dihasilkan akan meningkat, memungkinkan sistem untuk menyediakan daya yang lebih banyak. Hal ini sangat bermanfaat jika energi surya ingin diterapkan dalam aplikasi yang lebih luas, seperti pemukiman besar, fasilitas industri, atau proyek energi terbarukan berskala besar. Penggunaan panel berkapasitas tinggi juga dapat mengurangi kebutuhan untuk menginstal banyak panel kecil, yang pada gilirannya dapat menghemat ruang dan biaya instalasi. Menguji sistem kendali dengan algoritma lain selain Fuzzy Logic untuk mengetahui efektivitas dari masing-masing algoritma dalam pengontrolan panel surya.
2. Mengoptimalkan desain Buckboost Converter agar dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan mengurangi kehilangan daya selama proses konversi.
3. Menerapkan sistem kendali pada kondisi cuaca yang berbeda-beda untuk menguji kinerja sistem dalam berbagai skenario lingkungan yang mungkin terjadi.

VI. REFERENSI

- [1] I. Rahardjo and I. Fitriana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia," *Anal. Potensi Pembangkit List. Tenaga Surya Indones.*, pp. 43–52
- [2] S. Saravanan and N. R. Babu, "Performance analysis of boost & Cuk converter in MPPT based PV system," *IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2015*, no. 1, 2015.
- [3] A. M. Eltamaly and A. Y. Abdelaziz, *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*. 2012.
- [4] H. N. Zainudin and S. Mekhilef, "Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV Systems," *Proc. 14th Int. Middle East Power Syst. Conf. (MEPCON'10)*, Cairo Univ. Egypt, no. 1, pp. 750–755, 2010.
- [5] M. H. Rashid, *Power Electronics : Devices, Circuits and Applications* (Fourth Edition). 2014.
- [6] Rizal Nurfajriansyah, "Perancangan Portable Powerbank Berbasis Panel Surya Sebagai Multipurpose Reserve Power Generation (Mrpg)," 2018.
- [7] N. Mohan, *Power Electronics Converters, Applications and Design 3rd*. 2003.

- [8] R. Rizky *et al.*, “Penerapa Metode Fuzzy Sugeno Untuk pengukuran Keakuratan Jarak Pada Pintu Otomatis di CV Bejo Perkasa,” *Jurnal Teknik Informatika Unika*, vol. 05, 2020.
- [9] S. UTAMI, S. SAODAH, and A. PUDIN, “Penggunaan Algoritma Incremental Conductance pada MPPT dengan Buck Converter untuk Pengujian Indoor dan Outdoor,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 1, p. 97, 2018.
- [10] N. Sultan Salahuddin, A. Setiyo Prayitno, S. Poernomo Sari, and J. *Sistem Komputer*, “*OPTIMALISASI SISTEM KENDALI PANEL SURYA*,” 2014.
- [11] A. Garg, B. Singh, and A. K. Rai, “*Design & Simulation of CUK converter based MPPT control scheme for PV array using DoubleDiode Model*,” vol. XIII, no. 6, pp. 752–757, 2021.

VII. BIODATA PENULIS



Among dwi wardani merupakan mahasiswa ITN Malang, kelahiran Lamongan 19 April 2003, dan merupakan lulusan SMAN 1 Sukodadi pada tahun 2020, dan hingga saat ini Among masih menjadi mahasiswa aktif ITN Malang, Email Among adalah amongdwiwardani@gmail.com.