

Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

¹Heru Purbo Waseso ²Abraham Lomi ³Awan Uji Krismanto

Teknik Elektro S1 Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹herupurbo55@gmail.com, ²abraham@lecturer.itn.ac.id, ³krismanto_awan@yahoo.com

Abstrak - Seiring dengan pertumbuhan penduduk maka peningkatan permintaan pada sistem kelistrikan semakin meningkat, sedangkan di Indonesia sendiri bahan-bahan fosil semakin berkurang dari waktu ke waktu sebagai bahan utama pembangkit. Untuk mengatasi situasi tersebut diperlukan teknologi yang ramah lingkungan seperti energi baru terbarukan (EBT) salah satunya yaitu pembangkit dengan *Photovoltaic (PV)* sebagai komponen utama. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki sifat bersih dan ramah lingkungan serta mudah dipindahkan dengan sifatnya yang modular. Perancangan pembangkit tenaga surya ini, menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dan *PI Controller*, dimana kedua metode tersebut digunakan untuk mencari titik puncak *maximum power (MP)* yang digunakan untuk fast charger dan *MPPT* yang disimulasikan menggunakan *MATLAB / Simulink*. Untuk mengembangkan sistem pembangkit ini dengan menggunakan kedua metode tersebut, hal yang perlu disajikan meliputi intensitas radiasi matahari, temperatur, dan juga membutuhkan modul *Photovoltaic (PV)*. Model yang dikembangkan akan memungkinkan untuk meneliti karakteristik pembangkit tenaga surya dan memprediksi jumlah energinya dihasilkan oleh panel surya di tempat tertentu serta membandingkan keefektifan metode *Fuzzy Logic* dan *PI*. Hasil dari penelitian ini, metode *Fuzzy* menghasilkan tegangan output boost converter dikisaran 600 V dengan hasil yang masih kurang bagus dan kurang stabil namun diradiasi 100 W/m² tegangan sudah stabil, sedangkan tegangan output boost converter yang dikontrol dengan metode *PI* sangat bagus dan stabil disegala kondisi radiasi serta tegangannya juga dikisaran 600 V.

Kata kunci – EBT, *Photovoltaic*, *Fuzzy Logic*, *PI*, *MPPT*, *Software Matlab*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan serta bersifat bersih dan ramah lingkungan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif. Alasan lain pemilihan PLTS sebagai pembangkit listrik alternatif ialah Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kW/m² perhari di seluruh wilayah, karena letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa[11]. Modul *Photovoltaic (PV)* digunakan untuk menghasilkan listrik dari cahaya, ketika sinar matahari jatuh pada modul PV, itu mengubah cahaya matahari menjadi listrik DC. Terlepas dari keunggulan sumber energi terbarukan, pembangkit listrik berbasis PV memiliki beberapa keuntungan tambahan lagi. Sistem berbasis PV tidak memiliki keausan yang mengakibatkan pemeliharaan lebih sedikit. Sistem berbasis PV digunakan dalam aplikasi yang berdiri sendiri seperti penerangan jalan, pemompaan air dan juga ditampung dalam sistem yang terhubung dengan jaringan [1]. Model sistem berbasis sirkuit modul PV membantu menganalisis kinerja modul PV komersial [1]. Pemodelan PV berbasis sirkuit sederhana diusulkan dalam [2],[3]. Metode penyesuaian karakteristik I-V model menggunakan Kecerdasan Buatan disajikan dalam [4]-[6]. Model modul PV berdasarkan sirkuit dan persamaan matematikanya menggunakan blok dasar dikembangkan di *MATLAB/Simulink* [1]. Penelitian ini juga berfokus pada desain DC-DC boost converter dan integrasi DC-DC boost converter dengan modul PV. DC-DC Boost converter dirancang dan

disimulasikan menggunakan *MATLAB*. Input dan output konverter diperoleh dari simulasi dalam kondisi loop terbuka dengan pasokan input DC konstan. Selanjutnya, output diambil dari converter dengan memberikan output modul PV sebagai input ke dalamnya [1].

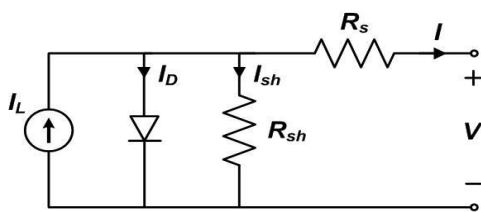
II. KAJIAN PUSTAKA

A. Photovoltaic

Modul Photovoltaic (PV) digunakan untuk menghasilkan listrik dari cahaya. Ketika sinar matahari jatuh pada modul PV, itu mengubah cahaya matahari menjadi listrik DC. Terlepas dari keunggulan sumber energi terbarukan, pembangkit listrik berbasis PV memiliki beberapa keuntungan tambahan lagi. Sistem berbasis PV tidak memiliki keausan yang mengakibatkan pemeliharaan lebih sedikit. Sistem berbasis PV digunakan dalam aplikasi yang berdiri sendiri seperti penerangan jalan, pemompaan air dan juga ditampung dalam sistem yang terhubung dengan jaringan [1]. Karakteristiknya bergantung pada jumlah sel surya seri dan paralel. Arus dan tegangan keluaran dari array PV tergantung pada seri dan resistansi shunt[12].

B. Pemodelan Modul PV

Sel fotovoltaik mengubah cahaya matahari langsung ke listrik. Sel PV yang ideal dimodelkan oleh sumber saat ini secara paralel dengan dioda. Karena tidak ada sel surya yang ideal oleh karena itu resistensi shunt dan seri ditambahkan ke model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. R_{sh} adalah resistensi shunt yang setara yang memiliki nilai sangat tinggi. R_s adalah resistensi seri intrinsik yang nilainya sangat kecil [2],[3].



Gambar 1. Rangkaian PV

Pemodelan sel surya termasuk mengimplementasikan satu set persamaan non-linear sebelum konstruksi sel surya yang disebutkan di bawah ini [3] :

Arus Fotovoltaik

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T - T_r)] * \frac{I_r}{I_{ro}} \quad (1)$$

Tegangan Termal

$$V_t = \frac{k * T}{q} \quad (2)$$

Arus Balik Saturasi

$$I_s = I_{sc} / \exp^{\frac{V_{oc}}{n * V_t}} - 1 \quad (3)$$

Arus Saturasi

$$I_o = I_s * \left(\frac{T_r}{T}\right)^3 * e^{\frac{E_g * q}{n * K} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right)} \quad (4)$$

Arus Shunt

$$I_{sh} = \frac{V * \frac{N_p}{N_s} + I * R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

Arus Dioda

$$I_d = I_o * N_p * \exp\left(\frac{\frac{V}{N_s} + \frac{I * R_s}{N_p}}{n * V_t}\right) \quad (6)$$

Arus Beban

$$I = (I_{ph} * N_p) - I_d - I_{sh} \quad (7)$$

Keterangan :

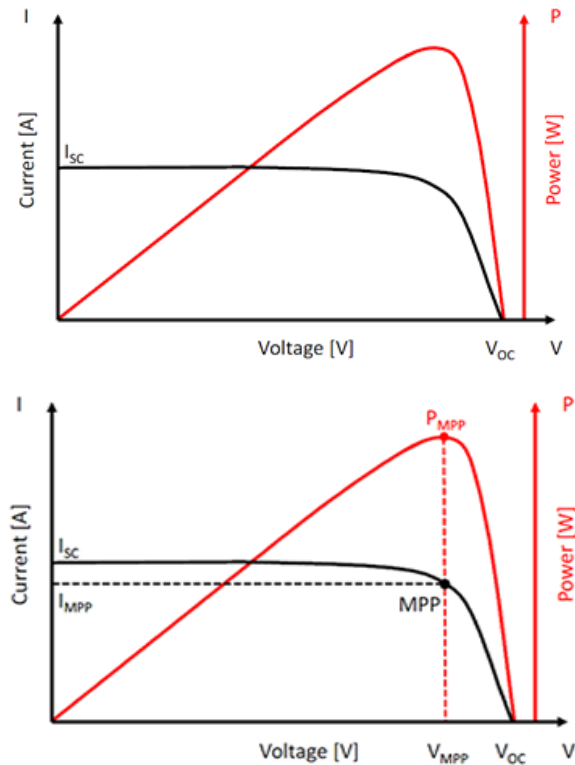
- I_{ph} : Arus fotovoltaik
- I_{sc} : Arus hubung singkat
- K_i : Koefisien temperatur
- T : Temperatur
- T_r : Nilai referensi temperatur
- I_r : Radiasi
- I_{ro} : Nilai referensi radiasi
- V_t : Tegangan Termal
- k : Konstanta taboltzman
($1,38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
- q : Muatan elektron ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
- I_s : Arus balik saturasi
- I_{sh} : Arus shunt
- V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka
- n : Faktor idealitas
- I_o : Arus Saturasi
- E_g : Energi gap
- N_p : Jumlah sel surya yang dihubungkan paralel
- N_s : Jumlah sel surya yang dihubungkan seri
- I : Sel keluaran arus
- R_s : Tahanan seri dioda
- R_{sh} : Tahanan shunt dari dioda
- I_d : Arus Dioda
- V : Tegangan operasi

C. Karakteristik PV

Sistem PV memiliki karakteristik I-V dan P-V non linear. Dua faktor utama yang mempengaruhi output sistem PV adalah suhu dan tingkat iradiasi. Perubahan suhu dan tingkat iradiasi mengakibatkan perubahan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem PV. Kondisi operasi nominal modul surya adalah suhu 25 C, iradiasi 1000 W/m² [1].

Karakteristik I-V dan P-V sel PV ditampilkan dalam Gambar 2.2. Tegangan sirkuit terbuka (Voc)

adalah tegangan maksimum yang dapat dihasilkan sel di bawah kondisi sirkuit terbuka pada $I = 0$ dan arus korsleting (I_{sc}) adalah arus yang sesuai dengan korsleting di $V = 0$. Melalui operasi, sel PV menghasilkan daya maksimum hanya pada satu titik dan titik ini disebut sebagai Maximum Power Point (MPP). I_m , V_m dan P_m dalam grafik adalah arus maksimum, tegangan maksimum dan daya maksimum sel surya masing-masing [1].

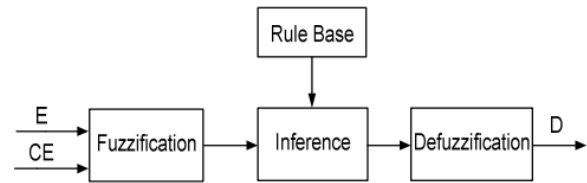


Gambar 2. Kurva I-V dan kurva karakteristik P-V dari Sel PV

D. Fuzzy Logic

FLC menjadi sangat populer dalam beberapa tahun terakhir, karena bekerja dengan input yang tidak tepat, tidak perlu model matematika yang akurat, sederhana dalam merancang dan juga dapat menangani non-linearitas sistem. Ini termasuk tiga langkah yaitu fuzzification, inferensi dan defuzzification [4]. Logika Fuzzy adalah varian lanjutan dari logika multinilai komputasi lunak. Ini mampu menangani nilai kebenaran variabel yang mungkin merupakan angka riil antara 0 dan 1. Logika Boolean memiliki pendekatan yang sama sekali berbeda, di mana nilai kebenaran variabel hanya dapat menahan nilai bilangan bulat 0 atau 1 [5]. Logika fuzzy membuktikan itu layak dengan utilitas yang tangguh untuk menangani konsep kebenaran parsial, di mana nilai kebenaran dapat berkisar antara benar sepenuhnya dan sepenuhnya salah. Kelebihan Fuzzy Logic Controllers ini dapat dimanfaatkan untuk

keberhasilan mengimplementasikan pelacak power point maksimum dalam fotovoltaik [5].



Gambar 3. Blok Diagram Fuzzy Controller

Dua input tersebut yaitu *change of error* (CE) dan *error* (E) didefinisikan sebagai [6],

$$E(k) = \frac{P_{PV}(k) - P_{PV}(k-1)}{V_{PV}(k) - V_{PV}(k-1)} \quad (8)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (9)$$

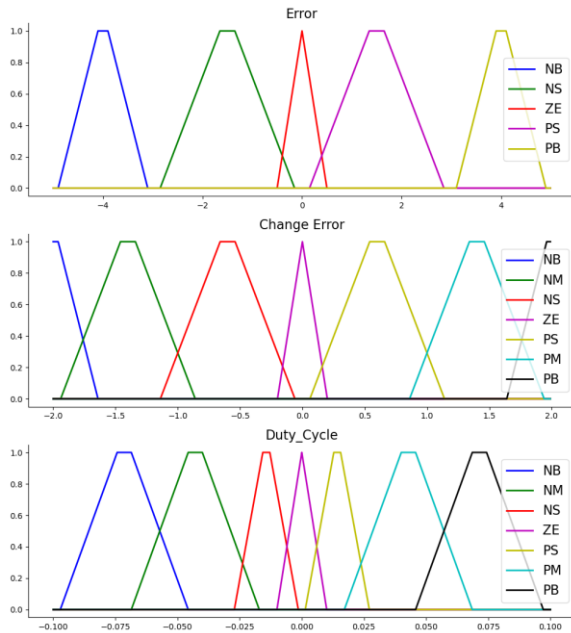
Dimana, P_{pv} adalah daya sesaat dari inferensi fuzzy array PV yang diproses menggunakan metode Mamdani. Defuzzifikasi menggunakan pusat gravitasi untuk memproses keluaran yang merupakan duty cycle [6].

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(D_j) \cdot D_j}{\sum_{j=1}^n \mu(D_j)} \quad (10)$$

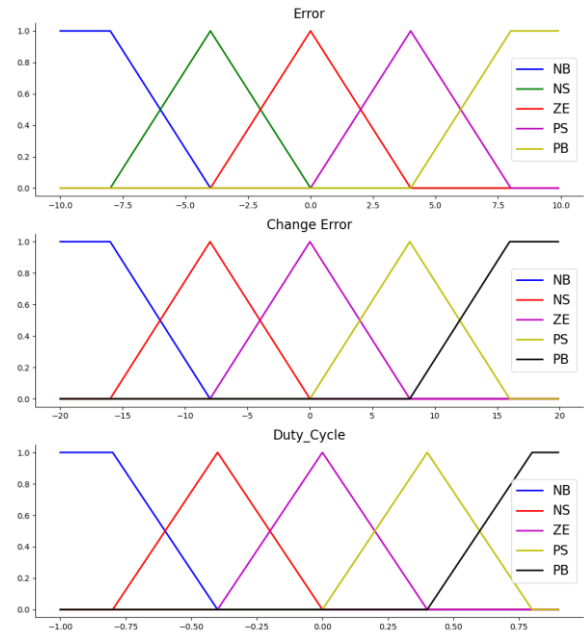
Basis aturan fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini, diberikan dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 sebagai [6], variabel input dan output, berdasarkan rentangnya ditetapkan ke himpunan fuzzy berbeda yang dilambangkan dengan variabel linguistik. Setiap variabel linguistik didefinisikan dengan fungsi keanggotaan tertentu. Fungsi ini mengubah nilai crisp menjadi nilai fuzzy. Satu set fungsi keanggotaan didefinisikan untuk lima variabel fuzzy, masing-masing NB(Negatif-Besar), NM(Negatif-Sedang), NS(Negatif-Kecil), ZE(Zero-Equal), PS(Positif-Kecil), PM(Positif-Sedang), dan PB(Positif-Besar) [14].

Tabel 1. Rule Fuzzy Logic MPPT

CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	NM	NM	NB	NB
NS	PB	PM	PS	NS	NS	NM	NB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NB	NM	NS	PS	PS	PM	PB
PB	NB	NB	NM	PM	PM	PB	PB



Gambar 4. Ploting Rule Fuzzy Logic MPPT



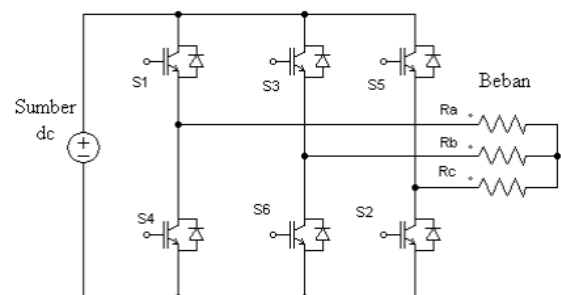
Gambar 5. Ploting Rule Fuzzy Logic Baterai

Tabel 2. Rule Fuzzy Logic Baterai

ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
E	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

E. Inverter Tiga Phase

Inverter dipakai pada banyak aplikasi yang fungsi utamanya adalah untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Untuk pemilihan inverter tersedia berbagai topologi sesuai dengan kebutuhan seperti Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI) baik satu fasa, tiga fasa ataupun multilevel. VSI memberikan kinerja yang lebih baik dan juga lebih efisien dari pada CSI [13]. Inverter menggunakan penyesuaian lebar pulsa menggunakan sakelar, yang berguna untuk menguraikan tegangan hasil AC seperti gelombang sinus [7]. Rangkaian dasar inverter tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.6, terdiri dari 6 buah komponen pensaklaran dengan sudut konduksi yang berbeda. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, inverter merupakan komponen utama untuk mengkonversikan tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik sesuai dengan kebutuhan beban [13].



Gambar 6. Rangkaian Inverter 3 Phase

F. LC Filter Inverter Tiga Phase

LC filters digunakan untuk menekan harmonik yang dihasilkan karena beralih operasi konverter elektronik daya. Di sini, desain filter memainkan aturan penting untuk menghubungkan ke grid lokal karena harmonik saat ini harus disimpan dalam batas aman yang ditentukan oleh standar. Parameter filter dirancang berdasarkan tujuan gabungan dengan meminimalkan fungsi biaya, *total harmonic distortion* (THD) dan penundaan waktu. Konsep fungsi transfer digunakan untuk merancang parameter LC filter[8]. Rangkaian daya inverter tiga fase dengan filter LC output yang dipertimbangkan dalam jurnal ini ditampilkan pada Gambar 2.7. Model konverter dan filter disajikan di sini, dan beban diasumsikan tidak diketahui. Keadaan peralihan konverter ditentukan oleh sinyal gating S_a , S_b , dan S_c sebagai berikut [9]:

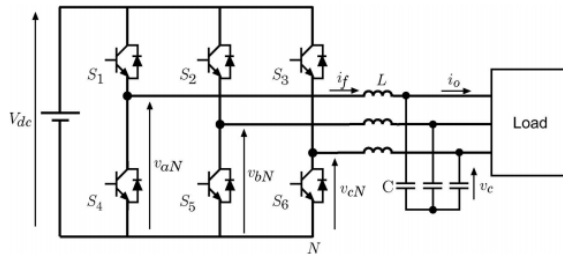
$$S_a = \begin{cases} 1 & \text{jika } S_1 \text{ hidup dan } S_4 \text{ mati} \\ 0 & \text{jika } S_1 \text{ mati dan } S_4 \text{ hidup} \end{cases} \quad (11)$$

$$S_b = \begin{cases} 1 & \text{jika } S_2 \text{ hidup dan } S_5 \text{ mati} \\ 0 & \text{jika } S_2 \text{ mati dan } S_5 \text{ hidup} \end{cases} \quad (12)$$

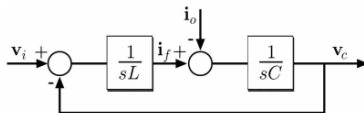
$$S_c = \begin{cases} 1 & \text{jika } S_3 \text{ hidup dan } S_6 \text{ mati} \\ 0 & \text{jika } S_3 \text{ mati dan } S_6 \text{ hidup} \end{cases} \quad (13)$$

dan dapat diekspresikan dalam bentuk vektorial dengan [9],

$$S = \frac{2}{3}(S_a + aS_b + a^2S_c) \quad (14)$$



Gambar 7. Inverter Tiga Phase dengan Output LC Filter

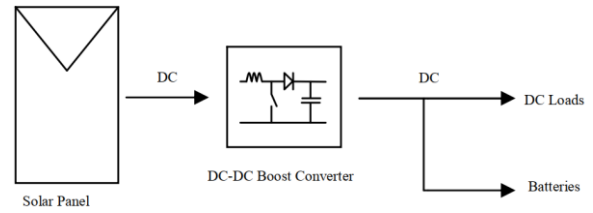


Gambar 8. Model LC Filter

G. Boost Converter

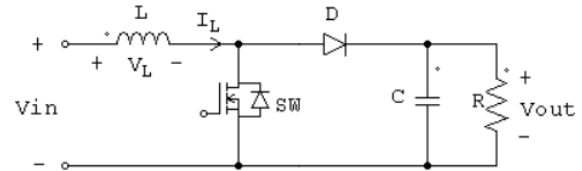
Boost converter digunakan dalam sistem energi terbarukan untuk meningkatkan tegangan output DC konstan ke tegangan yang lebih tinggi yang nantinya diperlukan oleh beban dan baterai. Desain dan pengembangan boost converter terutama menyangkut efisiensi, daya output, dan kemudahan desainnya.

Energi terbarukan seperti solar dan angin menggunakan boost converter sebagai media transmisi daya untuk melakukan penyerapan energi dan injeksi ke beban dan baterai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 [10].



Gambar 9. Blok Diagram Sistem Solar

Proses penyerapan dan injeksi energi dilakukan dengan kombinasi empat komponen yaitu induktor, elektronik switch, diode dan output kapasitor. Rangkaian boost converter ditampilkan pada gambar 2.10. Proses penyerapan dan injeksi energi merupakan siklus *switching*. Dengan kata lain, tegangan output rata-rata dikendalikan oleh durasi nyalakan dan matikan. Pada frekuensi pengalihan konstan, menyesuaikan durasi hidup dan mati sakelar disebut pengalihan modulasi lebar pulsa. Siklus peralihan tugas, k didefinisikan sebagai rasio durasi pada periode waktu pengalihan. Penyerapan dan injeksi energi dengan durasi relatif periode switching akan mengoperasikan converter dalam dua mode berbeda yang dikenal sebagai mode konduksi berkelanjutan dan mode konduksi yang dihentikan [10]. Untuk spesifikasi boost converter dalam perancangan ini, bisa dilihat pada tabel 2.3.



Gambar 10. Boost Converter

Tabel 3. Spesifikasi Boost Converter

Boost Converter	
Parameter	Nilai
Input voltage	492,8 V
Output voltage	600,2 V
Switching frequency	10 kHz
Inductor	1.45e-3 H
Capacitor	3227e-6 F
Resistor	1e-3 Ω
Capasitor 1	1000e-6 F

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya antara lain :

1. Kajian Literatur
2. Perancangan dan Pemodelan
3. Analisa Data

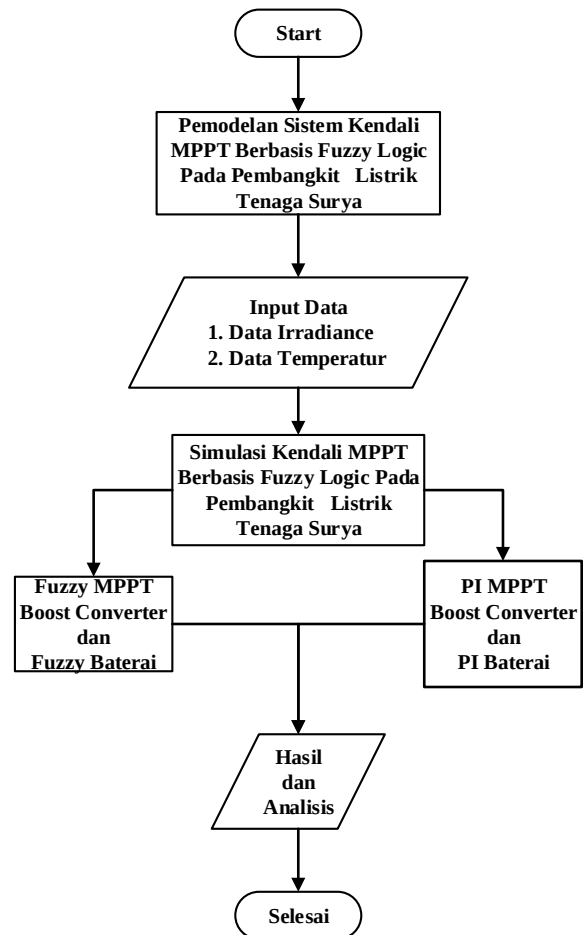
A. Sistem Pemodelan

1. Pemodelan yang dilakukan menggunakan Matlab Simulink, serta model simulasi yang dikembangkan memungkinkan untuk :
 - Menciptakan karakteristik solar cell dalam bentuk nyata.
 - Memprediksi jumlah energi yang dihasilkan dibawah kondisi tertentu.
 - Mengidentifikasi kondisi operasi optimal dari pemasangan Fotovoltaik
2. Ketentuan simulasi sebagai berikut :
 - Penentuan radiasi dan temperatur.
 - Simulasi menggunakan solar cell modul data 1Soltech 1STH-215-P.
3. Perancangan Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai berikut :
 - Pemodelan modul PV
 - Pemodelan fuzzy logic controller
 - Pemodelan boost converter
 - Pemodelan pengukuran sistem kendali pembangkit listrik
 - Pemodelan inverter 3 phase
 - Pemodelan beban
 - Pemodelan power grid

B. Flowchart

Pada gambar 3.1 memperlihatkan tentang alur simulasi yang dilakukan pada Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya mulai dari pemodelan sampai mendapatkan hasil berupa data dari analisa tersebut. Untuk lebih detailnya, urutannya sebagai berikut :

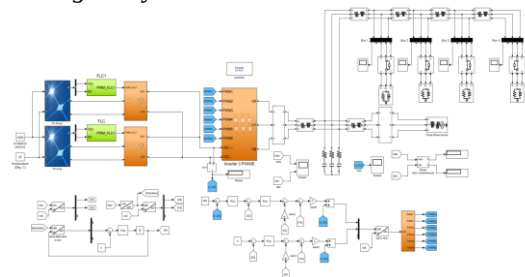
1. Melakukan pemodelan Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan software Matlab.
2. Memasukan data, berupa data irradiance dan temperatur sebagai input ke PV.
3. Mensimulasikan pemodelan tersebut.
4. Melakukan analisa meliputi: Fuzzy MPPT, Fuzzy Baterai, PI MPPT, dan PI Baterai.
5. Melihat hasil dari percobaan tersebut.



Gambar 11. Flowchart Simulasi MPPT

IV. SIMULASI DAN ANALISA

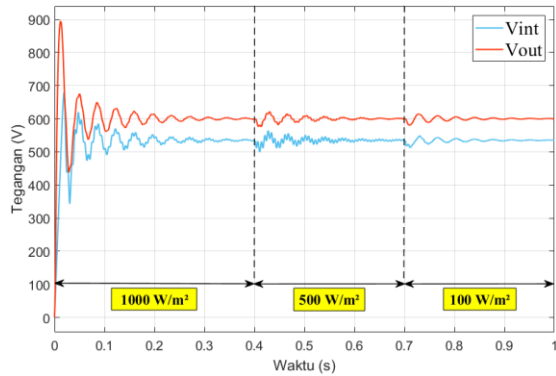
A. Gambar Sistem Kendali MPPT berbasis Fuzzy Logic pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 12. Simulink Sistem Kendali MPPT berbasis Fuzzy Logic pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan Matlab R2017a

B. Analisis MPPT Fuzzy

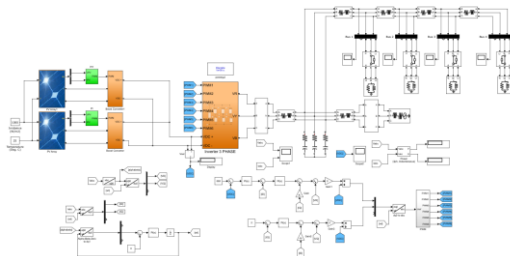
Studi kasus pertama yaitu membahas sistem MPPT metode Fuzzy dan pemberian radiasi yang berubah-ubah. Percobaan tersebut bertujuan untuk melihat reaksi kinerja MPPT yang diterapkan di sistem kendali tersebut.



Gambar 13. Grafik Tegangan Boost Converter

Gambar 13. menampilkan hasil tegangan kerja boost converter, ketika diberikan radiasi bervariasi mulai dari 1000 W/m² didetik 0s sampai 0.4s, 500 W/m² di detik 0.4s sampai 0.7s, dan 100 W/m² di detik 0.7s sampai 1s dengan pemberian temperatur yang sama disetiap perubahan radiasi yaitu 25°C. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tegangan output boost converter yang dikontrol dengan MPPT berbasis Fuzzy Logic lumayan bagus dan lumayan stabil dengan tegangan keluaran 598,6 V pada radiasi 1000 W/m², 600,2 V pada radiasi 500 W/m² dan 599,9 V pada radiasi 100 W/m².

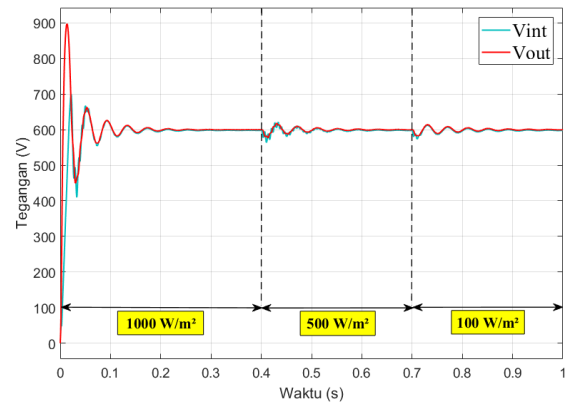
C. Gambar Sistem Kendali MPPT berbasis PI pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 14. Simulink Sistem Kendali MPPT berbasis PI pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan Matlab R2017a

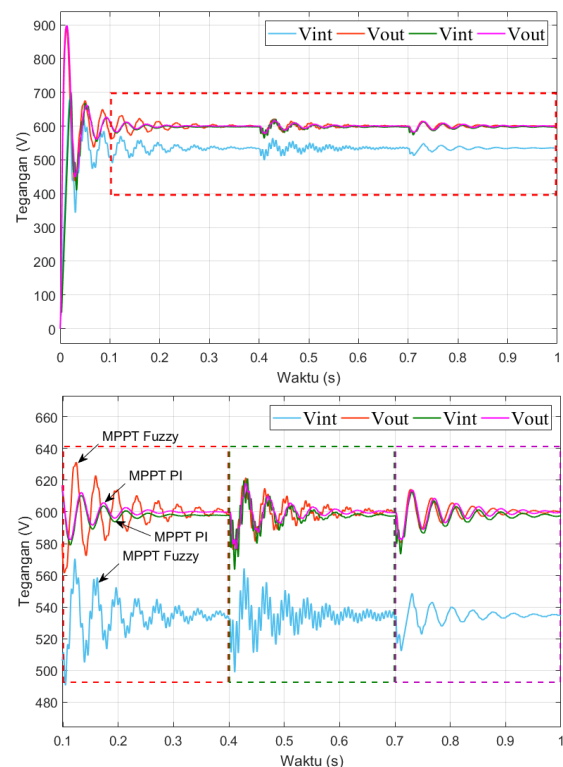
D. Analisis MPPT PI

Studi kasus kedua yaitu membahas sistem MPPT metode PI dan pemberian radiasi yang berubah-ubah meliputi 1000 W/m², 500 W/m², 100 W/m². Percobaan tersebut bertujuan untuk melihat reaksi kinerja MPPT yang diterapkan di sistem kendali tersebut.

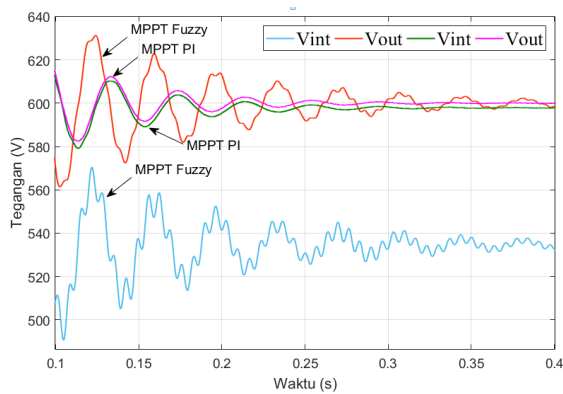


Gambar 15. Grafik Tegangan Boost Converter

Gambar 15. menampilkan hasil tegangan kerja boost converter, ketika diberikan radiasi bervariasi mulai dari 1000 W/m² di detik 0s sampai 0.4s, 500 W/m² di detik 0.4s sampai 0.7s, dan 100 W/m² di detik 0.7s sampai 1s dengan pemberian temperatur yang sama disetiap perubahan radiasi yaitu 25°C. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa tegangan output boost converter yang dikontrol dengan MPPT berbasis PI lebih bagus dan sudah stabil jika dibandingkan dengan MPPT berbasis Fuzzy Logic dengan tegangan keluaran 599,9 V pada radiasi 1000 W/m², 599,8 V pada radiasi 500 W/m² dan 599,9 V pada radiasi 100 W/m². Untuk lebih detailnya akan dijelaskan secara terpisah, berikut kedua metode tersebut, disatukan grafiknya dan hasilnya dapat dilihat seperti di gambar bawah ini.



Gambar 16. Grafik Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI

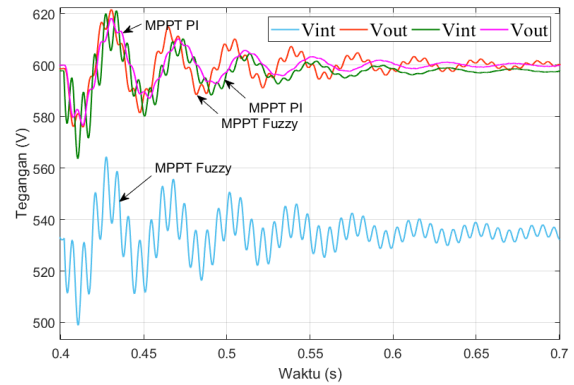


Gambar 17. Grafik Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 1000 W/m²

Gambar 17. menampilkan hasil tegangan kerja boost converter baik input maupun output, dimana saat diberikan radiasi 1000 W/m². Dapat dikaji lebih dalam lagi, bahwa tegangan input maupun output boost converter menggunakan MPPT PI sudah bagus dan dalam kondisi *steady state* di detik 0.4s dengan tegangan input 597,8 V dan tegangan output 599,9 V di detik 0.4s. Sedangkan untuk MPPT Fuzzy masih belum terlihat tanda-tanda dalam kondisi *steady state* didetik 0.4s dengan tegangan boost converter disisi input 532,5 V dan disisi output 598,6 V. Jika dibandingkan tegangan boost converter didetik 0.4s antara yang menggunakan MPPT PI dan MPPT Fuzzy disisi tegangan input, maka untuk selisih tegangan sangat jauh sekali yaitu 65,3 V. Sedangkan untuk selisih tegangan output boost converter antara MPPT PI dan MPPT Fuzzy tidak terlalu jauh yaitu 1,3 V.

Tabel 4. Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 1000 W/m² didetik 0,4s

MPPT PI		MPPT Fuzzy		Selisih Tegangan	
Tegangan		Tegangan		Tegangan	
Input	Output	Input	Output	Input	Output
597,8	599,9	532,5	598,6	65,3	1,3

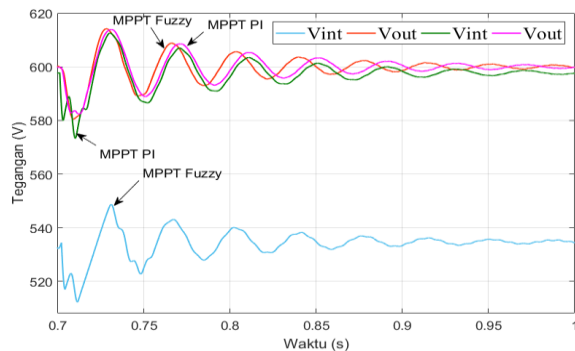


Gambar 18. Grafik Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 500 W/m²

Gambar 18. menampilkan hasil tegangan kerja boost converter baik input maupun output, dimana saat diberikan radiasi 500 W/m². Dapat dikaji lebih dalam lagi, bahwa tegangan input maupun output boost converter menggunakan MPPT PI sudah bagus dan dalam kondisi *steady state* di detik 0.7s dengan tegangan input 597,6 V dan tegangan output 599,8 V di detik 0.7s. Sedangkan untuk MPPT Fuzzy masih belum terlihat tanda-tanda dalam kondisi *steady state* didetik 0.7s dengan tegangan boost converter disisi input 532,4 V dan disisi output 600,2 V. Jika dibandingkan tegangan boost converter didetik 0.7s antara yang menggunakan MPPT PI dan MPPT Fuzzy disisi tegangan input, maka untuk selisih tegangan sangat jauh sekali yaitu 65,2 V. Sedangkan untuk selisih tegangan output boost converter antara MPPT PI dan MPPT Fuzzy tidak terlalu jauh yaitu 0,4 V.

Tabel 5. Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 500 W/m² didetik 0,7s

MPPT PI		MPPT Fuzzy		Selisih Tegangan	
Tegangan		Tegangan		Tegangan	
Input	Output	Input	Output	Input	Output
597,6	599,8	532,4	600,2	65,2	0,4



Gambar 19. Grafik Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 100 W/m²

Gambar 19. menampilkan hasil tegangan kerja boost converter baik input maupun output, dimana saat diberikan radiasi 100 W/m². Dapat dikaji lebih dalam lagi, bahwa tegangan input maupun output boost converter menggunakan MPPT PI sudah bagus dan dalam kondisi *steady state* di detik 1s dengan tegangan input 597,6 V dan tegangan output 599,9 V di detik 1s. Sedangkan untuk MPPT Fuzzy sudah terlihat tanda-tanda dalam kondisi *steady state* di detik 1s dengan tegangan boost converter disisi input 534,4 V dan disisi output 599,8 V. Jika dibandingkan tegangan boost converter di detik 1s antara yang menggunakan MPPT PI dan MPPT Fuzzy disisi tegangan input, maka untuk selisih tegangan sangat jauh sekali yaitu 63,2 V. Sedangkan untuk selisih tegangan output boost converter antara MPPT PI dan MPPT Fuzzy tidak terlalu jauh yaitu 0,1 V.

Tabel 6. Tegangan Boost Converter menggunakan MPPT Fuzzy dan MPPT PI Radiasi 100 W/m² di detik 1s

MPPT PI		MPPT Fuzzy		Selisih Tegangan	
Tegangan		Tegangan		Tegangan	
Input	Output	Input	Output	Input	Output
597,6	599,9	534,4	599,8	63,2	0,1

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dalam penelitian “Sistem Kendali MPPT Berbasis Fuzzy Logic pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya” ini yang difokuskan pada studi banding antara metode PI dan Fuzzy untuk melihat keefektifannya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. MPPT metode PI menghasilkan tegangan output boost converter yang bagus dan lebih stabil disetiap berbagai perubahan radiasi yang

dilakukan, dengan tegangan keluaran 599,9 V pada radiasi 1000 W/m², 599,8 V pada radiasi 500 W/m² dan 599,9 V pada radiasi 100 W/m² sedangkan tegangan output boost converter yang dikontrol dengan metode Fuzzy Logic kurang bagus dan kurang stabil di posisi radiasi 1000 W/m² dan radiasi 500 W/m² namun diradiasi 100 W/m² tegangan sudah menunjukkan stabil.

2. Hasil tegangan output boost converter yang menggunakan metode Fuzzy Logic dan PI masuk dikisaran tegangan 600 V dengan selisih tegangan output yang sangat kecil. Pada radiasi 1000 W/m² selisihnya 1,3 V, radiasi 500 W/m² selisihnya 0,4 V, dan radiasi 100 W/m² selisihnya 0,1 V.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sheik Mohammed and D. Devaraj, “Simulation and analysis of stand-alone photovoltaic system with boost converter using MATLAB/Simulink”, Proc. 2014 IEEE International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies. ICCPCT 2014, pp. 814-821, 2015.
- [2] H.A. Mohamed, H.A. Khattab, A. Mobarka, and G.A. Morsy, “Design, control and performance analysis of DC-DC boost converter for stand-alone PV system”, Proc. 2016 IEEE Eighteenth International Middle East Power Systems Conference. MEPCON 2016, pp. 1-6 , 2016.
- [3] Lalit Mohan Satapathy, Annadanapu Harshita, Md Saif, Paresk Kumar Dalai, and Subhashree Jena, “Comparative analysis of boost and buck-boost converter in photovoltaic power system under varying irradiance using MPPT”, Proc. 2018 IEEE Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies. ICICCT 2018, pp. 1828-1833, 2018.
- [4] Ratnesh Kumar, Bhavnesk Kumar, and Swaroop D, “Fuzzy Logic based Improved P&O MPPT Technique for Partial Shading Conditions”, Proc. 2018 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies. GUCON 2018, pp. 775-779, 2018.
- [5] M Praful Raj and Ann Mary Joshua, “Design, implementation and performance analysis of a LabVIEW based fuzzy logic MPPT controller for stand-alone PV systems”, Proc. 2017 IEEE

- International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering. ICPCSI 2017, pp. 1012-1017, 2017
- [6] Ankit Gupta, Pawan Kumar, Rupendra Kumar Pachauri, and Yogesh K. Chauhan, "Performance Analysis of Neural Network and Fuzzy Logic Based MPPT Techniques for Solar PV Systems", Proc. 2014 IEEE Power India International Conference. PIICON 2014, pp. 1-6, 2014
- [7] Wahab Ali Shah, Ali Shan, Hengxin He, Habib ur Rahman habib, and Junjia He, "Analysis and Design of a Modular 100 kW Stand Alone Power System", Proc. 2018 IEEE International Electrical and Energy Conference. CIEEC 2018, pp. 276-283, 2018
- [8] Subhradip Mondal, Pritam Kumar Gayen, and Kabita Gupta, "Study on Impact of LC-Filter Parameters Under Variable Loading Conditions of Three-Phase Voltage Source Inverter", Proc. 2018 IEEE Electron Devices Kolkata Conference. EDKCON 2018, pp. 132-136, 2018
- [9] Ihab S. Mohamed, Sherif Ahmed Zaid, and M.F. Abu Elyazeed, "Implementation of model predictive control for three-phase inverter with output LC filter on eZdsp F28335 Kit using HIL simulation", International Journal of Modelling Identification and Control, pp. 301-312, 2016.
- [10] S. Masri, and P. W. Chan, "Design and development of a DC-DC boost converter with constant output voltage", Proc. 2010 IEEE International Conference on Intelligent and Advanced Systems, pp. 1-4, 2010.
- [11] Irawan Rahardjo dan Ira Fitriana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia", Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan, pp. 43-52, 2010.
- [12] Mahesh Kumar, Krishna Kumar Pandey, Amita Kumari, dan Jagdish Kumar, "Fuzzy Logic Based MPPT Controller for PV Panel", pp. 501-510, 2019.
- [13] Asnil, Krismadinata, Irma Husnaini, "Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya", pp. 163-166, 2018.
- [14] Polamraju.V.S.Sobhan, M.Subba Rao, N.Bharath Kumar, A.Sriharibabu, "Design of Fuzzy Logic Based Photovoltaic Fed Battery Charging System", Proc. 2019 Journal of Green Engineering(JGE), pp. 270-281, 2019.