

Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Sistem Fotovoltaik Menggunakan Algoritma Incremental Conductance

Ardiansyah Lubis¹, Hafidh Hasan², Ira Devi Sara³

Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹ardian@mhs.unsyiah.ac.id

²hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

³ira.sara@unsyiah.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem regulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang menggunakan algoritma Incremental Conductance (IC-MPPT). Perancangan awal sistem PV dengan IC-MPPT menggunakan simulasi kemudian pengujian kinerjanya dalam bentuk perangkat keras menggunakan mikrokontroler sebagai pengendalinya. Pengujian perangkat keras dilakukan dalam ruangan untuk mengisolasi pengamatan kinerja algoritma MPPT dan efektifitasnya hanya terhadap perubahan iradiasi. Iradiasi diatur dengan menggunakan sumber cahaya buatan berupa lampu halogen. Dari pengujian diperoleh hasil daya output PV dapat mengikuti perubahan iradiasi.

Kata Kunci— Fotovoltaik, Maximum power point tracking, Panel surya, MPPT, incremental conductance.

I. PENDAHULUAN

Energi cahaya matahari atau energi surya adalah jenis sumber energi terbarukan yang jumlahnya sangat melimpah di alam yang bersumber dari matahari, dan paling umum dimanfaatkan saat ini untuk di konversi menjadi energi listrik menggunakan perangkat panel surya [1]. Panel surya mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik berupa sumber DC. Dalam penggunaan atau pemakaian secara mandiri (*stand alone*), energi matahari dari panel surya dapat dipakai secara langsung pada beban DC ataupun juga dapat disimpan dalam baterai untuk dipakai pada malam hari [2].

Salah satu permasalahan yang muncul dari penggunaan PV (photovoltaic) atau panel surya adalah jumlah daya listrik yang dihasilkan panel surya selalu berubah terhadap kondisi cuaca, misalnya iradiasi atau intensitas cahaya matahari dan suhu, sehingga daya keluaran panel kadang kala tidak mencapai kondisi maksimum dari daya keluaran sebenarnya dari panel surya terlebih pada kondisi dimana radiasi matahari yang rendah. Disisi lain, karakteristik kurva I-V pada panel surya tidak linier dan juga pada titik tertentu dalam koordinat V_{mpp} dan I_{mpp} mempunyai nilai daya maksimum yang disebut dengan Maximum Power Point (MPP) [3], [4].

Oleh karena itu, dibutuhkan metode kontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mencapai daya keluaran

maksimum dengan efisiensi yang tinggi secara *real time* pada panel surya [3], [4]. Ada berbagai jenis metode atau algoritma yang digunakan untuk mengimplementasikan Maximum Power Point Tracking (MPPT), seperti Perturb and Observe (P&O), PSO, incremental conductance (IC), fuzzy logic, neural network, dan lainnya. Namun, teknik atau metode P&O dan Incremental Conductance banyak digunakan terutama karena implementasi yang mudah dan biaya yang rendah [5].

Dari hasil yang didapat pada penelitian [5], jika kondisi radiasi matahari konstan atau berubah perlahan maka MPPT P&O beresilasi dekat dengan MPP, namun dalam keadaan radiasi matahari bervariasi maka metode P&O tidak efektif, sedangkan metode Incremental Conductance dapat menemukan MPP secara akurat pada kondisi radiasi yang berubah dengan cepat. Sedangkan pada penelitian [6] didapat bahwa metode incremental conductance memberikan keuntungan seperti efisiensi pelacakan yang baik, respon yang tinggi, dan kontrol yang baik untuk daya yang diserap.

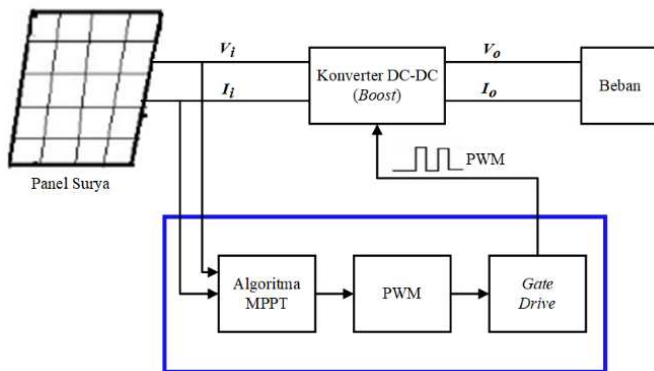
Berdasarkan uraian diatas, sistem MPPT dengan metode Incremental Conductance memiliki efisiensi dan keunggulan yang lebih baik dibandingkan metode Pertube and Observe. Merujuk pada penelitian sebelumnya [7], sistem MPPT pada panel surya dirancang menggunakan metode Hill Climbing atau P&O yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak PSIM. Dengan demikian, dalam penelitian ini akan dirancang sistem kendali output menggunakan metode MPPT algoritma Incremental Conductance dimana outputnya diatur dengan konverter DC-DC tipe *boost* yang akan disimulasikan dengan Simulink Matlab dan diimplementasinya menggunakan arduino uno sebagai pengendalinya.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Photovoltaic

Sistem *photovoltaic* (PV) adalah suatu sistem konversi energi dengan memanfaatkan energi surya atau cahaya matahari sebagai sumber dan di Indonesia dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Salah satu komponen dalam PV adalah panel surya yang berfungsi mengkonversi energi cahaya dalam bentuk foton menjadi

energi listrik [8]. Blok diagram sistem PLTS ditunjukkan seperti pada gambar 1 [9].



Gambar 1. Blok diagram sistem PLTS

Sistem PLTS ini terdiri dari beberapa komponen. Panel surya adalah sumber daya sistem ini, yang mendapatkan dayanya dari energi cahaya matahari. Panel surya tersebut menghasilkan tegangan input V_i dan arus input I_i yang akan menjadi sumber input bagi konverter boost dan sebagai data untuk algoritma MPPT untuk melacak daya maksimum dari panel surya, dan konverter DC-DC tipe boost untuk meningkatkan tegangan PV ke tegangan maksimum PV. Keluaran dari konverter tersebut berupa tegangan output V_o dan arus input I_o yang akan disalurkan menuju ke beban [9], [10].

B. Karakteristik Modul Surya

Modul surya merupakan sistem nonlinear yang mengkonversi energi surya menjadi listrik dalam bentuk arus dan tegangan. Hubungan arus dan tegangan dapat direpresentasikan dalam bentuk kurva karakteristik I-V, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.1(a). Kurva ini menunjukkan hubungan terbalik (invers). Area di bawah kurva I-V adalah daya maksimum yang akan dihasilkan oleh PV yang beroperasi secara maksimal pada tegangan dan arus maksimumnya, dalam bentuk kurva P-V pada gambar 2.1(b). Karena fluktuasi kondisi lingkungan, perubahan suhu dan tingkat iradiasi, menyebabkan kurva I-V akan berubah dan dengan demikian titik daya maksimum juga akan berubah. Dengan demikian algoritma MPPT diperlukan agar dapat terus melacak titik daya maksimum tersebut [11].

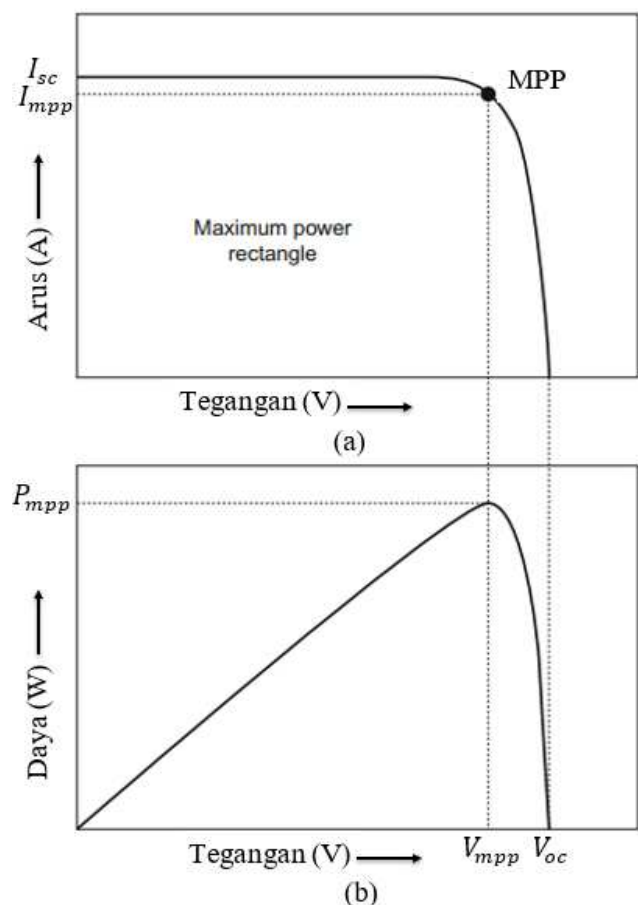
C. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja Modul Surya

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi beroperasinya modul surya untuk mencapai nilai keluaran maksimum diantaranya [12], [13], [14]:

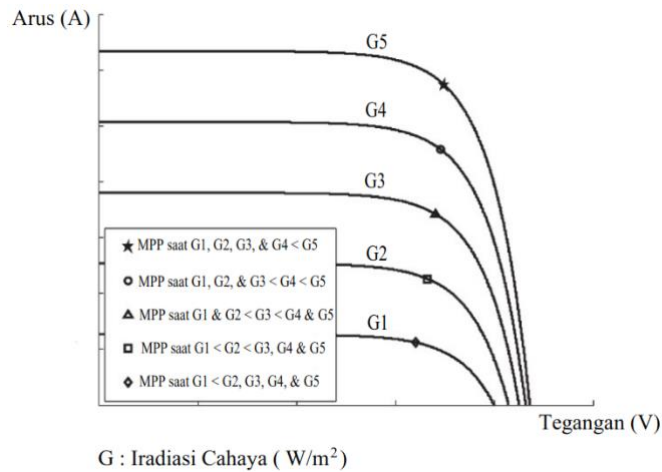
1) *Intensitas Radiasi Matahari*: Besarnya radiasi matahari pada berbagai wilayah di bumi berbeda-beda, bergantung pada kondisi spektrum solar ke bumi. Semakin meningkatnya intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan modul surya secara proporsional akan menghasilkan arus hubung singkat yang besar. Gambar 3

memperlihatkan bahwa penurunan intensitas cahaya akan mengakibatkan daya yang dihasilkan juga cenderung ikut menurun. Hal ini terjadi karena pengaruh dari berubahnya nilai arus berdasarkan besarnya intensitas cahaya yang diterima modul surya. Sementara tegangan tidak terlalu mengalami perubahan atau terpengaruh akibat perubahan intensitas cahaya.

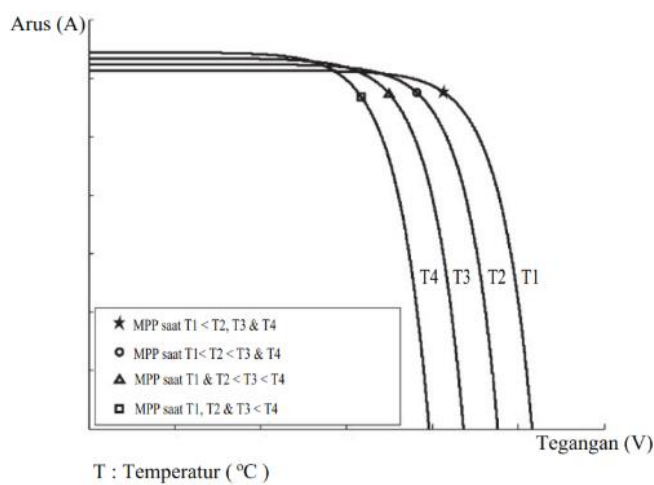
2) *Temperatur*: Modul surya bisa beroperasi maksimum jika suhunya selalu normal (suhu STC saat 25°C). Naiknya temperatur modul surya melebihi temperatur normal dapat menurunkan nilai tegangan (V_{oc}), sementara besar arusnya (I_{sc}) cenderung stabil. Setiap kenaikan suhu 10°C sel surya dari suhu normalnya dapat menyebabkan berkurangnya yaitu sekitar 0,4% dari total daya yang diperoleh. Kenaikan suhu akan mengakibatkan daya yang dihasilkan juga cenderung ikut menurun. Hal ini terjadi karena pengaruh dari berubahnya nilai tegangan yang semakin menurun, sementara arus tidak terlalu mengalami perubahan atau cenderung stabil akibat perubahan suhu.



Gambar 2. Kurva karakteristik I-V dan daya maksimum



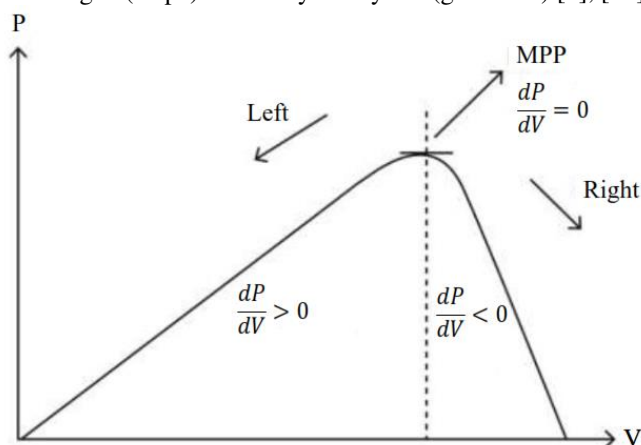
Gambar 3. Kurva karakteristik I-V terhadap intensitas radiasi matahari



Gambar 4. Kurva karakteristik I-V temperatur sel surya

D. Incremental Conductance

Incremental conductance merupakan salah satu algoritma untuk melacak MPP. Pada metode ini, tegangan terminal array akan selalu diatur agar sesuai dengan tegangan MPP. Metode incremental conductance bekerja berdasarkan kemiringan (slope) kurva daya array PV (gambar 5) [6], [15].



Gambar 5. Titik kerja IC-MPPT

Berdasarkan gambar 5, maka pada metode IC ini diperoleh persamaan dasar seperti persamaan 1, 2, dan 3 [15].

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{pada MPP} \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{di kiri MPP} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{di kanan MPP} \quad (3)$$

Berdasarkan algoritma gradien kurva *photovoltaic* (PV) adalah nol pada saat berada di titik MPP, maka persamaan (1) dapat diturunkan menjadi persamaan 4 dan 5 [6], [15]

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad (5)$$

sehingga didapat persamaan 6 dan 7.

$$\frac{dP}{dV} = I \left(\frac{dV}{dV} \right) + V \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad (6)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 4 ke persamaan 7, maka akan diperoleh persamaan 8 dan 9.

$$I + V \left(\frac{dI}{dV} \right) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan 9, asumsikan Δt sangat kecil dan memadai untuk berlakunya hubungan yang direpresentasikan pada persamaan 10.

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad (10)$$

Sehingga, berdasarkan persamaan 10 yang didapat, maka persamaan 1, 2, dan 3 dapat ditulis kembali menjadi sebagai persamaan 11, 12, dan 13.

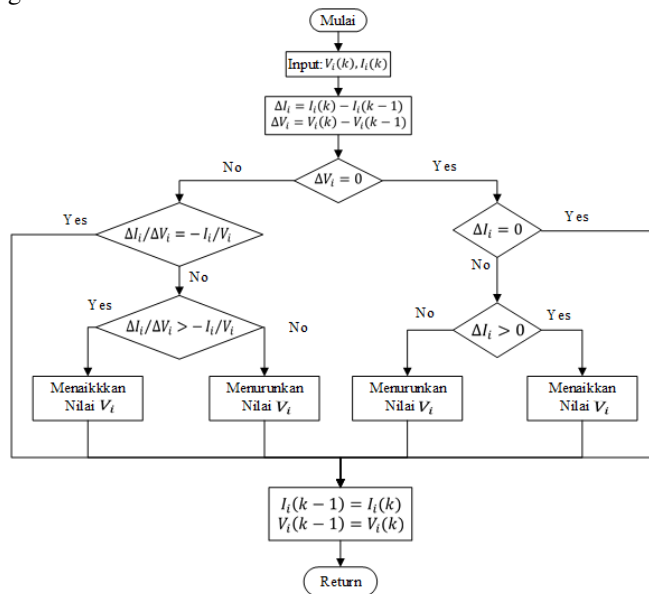
$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{pada MPP} \quad (11)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{di kiri MPP} \quad (12)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{di kanan MPP} \quad (13)$$

Pada metode IC (*incremental conductance*), MPP dicapai dengan membandingkan *instantaneous conductance* dan *incremental conductance*. *Instantaneous conductance* (konduktansi sesaat) adalah pembagian arus dan tegangan (I/V) dan *incremental conductance* adalah pembagian beda

arus dan beda tegangan ($\Delta I/\Delta V$). Simbol Δ menyatakan besarnya perubahan pada variabel bersangkutan dalam sampling waktu Δt yang dipilih [6], [15]. Diagram alir MPPT dari algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada gambar 6.

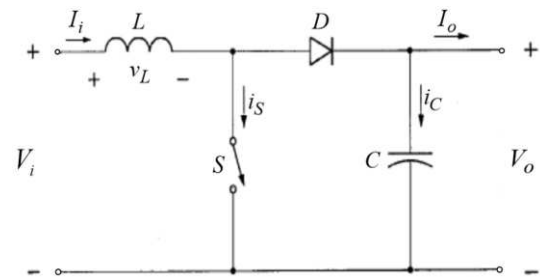


Gambar 6. Diagram alir algoritma IC-MPPT

Berdasarkan diagram alir pada gambar 6, $V(k)$ dan $I(k)$ adalah tegangan dan arus baru yang dihasilkan oleh panel surya, yang akan diinisialisasi menjadi ΔV dan ΔI [16], [17]. Nilai ΔV adalah selisih tegangan baru $V(k)$ dengan tegangan sebelumnya $V(k-1)$, sementara nilai ΔI adalah selisih arus baru $I(k)$ dengan arus sebelumnya $I(k-1)$. Ketika nilai baru dibaca ke dalam program, ia menghitung dimana nilai lama dibandingkan dengan yang baru, dan kemudian menentukan diferensial tegangan ΔV adalah nol atau tidak, jika ΔV adalah nol, ΔI dapat ditentukan nol atau tidak. Jika keduanya nol, ini menunjukkan bahwa keduanya memiliki nilai impedansi yang sama dan nilai gangguan (*disturbance*) V referensi akan tetap sama seperti sebelumnya. Jika ΔV adalah nol, tetapi ΔI bukan nol, menunjukkan bahwa intensitas cahaya telah berubah. Ketika nilai perbedaan saat ini lebih besar dari nol, V referensi akan dinaikkan; ketika nilai perbedaan saat ini kurang dari nol, V referensi akan diturunkan. Jika ΔV bukan nol, tentukan apakah memenuhi persamaan 2.11 atau tidak. Jika terpenuhi, kemiringan kurva daya akan nol, maka berarti sistem mencapai titik daya maksimum, jika varians dari konduktansi lebih besar daripada nilai konduktansi negatif, itu berarti kemiringan kurva daya positif dan V referensi akan dinaikkan, jika tidak maka V referensi akan diturunkan. Tahapan terakhir dari metode ini adalah proses untuk memperbarui besarnya nilai tegangan dan arus pada kondisi $V(k-1) = V(k)$, $I(k-1) = I(k)$. Ketika proses untuk memperbarui nilai tegangan dan arus tersebut selesai, maka algoritma ini kemudian akan kembali ke proses pembacaan nilai oleh sensor tegangan dan arus.

E. Konverter Boost

Konverter *boost* merupakan tipe konverter DC-DC yang berfungsi untuk menghasilkan keluaran tegangan DC yang lebih besar daripada tegangan inputnya. Pemilihan topologi *boost* untuk konverter DC-DC karena ia mampu mentransfer energi maksimum dari panel PV untuk beban terlepas dari berbagai iradiasi matahari sepanjang hari. Tegangan output yang lebih besar dibandingkan tegangan input dapat diperoleh dengan mengatur besarnya *duty cycle* (siklus kerja) menggunakan komponen *switching*. Topologi konverter *boost* ditunjukkan seperti terlihat pada Gambar 7, terdiri dari input sumber dc V_i , induktor L , sakelar daya S , dioda D , kapasitor keluaran C , dan juga beban keluaran R [18], [19], [20].



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen topologi konverter boost

Besarnya *duty cycle* yang diatur dalam proses *switching* konverter *boost* diperoleh dengan persamaan 14,

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} \quad (14)$$

dimana D adalah *duty cycle*, V_i adalah tegangan input (V) dan V_o adalah tegangan output (V).

Penentuan besarnya nilai induktor yang akan digunakan pada konverter *boost* dihitung menggunakan persamaan 15,

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (15)$$

dimana L_{min} adalah induktansi minimum (uH), R adalah resistor (Ω), dan f adalah frekuensi *switching* (Hz).

Penentuan besar nilai kapasitor yang akan digunakan untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran dihitung dengan persamaan 16,

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f} \quad (16)$$

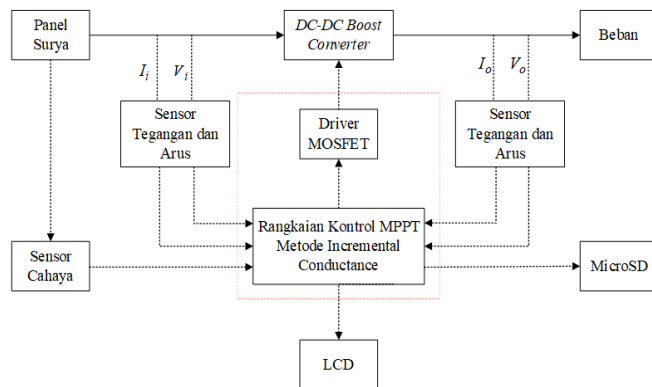
dimana C adalah kapasitor (F) dan $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ adalah *ripple* tegangan output.

III. METODE PENELITIAN

A. Rancangan / Desain Sistem

Diagram blok desain sistem IC-MPPT yang dirancang terdiri dari panel surya, rangkaian mikrokontroler, driver

MOSFET, rangkaian *boost*, dan beban resistif sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8.



Keterangan : — Rangkaian daya
..... Rangkaian kontrol

Gambar 8. Blok diagram desain sistem IC-MPPT

Panel surya yang digunakan berjenis polikristal memiliki kapasitas 10 Watt, dengan karakteristik seperti ditunjukkan pada tabel 1.

TABEL I
KARAKTERISTIK PANEL SURYA

Type	Nilai
Tippe	Polycrystalline
Maximum Power (P_{mpp})	10 W
Maximum Power Voltage (V_{mpp})	16,8 V
Maximum Power Current (I_{mpp})	0,59 A
Open Circuit Voltage (V_{OC})	21 V
Short Circuit Current (I_{SC})	0,65 A
Dimension	42,5 × 27,3 × 5 cm

TABEL II
SPESIFIKASI KOMPONEN KONVERTER BOOST

No.	Spesifikasi komponen	Nilai
1	Daya output	10 W
2	Frekuensi switching	31 kHz
3	Tegangan input (V_i)	10-18 volt
4	Tegangan output (V_o)	24 volt
5	Arus output	0,42 A
6	Beban R	68 Ω /10W
7	Ripple tegangan	1 %
8	Duty cycle	25 – 58 %
9	Induktor	150 μ H
10	Kapasitor	100 μ F

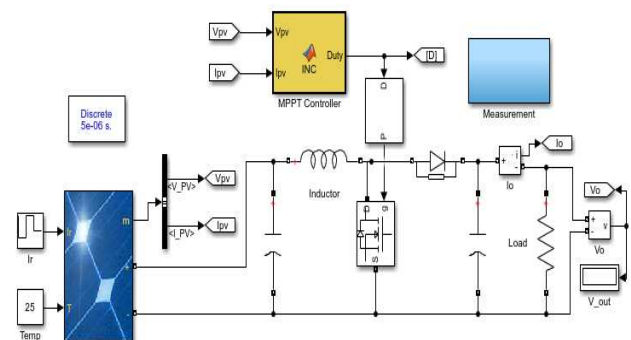
B. Perancangan Konverter Boost

Dalam merancang konverter *boost* yang digunakan perlu dilakukan perhitungan terhadap besaran komponen yang diperlukan, serta besar nilai *duty cycle* pada rangkaian konverter tersebut. Perhitungan ini membutuhkan 5 parameter penting, yaitu daya (P) yang merupakan daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh panel surya, tegangan input (V_{in}) konverter, tegangan output (V_o) konverter, frekuensi switching (f), dan besar *ripple* tegangan. Untuk bisa

mendapatkan besarnya nilai *duty cycle* (D), induktor (L), dan kapasitor (C) dari konverter *boost* tersebut, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (14), (15), dan (16), sehingga diperoleh spesifikasi nilai-nilai komponen konverter *boost* tersebut sebagaimana terlihat pada tabel 2.

C. Simulasi Sistem IC-MPPT

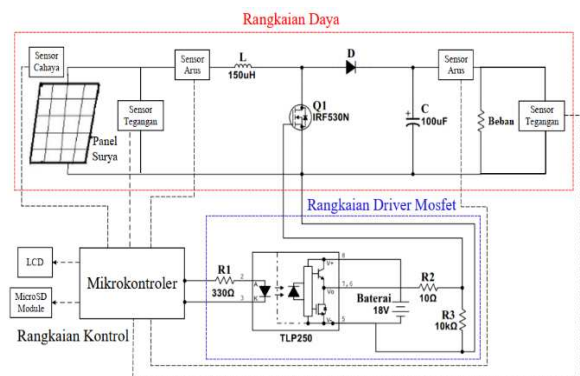
Simulasi dari sistem IC-MPPT ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab yang bertujuan untuk mengetahui keluaran dari sistem yang telah dirancang sehingga dapat dilihat kinerja dari sistem IC-MPPT dalam penelitian ini sebelum diterapkan dalam bentuk rangkaian alat. Pada simulasi ini akan diamati bagaimana kondisi tegangan, arus, dan daya pada sisi input dan output sistem terhadap perubahan iradiasi cahaya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan dan tanpa MPPT.



Gambar 6. Rangkaian simulasi Sistem IC-MPPT pada simulink

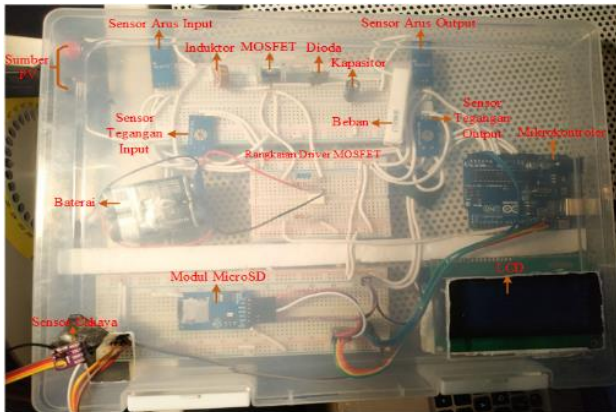
D. Pengujian Rangkaian

Rangkaian hardware dari sistem IC-MPPT yang didesain ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian hardware sistem IC-MPPT

Pengujian dilakukan dengan menggunakan panel surya sebagai sumber input yang dihubungkan dengan sistem MPPT, dengan mengatur besarnya intensitas radiasi cahaya lampu halogen menggunakan *dimmer*. Data pembacaan oleh sensor dan hasil penajakan dari algoritma IC-MPPT akan disimpan dalam *memory card* dan juga dapat dipantau melalui tampilan LCD. Beban yang dipakai adalah resistor sebesar 56 Ω /10W dan 68 Ω /10W.



Gambar 7. Perangkat keras sistem IC-MPPT

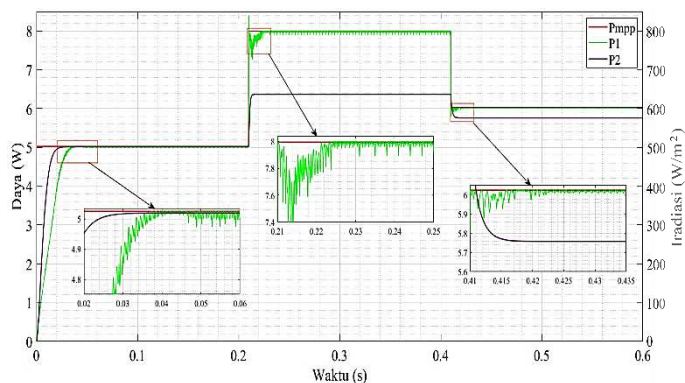


Gambar 8. Pengujian Sistem PV menggunakan IC-MPPT

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

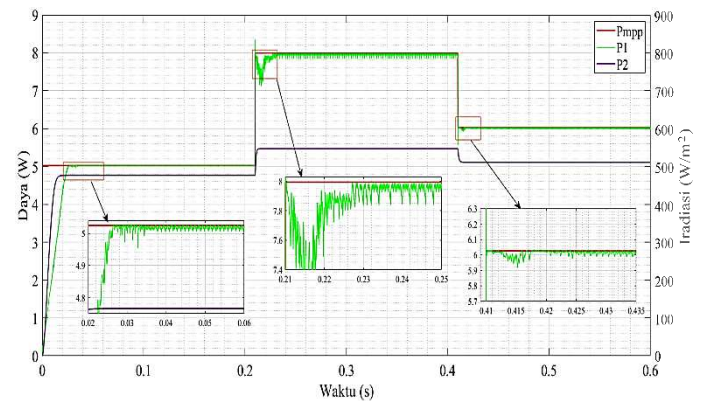
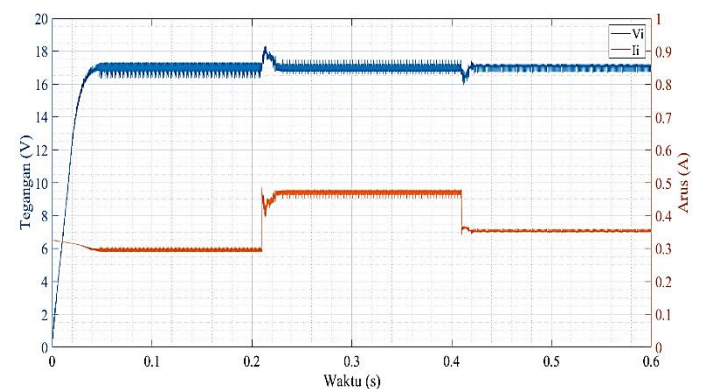
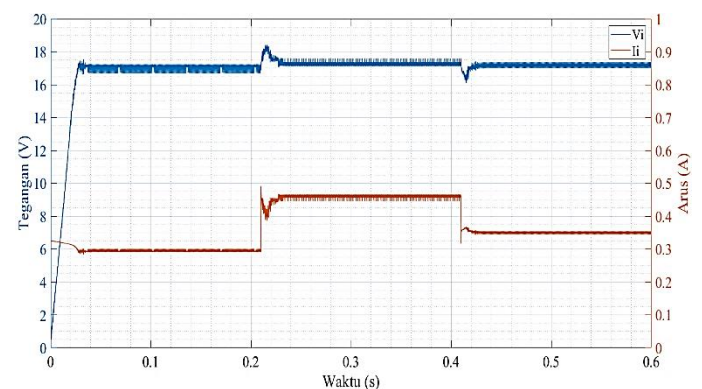
A. Hasil Simulasi Simulink

Simulasi dilakukan dengan menggunakan resistor dengan resistansi 56Ω dan 68Ω . Perubahan iradiasi terjadi pada detik 0.21 dari nilai inisial 500 W/m^2 menjadi 800 W/m^2 kemudian iradiasi diturunkan ke 600 W/m^2 saat detik ke 0.4101.

Gambar 9. Daya output sistem PV hasil simulasi dengan beban $R = 56\Omega$

Berdasarkan gambar 9 dan 10, grafik daya keluaran PV ketika menggunakan sistem IC-MPPT (P_1) terlihat hampir sama dengan daya maksimum P_{mpp} . Akan tetapi pada kondisi sistem PV tidak menggunakan IC-MPPT, daya beban (P_2) cenderung rendah saat kondisi iradiasi tertentu, bergantung

pada nilai resistansi beban. Hal ini membuktikan bahwa sistem IC-MPPT tersebut telah mampu beroperasi dengan semestinya dalam melacak titik MPP, sehingga PV dapat dijaga selalu untuk beroperasi pada kondisi maksimumnya yang tidak terpengaruh dari besarnya nilai resistansi beban yang dipakai dengan efisiensi rata-rata sebesar 99%. Perubahan iradiasi menentukan besar daya yang dihasilkan oleh panel surya dimana daya akan semakin besar dengan peningkatan iradiasi, dan sebaliknya.

Gambar 10. Daya output sistem PV hasil simulasi dengan beban $R = 68\Omega$ Gambar 11. Tegangan dan arus output PV hasil simulasi dengan beban $R = 56\Omega$ Gambar 12. Tegangan dan arus output PV hasil simulasi dengan beban $R = 68\Omega$

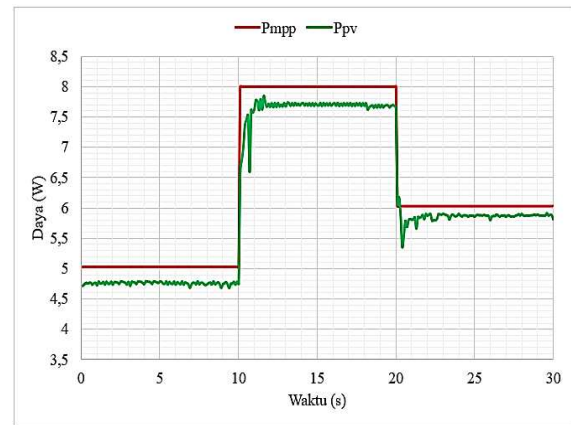
Sedangkan berdasarkan gambar 11 dan 12, sistem IC-MPPT menyebabkan titik operasi MPP dari tegangan output PV (V_i) ikut berubah sesuai dengan kondisi besar iradiasi sehingga tegangan V_i berosilasi di titik operasi MPP lainnya sebelum mencapai *steady state*. Ketika terjadinya perubahan iradiasi, grafik tegangan V_i cenderung tidak berpengaruh besarnya, sementara besarnya arus output PV (I_i) nilainya berubah semakin besar seiring kenaikan iradiasi dan sebaliknya. Besarnya tegangan V_i dan arus I_i ketika menggunakan beban 68Ω nilainya tidak berbeda jauh atau cenderung sama saat menggunakan beban 56Ω . Hanya saja, osilasi pada beban 68Ω lebih kecil dibandingkan beban 56Ω .

B. Hasil Pengujian Rangkaian MPPT

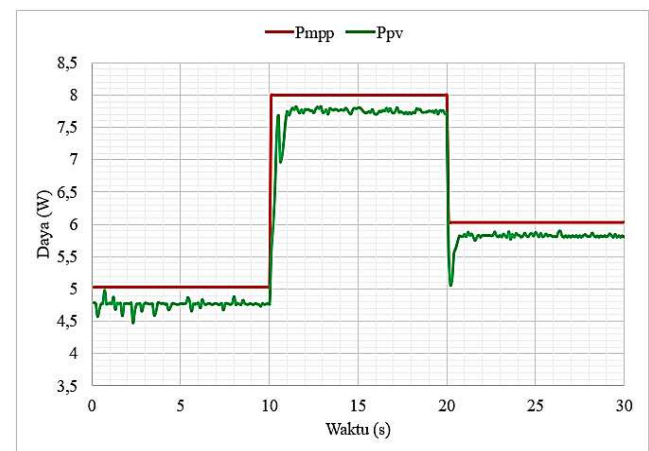
Pengujian dilakukan dengan menghubungkan panel surya 10W ke input rangkaian sistem IC-MPPT dimana resistansi beban pada keluaran konverter untuk pengujian pertama sebesar $56\Omega/10W$ dan pengujian kedua sebesar $68\Omega/10W$. Variabel yang diatur dalam pengujian ini adalah perubahan intensitas radiasi cahaya lampu yang diatur bervariasi sebagai sumber cahaya bagi panel surya, yaitu pada saat iradiasi sebesar $500 W/m^2$ yang dinaikkan hingga $800 W/m^2$, dan kemudian diturunkan kembali hingga $600 W/m^2$. Sementara besarnya temperatur selama pengujian dianggap dalam kondisi STC (diabaikan).

Berdasarkan gambar 13 dan 14, besar daya output PV (P_{pv}) hasil pengujian cenderung stabil mendekati nilai daya maksimumnya (P_{mpp}) sesuai kurva karakteristik PV seiring dengan perubahan iradiasi. Setiap perubahan iradiasi akan menyebabkan osilasi awal sebelum mencapai kondisi *steady state* pada besar iradiasi tersebut akibat pelacakan dalam menentukan nilai duty cycle yang sesuai. Namun, osilasi pada kondisi *steady state* lebih kecil jika dibandingkan dengan kondisi awal saat kondisi iradiasi berubah. Selain itu resistansi beban yang digunakan tidak mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya karena tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV dengan sistem IC-MPPT selalu menjaga agar titik operasi panel surya selalu berada di sekitar MPP-nya dan telah sesuai dengan hasil yang didapatkan dari simulasi.

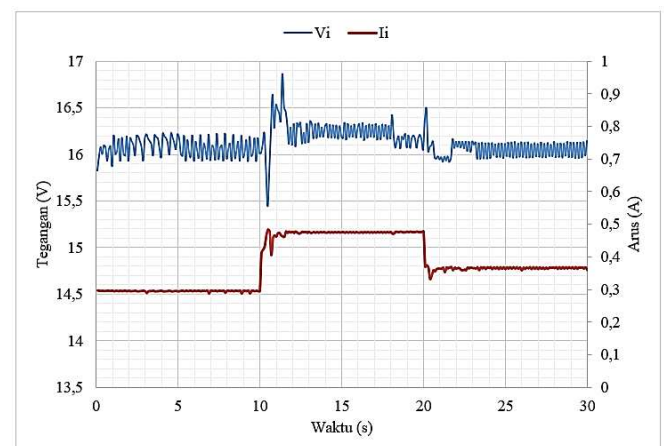
Sementara grafik tegangan dan arus output PV (V_i dan I_i) pada gambar 15 dan 16 menunjukkan bahwa tegangan V_i cenderung tidak terlalu berubah nilainya untuk setiap perubahan iradiasi, sedangkan arus I_i akan semakin meningkat seiring semakin besarnya iradiasi dan sebaliknya baik saat menggunakan beban $R = 56\Omega$ maupun $R = 68\Omega$. Hal ini disebabkan karena IC-MPPT yang terus melacak titik MPP pada PV sehingga terjadi perubahan duty cycle yang menandakan terjadinya perubahan iradiasi dan didapat kondisi daya maksimum PV dengan duty cycle yang sesuai di titik MPP nya.



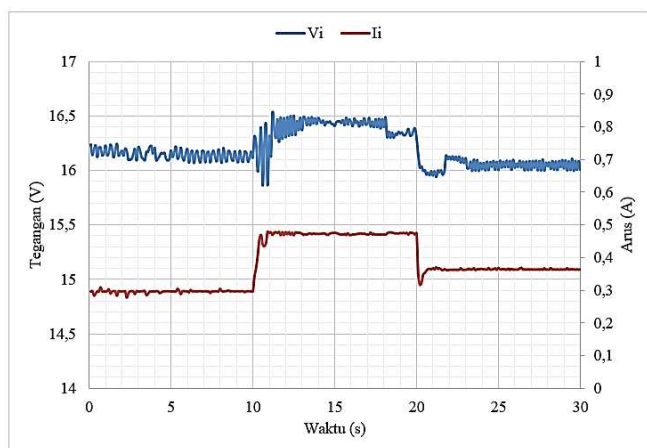
Gambar 13. Daya output PV hasil pengujian hardware dengan beban $R = 56\Omega$



Gambar 14. Daya output PV hasil pengujian hardware dengan beban $R = 68\Omega$



Gambar 15. Tegangan dan arus output PV hasil pengujian hardware dengan beban $R = 56\Omega$



Gambar 16. Tegangan dan arus output PV hasil pengujian hardware dengan beban $R = 68\Omega$

REFERENSI

- [1] A. Faizal and B. Setyaji, "Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 14, no. 1, pp. 22–31, 2016.
- [2] R. Prayudi, "Desain Charge and Discharge Battery Controller Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts)," Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2016.
- [3] A. HARYO SANGAJI, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Metode Artificial Neural Network Untuk Panel Surya," *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 02, pp. 85–92, 2018.
- [4] R. Sridhar, S. Jeevananthan, N. T. Selvan, and S. Chowdary, "Performance Improvement of a Photo Voltaic Array Using MPPT (P&O) Technique," *2010 IEEE Int. Conf. Commun. Control Comput. Technol. ICCCT 2010*, pp. 191–195, 2010.
- [5] M. M. Rana, M. R. Ali, A. K. Ajad, and M. Moznuzzaman, "Analysis of P&O and INC MPPT Techniques for PV Array Using MATLAB," *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 11, no. 04, pp. 80–86, 2016.
- [6] S. S. Bulle, S. D. Patil, and V. V. Kheradkar, "Implementation of Incremental Conductance Method for MPPT Using SEPIC Converter," *Proc. IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2017*, 2017.
- [7] A. Gunawan, "Desain Sistem Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Sistem Photovoltaic (PV) Menggunakan Metode Hill Climbing," Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2015.
- [8] Y. Erwin Susanto, "Desain dan Instalasi Solar Home System 50 Wp," Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, 2009.
- [9] A. El-Shahat and S. Sumaiya, "DC-Microgrid System Design, Control, and Analysis," *Electron.*, vol. 8, no. 2, p. 4, 2019.
- [10] A. H. A. Al-waeli, H. A. Kazem, M. T. Chaichan, and K. Sopian, *Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Principles, Design, And Applications*. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
- [11] P. Arjyadhara, A. S.M, and J. Chitrakleha, "Analysis of Solar PV Cell Performance with Changing Irradiance and Temperature," *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 214–220, 2013.
- [12] M. A. P. Pradana and Tjendro, "Prototype Sistem Kontrol Otomatis Pada Pembangkit Listrik Alternatif Tegangan Rendah," *Ilm. Widya Tek.*, vol. 15, no. 2, pp. 112–126, 2016.
- [13] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. R. Hastijanti, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya," *J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [14] W. Xiao, W. G. Dunford, P. R. Palmer, and A. Capel, "Regulation of Photovoltaic Voltage," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 3, pp. 1365–1374, 2007.
- [15] T. Esmar and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007.
- [16] A. Saleh, W. Hadi, and M. C. Anwar, "Desain Kontrol Maximum Power Point Traker (Mppt) Menggunakan Incremental Conductance (Inc) Pada Dc / Dc Tipe Sepic," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah*, 2017, pp. 1–8.
- [17] S. Qin, M. Wang, T. Chen, and X. Yao, "Comparative analysis of incremental conductance and perturb-and-observation methods to implement MPPT in photovoltaic system," *2011 Int. Conf. Electr. Control Eng. ICECE 2011 - Proc.*, pp. 5792–5795, 2011.
- [18] B. Y. Al-hanahi and B. Akın, "MPPT Controlled Battery Charger Design and Simulation," *Majlesi J. Mechatron. Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 7–14, 2017.
- [19] D. W. Hart, *Power Electronics*. Valparaiso: McGraw-Hill, 2010.
- [20] S. Badri and Krismadinata, "Rancang Bangun Konverter Boost yang Terintegrasi dengan Graphical User Interface," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–42, 2020.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan terhadap sistem regulasi *Maximum Power Tracking* (MPPT) dengan menggunakan algoritma *Incremental Conductance* (IC-MPPT). Perancangan awal yang dilakukan terhadap sistem *photovoltaic* yaitu dengan menggunakan simulasi yang kemudian kinerjanya dikendalikan oleh perangkat keras menggunakan mikrokontroler. Pengujian telah dilakukan dalam ruangan untuk mengisolasi pengamatan kinerja MPPT dan efektivitasnya terhadap perubahan iradiasi yang diatur dengan menggunakan cahaya buatan yang berupa lampu halogen. Berdasarkan pengujian, diperoleh bahwa hasil daya output PV dapat menyesuaikan dengan perubahan iradiasi yang terjadi.