

Peningkatan Kinerja Sistem Photovoltaic Dengan Mengaplikasikan Algoritma Incremental Conductance Yang Ditingkatkan

Yuni Andriwa Putri^{1*}, Asnil¹, dan Erita Astrid²

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

² Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan
Jl. William Iskandar Ps. V, Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

*e-mail: yuniandriwa@gmail.com

(Diajukan: 08 Agustus 2024, direvisi: 14 Agustus 2024, disetujui: 09 Januari 2025, dipublikasikan: 21 Januari 2025)

Abstrak

Penelitian ini mengoptimalkan kinerja *photovoltaic* menggunakan algoritma *Incremental Conductance* (INC) modifikasi. Metode INC konvensional rentan terhadap osilasi dan memiliki keterbatasan akurasi pelacakan. Pengujian dilakukan pada iradiasi 200, 400, dan 600 W/m². Metode INC konvensional menghasilkan waktu *tracking* 500 ms, 555 ms, dan 300 ms dengan daya maksimum 1.89 W, 5.542 W, dan 8.232 W pada peningkatan iradiasi. Metode INC modifikasi menunjukkan peningkatan signifikan dengan waktu *tracking* 345 ms, 330 ms, dan 205 ms, menghasilkan daya maksimum 2.73 W, 7.36 W, dan 9.9 W. Pada penurunan iradiasi, metode modifikasi mencapai waktu *tracking* 195 ms dan 455 ms. Hasil menunjukkan metode INC modifikasi unggul dalam mengurangi osilasi, mempercepat waktu *tracking*, dan menghasilkan daya maksimum lebih tinggi, meningkatkan efisiensi sistem *photovoltaic*.

Kata Kunci: *Incremental Conductance, Osilasi, akurasi pelacakan.*

Abstract

This study optimizes photovoltaic performance using a modified Incremental Conductance (INC) algorithm. The conventional INC method is susceptible to oscillation and has limited tracking accuracy. Tests were conducted at irradiances of 200, 400, and 600 W/m². The conventional INC method produces tracking times of 500 ms, 555 ms, and 300 ms with maximum powers of 1.89 W, 5.542 W, and 8.232 W at increasing irradiance. The modified INC method shows significant improvements with tracking times of 345 ms, 330 ms, and 205 ms, producing maximum powers of 2.73 W, 7.36 W, and 9.9 W. At decreasing irradiance, the modified method achieves tracking times of 195 ms and 455 ms. The results show that the modified INC method is superior in reducing oscillations, accelerating tracking time, and producing higher maximum power, increasing the efficiency of the photovoltaic system.

Keywords: *Incremental Conductance, Oscillation, tracking accuracy.*

PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik yang bersumber dari energi fosil semakin meningkat, menyebabkan kelangkaan pada sumber daya tak terbarukan dan berdampak pada kerusakan lingkungan. Sehingga diperlukan adanya solusi dalam mengatasi permasalahan krisis energi di masa mendatang. Salah satu solusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yakni dapat memanfaatkan sumber daya terbarukan seperti energi matahari [1]. Energi matahari dapat dikembangkan untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui sistem photovoltaic [2].

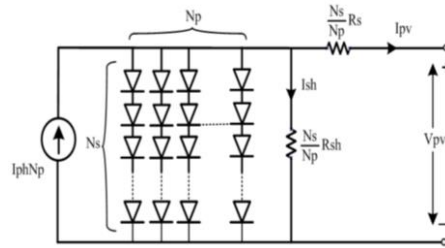
Energi matahari yang diserap oleh photovoltaic bergantung pada intensitas radiasi dan suhu yang diterima oleh panel surya. Faktor-faktor tersebut yang menjadi permasalahan dalam penggunaan panel surya akibatnya jumlah daya keluaran PV tidak mencapai maksimum terutama saat radiasi matahari rendah [3]. Daya keluaran ini dapat distabilkan dengan memanfaatkan kinerja *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Sistem MPPT membantu dalam meningkatkan kinerja *photovoltaic* sehingga titik daya maksimum tetap berada pada titik maksimum [4]. Terdapat 3 jenis MPPT diantaranya adalah MPPT konvensional, MPPT *Intelligence*, MPPT *Hybrid*. Masing-masing MPPT memiliki kelemahan namun peneliti memilih MPPT jenis konvensional untuk dikembangkan karena MPPT ini lebih sederhana, kompleksitas yang rendah, dan biaya implementasi yang rendah [5][6].

Incremental Conductance termasuk salah satu jenis MPPT konvensional. Salah satu keunggulan metode *Incremental Conductance* ini kemampuannya dalam menanggapi perubahan kondisi lingkungan yang cepat. Algoritma ini digunakan untuk mengontrol tegangan output konverter dan menyesuaikan *Duty cycle* dari DC-DC Converter [7][8]. Jenis DC-DC Converter yang digunakan yaitu *Boost Converter* atau *step up Converter*. Sistem MPPT akan terhubung dengan DC-DC Converter agar PV tetap berada pada titik maksimumnya. *Duty cycle* yang diatur oleh MPPT akan menjadi nilai pengontrolan Converter DC-DC. *Boost Converter* akan menyalurkan daya ke beban serta mengatur tegangan output panel sehingga panel tetap mempertahankan posisi titik MPP.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat perangkat *hardware* untuk mengoptimalkan kinerja sistem PV serta membandingkan kinerja kedua jenis algoritma baik algoritma konvensional maupun modifikasi.

Panel Surya

Solar cell atau panel surya merupakan perangkat yang dapat mengonversi energi matahari menjadi energi listrik [3]. Panel surya secara sederhana terdiri dari semikonduktor tipe-p dan tipe-n, jika sambungan tersebut dihubungkan maka akan membentuk *junction p-n*. Jika terkena cahaya matahari foton yang mengenai sel akan diserap oleh bahan semikonduktor sehingga menyebabkan transfer elektron dan menghasilkan energi listrik [9]. Rangkaian ekuivalen sel surya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Sel Surya [10]

Gambar 1 di atas menggambarkan rangkaian ekivalen sel PV yang terdiri sumber arus, dioda, dan resistor yang disusun secara seri dan paralel. Model matematis rangkaian ekivalen sel surya dapat dilihat pada persamaan (1) [10] :

$$I_{pv} = I_{ph} N_p - I_0 N_p \left[\exp \left(\frac{q \left(V_{pv} + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I_{pv} \right)}{N_s K T a} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V_{pv} + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I_{pv}}{R_{sh} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)} \right) \quad (1)$$

Dengan :

I_{pv} = Arus keluaran panel surya

I_{ph} = Arus yang dihasilkan oleh efek fotoelektrik per sel

N_p = Jumlah sel surya yang terhubung paralel

I_0 = Arus saturasi balik dioda

q = Muatan elektron (1.6×10^{-19} Coulomb)

V_{pv} = Tegangan keluaran panel surya

R_s = Resistansi seri per sel

N_s = Jumlah sel surya yang terhubung seri

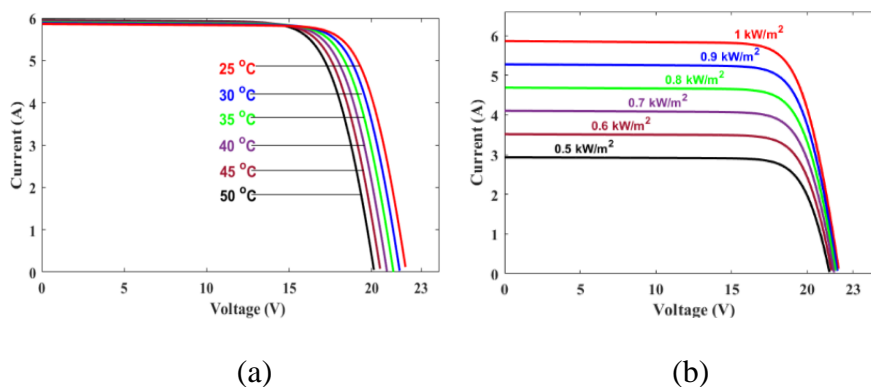
k = Konstanta Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

T = Suhu sel surya dalam Kelvin

a = Faktor idealitas dioda

R_{sh} = Resistansi shunt per sel

Hubungan antara arus dan tegangan dapat dilihat dalam bentuk kurva karakteristik I-V sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 [10].



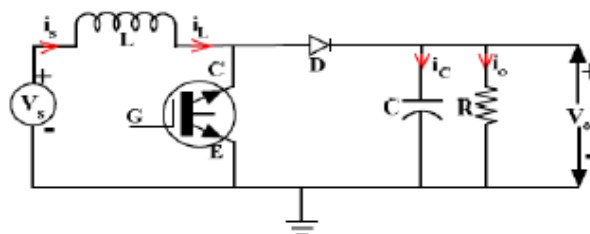
Gambar 2. Kurva Karakteristik I-V, (a) berdasarkan Suhu, (b) berdasarkan iradiasi [10]

Berdasarkan Gambar 2 terlihat pengaruh perubahan suhu dengan nilai radiasi konstan. Variasi nilai suhu akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran panel surya. Sedangkan pada Gambar 2 (a) menggambarkan pengaruh perubahan radiasi dengan suhu

konstan. Sehingga variasi nilai suhu akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran panel surya [10].

Converter DC-DC

Jenis *Converter* DC-DC yang digunakan untuk menstabilkan tegangan dengan menaikkan tegangan keluaran (V_{out}) lebih tinggi daripada tegangan masukan (V_{in}) yaitu tipe *Boost Converter* [8]. Upaya dalam menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi maka dibutuhkan komponen *switching* yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya *Duty cycle* (siklus kerja) [10]. Topologi *boost Converter* terdiri dari sumber masukan DC (searah), induktor, dioda, kapasitor, Mosfet dan resistor yang sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah.



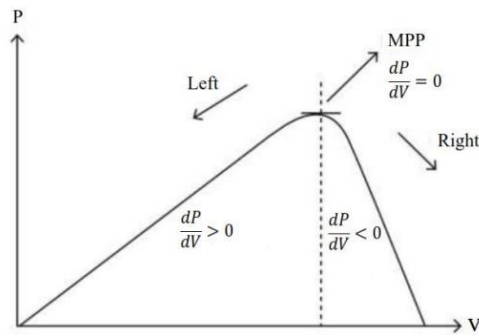
Gambar 3. Topologi *Boost Converter* [11]

Adapun prinsip kerja *Boost Converter* pada saat saklar On yaitu dioda menjadi reverse bias sehingga induktor akan menyimpan energi. Tegangan pada kumparan akan sama besarnya dengan tegangan masukan. Pada saat saklar Off, arus pada kumparan akan mengalir menuju dioda sehingga energi yang tersimpan berkurang. Beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan kumparan yang melepaskan energi sehingga hal ini menyebabkan tegangan keluaran lebih besar daripada tegangan masukan [12].

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT atau yang biasa disebut *Maximum Power Point Tracking* merupakan suatu teknik yang digunakan dalam memonitoring dan mempertahankan titik daya maksimum panel surya dengan menyesuaikan tegangan keluaran panel surya [13]. Prinsip kerja MPPT adalah memantau tegangan dari panel surya apakah berkurang atau meningkat. Jika tegangan maksimum $V_{mpp} > (V)$, maka (V) akan dinaikkan sampai mencapai nilai maksimum, begitu sebaliknya. Jika telah mencapai titik maksimum (V_{mpp}) maka secara otomatis daya keluaran akan maksimal [3]. MPPT bekerja menggunakan DC-DC *Converter* dalam mengatur tegangan output panel surya [4].

Pengaturan tegangan output panel surya dilakukan menggunakan algoritma MPPT. Algoritma MPPT yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Algoritma *Incremental Conductance*. Komponen utama yang dibutuhkan pada algoritma ini adalah sensor arus dan tegangan. Sistem algoritma ini membandingkan *instant conductance* I/V dengan *Incremental Conductance* dI/dV [14]. Prinsip dasar algoritma INC menggunakan kemiringan kurva PV atau turunan daya dari panel surya (dP/dV). Apabila kemiringan kurva daya dan tegangan *array* PV dimana perubahan daya per perubahan tegangan bernilai nol maka titik MPP telah tercapai [15], seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva P-V metode INC [15]

Berdasarkan Gambar 4 di atas, maka metode INC diperoleh persamaan dasar seperti persamaan (4). (5). (6) [15].

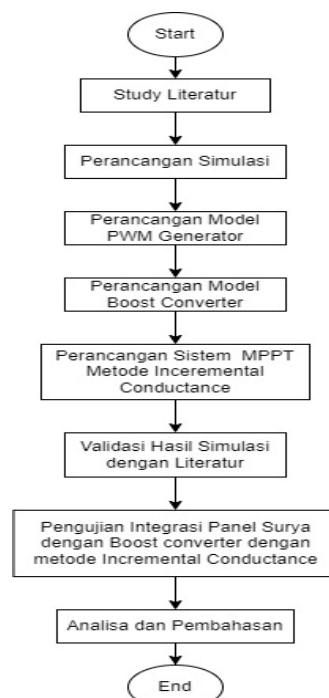
$$\frac{dP}{dV} = 0, \text{ pada MPP} \quad (4)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0, \text{ di kiri MPP} \quad (5)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0, \text{ di kanan MPP} \quad (6)$$

METODE

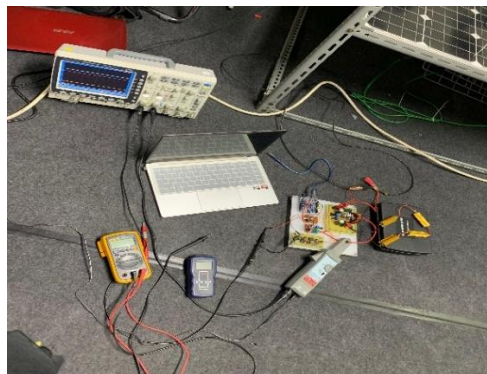
Jenis metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Research and Development* dikarenakan dalam penelitian ini melalui proses perancangan, pembuatan, pengujian, dan menganalisis sebuah *hardware*. Rancangan desain sistem menggunakan perangkat lunak MATLAB dan disimulasikan dengan Simulink Matlab guna mendapatkan gambaran mengenai output konverter DC-DC yang menggunakan metode *Incremental Conductance*. Setelah melakukan simulasi maka langkah selanjutnya membuat rancangan desain/sistem. Berikut diagram alir penelitian yang melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian di atas maka kita akan study literatur guna menemukan informasi-informasi yang terkait. Kemudian pembuatan perancangan simulasi pada simulink matlab. Selanjutnya perancangan simulasi, jika perancangan model PWM sudah sesuai dengan perancangan simulasi. Maka dilanjutkan dengan perancangan *boost Converter* dan divalidasi antara hasil simulasi dengan literatur. Jika valid maka dilanjutkan dengan perancangan *boost Converter* dan jika benar divalidasi antara hasil simulasi dan literatur. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian integrasi antara panel surya dengan sistem *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* metode *Incremental Conductance*.

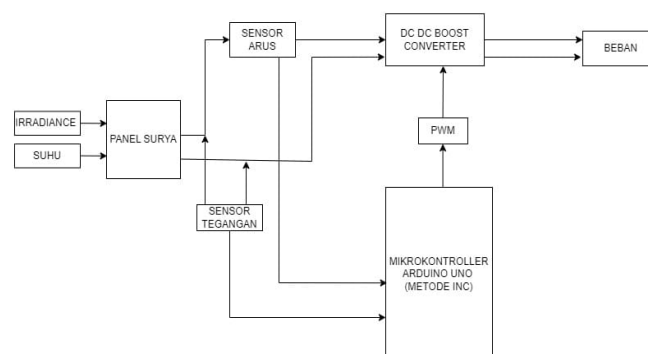
Data penelitian ini mencakup data simulasi dan perangkat *hardware* secara langsung. Data simulasi diambil langsung melalui perangkat lunak Simulink Matlab, sementara data perangkat *hardware* diambil melalui panel surya 100W yang diparalelkan, *osiloskop*, *solar power energy meter*, *tang ampere*, dan *voltmeter digital* yang digunakan untuk mengukur daya input pada *boost Converter*. Berikut pada [Gambar 6](#) proses pengujian *hardware*.



[Gambar 6](#). Proses Pengujian *Hardware*

Blok Diagram

Panel surya mengubah energi matahari menjadi listrik yang kemudian diukur oleh sensor tegangan dan sensor arus. Data ini dikirim ke mikrokontroler yang menjalankan *algoritma Incremental Conductance (INC)*. Algoritma ini terus menerus mengatur nilai *Duty cycle* untuk mencapai titik daya maksimum (MPP). Jika perubahan daya per perubahan tegangan sama dengan nol, maka panel telah mencapai MPP. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh algoritma ini digunakan untuk mengontrol DC-DC *Boost Converter*, yang kemudian menyesuaikan tegangan keluaran ke beban agar mencapai efisiensi maksimum. Blok diagram dapat dilihat pada [Gambar 7](#).



[Gambar 7](#). Blok Diagram

Rancangan Converter DC-DC

Perancangan *boost Converter* diperlukan guna dilakukan perhitungan terhadap besaran komponen yang digunakan, serta besar nilai *Duty cycle* pada *boost Converter* tersebut. Perhitungan ini membutuhkan 4 parameter penting yakni tegangan input (V_{in}), tegangan output (V_{out}), frekuensi *switching* (f), *ripple* tegangan, dan *ripple* arus. Perhitungan tersebut dilakukan untuk bisa mendapatkan besarnya nilai induktor (L), kapasitor (C), dan nilai *Duty cycle* dari konverter *boost*. Adapun persamaan yang dibutuhkan untuk memperoleh parameter nilai komponen tersebut dapat dilihat pada persamaan (2), (3), dan (4) [12].

Persamaan untuk memperoleh besarnya nilai *Duty cycle* yakni :

$$D = \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2)$$

Dengan V_{in} Tegangan Input (V), V_{out} tegangan output (V)

Persamaan untuk memperoleh besarnya komponen induktor guna memperkecil *ripple* arus yakni :

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I L \times f} \quad (3)$$

Dengan $\Delta I L$ adalah *ripple* arus dan f adalah frekuensi *switching* (Hz)

Persamaan untuk memperoleh besarnya komponen kapasitor guna memperkecil *ripple* tegangan yakni :

$$C = \frac{I_{out} \times D}{\Delta V_0 \times f} \quad (4)$$

Dengan ΔV_0 adalah *ripple* tegangan dan I_{out} adalah arus keluaran (A)

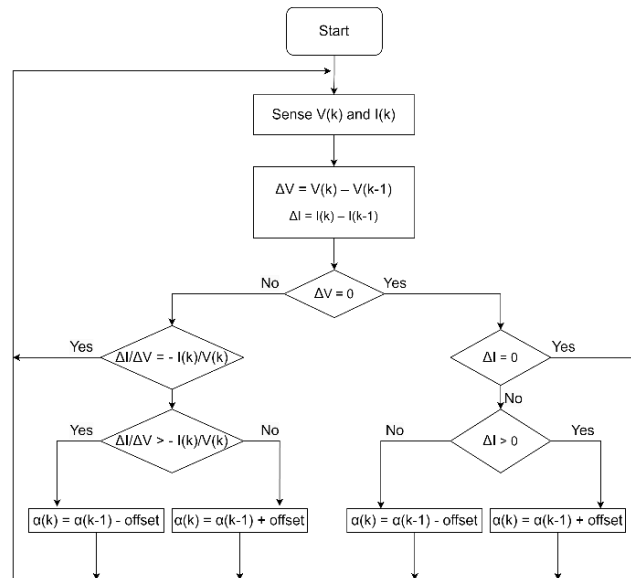
Berdasarkan persamaan diatas maka dapat diperoleh nilai parameter yang dapat digunakan untuk perancangan konverter *boost* seperti yang dapat terlihat pada [Tabel 1](#) berikut ini.

Tabel 1. Nilai Parameter *Boost Converter*

Parameter	Simbol	Nilai
Tegangan masukan	V_{in}	18 V
Tegangan keluaran	V_{out}	36 V
Resistor	R	50 ohm
Frekuensi <i>switching</i>	f	62500 Hz
<i>Duty cycle</i>	D	0.50
<i>Ripple</i> arus	ΔI	1 %
<i>Ripple</i> tegangan	ΔV	1 %
Nilai induktor	L	2.2 mH
Nilai kapasitor	C	100 μ F

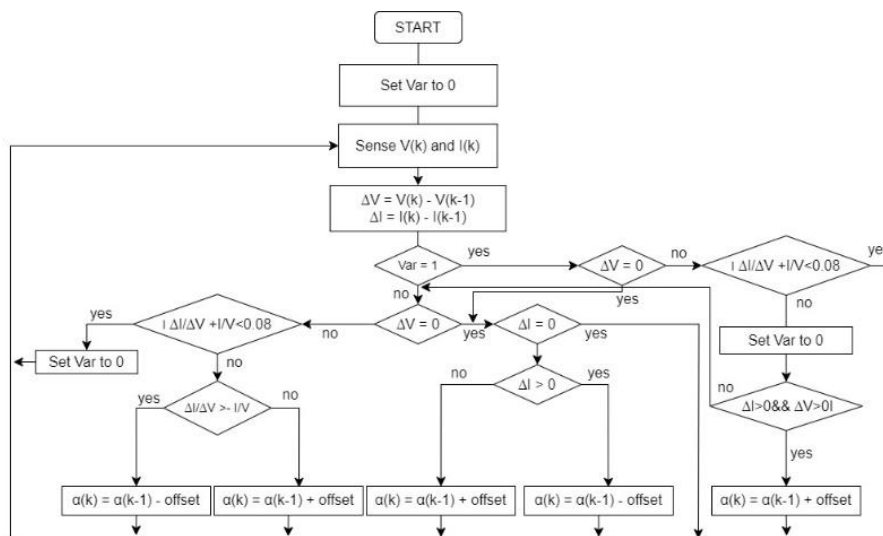
Perancangan Sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Algoritma MPPT yang diusulkan pada penelitian ini yakni *Incremental Conductance* yang berfungsi melacak titik daya maksimum. Nilai keluaran panel surya berupa arus dan tegangan akan diperhatikan oleh algoritma MPPT untuk menyesuaikan nilai *Duty cycle* apakah harus dinaikkan atau diturunkan [16]. Algoritma INC dapat digambarkan oleh [Gambar 8](#).



Gambar 8. Flowchart Algoritma INC Konvensional [12]

Berdasarkan keluaran panel surya yang tidak stabil serta salah satu kelemahan algoritma INC yang rentan terhadap osilasi dalam keadaan stabil [2]. Hal ini menyebabkan penurunan kinerja algoritma INC dan mengganggu kestabilan tegangan sistem ketika algoritma beroperasi untuk mencapai MPP. Selain itu, juga berdampak pada waktu *tracking* [7]. Maka dari itu, diperlukan perbaikan atau modifikasi untuk meningkatkan kinerja algoritma INC dan mengatasi kesalahan algoritma ketika radiasi matahari meningkat. Seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Flowchart Algoritma *Incremental Conductance* Modifikasi [16]

Berdasarkan diagram di atas, flowchart di atas merupakan modifikasi dari algoritma *Incremental Conductance*. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan di sekitar titik MPP, meningkatkan kecepatan konvergensi pelacakan MPP, mengurangi osilasi serta meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem MPPT dibandingkan metode algoritma INC konvensional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini akan ditampilkan pengujian simulasi sistem MPPT menggunakan Simulink Matlab. Selain itu juga akan ditampilkan pengujian perangkat *hardware* secara langsung.

Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh variasi sinyal PWM terhadap tegangan keluaran pada rangkaian *hardware boost Converter*. Siklus kerja yang digunakan bervariasi dimulai dari 10% hingga 80% dengan frekuensi 62500 Hz. Pengujian ini diatur tegangan masukan pada rangkaian *hardware* sebesar 18 V dan hasil tegangan keluaran akan diukur menggunakan alat ukur. [Tabel 2](#) menunjukkan hasil pengujian rangkaian daya *boost Converter*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Daya

<i>Duty cycle</i> (%)	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)
10	18	18.75
20	18	22.18
30	18	25.32
40	18	29.29
50	18	35
60	18 </td <td>42.6</td>	42.6
70	18	54.2
80	18	63.6

Pengujian Nilai Daya Maksimum Tanpa Algoritma MPPT

Pengujian nilai daya maksimum tanpa algoritma MPPT dilakukan dengan cara mengatur nilai *Duty cycle* pada *boost Converter* dengan rentang 10% - 80 % dengan beban 50 ohm. Pengujian ini diatur nilai iradiasi panel surya dari rentang 200 W/m², 400 W/m², dan 600 W/m² dan iradiasi diturunkan dari 600 W/m², 400 W/m², 200 W/m². Pengujian ini meliputi pengukuran tegangan dan arus input *boost Converter*. Pada [Gambar 10](#) akan ditunjukkan input gelombang tanpa algoritma MPPT menggunakan osiloskop.



Gambar 10. Pengujian nilai daya maksimum tanpa algoritma MPPT

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bentuk gelombang input dengan iradiasi naik 200 W/m², 400 W/m², dan 600 W/m² dan iradiasi diturunkan dari 600 W/m², 400 W/m², 200 W/m². Gambar 10 menampilkan bahwa gelombang input yang dilihat melalui osiloskop terdapat banyak osilasi pada gelombang dan waktu *tracking* untuk mencapai titik daya maksimum belum maksimal. Tabel 3 akan menampilkan data pada saat variasi iradiasi dengan hasil tegangan, daya, dan arus.

Tabel 3 Hasil Pengujian Tanpa Algoritma MPPT

Perubahan Iradiasi	Input Tegangan (V)	Input Arus (A)	Input Daya (W)
200 W/m ²	8,2	0,27	2,214
400 W/m ²	14,22	0,4	5,68
600 W/m ²	19,37	0,51	10,26
400 W/m ²	14,22	0,4	5,68
200 W/m ²	8,2	0,27	2,214

Pengujian Daya Maksimum Menggunakan Algoritma MPPT

Pengujian daya maksimum menggunakan algoritma MPPT jenis *Incremental Conductance*. Pengujian ini dilakukan dengan 2 cara yaitu metode konvensional dan modifikasi dari algoritma *Incremental Conductance*. Pengujian metode konvensional dan modifikasi menggunakan nilai iradiasi dari rentang 200 W/m², 400 W/m², dan 600 W/m² dan iradiasi diturunkan dari 600 W/m², 400 W/m², 200 W/m². Nilai resistor yang digunakan sebesar 50 ohm. Hasil pengukuran berupa waktu *tracking* mencapai titik MPP, osilasi yang dihasilkan kedua metode, serta daya maksimum yang dihasilkan. Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian metode INC konvensional dengan variasi perubahan iradiasi.



Gambar 11. Hasil Pengujian Gelombang Input Metode INC Konvensional

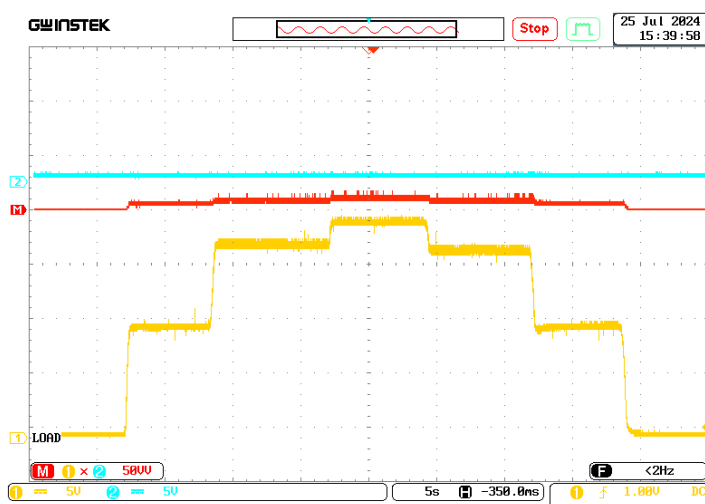
Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran metode INC konvensional dengan peningkatan dan penurunan iradiasi. Input gelombang yang dihasilkan terdapat banyak osilasi di sekitar titik MPP dan waktu *tracking* dalam mencapai titik MPP belum maksimal. Tabel 4 menampilkan hasil pengujian INC konvensional.

Tabel 4 Hasil Pengujian INC Konvensional

Iradiasi (W/m ²)	Output tegangan PV (V)	Output Arus PV (A)	Output Daya PV (W)	Waktu pelacakan (ms)
200	9	0,21	1,89	500
400	16,3	0,34	5,542	555
600	19,6	0,42	8,232	300
400	16,3	0,34	5,542	390
200	9	0,21	1,89	475

Terlihat pada Tabel 4 semakin besar iradiasi nilai tegangan dan arus akan semakin besar. Sementara semakin tinggi iradiasi maka waktu pelacakan akan semakin cepat. Berdasarkan Gambar 2 setiap perubahan iradiasi menyebabkan osilasi awal sebelum mencapai kondisi stabil pada iradiasi tertinggi. Namun osilasi pada kondisi stabil lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi awal akibat penyesuaian nilai *Duty cycle* dalam mencapai titik MPP [5].

Dari hasil pengujian metode *Incremental Conductance* konvensional maka dapat dikembangkan dengan cara memodifikasi algoritma sehingga kinerja panel surya dapat ditingkatkan [12]. Gambar 12 menampilkan hasil pengujian metode INC modifikasi.



Gambar 12. Hasil Pengujian Gelombang Input Metode INC Modifikasi

Gambar 12 menunjukkan hasil pengujian dengan metode INC modifikasi melalui perubahan iradiasi. Berdasarkan perbedaan gelombang antara modifikasi dan konvensional terlihat perubahan osilasi yang dihasilkan dalam mencapai titik MPP. Sementara waktu *tracking* metode modifikasi lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Terlihat pada Tabel 5 yang menampilkan data tegangan, arus, daya, dan waktu *tracking*.

Tabel 5 Hasil Pengujian INC Modifikasi

Iradiasi (W/m ²)	Output tegangan PV (V)	Output Arus PV (A)	Output Daya PV (W)	Waktu pelacakan (ms)
200	10,5	0,26	2,73	345
400	18,4	0,4	7,36	330
600	19,8	0,5	9,9	205
400	18,4	0,4	7,36	195
200	10,5	0,26	2,73	455

Dari hasil Tabel 5 dapat dilihat bahwa kecepatan *tracking* dalam mencapai MPP telah terbukti melalui metode modifikasi. Kecepatan *tracking* menjadi lebih cepat seiring perubahan iradiasi dan osilasi yang dihasilkan pada kondisi awal mulai sedikit serta saat iradiasi tertinggi kondisi osilasi mencapai stabil dalam menyesuaikan titik MPP [8]. Sementara nilai arus, daya dan tegangan juga semakin tinggi daripada metode konvensional.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang meliputi pengukuran dan analisis terhadap sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dengan menggunakan metode *Incremental Conductance* telah berhasil dirancang dan dibangun dengan baik serta berhasil direalisasikan pada perangkat *hardware*. Penelitian ini meliputi 2 tahap pengujian yaitu pengujian konvensional dan modifikasi dari algoritma INC. Pengujian ini dilakukan dengan berbagai perubahan iradiasi dengan suhu konstan. Dari hasil pengujian tersebut metode *Incremental Conductance* mengungguli dari segi osilasi di sekitar titik MPP, kecepatan konvergensi mencapai MPP, serta daya maksimum yang dihasilkan.

Peningkatan iradiasi mempengaruhi kecepatan *tracking* dalam mencapai MPP. Sementara efisiensi daya maksimum yang dihasilkan berpengaruh terhadap kinerja sistem *photovoltaic* yang menjadi lebih baik. Perbedaan Osilasi yang dihasilkan mengakibatkan sistem dapat lebih cepat mencapai titik daya maksimum (MPP) secara konsisten.

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, dapat dilakukan upaya dalam memaksimalkan pengembangan sistem dan *hardware* lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran bahwa pada penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan controller pengendali seperti ANFIS, JST, dsb untuk mengurangi osilasi dalam sistem MPPT agar osilasi yang dihasilkan lebih stabil dan konsisten dalam mencapai titik daya maksimum (MPP).

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, 2019.
- [2] Mahmudatul Ula and Arief Rahmadani, "Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* pada Panel Surya dengan Metode *Incremental Conductance* Menggunakan Zeta Konverter," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–20, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i1.334.
- [3] Gede Patrianaya Margayasa Wirsuyana, Rukmi Sari Hartati, and Ida Bagus Gede Manuaba, "Metode *Maximum Power Point Tracking* pada Panel Surya : Sebuah Tinjauan Literatur," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 21, no. 2, pp. 211–224, 2022, doi: 10.31358/techne.v21i2.321.
- [4] B. P. Roesyadi, A. Parastiwi, and H. Herwandi, "Optimasi Solar Charge Control Dengan Daya 100wp Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 1, p. 74, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i1.230.
- [5] A. Lubis, H. Hasan, and I. D. Sara, "Desain *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) pada Sistem Fotovoltaik Menggunakan Algoritma *Incremental Conductance*," *KITEKTRO J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [6] M. N. HABIBI, D. N. PRAKOSO, N. A. WINDARKO, and A. TJAHLONO, "Perbaikan MPPT *Incremental Conductance* menggunakan ANN pada Berbayang Sebagian dengan Hubungan Paralel," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 3, p. 546, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i3.546.
- [7] A. Asnil, K. Krimadinata, E. Astrid, and I. Husnaini, "Enhanced *Incremental Conductance Maximum Power Point Tracking* Algorithm for Photovoltaic System in Variable Conditions," *J. Eur. des Syst. Autom.*, vol. 57, no. 1, pp. 33–43, 2024, doi: 10.18280/jesa.570104.
- [8] S. Motahhir, A. El Ghzizal, S. Sebti, and A. Derouich, "Modeling of Photovoltaic System with Modified *Incremental Conductance* Algorithm for Fast Changes of Irradiance," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3286479.
- [9] Mardianto, A. Akmal, A. Hafid, and Adriani, "Perancangan Solar Cell Untuk Sumber Energi Listrik Mesin Pompa Air," *Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 15, pp. 48–56, 2023.
- [10] Asnil, Krismadinata, I. Husnaini, and E. Astrid, "Characteristics of photovoltaic modules in various configurations for partial shading conditions," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 99, no. 22, pp. 5287–5299, 2021.
- [11] S. Badri and K. Krismadinata, "Design of *Boost Converter* Integrated with Graphical User Interface," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–42, 2020, doi: 10.46574/motivection.v2i1.40.
- [12] M. A. Mazta, A. S. Samosir, and A. Haris, "Rancang Bangun Interleaved *Boost Converter* Berbasis Arduino," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2016.
- [13] E. A. Hakim, T. Al Ghufuran, M. Effendy, and N. Setyawan, "MPPT Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization dan Artificial Bee Colony," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 218–224, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.81.
- [14] B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on *Maximum Power Point Tracking* Techniques for Photovoltaic Power Systems," *IEEE Trans. Sustain. ENERGY*, vol. 4, no. 1, pp. 89–98, 2013, doi: 10.1109/TSTE.2012.2202294.

- [15]M. Yuhendri and G. S. Putra, “Implementasi Sistem Kendali MPPT Panel Surya Berbasis Algoritma *Incremental Conductance*,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 218–223, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.72.
- [16]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, doi: 10.9790/1676-104028086.