

## **TUGAS AKHIR**

### ***MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (InCo) PADA PLTS MENGUNAKAN BUCK – BOOST DC – DC CONVERTER***

Diajukan Sebagai Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Program Strata-1 Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

**Disusun Oleh :**

**Wira Agus Lexmana Tanjung**

**1607220055**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

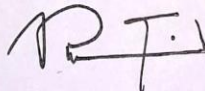
Nama : Wira Agus Lexmana Tanjung  
NPM : 1607220055  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : *Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (InCo) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*  
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Maret 2021

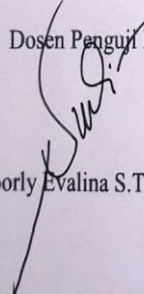
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



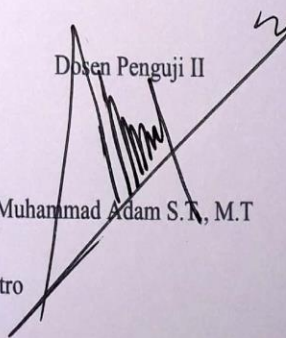
Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Penguji I



Noorly Evalina S.T., M.T

Dosen Penguji II



Muhammad Adam S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Faisal Ihsan Nasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Wira Agus Lexmana Tanjung  
Tempat/Tanggal Lahir : Tebing Tinggi / 03 Agustus 1998  
NPM : 1607220055  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

***“Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (InCo) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter”.***

Bukan merupakan Plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian anantara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Maret 2021

Saya yang menyatakan,



Wira Agus Lexmana Tanjung

## KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan Syukur Kehadirat ALLAH Subhana Wata'ala yang telah memberikan Rahmat dan Kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "*Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (Inco) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*".

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, tentunya terdapat dukungan dari berbagai pihak yang mendukung, baik dari segi Moril dan Materil. Untuk itu pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhana Wata'ala yang dengan segala Rahmat dan Karunia-Nya serta kesempatan yang diberikan kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Alm ayah Waluyo Suradi karena beliau lah menjadi motivasi saya menjalani kehidupan sesungguhnya. Kepada ibunda tercinta Rosdiana Tanjung, telah berjuang dengan keras baik doa, materi, didikan yang telah diberikan ke penulis dalam mendukung penulis menggapai impian dan dapat menyelesaikan tugas akhir ini, kepada saudara-saudara penulis, abang Muhammad Wardiansyah, kakak Lisa Andriani Tanjung yang turut membantu penulis sampai menyelesaikan jenjang pendidikan S1 ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,S.Pd.,M.T dan Bapak Partaonan Harahap S.T.,M.T selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibunda Rimabawati S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan Kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir serta selaku mentor yang memberkan segala solusi terbaik dalam menyelesaikan beberapa masalah.
6. Seluruh Staff Pengajar/Pegawai Program Studi Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2016, Terkhusus Ridho Ananda, Heri Setiadi, Agung Tajali Ramadhan, , Andre Dwicahyo, Muhammad Ardiansyah, Muhammad Aslam Ridho yang telah menjadi sahabat terbaik Penulis, Serta teman-teman kelas A-1 Pagi Teknik Elektro.
8. Kepada Youtube penulis sangat berterima kasih karena telah menjadi salah satu pementor terbaik saya dalam melaksanakan penulisan penelitian ini, dan menjadi teman penghibur dikala penulis sedang galau-galaunya.
9. Kepada Humairoh Squad dan Rohis Sukses penulis mengucapkan teri makasih, karena sudah menjadi bagian dari lingkungan hidup penulis yang membuat penulis merasa bahagia.
10. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

11. Terimakasih kepada diri saya sendiri karena sudah mampu melawan rasa malas dalam membuat penulisan tugas akhir ini. Karena kalau bukan diri sendiri yang berusaha siapa lagi.

Semoga Allah Yang Mahas Esa senantiasa membalas semua Kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat terkhusus bagi Penulis dan kepada pembaca umumnya. Aamiin Ya Rabbal ‘Alamin.

Medan, 12 Maret 2021

Penulis

**Wira Agus Lexmana Tanjung**

**1607220055**

## ABSTRAK

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia saat ini. Konversi matahari sangat banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. *Solar cell* merupakan kunci dasar *photovoltaic* yang terdapat di PLTS untuk mengekstraksi energi dan mengirimkannya ke beban. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak metode yang dipakai dalam mengarahkan sistem pelacakan MPPT. Penelitian dengan judul “*Maximum Power Point Tracker (Mpppt) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (Inco) Pada Plts Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*” memiliki rumusan masalah untuk mengetahui optimalisasi *output* sistem *photovoltaic* yang terhubung dengan MPPT algoritma *incremental conductance* dan yang tidak terhubung dengan MPPT. Penelitian ini menggunakan metode *library research* atau penelitian kepustakaan. Pengumpulan data melalui alat bantu berupa digital lux meter lalu disimulasikan dengan *software* Matlab Simulink. Perancangan sistem dimulai dengan membuat topologi *buck-boost converter* kemudian melakukan *setting* parameter *PV array* yang disesuaikan dengan *datasheet* pada modul PV yang asli. Berdasarkan analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, semakin tinggi nilai irradiasi yang mengenai permukaan *photovoltaic* maka nilai *Isc* dan *Voc* semakin meningkat. Dalam kondisi irradiasi yang berubah-ubah sistem *photovoltaic* yang menggunakan MPPT dapat melacak daya yang maksimum dengan peningkatan rata-rata sebesar 65.53% tegangan *output*, 65.48% arus *output* dan 86.47% daya *output*.

Kata Kunci : PLTS, *Photovoltaic*, *Buck-Boost Converter*, *Incremental*



## ABSTRACT

*Electrical energy is an integral part of human life today. Solar conversion is very widely used to generate electricity. Solar cells are the key to the photovoltaic basis found in plts to extract energy and deliver it to the load. In recent years, many methods have been used in directing MPPT tracking systems. Research titled "Maximum Power Point Tracker (Mppt) Based on Incremental Conductance Method (Inco) In Plts Using Buck – Boost Dc – Dc Converter" has a problem formulation to know the optimization of photovoltaic system output connected with MPPT incremental conductance algorithm and which is not connected with MPPT. This research uses library research method or literature research. Data collection through digital lux meter tools is then simulated with Matlab Simulink software. System design begins by creating a buck-boost converter topology and then setting pv array parameters that are adjusted to the datasheets in the original PV module. Based on the analysis conducted in this study, the higher the value of irradiation that hits the photovoltaic surface, the value of Isc and Voc increases. In changing irradiation conditions photovoltaic systems using MPPT can track maximum power with an average increase of 65.53% output voltage, 65.48% output current and 86.47% output power.*

*Keywords: PLTS, Photovoltaic, Buck-Boost Converter, Incremental*



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penulisan.....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Metodologi Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	8
2.2 Landasan Teori.....	13
2.2.1 Solar Irradiation .....	13
2.2.2 Photovoltaic .....	14
2.2.3 Pulse Width Modulation .....	23
2.2.4 Maximum Power Point Tracking.....	28
2.2.5 Metode Incremental Conductance.....	30
2.2.6 DC-DC Converter .....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.3 Prosedur Penelitian .....	39
3.4 Pengumpulan Data .....	41
3.5 Tahapan Penelitian.....	41

3.6	Perancangan Simulasi .....	42
3.6.1	Setting Simulasi Photovoltaic .....	42
3.6.2	Perancangan Simulasi <i>Buck-Boost Converter</i> .....	47
3.6.3	Monitoring Temperatur dan Irradiasi.....	50
3.6.4	Perancangan MPPT Implementasi Metode <i>Incremental Conductance</i> .....	52
3.7	Pengujian sistem .....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		57
4.1	Analisa Data Temperatur dan Irradiasi Matahari.....	57
4.2	Analisa Metode Algoritma Incremental Conductance (MPPT).....	60
4.2.1	Analisa Algoritma Incremental Metode A.....	60
4.2.2	Analisa Algoritma Incremental Metode D.....	68
4.2.2	Analisa Tanpa MPPT Menggunakan Metode B .....	76
4.3	Optimalisasi Daya Output Sistem MPPT dan Tanpa MPPT.....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		92
5.1	Kesimpulan .....	92
5.2	Saran .....	93
DAFTAR PUSTAKA .....		94
LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pembebasan Elektron Oleh Foton [9].....	17
Gambar 2.2 Rangkaian Persamaan Sel Surya [23] .....	20
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik I-V Dan P-V Pada Sel Surya [24] .....	22
Gambar 2.4 <i>Single Pulse Modulation</i> [25].....	24
Gambar 2.5 <i>Multiple Pulse Width Modulation</i> .....	25
Gambar 2.6 Skema Pembentukan Sinyal SPWM [26] .....	27
Gambar 2.7 Bentuk Gelombang SPWM [26] .....	28
Gambar 2.8 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya [27].....	29
Gambar 2.9 Diagram Algoritma <i>Incremental Conductance</i> .....	31
Gambar 2.10 Diagram Skematik Penjejak Metode InCo [4] .....	32
Gambar 2.11 Rangkaian <i>Buck Converter</i> [28].....	33
Gambar 2.12 Rangkaian <i>Boost Converter</i> [28].....	34
Gambar 2.13 Rangkaian Elektrik <i>Buck-Boost Converter</i> [14].....	36
Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	40
Gambar 3. 2 <i>Software</i> MATLAB R2016a .....	43
Gambar 3. 3 <i>Block</i> Parameter PV Array .....	45
Gambar 3. 4 Hubungan Antara Arus Dengan Tegangan .....	46
Gambar 3. 5 Hubungan Antara Daya Dengan Tegangan.....	46
Gambar 3. 6 Topologi <i>Buck-Boost Converter</i> .....	47
Gambar 3. 7 <i>Chart</i> Simulasi Algoritma <i>Incremental Conductance</i> .....	53
Gambar 3. 8 Diagram Metode <i>Incremental Conductance</i> .....	54
Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengendalian PV .....	55
Gambar 3. 10 Simulasi Dengan Menggunakan MPPT .....	56

Gambar 3. 11 Simulasi Tanpa Menggunakan MPPT.....	56
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan temperatur tertinggi dan terendah .....	58
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan irradiansi tertinggi dan terendah .....	59
Gambar 4. 3 Grafik rata – rata temperatur dalam satu minggu.....	59
Gambar 4. 4 Grafik rata – rata temperatur dalam satu minggu.....	60
Gambar 4. 5 <i>Chart</i> Algoritma <i>incremental conductance</i> metode A .....	61
Gambar 4. 6 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 metode A .....	65
Gambar 4. 7 <i>Chart</i> Algoritma <i>incremental conductance</i> metode D .....	69
Gambar 4. 8 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 metode D .....	72
Gambar 4. 9 Simulasi <i>photovoltaic</i> tanpa MPPT.....	76
Gambar 4. 10 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 tanpa MPPT.....	80
Gambar 4. 11 Grafik rata-rata $V_{pv}$ incremental conductance dan tanpa MPPT....	83
Gambar 4. 12 Grafik rata-rata $V_{out}$ incremental conductance dan tanpa MPPT..	84
Gambar 4. 13 Grafik Rata-Rata $I_{pv}$ Incremental Conductance Dan Tanpa MPPT	85
Gambar 4. 14 Grafik rata-rata $I_{out}$ InCo dan tanpa MPPT .....	86
Gambar 4. 15 Grafik rata-rata $P_{pv}$ incremental conductance dan tanpa MPPT ....	87
Gambar 4. 16 Grafik rata-rata $P_{out}$ incremental conductance dan tanpa MPPT....	88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan Dan Kekurangan <i>Photovoltaic</i> [9].....	15
Tabel3.1 <i>Datasheet Photovoltaic SOLAR MODULE</i> .....	44
Tabel 3. 2 <i>Datasheet Standart Test Conditions (STC) Photovoltaic</i> .....	44
Tabel 3. 3 Spesifikasi Simulasi Topologi <i>Buck-Boost Converter</i> .....	48
Tabel 3. 4 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 1 .....	50
Tabel 3. 5 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 2 .....	51
Tabel 3. 6 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 3 .....	51
Tabel 3. 7 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 4 .....	51
Tabel 3. 8 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 5 .....	51
Tabel 3. 9 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 6 .....	52
Tabel 3. 10 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 7 .....	52
Tabel 4. 1 Nilai Temperatur Tertinggi Dan Terendah Dalam Satu Minggu.....	57
Tabel 4. 2 Nilai irradiasi tertinggi dan terendah dalam satu minggu.....	58
Tabel 4. 3 Hasil simulasi hari 1 metode A .....	62
Tabel 4. 4 Hasil simulasi hari 2 metode A .....	62
Tabel 4. 5 Hasil simulasi hari 3 metode A .....	63
Tabel 4. 6 Hasil simulasi hari 4 metode A .....	63
Tabel 4. 7 Hasil simulasi hari 5 metode A .....	63
Tabel 4. 8 Hasil simulasi hari 6 metode A .....	64
Tabel 4. 9 Hasil simulasi hari 7 metode A .....	64
Tabel 4. 10 Hasil simulasi hari 1 metode D .....	69
Tabel 4. 11 Hasil simulasi hari 2 metode D .....	70
Tabel 4. 12 Hasil simulasi hari 3 metode D .....	70

Tabel 4. 13 Hasil simulasi hari 4 metode D .....	70
Tabel 4. 14 Hasil simulasi hari 5 metode D .....	71
Tabel 4. 15 Hasil simulasi hari 6 metode D .....	71
Tabel 4. 16 Hasil simulasi hari 7 metode D .....	71
Tabel 4. 17 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 1 .....	77
Tabel 4. 18 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 2 .....	77
Tabel 4. 19 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 3 .....	77
Tabel 4. 20 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 4 .....	78
Tabel 4. 21 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 5 .....	78
Tabel 4. 22 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 6 .....	78
Tabel 4. 23 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 7 .....	79
Tabel 4. 24 Rata-rata $V_{pv}$ metode A, B, D .....	82
Tabel 4. 25 Rata-rata $V_{out}$ metode A, B, D .....	83
Tabel 4. 26 Rata-rata $I_{pv}$ metode A, B, D .....	84
Tabel 4. 27 Rata-rata $I_{out}$ metode A, B, D .....	85
Tabel 4. 28 Rata-rata $P_{pv}$ metode A, B, D .....	86
Tabel 4. 29 Rata-rata $P_{out}$ metode A, B, D .....	87
Tabel 4. 30 Rata-rata $V_{out}$ optimal MPPT dan tanpa MPPT .....	89
Tabel 4. 31 Rata-rata $I_{out}$ optimal MPPT dan tanpa MPPT .....	89
Tabel 4. 32 Rata-rata $P_{out}$ optimal MPPT dan tanpa MPPT .....	89

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia saat ini. Terlebih didukung dengan perkembangan teknologi yang semakin maju mengharuskan manusia untuk senantiasa berinovasi agar dapat mengikuti segala dinamika perubahan atas perkembangan yang ada. Salah satunya dengan memenuhi kebutuhan energi khususnya energi listrik. Kebutuhan energi listrik ini sangat penting sebanding dengan pertumbuhan populasi jumlah penduduk dunia sedangkan ketersediaan energi semakin menipis. Energi yang sering digunakan adalah energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi dimana ketersediannya terbatas. Peningkatan kebutuhan energi listrik yang tidak diimbangi dengan pemenuhan energi listrik tersebut menyebabkan berbagai permasalahan mengenai krisis energi listrik.

Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti mencapai 50.000 MW, namun hingga saat ini kebutuhan tersebut masih belum mencukupi sesuai proyeksi yang ada. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk Indonesia, maka pemerintah membangun mega proyek 35.000 MW yang merupakan proyeksi PLN hingga tahun 2024. Namun kondisi pada tahun 2015 yang masih sekitar 84% rasio elektrifikasi, serta akan sangat mungkin nilai tersebut akan meningkat seiring bertambahnya penduduk maka Indonesia perlu digencarkan pembangunan khususnya energi terbarukan yang ramah lingkungan. [1].



Konversi energi matahari sangat banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. Sebuah studi perbandingan konsumsi energi dunia yang dirilis oleh Badan Energi Internasional menunjukkan bahwa pada tahun 2050, lebih dari 45% energi yang diperlukan di dunia hanya akan diproduksi dari pembangkit tenaga surya [2]. Penggunaan energi matahari oleh *photovoltaic* menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Faktor yang harus diperhatikan sebelum melaksanakan sumber energi terbarukan adalah mengukur secara akurat potensi sumber daya yang tersedia antara lain intensitas cahaya matahari[3]. Nilai efisiensi konversi energi *solar cell* merupakan kunci dasar panel surya untuk mengekstraksi energi dan mengirimkannya ke beban. Peningkatan daya yang dihasilkan oleh sistem pembangkit dipengaruhi oleh nilai efisiensi tersebut. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi, antara lain efisiensi panel surya (8% - 15%), efisiensi inverter (95% - 98%), dan *Maximum Power Point Tracker* ( $\pm 98\%$ ) [4].

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak metode yang dipakai dalam mengarahkan pelacakan MPPT dan juga metode tersebut banyak digunakan berupa metode *pertubs and observing* (P&O), serta metode *incremental conductance* (InCo). Metode ini dapat memperbarui tegangan operasi dari PV *array* dengan berulang-ulang yang memvariasikan kerja dari siklus konverter dengan langkah yang tetap. Metode P&O lebih mudah digunakan tetapi kurang akurat dalam pelacakan MPP ketika kondisi *atmospheric* yang konstan. Sebaliknya metode InCo lebih kompleks dalam menunjukkan kinerja di bawah variasi kondisi *atmospheric* dengan cepat [5].

Sistem PV memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yaitu variasi isolasi dan suhu dapat

mempengaruhi karakteristik *output* dari modul PV. *Maximum Power Point Tracker* digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum dari modul PV surya dan mentransfer daya dari modul PV ke beban. Konverter DC-DC bertindak sebagai antarmuka antara modul PV dengan mengubah *duty cycle* impedansi beban disesuaikan dengan impedansi sumber untuk mendapatkan daya maksimum dari modul PV [6]. Titik daya maksimum adalah titik tegangan dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh modul PV. Dalam metode InCo penyesuaian tegangan terminal *array* sesuai dengan MPP tegangan yang dilakukan [7].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka Tugas Akhir ini akan dilakukan pengimplementasian sistem penjejak Maximum Power Point Tracker (MPPT) berdasarkan algoritma *incremental conductance* untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya tanpa melakukan proses *tracking* atau perubahan mekanik oleh panel surya. Selanjutnya analisis komparatif tambahan dengan *Buck* serta *Boost Converter* dengan bantuan *Matlab Simulink*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimana metode algoritma *incremental conductance* pada MPPT yang diimplementasikan menggunakan *Buck-Boost DC-DC Converter*.
2. Seberapa besar optimalisasi daya *output* dengan sistem MPPT menggunakan metode *incremental conductance*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui Bagaimana metode algoritma *incremental conductance* pada MPPT yang diimplementasikan menggunakan *Buck-Boost DC-DC Converter*.
2. Mengetahui seberapa besar optimalisasi daya *output* dengan sistem MPPT menggunakan metode *incremental conductance*.

### 1.4 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberi manfaat, terutama bagi penulis :

1. Untuk memperkenalkan kepada mahasiswa teknik elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang *photovoltaic* menggunakan MPPT metode *incremental conductance* pada topologi *buck-boost converter*.
2. Dapat menambah wawasan dan pengalaman langsung tentang MPPT dengan metode *incremental conductance* pada topologi *buck-boost converter*.
3. Sebagai pijakan dan referensi pada peneliti-peneliti selanjutnya yang berhubungan dengan *photovoltaic* serta MPPT agar nantinya dapat mengimprovisasi penelitian sebelumnya.

### 1.5 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian yang dilakukan peneliti dibatasi pada beberapa hal antara lain :

1. Melakukan simulasi MPPT pada *photovoltaic* metode *incremental conductance* dengan topologi *buck-boost converter* menggunakan MATLAB Simulink.
2. Melakukan perbandingan topologi *buck-boost converter* yang menggunakan MPPT dengan yang tidak menggunakan MPPT.
3. Tidak membahas perbandingan antara modul MPPT asli yang terdapat di lokasi penelitian dengan simulasi MPPT yang dilakukan pada *software* MATLAB baik berupa daya, tegangan maupun arus.
4. Data irradiansi dan temperatur dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang dilihat dari Digital Lux Meter.
5. Semua sistem dijalankan dalam simulasi *software*.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari :

### 1. Studi Literatur

Hal ini dilakukan untuk mempelajari teori dan menjadi referensi penunjang dalam pelaksanaan yang berkaitan dengan penelitian.

### 2. Perancangan Sistem

Melakukan perancangan rangkaian topologi *buck-boost converter* dengan *software* MATLAB Simulink dan melakukan setting parameter PV array dengan melihat *datasheet photovoltaic* yang asli.

### 3. Pengujian dan Analisis

Pengujian merupakan metode untuk memperoleh data dari simulasi yang dilakukan sehingga dapat diketahui dan diperoleh nilai-nilai yang dijalankan dari simulasi tersebut.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan penyusunan tugas akhir berupa latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, manfaat penulisan, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang pada penelitian, memuat tentang dasar teori tentang *photovoltaic*, metode *incremental conductance* dan topologi *buck-boost converter* sederhana.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, tahapan dalam melaksanakan penelitian baik berupa pengumpulan data maupun pengujian simulasi, lalu menerangkan mengenai diagram alir / *flowchart* dan hal-hal lain yang berhubungan dengan proses simulasi.

### **BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai hasil simulasi dan analisa data pada pengujian yang dilakukan dalam *software*.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Sel surya merupakan suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Pada umumnya material yang digunakan untuk membuat sel surya adalah silikon kristal. Saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya. Agar dapat digunakan sebagai bahan sel surya, silikon dimurnikan hingga satu tingkat yang sangat tinggi [8].

Sel surya menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika bahan tersebut dipaparkan pada cahaya. Selama cahaya mengenai bahan semikonduktor tersebut maka sel surya akan menghasilkan energi listrik, dan ketika sel surya tidak dipaparkan cahaya, maka sel surya akan berhenti menghasilkan listrik. Beberapa sel surya mampu tetap menghasilkan energi [9]. Pada penelitian yang dilakukan [8] tegangan dan arus yang dihasilkan akan mulai meningkat pada pagi hari pukul 08.00WIB, kemudian akan mencapai level yang maksimum pada siang hari pukul 11.00-14.00WIB, dan mulai turun hingga sore hari, selain itu faktor cuaca sangat mempengaruhi kinerja dari PLTS.

Sel surya juga teknologi yang menjanjikan sebab tidak hanya berguna bagi peneliti namun juga bisa dirasakan masyarakat umum. Menurut [10] di dalam sel surya memiliki keuntungan antara lain :

1. Merupakan konversi langsung energi cahaya menjadi energi listrik.



2. Tidak menggunakan sistem mekanis yang menimbulkan gangguan.
3. Tidak memerlukan suhu tinggi.
4. Tidak menghasilkan polusi.
5. Mempunyai umur yang panjang.
6. Sumber energi gratis untuk diperoleh.
7. Sumber energi yang fleksibel yang mampu menghasilkan daya dari mikrowatt sampai megawatt.

Beberapa kelemahan dari sel surya menurut [9] antara lain :

1. Biaya instalasi tinggi.
2. Kurangnya keandalan sistem penunjang termasuk sistem penyimpanan energi.
3. Kurangnya sistem yang terintegrasi dengan sel surya secara komersial.
4. Rendahnya efisiensi secara ekonomis.

Sel surya sendiri sering disebut juga *photovoltaic* yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut sebagai pita valensi. Ketika ada energi yang lebih besar dari batas *threshold* energi (*band gap energy*) yang diberikan pada elektron valensi tersebut, maka ikatan pada elektron tersebut putus sehingga elektron dapat bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut sebagai pita konduksi yang dapat menghasilkan listrik melalui bahan tersebut.

Untuk mendapatkan serapan elektron dari sebuah cahaya yang optimal, *photovoltaic* sering dipasang di daerah terbuka. beberapa metode dilakukan seperti proses *tracking* mekanik. Pada penelitian yang dilakukan rata-rata hasil optimasi dari solar panel dual axis dinamis (*tracking* mekanik) adalah bekisar

antara 5% jika dibandingkan dengan sistem solar panel konvensional [11]. Lalu dikemukakan bahwa pemakaian tracking mekanik juga dapat mempertahankan tegangan dan arus lebih stabil dibanding panel PV tanpa tracking mekanik atau konvensional [12].

Nilai iradiasi dan temperature yang diterima *photovoltaic* terdapat nilai maksimum yang dihasilkan. Hal ini dikemukakan oleh [4] dalam penelitiannya bahwa MPPT memiliki keuntungan salah satunya adalah mempercepat terpenuhnya nilai daya yang diperlukan oleh beban dari daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic (equilibrium photovoltaic)*.

Penelitian mengenai *photovoltaic* telah menemukan berbagai metode untuk mengoptimalkan daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* seperti metode *pertubs and observing, incremental conductance*. Dalam metode *pertubs and observing* dengan menggunakan sumber panel surya sebesar 50 Watt, sistem PV menggunakan teknologi MPPT berbasis *pertubs and observing* menghasilkan daya listrik sebesar 42,9 W atau memiliki efisiensi sebesar 86%. Sedangkan sistem PV menggunakan MPPT berbasis *pertubs and observing - Fuzzy* menghasilkan daya listrik sebesar 44,6 W atau memiliki efisiensi sebesar 89% [13]. Lalu sistem kendali MPPT berbasis algoritma *pertubs and observing* yang dihubungkan dengan *buck-boost converter* dapat mengoptimalkan daya keluaran sistem PV sebesar 91,2%. Sistem kendali MPPT dengan algoritma *pertubs and observing* mampu menghasilkan tegangan dan arus yang besar untuk menghasilkan daya yang besar namun memiliki osilasi yang besar. Algoritma ini baik digunakan untuk mencapai target daya yang besar [14].

Metode *pertubs and observing* bekerja berdasarkan teknik gangguan (perturbation) pada sistem dengan cara menambah atau mengurangi tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) sesuai dengan responnya yang diubah melalui parameter *dutycycle* kemudian dilakukan pengamatan (observation) terhadap respon daya yang keluar dari modul PV [15].

Pada metode *incremental conductance* sistem kendali MPPT berbasis algoritma *incremental conductance* yang dihubungkan dengan *buck-boost converter* dapat mengoptimalkan daya keluaran *photovoltaic* dimana algoritma *incremental conductance* baik untuk keamanan dan ketahanan baterai [14].

Titik kerja maksimum *photovoltaic* terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh [16] bahwa metode *incremental conductance* bekerja berdasarkan *gradient* kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Algoritma *incremental conductance* digunakan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh algoritma *pertubs and observing* dengan kemiringan P-V sebagai dasar pengontrolannya.

Kemudian perkembangan teknologi dalam mengkonversi energi dari *photovoltaic* juga beragam. Perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika telah mampu menghasilkan sistem penyedia daya tegangan arus searah (DC), yang dihasilkan melalui konversi tegangan DC masukan ke bentuk tegangan DC keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah.

Studi dari jurnal yang telah terpublikasi mengemukakan bahwa penelitian tentang *buck-boost converter* adalah sebuah perangkat elektronik yang mengatur tegangan dan arus sesuai dengan kebutuhan. Variasi beban ini dapat menyebabkan

perubahan titik operasi sel surya (karakteristik arus tegangannya) sehingga dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum [4].

Metode ini berkaitan dengan output tegangan, dimana hal tersebut untuk mempertahankan amplitudo tegangan beban menggunakan *buck-boost converter* DC/DC yang dilengkapi dengan Kontrol PI (Propotional Integral). Dimana parameter rangkaiannya dihitung untuk mempertimbangkan efek perpindahan frekuensi. Efisiensi yang didapat dari *buck-boost* dengan kontrol PI ini adalah 9,5%. Sedangkan efisiensi *buck-boost* yang didapat dari sistem kontrol PID ini adalah 8,7%. Dari kedua kontrol yang dipakai kontrol PID merupakan kontrol terbaik dengan nilai maximum overshoot ( $M_p$ ) dan settling time ( $T_s$ ) lebih kecil dari kontrol PI walaupun nilai efisiensi dari kontrol PI lebih baik dari pada efisiensi kontrol PID [17].

Penelitian yang sama menggunakan *buck-boost converter* x l6009, dimana penelitian tersebut menggunakan baterai berkapasitas 12 Volt 7 AH. Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan modul surya hanya dapat menghasilkan pada intensitas cahaya tertinggi, yaitu sebesar 2,1 W dengan intensitas 17500 lumen. Metode *buck-boost converter* yang di uji, juga efektif digunakan untuk menstabilkan tegangan pengisian baterai yang berkapasitas rendah. Efisiensi yang dapat dihasilkan dari *buck-boost converter* yang digunakan relative tinggi dengan nilai efisiensi rata-rata mencapai 73,9% [18]. *buck-boost converter* memiliki keandalan yang lebih baik dari konverter sepic. Selain rangkaian *buck boost* lebih sederhana, lebih murah, pengisian baterai dengan *buck-boost* juga lebih cepat dari *converter sepic* yaitu 5 menit lebih cepat [19].

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Solar Irradiation

Konversi energi matahari sangat banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. Matahari mempunyai diameter  $1,39 \times 10^9$  m, bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellips dengan matahari berada pada pusatnya, jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah  $1,495 \times 10^{11}$  m, waktu tempuh sinar matahari sampai ke bumi sekitar 8 menit 20 detik. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat berperan penting dalam berbagai aspek terutama dalam pengaplikasi solar sel sebagai pembangkit listrik. Indonesia merupakan negara yang terletak dalam jalur khatulistiwa yang sepanjang tahun mendapatkan cahaya matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,5-4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari di seluruh wilayah Indonesia. Suplai energi surya yang di terima oleh permukaan bumi mencapai 3072 joel pertahun. Jumlah energi itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini [20].

konstanta matahari, kepadatan fluks radiasi rata-rata di luar atmosfer bumi, adalah 1367 W/m<sup>2</sup> (dalam  $\pm 1\%$ ), dengan sebagian besar radiasi dalam rentang panjang gelombang 0,3 hingga 3 $\mu$ m. Pengukuran intensitas cahaya dengan satuan lux. Tidak ada konversi langsung antara lux dan W/m<sup>2</sup> itu tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Namun, ada perkiraan konversi 1 lux = 0.0079 W/m<sup>2</sup> [21]. Radiasi ini memiliki karakteristik arah yang ditentukan oleh asset sudut yang menentukan sudut kejadian radiasi pada suatu permukaan. Energi matahari dalam bentuk radiasi elektromagnetik memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,3 $\mu$ m ( $10^{-6}$ m) hingga lebih dari 3 $\mu$ m [22]. Pada saat tengah hari

yang cerah, matahari mampu menghasilkan daya sebesar 1000 watt persegi. Jika sebuah bahan semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10%, maka sel surya ini mampu memberikan listrik sebesar 100 watt. Diketahui modul surya komersil yang di jual di pasaran memiliki efisiensi berkisar antara 5% hingga 15% tergantung material penyusunnya.

### **2.2.2 Photovoltaic**

PV (*photovoltaic*) merupakan teknologi menggunakan komponen semikonduktor yang dapat memanfaatkan energi matahari berupa radiasi cahaya menjadi listrik searah. Pada umumnya, solar cell merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari solar cell.

Sel surya umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada solar cell terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif . Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

Semakin besar intensitas cahaya matahari yang masuk, arus yang dihasilkan akan semakin besar pula. Oleh karena itu faktor cuaca adalah penting mengingat intensitas cahaya matahari ketika cuaca mendung dan cerah tidaklah

sama. Di bawah ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari *photovoltaic* agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum :

1. Suhu permukaan *photovoltaic*.
2. Radiasi solar matahari (iradiasi)
3. Kecepatan angin bertiup.
4. Keadaan atmosfer bumi.
5. Orientasi *photovoltaic*.
6. Posisi letak *photovoltaic* terhadap matahari (tilt angle).

Tabel 2. 1 Kelebihan Dan Kekurangan *Photovoltaic* [9]

Kelebihan <i>photovoltaic</i>	Kekurangan <i>photovoltaic</i>
Sumber bahan bakar sangat luas dan pada dasarnya tidak terbatas	Sumber bahan bakar tersebar (sinar matahari adalah energi dengan kepadatan relatif rendah)
Tidak ada emisi, tidak ada pembakaran atau bahan bakar radioaktif untuk dibuang (tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim global atau polusi)	
Biaya pengoperasian rendah (tanpa bahan bakar)	Biaya pemasangan yang tinggi
Pengoperasian suhu sekitar (tidak ada korosi suhu tinggi atau masalah keamanan)	
Keandalan tinggi dalam modul (> 20 tahun)	Keandalan elemen bantu (keseimbangan sistem) yang lebih buruk termasuk penyimpanan
Modular (kenaikan kecil atau besar)	

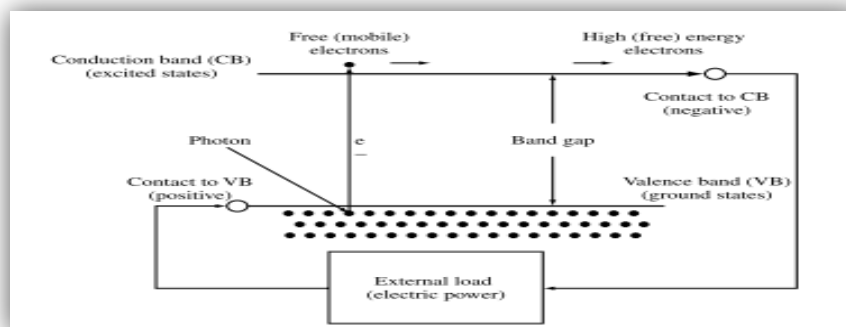


Kelebihan <i>photovoltaic</i>	Kekurangan <i>photovoltaic</i>
Instalasi cepat	
Dapat diintegrasikan ke dalam struktur bangunan baru atau yang sudah ada	
Dapat diinstal di hampir semua titik penggunaan	Kurangnya integrasi dan instalasi sistem yang tersedia secara komersial sejauh ini
Puncak output harian mungkin cocok dengan permintaan lokal	Kurangnya penyimpanan energi yang efisien secara ekonomis
Penerimaan publik yang tinggi	
Catatan keamanan yang sangat baik	

Susunan sebuah sel surya sama dengan sebuah diode. Prinsip kerja *photovoltaic* yaitu terdiri dari lapisan yang dinamakan p-n junction. P-n junction itu diperoleh dengan jalan menambahkan sebatang bahan semikonduktor silikon murni (valensinya 4) dengan impuriti yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang disebelah kanan ditambahkan dengan impuriti bervalensi 5. Sehingga pada bagian kiri terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis n. Didalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan hole, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Didalam silikon jenis p terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu didalam silikon jenis p hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas.

Sebaliknya di dalam silikon jenis n terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas dan hole disebut pembawa muatan minoritas.

Pada batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian p dan bagian n. Oleh karena itu dinamakan p-n junction. Bila sekarang, bagian p dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian n, maka terjadi hubungan yang dinamakan *forward* bias. Dalam keadaan itu, didalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam p-n junction disebabkan oleh gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron.



Gambar 2.1 Proses Pembebasan Elektron Oleh Foton [9]

Apabila bagian p dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian n dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan *reverse* bias. Dengan keadaan seperti ini maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Di dalam p-n junction tidak ada gerakan

pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun p bergerak berusaha untuk mencapai kutub positifnya baterai, demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) didalam bagian n juga bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu dalam keadaan *reverse* bias didalam p-n junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan *reverse saturation current* atau *leakage current* (arus bocor). Bila suhu p-n junction tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam p-n junction bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa suatu p-n junction dapat juga menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan fotokonduktif. Berdasarkan gejala fotokonduktif itu maka dibuat komponen elektronik fotodioda dari p-n junction itu.

Dalam keadaan *reverse* bias dengan memperbesar intensitas cahaya yang menimpa fotodioda dapat meningkatkan arus-arus bocornya. Arus bocor dapat juga diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan *reverse*), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian *reverse* bias itu dilepas dan diganti dengan bahan tahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik hole maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan photovoltare. Cahaya dapat meneruskan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah hole pada bagian p dan jumlah elektron pada bagian n. Berdasarkan gejala fotovoltare ini maka dapat diciptakan komponen

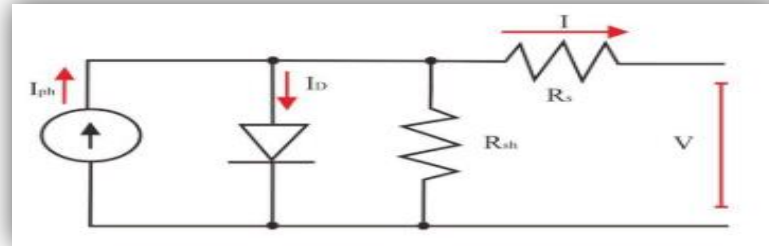
elektronik sel fotovoltaik karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya maka sel fotovoltaik sering juga disebut sel surya atau solar energi converter.

Sel surya pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala fotovoltaik sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan daya yang sangat besar mungkin. Silikon jenis p merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian p ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian p terdapat bagian jenis n yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk panel dan dinamakan panel fotovoltaik (PV).

Karakteristik *Photovoltaic* yaitu seperti sebuah dioda yang dibentuk dari tiga buah layer tipe-n dibagian atas dan sebuah layer tipe-p dibagian bawah. Elektron bebas digerakkan oleh tumbukan jutaan photon yang didapat dari paket radiasi sinar matahari yang memapar layer *interface* yang menyebabkan arus listrik mengalir. Setiap sel photovoltaic seluas  $1\text{cm}^2$  menghasilkan tegangan listrik sekitar 500- 600mV dengan arus sekitar 30mA pada radiasi sinar matahari sebesar  $1000\text{watt/m}^2$ .

Berbagai penelitian yang mempelajari sel surya dan aplikasinya menggunakan model rangkaian listrik yang ekuivalen dengan sel surya untuk mendeskripsikan hubungan antara arus keluaran dan tegangan keluaran sel surya. Rangkaian ekuivalen dari sel surya ini terdiri atas sumber arus yang dihasilkan

dari proses konversi, sebuah diode, sebuah resistor parallel, dan sebuah resistor seri.



Gambar 2.2 Rangkaian Persamaan Sel Surya [23]

$I_{ph}$  adalah arus yang dihasilkan oleh sel surya hasil konversi dari energi matahari. Berdasarkan penjelasan pada bagian prinsip kerja, sel surya memiliki suatu pn junction yang direpresentasikan oleh sebuah diode, dimana arus yang mengalir pada diode tersebut adalah  $I_D$ . Sedangkan  $R_s$  adalah hambatan yang merepresentasikan sebagai daya yang terbuang (*losses*) karena resistivitas bahan dan  $R_{sh}$  adalah hambatan yang merepresentasikan daya yang terbuang karena adanya hubung singkat pada daerah emitor atau karena adanya shunt sepanjang batasan sel. Keluaran dari sel surya ini adalah arus  $I_{pv}$  dan tegangan  $V_{pv}$ .

Dengan menggunakan analisa menggunakan Hukum Arus Kirchoff pada rangkaian ekuivalen tersebut, maka rangkaian tersebut dapat direpresentasikan menjadi persamaan sebagai persamaan berikut.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{Rsh} \quad (2.1)$$

Karena arus  $I_{ph}$  adalah arus yang dihasilkan dari proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik, maka arus  $I_{ph}$  ini nilainya berubah-ubah tergantung pada perubahan *irradiance* ( $\lambda$ ) dan suhu sel surya ( $T_c$ ). *Irradiance* adalah turunan radiasi cahaya terhadap waktu yang menyatakan daya yang dihasilkan dari radiasi

elektromagnetik cahaya pada suatu permukaan. Berikut ini adalah persamaan yang merepresentasikan hubungan  $I_{ph}$  dengan  $\lambda$  dan  $T_C$ .

$$I_{Ph} = (I_{Sc} \lambda / \lambda_{ref}) + K_I(T_C - T_{ref}) \quad (2.2)$$

$I_P$  adalah arus yang mengalir pada diode dan memiliki persamaan yaitu :

$$I_D = I_S \left( \exp \left( \frac{q(V_{PV} + R_S I_{PV})}{AKT_C} \right) - 1 \right) \quad (2.3)$$

$I_S$  adalah arus saturasi dari sel surya dan memiliki hubungan dengan suhu sel surya sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_S = I_{RS} \left( \frac{T_C}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left( \frac{qEG \left( \frac{1-T_C}{T_{ref}} \right)}{KA} \right) \quad (2.4)$$

Sementara, arus  $I_{RS}$  yang merupakan arus *revers saturation* dapat diperoleh berdasarkan persamaan :

$$I_{RS} = I_{SC} / \left( \frac{qV_{OC}}{eAKT_C} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Maka persamaan (2.1) dapat ditulis seperti persamaan (2.6) berikut untuk memperoleh persamaan karakteristik dari  $I_{PV}$

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_S \left( e^{\frac{q(V_{PV} + R_S I_{PV})}{AKT_C}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_{Sh}} \quad (2.6)$$

Berikut ini adalah keterangan variabel yang terdapat pada persamaan (2.1) sampai (2.6).

$I_{PV}$  : Arus keluaran sel surya (Ampere)

$I_{Ph}$  : Arus hasil konversi energi (Ampere)

$V_{PV}$  : Tegangan keluaran sel surya (Volt)

$I_{SC}$  : Arus hubung singkat rangkaian (Ampere)

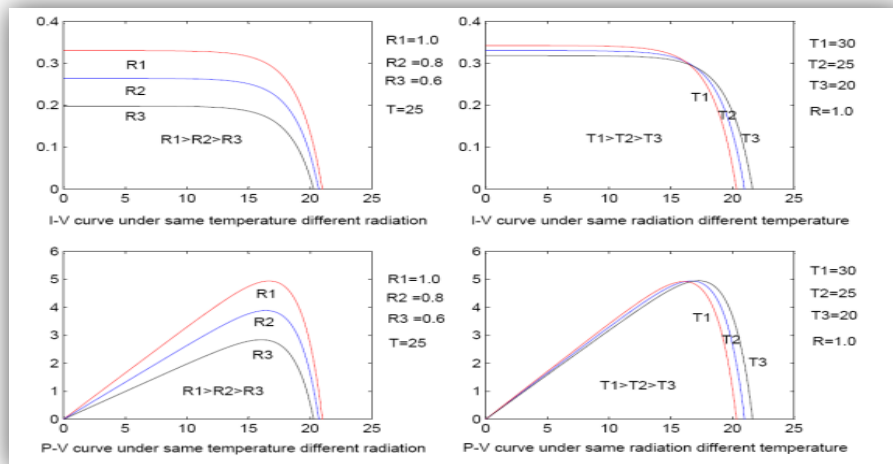
$\lambda$  : Irradiance (KW/m<sup>2</sup>)

$\lambda_{ref}$  : Irradiance referensi (KW/m<sup>2</sup>)

$T_C$  : Suhu sel Surya (Kelvin)

- $K_I$  : Koefisien suhu
- $T_{ref}$  : Suhu referensi sel surya (Kelvin)
- $I_{RS}$  : Arus *reverse saturation* (Ampere)
- $K$  : Konstanta Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23}$ )
- $A$  : *Ideality Factor*
- $q$  : Muatan elektron ( $1.6 \times 10^{-19}$  Coloumb)
- $V_{OC}$  Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

Melalui persamaan karakteristik sel surya di atas maka kemudian dapat diperoleh kurva hubungan antara arus keluaran ( $I_{PV}$ ) dan tegangan keluaran ( $V_{PV}$ ) serta kurva hubungan antara daya keluaran ( $P_{VP}$ ) dengan tegangan keluaran  $V_{PV}$  dalam grafik seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik I-V Dan P-V Pada Sel Surya [24]

Seperti yang dapat dilihat dari Gambar 2.3 di atas, grafik hubungan antara I dan V memiliki bentuk seperti 2 gambar teratas, sedangkan grafik hubungan antara P dan V memiliki bentuk seperti 2 gambar di bawahnya. Grafik kiri atas menunjukkan 3 buah kurva I(V) yang terbentuk dengan nilai *irradiance* ( $\lambda$ ) yang berbeda-beda dengan suhu yang dijaga konstan. Sedangkan grafik kiri bawah



menunjukkan 3 buah kurva  $P(V)$  dengan nilai  $\lambda$  yang bervariasi. Variasi nilai  $\lambda$  dapat dilihat pada keterangan grafik dimana satuan dari parameter  $\lambda$  tersebut adalah  $\text{kW/m}^2$ . Grafik kanan atas menunjukkan 3 buah kurva  $I(V)$  yang terbentuk untuk nilai suhu ( $T$ ) yang berbeda dengan nilai *irradiance* dijaga konstan, sedangkan grafik kanan bawah menunjukkan kurva  $P(V)$  dengan variasi suhu ( $T$ ) tersebut. Variasi nilai  $T$  juga dapat dilihat pada keterangan grafik, dimana satuan dari  $T$  adalah  $^{\circ}\text{C}$ .

Grafik  $I(V)$  menunjukkan bahwa sel surya dapat beroperasi pada tegangan dan arus keluaran yang berbeda-beda dengan daerah operasi yang cukup luas. Grafik  $P(V)$  menunjukkan daya keluaran sel surya yang dihasilkan untuk tiap daerah operasi tegangan keluaran. Dengan bentuk grafik  $P(V)$  seperti Gambar 2.3 di atas dapat disimpulkan bahwa tiap sel surya memiliki titik tegangan operasi optimal dimana pada titik tersebut daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya berada pada nilai maksimal. Titik tegangan operasi optimal ini bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan (nilai suhu dan iradiasi). Hal ini dapat dilihat pada kedua grafik  $P(V)$ .

### 2.2.3 Pulse Width Modulation

*Pulse width modulation* (PWM) adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap, jadi dapat disimpulkan bahwasanya PWM ini menghasilkan sinyal analog dari perangkat digital, dengan memodulasi durasi pulsa dan siklus kerja (*duty cycle*). Siklus kerja adalah keadaan dimana Persentase waktu sinyal PWM tetap pada kondisi tinggi (*On time 100% duty cycle*) ataupun dalam kondisi sinyal pada keadaan mati (*Off time 0% duty cycle*). Dalam prosesnya kontrol PWM analog

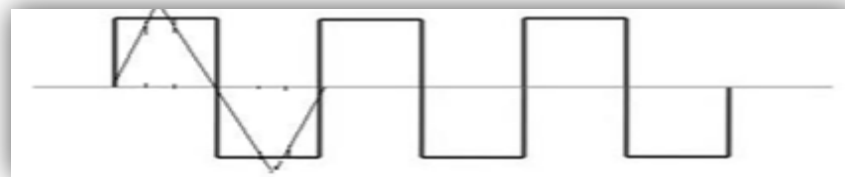
memerlukan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa untuk dimasukkan ke dalam komparator yang berdasarkan pada beberapa output logis sehingga setelah itu output akhir akan dihasilkan. Sinyal referensi adalah output sinyal yang diinginkan mungkin gelombang sinusoidal atau persegi, sedangkan sinyal pembawa dapat berupa gigi gergaji atau gelombang segitiga pada frekuensi yang secara signifikan lebih besar daripada referensinya [25].

Ada tiga teknik dasar dari *Pulse width modulation*

1. Modulasi lebar pulsa tunggal (*single pulse width modulation*).
2. Modulasi lebar pulsa berganda (*multiple pulse width modulation*).
3. Modulasi lebar denyut sinusoida (*sinusoidal pulse width modulation*).

#### A. *Single Pulse width modulation*

Dalam modulasi ini hanya ada satu pulsa keluaran per setengah siklus. *Output* diubah dengan memvariasikan lebar pulsa. Sinyal dihasilkan dengan membandingkan referensi segi empat dengan referensi segitiga yang dihasilkan. Frekuensi kedua sinyal hampir sama dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.4 *Single Pulse Modulation* [25]

Dengan memvariasikan amplitudo dari sinyal kontrol,  $V_r$  dari 0 sampai  $V_C$ ,  $T_{ON}$  lebar gelombang pulsa dapat dimodifikasi dari 0 menjadi  $\frac{T}{2}$  detik dan tegangan  $V_o$  dari 0 hingga sebesar  $V_s$  [25].



yang ditunjukkan pada persamaan 2.13 dalam setengah siklus positif dimana ketika amplitudo sinyal referensi lebih besar dari amplitudo sinyal pembawanya maka tegangan keluaran mencapai nilai penguatannya (periode  $KT$ ). Dalam setengah siklus kerja negatif, ketika amplitudo sinyal pembawa lebih besar dari amplitudo sinyal referensi, tegangan keluaran akan mencapai nilai penguatannya (periode  $KT$ ). Frekuensi sinyal referensi akan menentukan frekuensi fundamental dari tegangan keluaran. Dengan memvariasikan  $A_r$  dari 0 sampai nilai  $A_c$ , lebar pulsa dan jumlah  $KT$  (di mana  $k = T_{ON}/T$ ), dapat bervariasi dari 0 hingga  $T$ . Rasio nilai antar  $A_r$  adalah variabel kontrol dan didefinisikan sebagai amplitudo. Modulasi indeks ( $M$ ) dinyatakan dalam persamaan berikut :

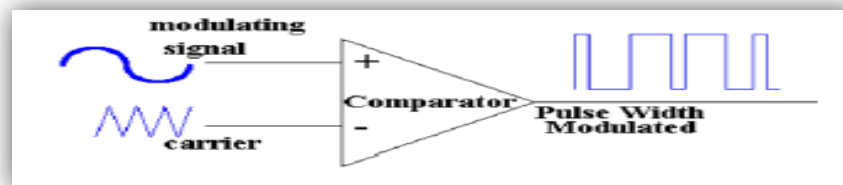
### **C. Sinusoidal Pulse Width Modulation**

Pada dasarnya, PWM sinusoidal inverter mencoba untuk mensintesis sinus keluaran gelombang menggunakan serangkaian pulsa termodulasi lebar. Sintesis ini tidak dapat sempurna dengan menggunakan sejumlah pulsa yang terbatas, dan oleh karena itu, tak terelakkan, tingkat distorsi harmonik tertentu diperkenalkan oleh proses modulasi. Untuk menghasilkan gelombang pulsa, menggunakan rangkaian SPWM yang dapat disetting sesuai dengan perubahan gelombang yang digunakan berupa gelombang.

Sinusoidal pulse-width modulation (SPWM) memiliki karakteristik dimana *duty cycle* dari pulsa meningkat secara gradual dan kemudian menurun secara gradual dalam deretan pulsa proporsional terhadap nilai sudut sinus dalam setengah gelombang gelombang sinus. SPWM memiliki prinsip kerja dengan mengatur lebar pulsa yang mengikuti pola gelombang sinusoidal. Komparator digunakan untuk membandingkan gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga.

Jika nilai tegangan sinusoidal lebih besar dari tegangan segitiga maka Output komparator akan bernilai 1 (high). Namun jika tegangan sinusoidal lebih kecil dari tegangan segitiga maka Output komparator akan bernilai 0 (low). Berikut gambar skema pembentukan sinyal SPWM [26].

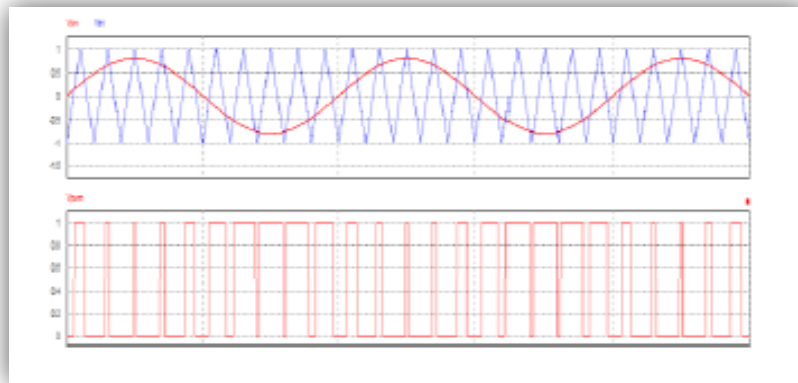
Dalam membangkitkan sinyal SPWM dibutuhkan sinyal pembawa dan sinyal pemodulasi. Sinyal pembawa berupa sinyal gelombang segitiga sedangkan sinyal pemodulasi berupa gelombang sinusoidal.



Gambar 2.6 Skema Pembentukan Sinyal SPWM [26]

Memodulasi sinyal *carrier* yaitu digunakan sinyal sinus dengan amplitudo dan frekuensi maksimum. Sebagai gelombang *carrier*, gelombang pemodulasi (sinyal sinus) tidak boleh lebih besar daripada frekuensi sinyal segitiga. Perbandingan antara amplitudo gelombang sinusoidal dengan gelombang segitiga disebut indeks modulasi amplitudo. Dapat dilihat pada gambar dibawah bentuk gelombang SPWM.

Pada sinyal SPWM, frekuensi keluaran *Output* Inverter tergantung frekuensi sinyal referensi. Misalkan frekuensi sinyal referensi 50 Hz, maka frekuensi *Output* tegangan Inverter akan bernilai 50 Hz. Frekuensi sinyal carrier akan disebut sebagai frekuensi *switching*. Faktor distorsi dan faktor harmonisa orde rendah dapat kita kurangi dengan menggunakan metoda SPWM.



Gambar 2.7 Bentuk Gelombang SPWM [26]

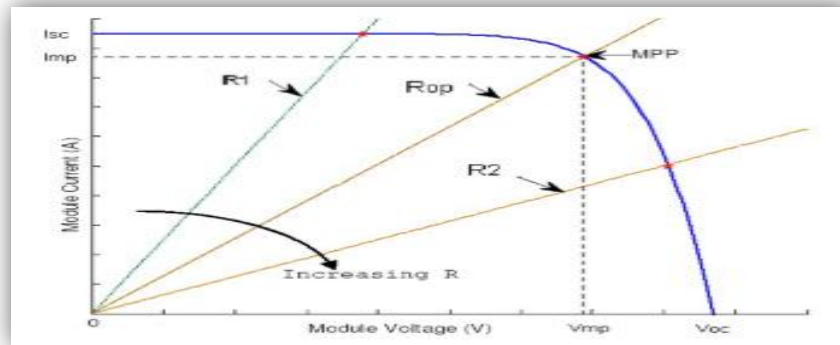
#### 2.2.4 Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan panel surya agar bekerja pada titik maksimumnya, agar daya yang diberikan ke beban adalah daya maksimal. Hasil keluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC converter. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimum dari panel surya.

Menampilkan pengaruh pembebanan terhadap kurva V-I. Pembebanan akan menentukan pada posisi manakah daya beban berada pada kurva V-I panel surya.



Gambar 2.8 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya [27]

Beban akan menggeser titik daya kurva, apakah berada di belakang, di depan, atau bahkan berada tepat di titik daya maksimum. Pada saat beban dipasangkan kepada panel surya, tentunya daya yang dapat disalurkan akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut biasanya muncul apabila panel surya dihubungkan secara langsung dengan beban. Dengan kata lain hal ini berlaku seperti sebuah sumber arus searah yang dirangkai seri dengan beban, sehingga perubahan daya akan sangat terlihat.

Jika tegangan kerja panel surya diganggu (*perturbed*) saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih besar daripada nol, hal tersebut dilakukan agar penggangguan dapat memindahkan tegangan kerja panel surya maju ke arah titik daya maksimum. Apabila tegangan kerja panel surya diganggu saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih kecil daripada nol, penggangguan bertujuan untuk memindahkan tegangan kerja panel surya mundur ke arah titik daya maksimum.

### 2.2.5 Metode Incremental Conductance

Algoritma *Incremental conductance* merupakan salah satu metode MPP tracking. Algoritma ini menggunakan pengukuran *incremental* pada perubahan konduktansi pada generator, baik termoelektrik maupun sel surya. Dengan membandingkan pengukuran *incremental*, dapat diketahui perubahan perubahan daya tegangan maupun arus yang disebabkan perubahan temperatur pada generator termoelektrik.

*Incremental conductance* didefinisikan sebagai  $(dI_{tg}/dV_{tg})$ . Dengan mendapatkan nilai konduktansi nyata dari modul termoelektrik, maka dapat diketahui MPP (titik maksimum) titik operasi berada. InCo dapat mencari lebih cepat terhadap peningkatan dan penurunan tingkat kecerahan sehingga memiliki akurasi yang lebih baik dari pada P&O, namun kelemahannya yaitu peningkatan yang kompleks ketika dibandingkan dengan P&O.

Metode *Incremental Conductance* (InCo) bekerja berdasarkan gradien kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut juga  $V_{MPP}$ . MPPT memberikan  $V_{ref}$  agar titik kerja sel surya terdapat nilai  $V_{MPP}$  tersebut. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT. Karakteristik P – V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradien-nya bernilai nol.

Persamaan dalam metode *incremental conductance* dinyatakan :

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2.7)$$



Karena  $P = V.I$ , maka :

$$\frac{d(V.I)}{dV} = \frac{V.dI + dV.I}{dV} \quad (2.8)$$

$$V \frac{dI}{dV} + 1 = 0 \quad (2.9)$$

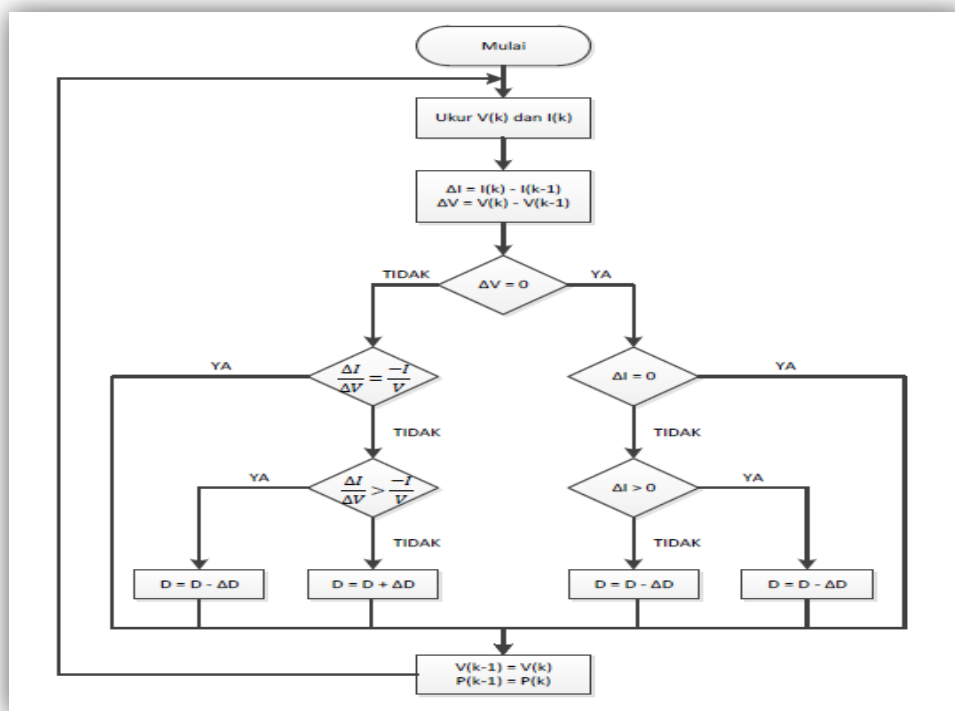
$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (2.10)$$

Jadi, dapat dituliskan seperti berikut :

$\Delta I/\Delta V = -I/V$  , pada MPP

$\Delta I/\Delta V > -I/V$  , sebelah kiri dari MPP

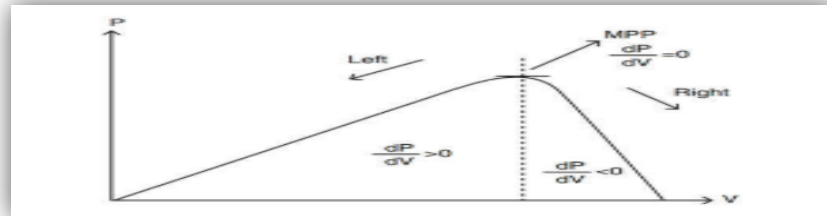
$\Delta I/\Delta V < -I/V$  , sebelah kanan dari MPP



Gambar 2.9 Diagram Algoritma *Incremental Conductance*

Perubahan  $V_{ref}$  yang diberikan InCo tetap untuk setiap iterasi. Besar perubahan  $V_{ref}$  tersebut dipertimbangkan dari waktu penjajakan menuju nilai maksimum dan osilasi pada nilai maksimum. Kedua parameter tersebut memiliki hubungan terbalik. Perubahan  $V_{ref}$  yang besar akan mempercepat waktu

penjajakan, namun sulit mencapai VMPP dan menyebabkan osilasi di sekitar MPP. Oleh karena itu, modifikasi dari algoritma InCo yang telah berkembang selama ini adalah dengan membuat besar perubahan  $V_{ref}$  bervariasi.



Gambar 2.10 Diagram Skematik Penjejak Menggunakan Metode Incremental Conductance [4]

Nilai pulse width modulation (PWM) merupakan nilai yang diregulasi oleh MPPT untuk selanjutnya digunakan untuk mengatur signal pada DC-DC converter sehingga kondisi  $dI/dV + I/V = 0$  dapat terpenuhi [4].

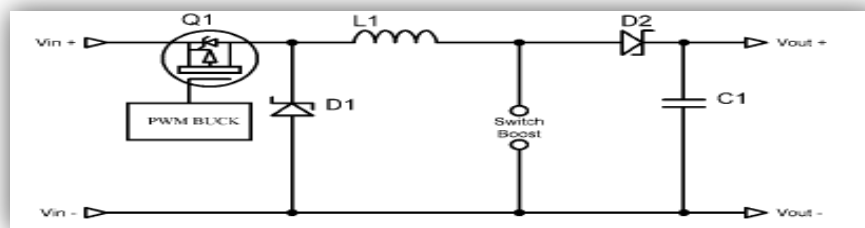
### 2.2.6 DC-DC Converter

Dalam penelitian ini konverter DC-DC mengubah tegangan DC ke tegangan DC lain dengan level yang ditentukan. Keluaran konverter ini dapat divariasikan tergantung pada kebutuhan. Konverter ini bertindak sebagai *load* elektrik dan menyebabkan variasi output-nya. Perubahan titik operasi sel surya dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum yang disebabkan oleh variasi beban tersebut.

#### A. Buck Converter

*Buck dc-dc converter* mengubah dc yang lebih tinggi tegangan input untuk menurunkan tegangan output dc. terdiri dari sakelar yang dikendalikan  $S_w$  yang tidak terkontrol sakelar dioda (D), induktor L, kapasitansi C dan resistansi beban R. Buck Konverterter biasanya digunakan untuk meregulasi tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah levelnya dan dengan polaritas yang sama.

Keunggulannya adalah *power loss* nya cukup kecil. *Buck* Konverter ialah rangkaian pengubah tegangan output menjadi lebih kecil dibandingkan dengan tegangan input, misalnya ketika rangkain dialirin tegangan input sebesar 12 V maka maka PWM pada *buck* aka memerintahkan untuk menurunkan tegangan menjadi 9-5 Volt. Konverter Buck atau regulator tegangan juga disebut setp down regulator karena tegangan output lebih rendah dari tegangan input.



Gambar 2.11 Rangkaian *Buck Converter* [28]

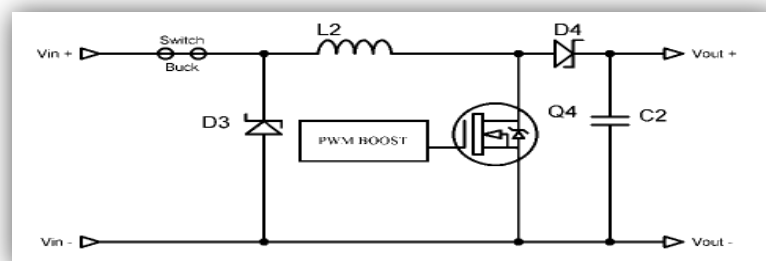
*Converter mode buck* ketika saat *switch buck* dalam kondisi ON, dioda 1 bekerja *reverse-bias* dan dioda 2 bekerja *forward bias*, sehingga arus akan mengisi induktor sekaligus menyuplai beban. Beda potensial antar tegangan input dan output menghasilkan arus yang akan melintasi induktor dan bertambah berdasarkan waktu. Serta pada waktu tersebut, arus pada induktor akan mengalir pada tahanan beban dan kapasitor dalam mengisi (*charge*). Kemudian ketika dalam kondisi *switching off* tegangan input terputus dengan induktor yang mengakibatkan arus pada induktor berkurang berdasarkan waktu, akan tetapi arus pada induktor tidak langsung berkurang dengan cepat, maka dari itu level tegangan akan berubah sehingga arus pada beban cenderung konstan. Level tegangan akan berhenti berubah sampai batas level tegangan dioda, disaat yang sama pula kapasitor akan memberikan arus pada beban, sehingga dalam kondisi ini arus pada beban sama dengan arus induktor ditambah arus kapasitor [28].

*Buck converter* hanya memerlukan sebuah transistor dan memiliki efisiensi yang tinggi, lebih dari 90 %. Arus beban dibatasi oleh induktor L namun demikian arus masukan tidak kontinyu dan filter masukan biasanya dibutuhkan. *Buck* konverter memiliki polaritas tegangan *output* dan arus *output* yang *unidirectional* dan memerlukan rangkaian pelindung untuk kemungkinan adanya hubungan singkatannya pada arus yang mengalir pada dioda.

### B. *Boost Converter*

Sama dengan *buck converter*, *boost converter* juga mempunyai fungsi mengubah level tegangan DC, namun dalam *boost* konverter mengubahnya ke level yang lebih tinggi. *Boost converter* menggunakan kerjanya dengan membuka dan menutup suatu switch secara periodik. Dikatakan sebagai *boost converter* karena tegangan keluaran dari rangkaian ini lebih besar daripada tegangan masukannya.

Suatu rangkaian *boost converter* terdiri atas induktor, kapasitor, resistor, diode, dan switch. Rangkaian dari suatu *boost converter* adalah seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.12 Rangkaian *Boost Converter* [28]

Disaat tegangan input masuk kedalam induktor dan menyebabkan kenaikan arus berdasarkan waktu. Pada kondisi *switch off* saat ujung induktor bernilai positif, *forward* bias dari dioda akan memberikan jalur agar kapasitor

dalam keadaan mengisi (*charge*) dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan input, dalam waktu yang sama arus induktor akan mengalir pada kapasitor dan beban, dan disaat *Switch on* lagi, tegangan dan arus hanya akan disuplai oleh kapasitor[28].

Prinsip kerja rangkaian ini melalui analisa rangkaian ini ketika *switch* terbuka dan *switch* tertutup. Dalam analisa yang dilakukan, asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

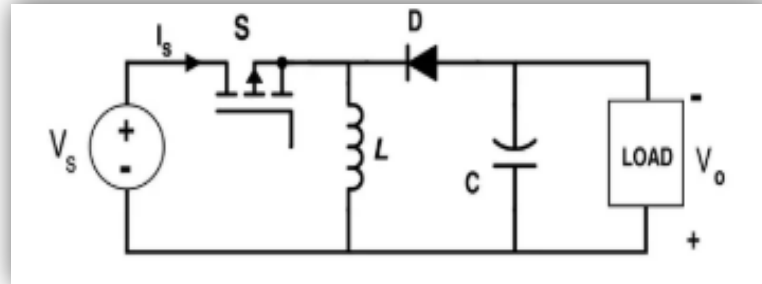
1. Rangkaian ini dapat mencapai kondisi tunak (*steady-state*).
2. Periode dari *switching* adalah  $T$  dimana switch tertutup selama waktu  $DT$  dan terbuka selama waktu  $(1-D)T$  dimana  $D$  adalah *duty cycle*.
3. Arus yang melalui induktor adalah arus kontinyu.
4. Kapasitas kapasitor dianggap sangat besar sehingga tegangan keluaran terjaga constant pada nilai tegangan  $V_O$ .
5. Seluruh komponen ideal.

*Boost converter* dapat menaikkan tegangan tanpa perlu menggunakan trafo. Dimana *Boost converter* memiliki efisiensi yang tinggi dan tegangan keluaran yang sensitif terhadap perubahan *duty cycle* ( $k$ ) dan sangat sulit untuk menstabilkan regulator. Arus keluaran rata-rata lebih kecil dibandingkan dengan arus induktor yang disebabkan oleh faktor kapasitor maka diperlukan penggunaan filter kapasitor dan induktor yang lebih tinggi [28].

### **C. Buck Boost Converter**

*Buck-boost converter* berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun level yang rendah. Namun *buck-boost converter* mengubah polaritas dari tegangan input terhadap output. Konverter

*buck-boost* sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluar yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masuknya.



Gambar 2.13 Rangkaian Elektrik *Buck-Boost Converter* [14]

Sistem PV pada penelitian ini menggunakan rangkaian DC-DC *converter* sebagai charge controller untuk pengaktifan sinyal kendali algoritme MPPT. *Buck-boost converter* sebagai salah satu saklar regulator mode yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan tegangan masuknya. Keluaran dari *converter* ini yang akan dikendalikan oleh algoritma MPPT. *Buck-boost converter* ini membutuhkan pulsa PWM untuk menjadikan kondisi saturasi dan cut-off dari komponen MOSFET pada rangkaian *converter* hingga fungsi *switching* bisa aktif. Persamaan tersebut dirumuskan sebagai berikut [29] :

Duty cycle

$$\frac{V_o}{V} = \frac{I}{I_o} = \frac{1}{1-D} \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{K} = \left(1 + \frac{V_s}{V_a}\right) \quad (2.12)$$

Untuk kalkulasi rumus induktansi dalam *buck-boost* dapat dinyatakan :

$$\Delta i_L = \frac{V_s(V_a - V_s)}{fLV_a} = \Delta i_L = \frac{V_s K}{fL} \quad (2.13)$$

Maka dapat disederhanakan :

$$L = \frac{V_s (1-D)}{f \Delta I_{pp} I_a} \quad (2.14)$$

Atau dapat juga dikalkulasikan dengan rumus :

$$L = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times f} \quad (2.15)$$

Kemudian untuk menentukan kapasitansi dalam *buck-boost* dinyatakan dengan rumus :

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{D}{R \times C \times f} \text{ atau } C = \frac{\Delta I_{pp} \times I_a}{8 \times \Delta V_{pp} \times f \times V_s} \quad (2.16)$$

$$\Delta V_0 = \frac{I_a (V_a - V_s)}{V_a \times F \times C} \text{ atau } C = \frac{D \times I_a}{\Delta V_0 \times f} \quad (2.17)$$

Dimana

$$R = \frac{V_a}{I_a} \quad (2.18)$$

Berikut ini adalah keterangan variabel yang terdapat pada persamaan (2.11) sampai (2.17).

$V_0$  = Tegangan baterai (Volt)

$\Delta V_0$  = *Ripple* Tegangan (%)

$\Delta i_L$  = *Ripple* arus (%)

$f$  = Frekuensi (Hz)

$R$  = Hambatan pengganti beban ( $\Omega$ )

$V_s$  = Input tegangan (Volt)

$V_a$  = Output tegangan (Volt)

$K$  = Duty Cycle

$D$  = Duty Cycle

$L$  = Induktor (H)

$C$  = Kapasitor (F)

Tegangan keluaran konverter merupakan tegangan yang akan disimpan kedalam baterai sistem PV. Target dari sistem pengendalian yang terhubung dengan dengan *buck-boost converter* adalah untuk selalu memaksimalkan tegangan dan arus keluaran PV agar selalu menghasilkan daya pada titik maksimal sehingga daya yang akan disimpan ke baterai semakin besar.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian “*Maximum Power Point Tracker (MPPT) menggunakan metode Incremental Conductance (Inco) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*” di lakukan dengan simulasi *software* MATLAB SIMULINK untuk menentukan output dari solar panel, dimana data tersebut diambil dari data lapangan yang dilaksanakan di wisata sawah Pematang Johar Jalan Johar Raya, Gg. Tanah Wakaf Jl. Dusun VI, Pematang Johar, Kec. Labuhan Deli, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, pada bulan Juli sampai Desember 2020.

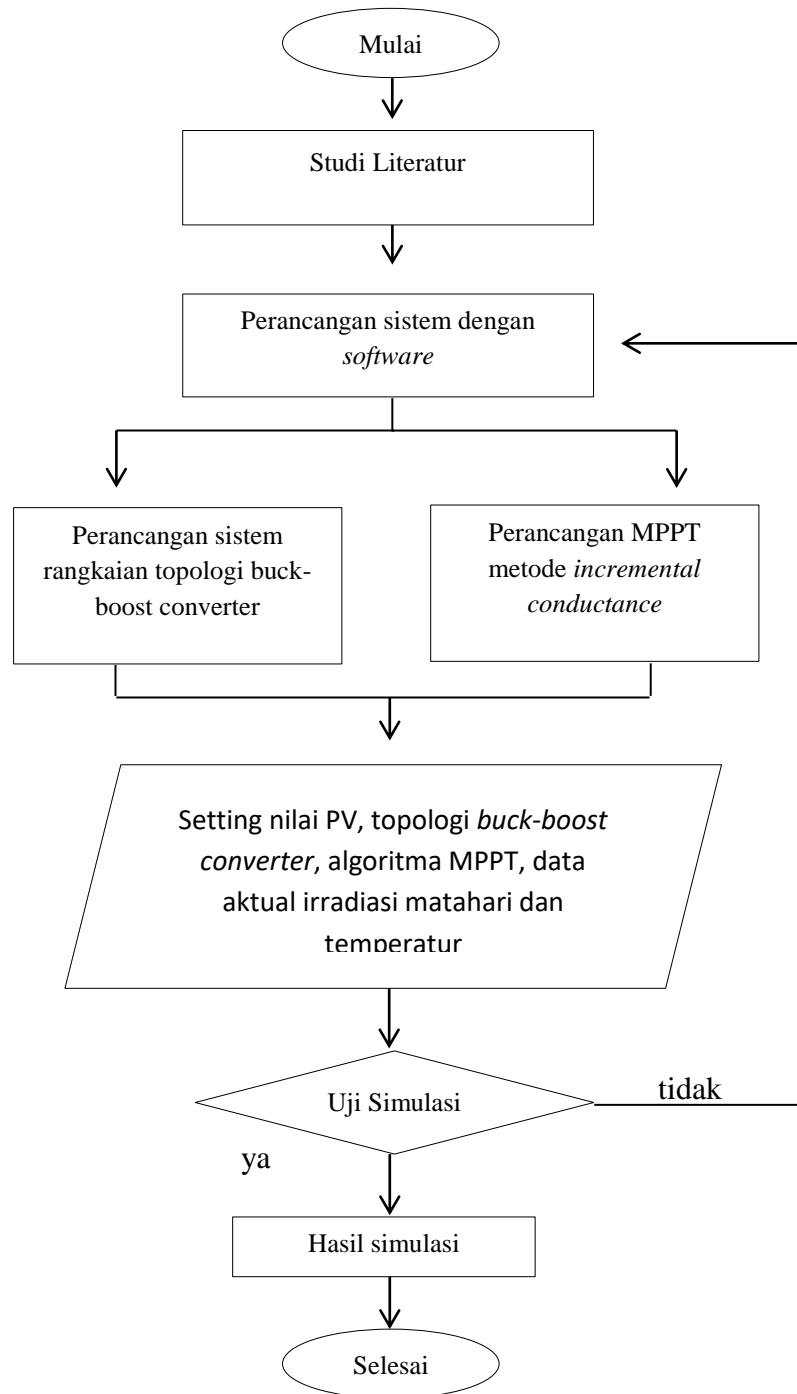
#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *datasheet photovoltaic* SOLAR MODULE, Digital Lux Meter, peralatan lain yang digunakan dalam penelitian ini ialah program komputer simulasi *software* MATLAB.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian merupakan serangkaian proses-proses yang terjadi selama penelitian yang disusun secara urut dari tahap yang pertama sekali dilakukan sampai dengan tahap yang terakhir. Dengan alur penelitian, dapat ditentukan tujuan dan arah penelitian tugas akhir ini akan dilakukan.

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada blok diagram di bawah ini :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

### 3.4 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan berasal dari data lapangan dengan melakukan pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur digital lux meter. Adapun data yang di ukur berupa intensitas irradiasi matahari dan temperature. Selanjutnya data tersebut disimulasikan menggunakan *software* Matlab Simulink R2016a.

### 3.5 Tahapan Penelitian

Penelitian tentang “*Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (Inco) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*” dilaksanakan dengan tahapan-tahapan berikut.

1. Pengumpulan data, mulai dari studi literatur hingga observasi sampai mendapatkan model yang dapat disimulasikan serta memasukan algoritma *incremental conductance* ke dalam simulasi MPPT agar dapat mengetahui perbandingan nilai awal dan akhir dari simulasi yang dilakukan.
2. Perancangan simulasi mempresentasikan sistem *photovoltaic* yang sebenarnya dengan menggunakan *datasheet*. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan menggunakan fungsi simulink dari *software* MATLAB R2016a.
3. Kemudian mengamati variabel-variabel yang dilakukan seperti intensitas radiasi matahari yang bervariasi dan data temperatur suhu disekitar dengan melakukan pengambilan data menggunakan Digital Lux Meter. Lalu data variabel-variabel tersebut disimulasikan ke dalam *software* MATLAB Simulink untuk mengetahui daya maksimum yang dicapai

*photovoltaic* serta daya keluaran dari *photovoltaic* menggunakan algoritma *incremental conductance*

4. Pengujian dan analisis hasil simulasi dengan melakukan uji coba dan evaluasi dari simulasi yang dibuat. Data hasil uji coba kemudian akan direkam dan dijadikan acuan untuk analisis.

### **3.6 Perancangan Simulasi**

Perancangan sistem merupakan langkah awal untuk menentukan bentuk sistem yang akan dibuat. Tahapan perancangan dilakukan agar pada saat melakukan pembuatan sistem serta mensimulasikan sistem pada penelitian dapat terealisasi secara struktur, sistematis, efektif, dan efisien. Dalam perancangan sistem terbagi atas 3 bagian garis besar yaitu :

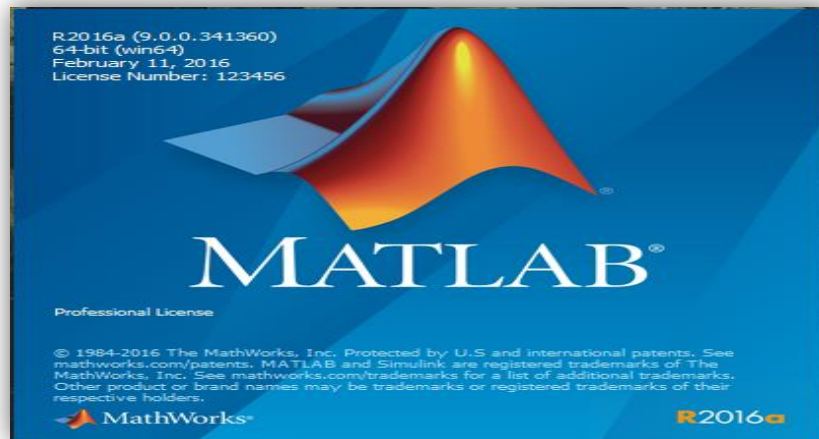
1. *Setting* parameter *photovoltaic* sesuai *datasheet* asli yang digunakan dalam sistem PV di daerah Pematang Johar. Parameter *photovoltaic* digunakan hanya satu panel dengan jenis *monocrystalic*.
2. Perancangan simulasi topologi *buck-boost converter* di dalam *software* MATLAB R2016a.
3. Perancangan simulasi MPPT dengan metode *incremental conductance* pada *software* MATLAB.

#### **3.6.1 Setting Simulasi Photovoltaic**

Untuk melakukan pengujian simulasi *photovoltaic* pada perubahan radiasi matahari, dibuat pemodelan radiasi matahari dengan melakukan pengukuran serta temperatur lingkungan sekitar yang diukur secara real time.

Angka ini dipilih karena menunjukkan nilai radiasi matahari pada saat pukul 09.00 WIB – 16.00 WIB. Tegangan dan arus akan meningkat pada pagi hari

dan mencapai maksimum pada siang hari dan mulai turun pada sore hari. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan menggunakan fungsi simulink dari *software* MATLAB R2016a.



Gambar 3. 2 *Software* MATLAB R2016a

Modul *photovoltaic* yang digunakan pada simulasi ini adalah SOLAR MODULE. Modul *photovoltaic* menggunakan *Standart Test Conditions* (STC) yang merupakan standart industri untuk menguji kinerja modul *photovoltaic* dengan menentukan suhu permukaan sel  $25^{\circ}\text{C}$  dan radiasi  $1000 \text{ W/m}^2$  serta menggunakan karakteristik display I-V dan P-V *one module @ 25 deg.C & specified irradiances*.

Modul disesuaikan dengan modul *photovoltaic* asli sesuai spesifikasi dari *datasheet* yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 *Datasheet Photovoltaic SOLAR MODULE*

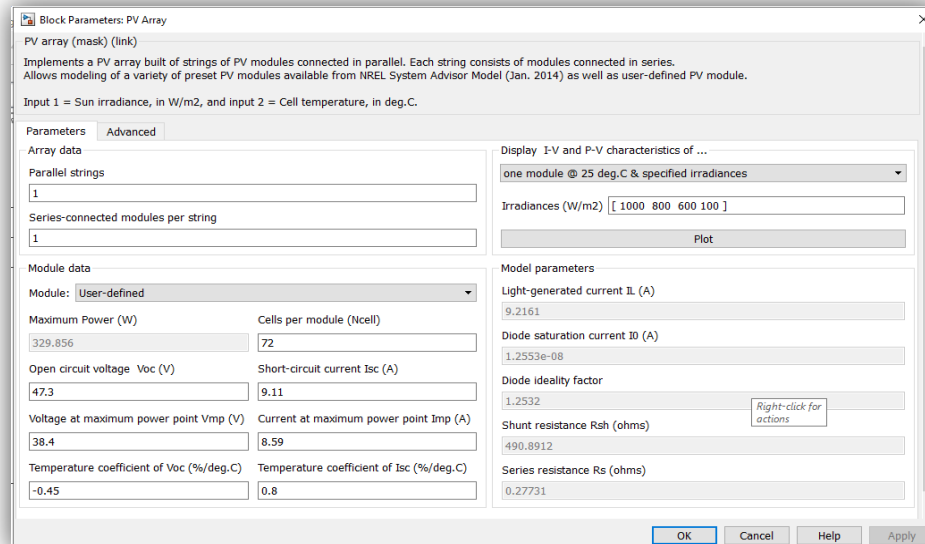
Modul Type	SP-330-M72
Rate Max Power (Pmax)	330 W
Current at Pmax (Imp)	8.59 A
Voltage at Pmax (Vmp)	38.4 V
Short Circuit Current (ISC)	9.11 A
Open Circuit Voltage (VOC)	47.3 V
Dimension (mm)	1956*992*40
Number of Cells	72
Max. System Voltage	1000 V
Temperature Range	-45 <sup>0</sup> C – 80 <sup>0</sup> C

Tabel 3. 2 *Datasheet Standart Test Conditions (STC) Photovoltaic*

All value are measured under STC	
AM	1.5
E	1000 W/m <sup>2</sup>
Tc	25 <sup>0</sup> C

Dari spesifikasi tabel 3.2 di atas, dimana dari pemodelan surya yang dilakukan jenis struktur pemodelan yang dipakai ini menggunakan *sollar cell* yang tersedia di MATLAB Simulink R2016a yang dibuat oleh *National Renewable Energy Laboratory (NREL) System Advisor Model* (Jan.2014) secara garis besar pemodelan ini didapatkan dari persamaan-persamaan yang telah disesuaikan dengan karakteristik *photovoltaic* itu sendiri.

Adapun parameter yang perlu diisi untuk menyesuaikan spesifikasi modul PV yang diinginkan seperti gambar 3.3

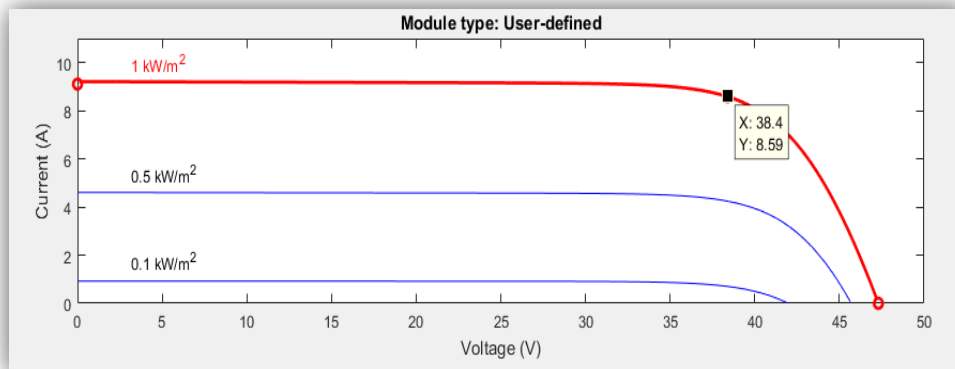


Gambar 3. 3 Block Parameter PV Array

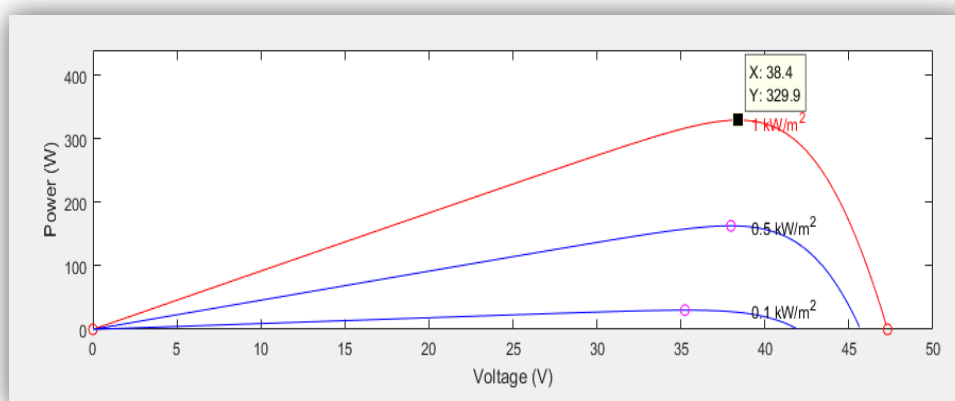
Setelah memasukan parameter sesuai dengan spesifikasi modul *photovoltaic* yang sebenarnya, maka dapat dilakukan pengujian modul dengan parameter masukannya adalah suhu (T) dan intensitas cahaya (Ir). Pengujian validasi dan estimasi yang dilakukan adalah dengan memberikan masukan parameter yang ada yaitu suhu dan intensitas cahaya serta beban (*load*). Setelah dilakukan maka didapatkan hasil yang dikehendaki.

*Photovoltaic* SOLAR MODULE memiliki karakteristik arus dan tegangan yang sesuai dengan *photovoltaic* pada umumnya. Karakteristik ini dapat dilihat melalui kurva I-V dan P-V dari model. Kurva I-V dan P-V dibentuk untuk melihat perubahan arus dan daya dari *photovoltaic* jika tegangan bertambah secara linier terus-menerus hingga mencapai titik tegangan Voc. Nilai radiasi dan suhu yang akan menjadi masukan pada rancangan *photovoltaic* yang sesuai *Standart Test Conditions* (STC). Hasil simulasi menunjukkan grafik hubungan antara arus dan

tegangan dari model *photovoltaic* yang dapat dilihat pada gambar 3.4 grafik hubungan antara daya dan tegangan dari model *photovoltaic* dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3. 4 Hubungan Antara Arus Dengan Tegangan



Gambar 3. 5 Hubungan Antara Daya Dengan Tegangan

Gambar 3.5 menunjukkan bahwa model *photovoltaic* yang telah dibangun mampu menghasilkan kurva karakteristik I-V dan P-V yang serupa dengan kurva V-I dan P-V pada umumnya. Kurva I-V ditandai dengan penurunan nilai arus yang lambat seiring dengan bertambahnya tegangan hingga di titik 38.4 Volt yang merupakan daerah lutut (*knee*) dari grafik. Setelah titik tersebut, arus mengalami penurunan yang sangat drastis dan tegangan bertambah sedikit saja. Pada kurva

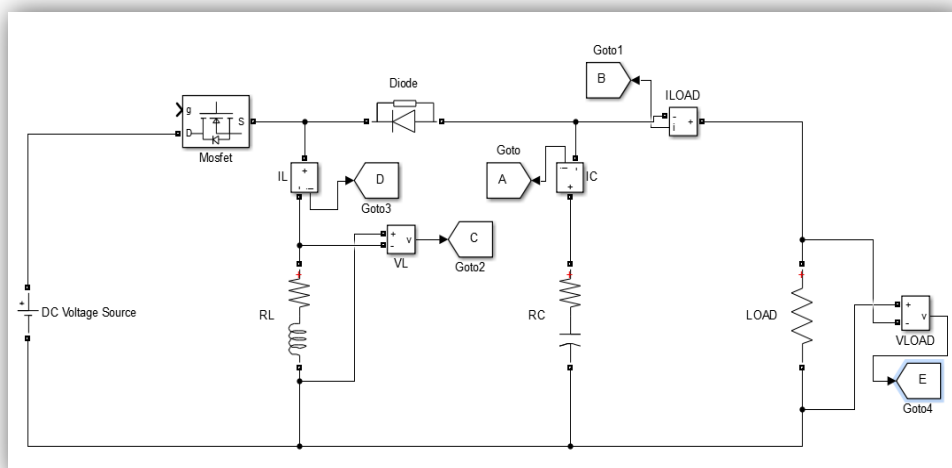


P-V, kurva yang terbentuk menyerupai gunung dimana terdapat titik puncak nilai daya yang dicapai pada model *photovoltaic* ini.

Melalui kedua kurva tersebut, dapat dilihat karakteristik dari model *photovoltaic* di atas dengan arus yang dihasilkan sebesar 8.59 Amper. Modul tersebut menghasilkan daya sebesar 329.9 Watt. Maka dapat dikatakan rancangan ini sudah mampu mempersentasikan modul *photovoltaic* yang asli SP-330-M72.

### 3.6.2 Perancangan Simulasi *Buck-Boost Converter*

*Buck-boost converter* yang digunakan ialah menggunakan kontrol PWM (*Pulse Widht Modulation*), dimana *buck-boost converter* berfungsi untuk mengatur nilai tegangan input menjadi nilai tegangan output yang lebih stabil. Terdapat beberapa komponen utama yang digunakan pada rangkaian *buck-boost converter* yaitu mosfet, dioda, toroid Inductor, dan kapasitor. Dimana mosfet berfungsi sebagai saklar dan kontrol switching yang menggunakan PWM (*Pulse Widht Modulation*). *switching* PWM dapat beroperasi menggunakan algoritma MPPT *incremental conductance*. Perubahan yang terjadi pada tegangan output dikarenakan adanya perbedaan pada *duty cycle*.



Gambar 3. 6 Topologi *Buck-Boost Converter*

Pada penelitian ini digunakan converter jenis *buck-boost* yang nantinya tegangan dari *photovoltaic* dapat diturunkan dan dinaikan dalam mencapai daya *output* maksimum (MPPT). *Buck-boost converter* seperti pada gambar di atas digunakan untuk mengontrol aliran daya dari *photovoltaic* menuju ke beban.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Simulasi Topologi *Buck-Boost Converter*

Spesifikasi	Keterangan
Pmax	330 Watt
Imp	8.59 Amper
Vmp	38.4 Volt
Isc	9.11 Amper
Voc	47.3 Volt
Frekuensi Switching	15000 Hz
Vout	26 Volt

Untuk menentukan spesifikasi dari *buck-boost converter* disesuaikan dengan karakteristik dari panel surya yang digunakan. Tabel di atas adalah spesifikasi DC-DC *buck-boost converter* yang akan dibuat dalam simulasi *software* MATLAB Simulink.

Tegangan minimum

$$V_{oc} - V_{mp} = 47.3 - 38.4 = 8.9 \text{ Volt}$$

Arus minimum

$$I_{sc} - I_{mp} = 9.11 - 8.59 = 0.52 \text{ Amper}$$

Nilai tengah dari Isc

$$\frac{9.11}{2} = 4.55 \text{ Amper}$$

Untuk menentukan duty cycle

$$\frac{V_0}{V} = \frac{1}{1-D}$$

$$V_0 = \frac{1}{1-D} \times V_i$$

$$26 = \frac{1}{1-D} \times 8.9$$

$$26 = \frac{1}{1-D} \times 8.9$$

$$D = 0.6$$

Penentuan nilai beban pengganti yang menggunakan resistansi

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{38.4^2}{329.9}$$

$$R = 4.4 \Omega$$

Menentukan nilai induktansi dengan ripple tegangan sebesar 1% dan ripple arus sebesar 10%

$$L = \frac{V_s (1-D)}{f \Delta I_{pp} I_a}$$

$$L = \frac{26 (1-0.6)}{0.1 \times 4.55 \times 15000}$$

$$L = 1523 \mu\text{H}$$

Menentukan nilai kapasitansi dengan ripple tegangan sebesar 1% dan ripple arus sebesar 10%

$$C = \frac{\Delta I_{PP} \times I_a}{8 \times \Delta V_{PP} \times f \times V_s}$$

$$C = \frac{0.1 \times 4.55}{8 \times 26 \times 0.01 \times 15000}$$

$$C = 14.5 \mu\text{F}$$

Nilai yang sudah ditentukan akan dimasukkan kedalam topologi *buck-boost converter* dengan *software* MATLAB Simulink R2016a.

### 3.6.3 Monitoring Temperatur dan Irradiasi

Dalam penelitian ini, terdapat dua parameter utama yaitu radiasi matahari dan temperatur. Hal ini dilakukan secara *real time* dengan rentang waktu mulai pukul 09.00 – 16.00 WIB. Alat ukur yang digunakan untuk melihat temperatur dan radiasi matahari peneliti menggunakan alat ukur Digital Lux Meter.

Peneliti melakukan penelitian ini dengan melihat keadaan cuaca di lingkungan Wisata Sawah Pematang Johar.

Pengambilan data dilakukan secara *real time* pada tanggal 08 November 2020 – 14 November 2020 dari pukul 09.00 – 16.00 WIB dengan menggunakan Digital Lux Meter. Menurut [21] konversi  $1 \text{ lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2$ . Data tersebut dilakukan setiap satu jam sekali dengan melihat kondisi awan melalui penglihatan mata.

Tabel 3. 4 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 1

Hari 1			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	28.6	449.905	Cerah
10	30.5	674.265	Cerah
11	31	360.635	Cerah
12	32.8	1457.55	Cerah
13	32.3	176.96	Berawan
14	31.9	255.644	Berawan
15	32	246.322	Berawan
16	30.3	95.274	Hujan

Tabel 3. 5 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 2

Hari 2			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	28.3	192.444	Berawan
10	29	181.384	Berawan
11	28.7	174.906	Berawan
12	29.1	407.719	Cerah
13	29.5	412.538	Cerah
14	30.1	587.128	Cerah
15	29.7	485.297	Cerah
16	29	318.528	Cerah

Tabel 3. 6 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 3

Hari 3			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	29.3	309.048	Berawan
10	29.6	193.945	Berawan
11	30	309.206	Berawan
12	30.9	226.73	Berawan
13	31.2	507.18	Cerah
14	31	406.297	Cerah
15	30.9	335.197	Cerah
16	29.8	245.137	Berawan

Tabel 3. 7 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 4

Hari 4			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	30.9	594.87	Cerah
10	31.4	880.06	Cerah
11	32.2	110.363	Berawan
12	31.8	241.424	Cerah
13	32.4	496.594	Cerah
14	36.5	953.53	Cerah
15	32.4	643.455	Cerah
16	31.6	163.846	Berawan

Tabel 3. 8 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 5

Hari 5			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	30.7	233.208	Berawan
10	30.8	119.606	Berawan
11	30.9	82.792	Hujan
12	30.3	88.717	Hujan
13	30	186.756	Berawan
14	30.5	267.02	Berawan
15	30.8	245.611	Berawan
16	31	232.497	Cerah

Tabel 3. 9 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 6

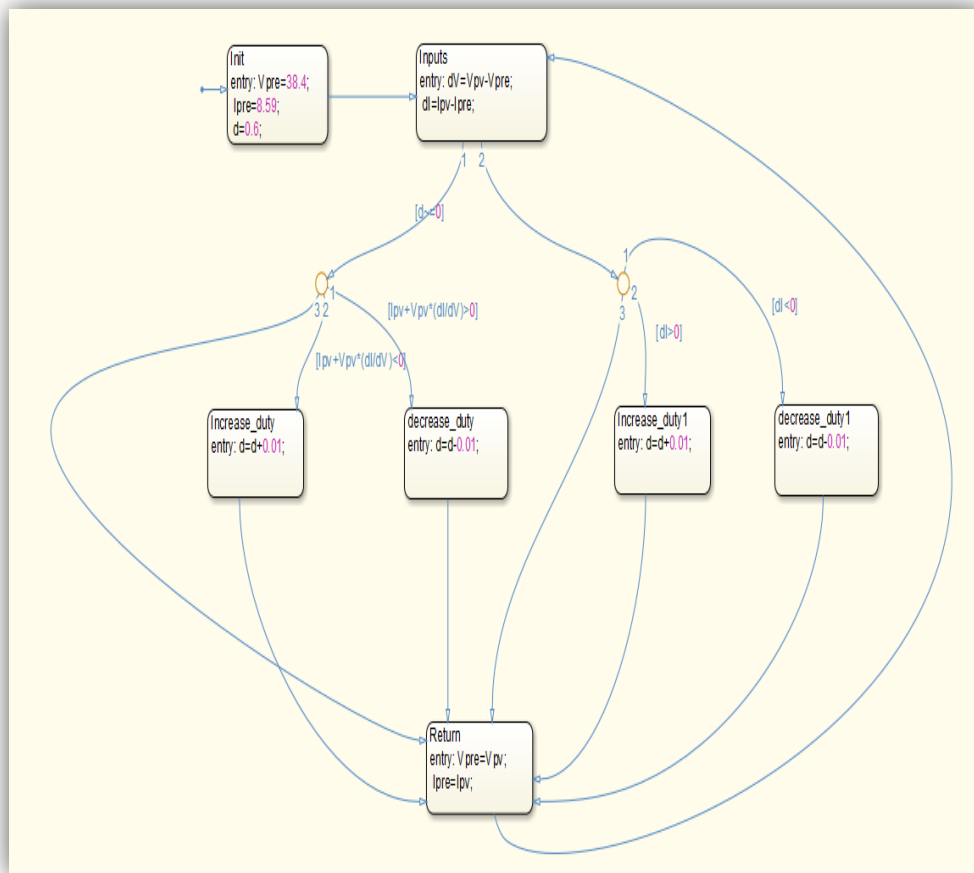
Hari 6			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	29.7	314.973	Cerah
10	31.3	431.656	Cerah
11	31.1	493.276	Cerah
12	31.7	352.419	Cerah
13	31.4	291.747	Berawan
14	30.6	94.879	Hujan
15	31.7	466.021	Cerah
16	31.9	78.4154	Berawan

Tabel 3. 10 Data Temperatur Dan Irradiasi Hari 7

Hari 7			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	29.6	360.477	Berawan
10	29.9	455.277	Cerah
11	29.9	1151.82	Cerah
12	31.2	1549.19	Cerah
13	30.9	1391.19	Cerah
14	31.4	245.532	Berawan
15	30.9	269.785	Cerah
16	31.3	300.753	Cerah

#### 3.6.4 Perancangan MPPT Implementasi Metode *Incremental Conductance*

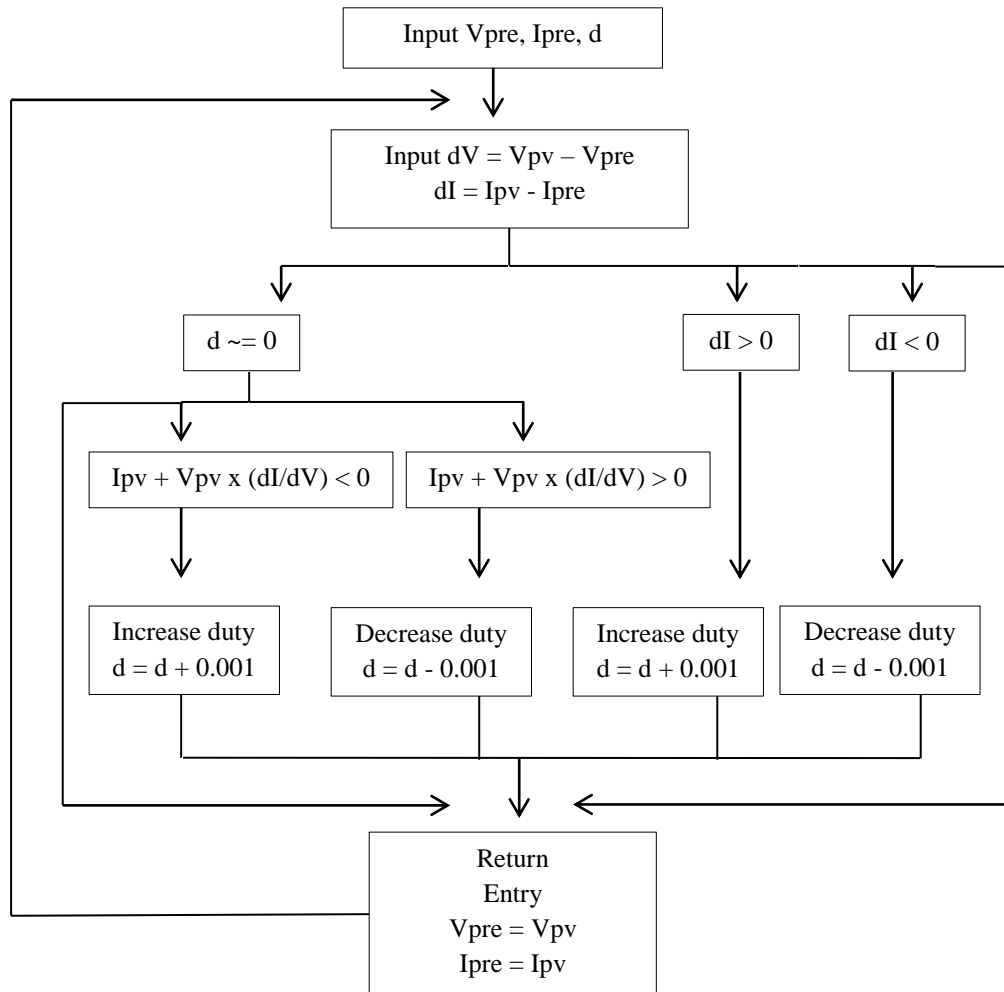
Pada bab sebelumnya telah dijelaskan prinsip dasar dari metode *incremental conductance*. Dikatakan bahwa algoritma ini merupakan MPPT jenis langsung karena memberikan referensi titik kerja maksimum berdasarkan tegangan dan arus yang keluar dari *photovoltaic*.



Gambar 3. 7 Chart Simulasi Algoritma *Incremental Conductance*

Algoritma ini tergolong sederhana namun memiliki kemampuan yang baik untuk mencari titik kerja maksimum. Dalam algoritma *incremental conductance* terdapat dua kondisi dimana antara ( $d \sim = 0$ ) dan ( $d_i > 0$ ,  $d_i < 0$ ). Ketika ( $d \sim = 0$ ) maka algoritma akan berjalan ke daerah *increase duty* ( $d = d + 0.001$ ) dengan perhitungan  $I_{pv} + V_{pv} \times (d_i/dV) < 0$  kemudian *decrease duty* ( $d = d - 0.001$ )  $I_{pv} + V_{pv} \times (d_i/dV) > 0$  dan algoritma bisa langsung memperhitungkan ke daerah *return* (pengulangan) nilai akhir ( $V_{pre} = V_{pv}$ ) serta ( $I_{pre} = I_{pv}$ ). Kondisi selanjutnya ( $d_i > 0$ ,  $d_i < 0$ ) algoritma akan berjalan jika  $d_i > 0$  maka *increase duty* ( $d = d + 0.001$ ) kemudian jika  $d_i < 0$  maka algoritma menjadi *decrease duty* ( $d = d - 0.001$ ) atau algoritma berjalan langsung menuju ke daerah *return* (pengulangan) nilai akhir ( $V_{pre} = V_{pv}$ ) serta

( $I_{pre} = I_{pv}$ ). Kondisi ini dapat ditukar dengan urutan angka perjalanan algoritma dalam sebuah *chart*.



Gambar 3. 8 Diagram Metode *Incremental Conductance*

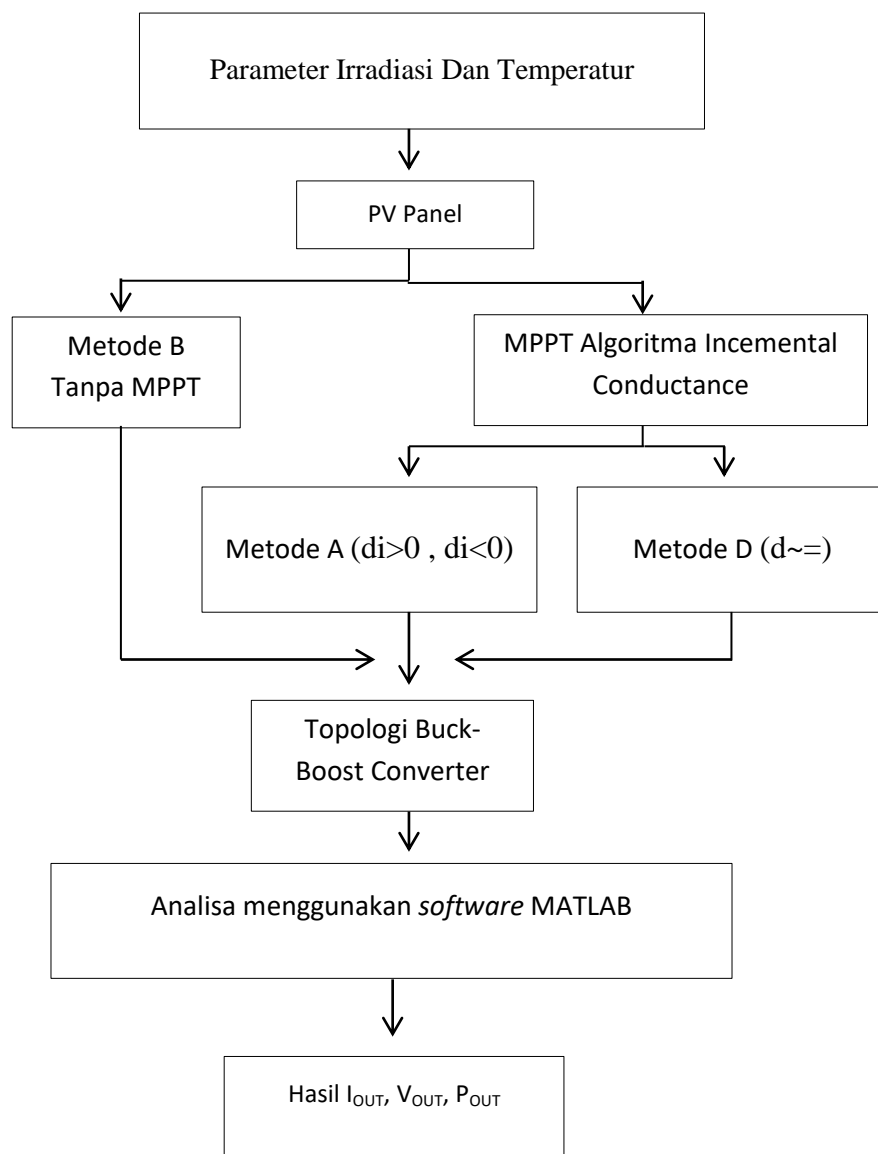
Algoritma ini merupakan rancangan yang berasal dari diagram alir metode *incremental conductance*. Keluaran dari algoritma ini adalah *duty cycle* yang nantinya setelah simulasi hasil datanya dihubungkan ke dalam rangkaian simulasi topologi *buck-boost converter* sebagai pengendali saklar.

### 3.7 Pengujian sistem

Ketika melakukan simulasi, hal yang diperhatikan terlebih dahulu yaitu melihat parameter yang dibutuhkan dalam melakukan simulasi sehingga dapat

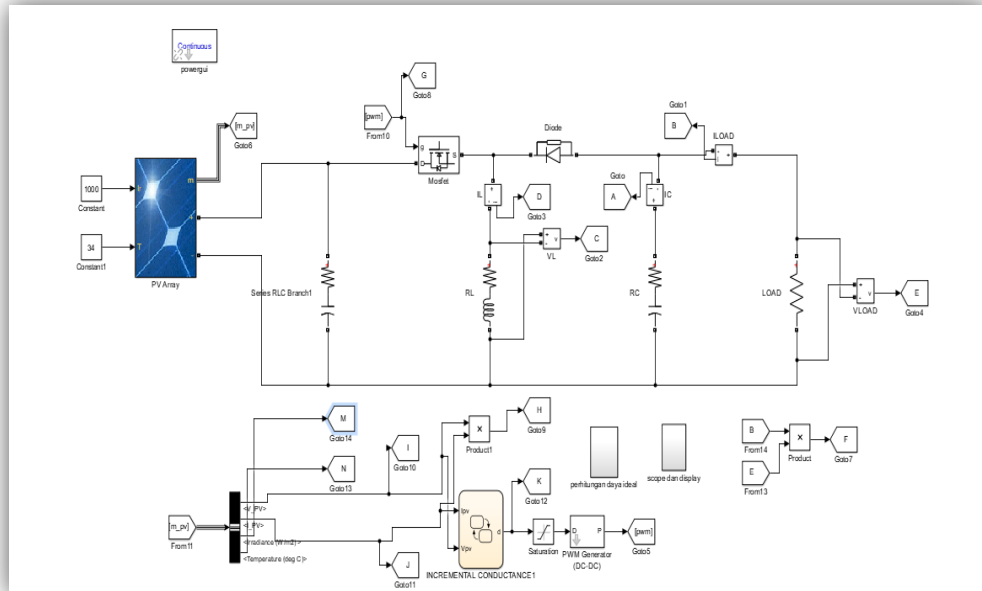


meminimalisir kegagalan dalam melakukan pengujian simulasi . Simulasi tersebut menggunakan *software* Matlab Simulink dimana *datasheet* diambil dari *photovoltaic* yang sebenarnya, lalu mengambil data temperatur dan radiasi matahari dilakukan dengan menggunakan Digital Lux Meter di daerah Pematang Johar.. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan waktu efektif pada kinerja *photovoltaic*. Data tersebut nanti akan dilihat secara grafik sesuai dengan hasil simulasi yang dilakukan pada lokasi penelitian.

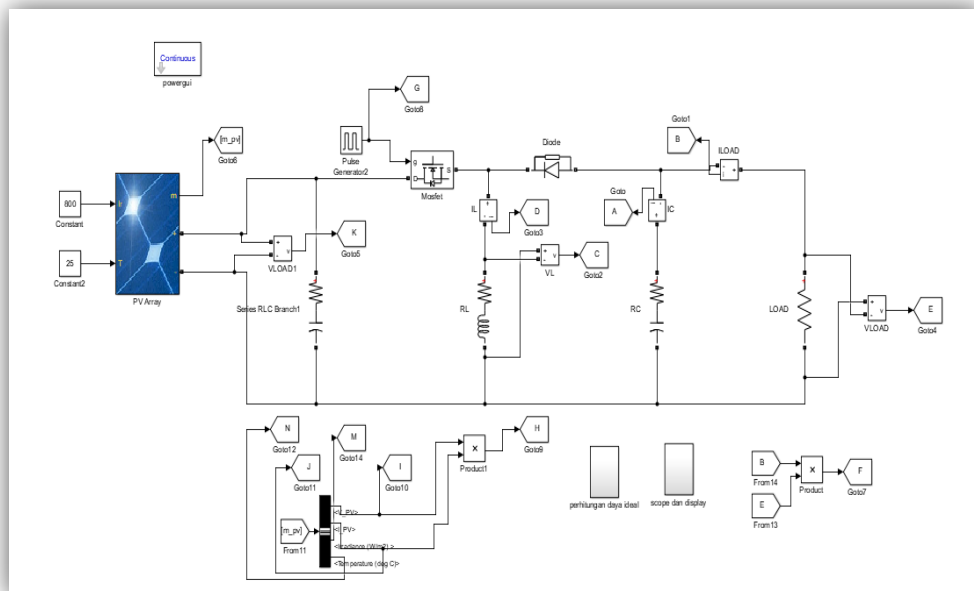


Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengendalian PV

Kemudian langkah selanjutnya adalah melihat perbandingan topologi *buck-boost* converter mulai dari tegangan, arus, daya yang menggunakan MPPT metode *incremental conductance* dengan tidak menggunakan MPPT.



Gambar 3. 10 Simulasi Dengan Menggunakan MPPT



Gambar 3. 11 Simulasi Tanpa Menggunakan MPPT

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHSAN

#### 4.1 Analisa Data Temperatur dan Irradiasi Matahari

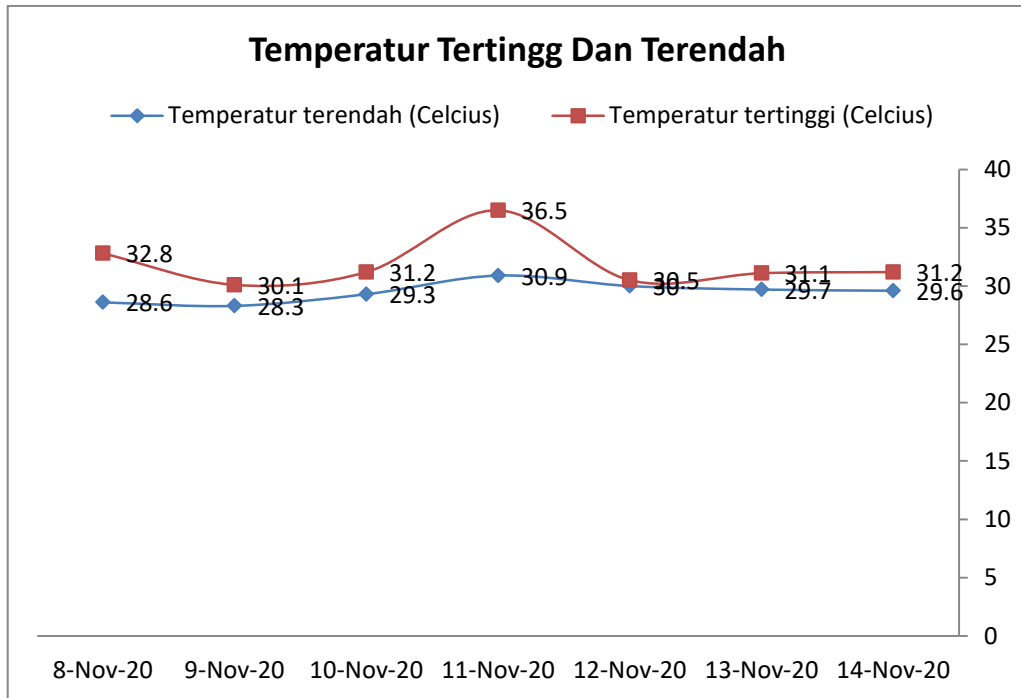
Pada bab tiga dijelaskan cara pengambilan data irradiasi matahari dan temperatur. Pengambilan data dilakukan secara *real time* pada tanggal 08 November 2020 – 14 November 2020 dari pukul 09.00 – 16.00 WIB dengan menggunakan Digital Lux Meter.

Data irradiasi matahari dan temperatur ini sebagai acuan dalam sistem *photovoltaic* yang telah dirancang pada bab tiga sesuai dengan model *photovoltaic* yang sebenarnya.

Metode yang digunakan dalam simulasi ini adalah dengan melakukan pengamatan temperatur dan irradiasi secara *real time*. Hasil dari simulasi yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Tabel 4. 1 Nilai Temperatur Tertinggi Dan Terendah Dalam Satu Minggu

Hari	Temperatur terendah (Celcius)	Temperatur tertinggi (Celcius)
8-Nov-20	28.6	32.8
9-Nov-20	28.3	30.1
10-Nov-20	29.3	31.2
11-Nov-20	30.9	36.5
12-Nov-20	30	30.5
13-Nov-20	29.7	31.1
14-Nov-20	29.6	31.2

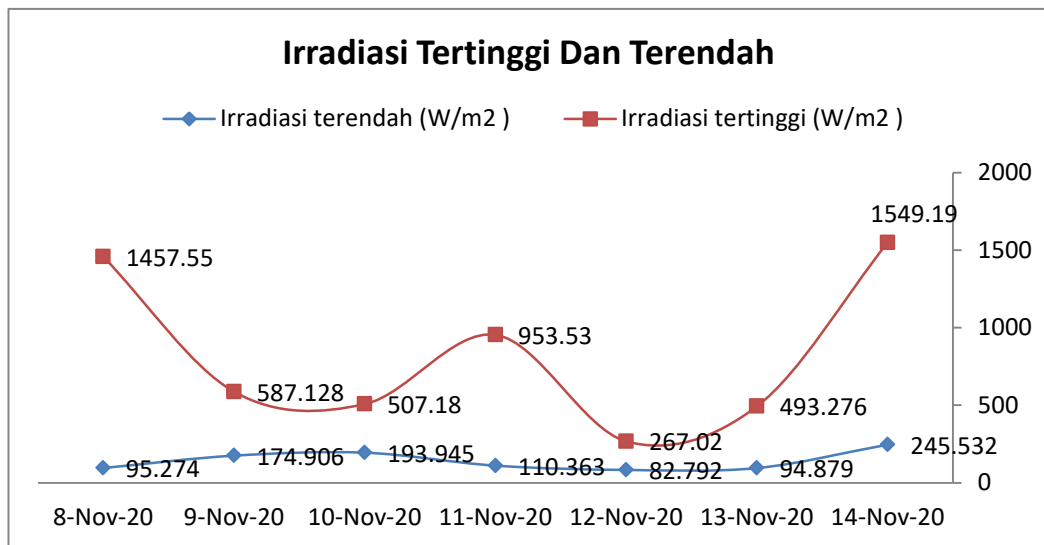


Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Temperatur Tertinggi Dan Terendah

Gambar 4.1 menunjukkan Temperatur tertinggi terjadi pada tanggal 11 November 2020 sebesar 36.5 °C sedangkan temperatur terendah terjadi pada tanggal 9 November 2020 sebesar 28.3 °C. Hal ini disebabkan adanya perubahan cuaca yang cukup ekstrim di masa pengujian.

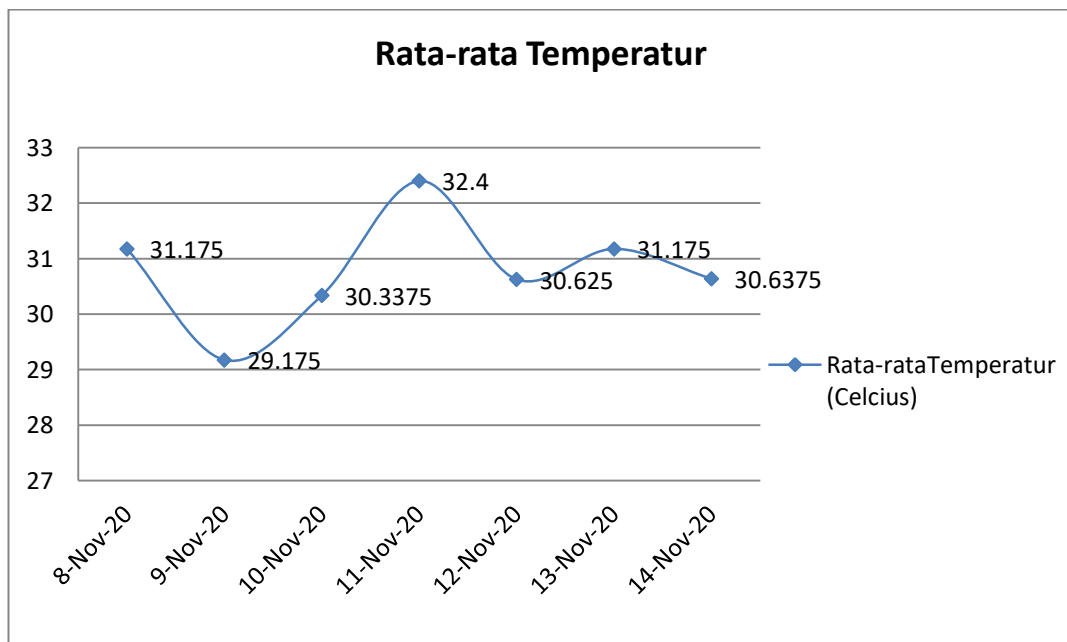
Tabel 4. 2 Nilai Irradiasi Tertinggi Dan Terendah Dalam Satu Minggu

Hari	Irradiasi terendah (W/m <sup>2</sup> )	Irradiasi tertinggi (W/m <sup>2</sup> )
8-Nov-20	95.274	1457.55
9-Nov-20	174.906	587.128
10-Nov-20	193.945	507.18
11-Nov-20	110.363	953.53
12-Nov-20	82.792	267.02
13-Nov-20	94.879	493.276
14-Nov-20	245.532	1549.19



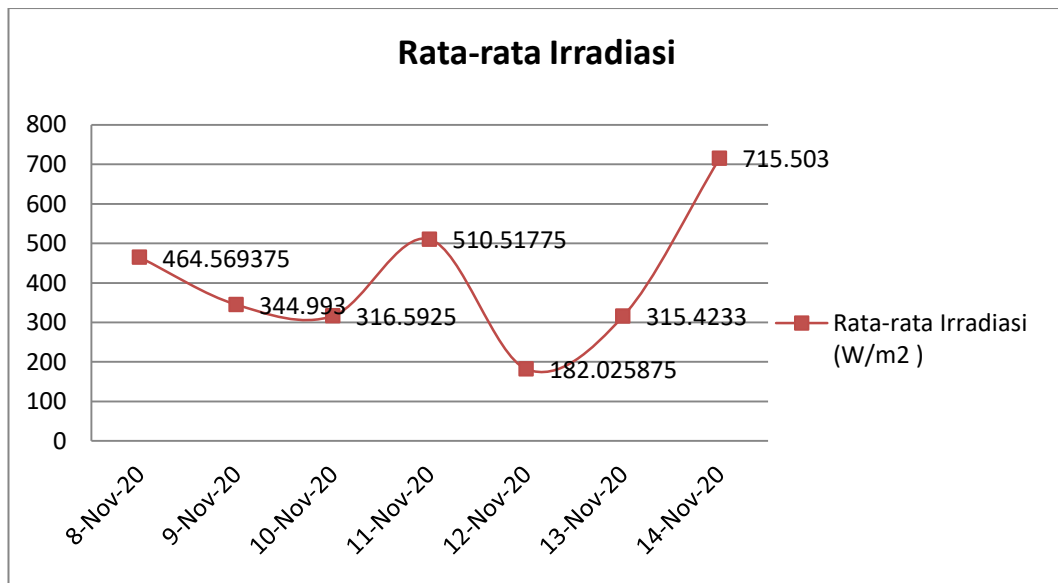
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Irradiasi Tertinggi Dan Terendah

Pada gambar 4.2 nilai iradiasi tertinggi ditunjukkan pada garis merah dengan nilai maksimumnya terjadi Gambar 4.2 Grafik perbandingan irradiasi tertinggi dan terendah pada tanggal 14 November 2020 sebesar 1549.19 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan nilai terendah terjadi pada 12 November 2020 sebesar 82.792 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 4. 3 Grafik Rata – Rata Temperatur Dalam Satu Minggu

Gambar 4.3 menunjukkan nilai rata-rata temperatur pada satu minggu yang dimulai pada tanggal 8 November 2020 sampai 14 November 2020 dengan nilai rata-rata tertinggi terjadi pada tanggal 11 November 2020 sebesar  $32.4^{\circ}\text{C}$  dan terendah pada tanggal 9 November 2020 sebesar  $29.175^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 4. 4 Grafik Rata – Rata Temperatur Dalam Satu Minggu

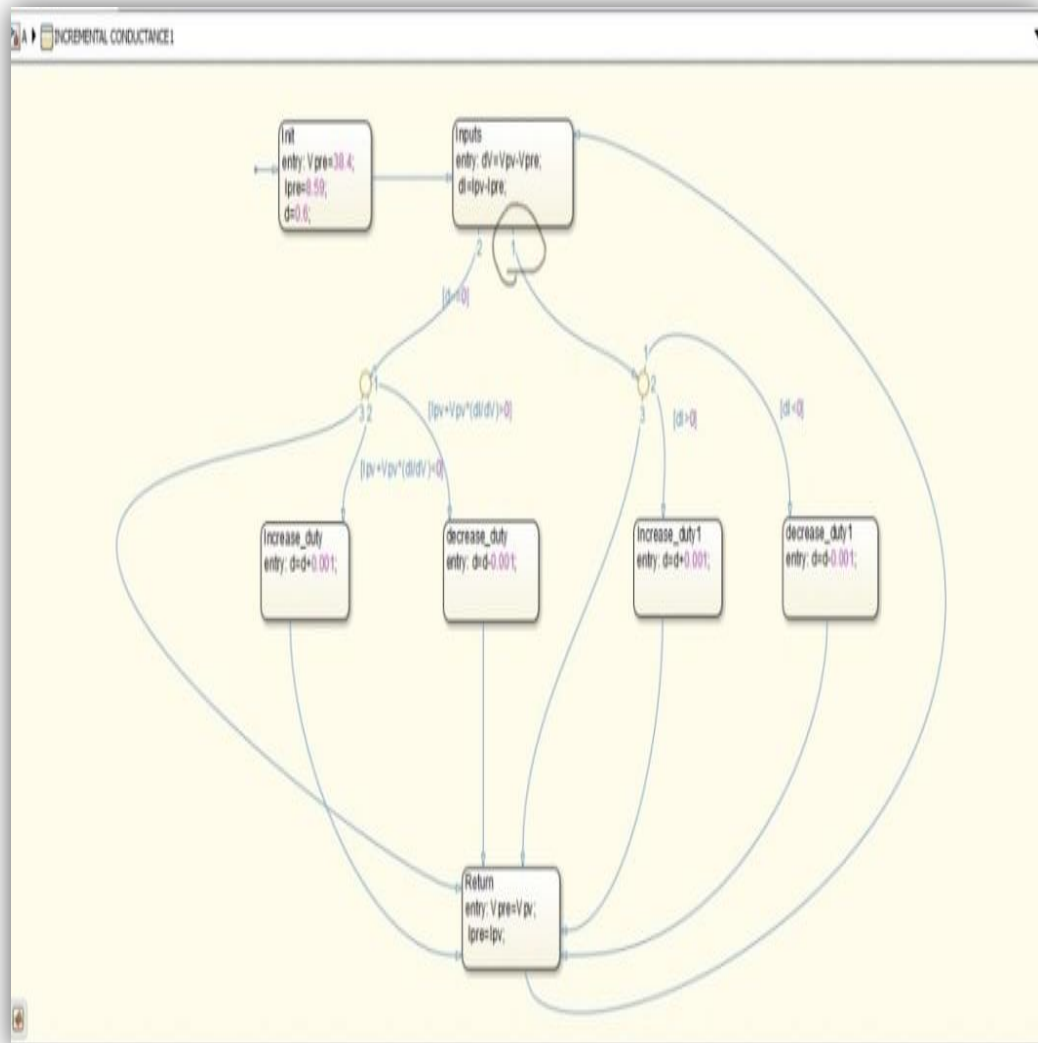
Nilai irradiasi yang didapat di lakukan perhitungan rata-rata, sehingga dapat dilihat pada gambar 4.4 nilai rata-rata irradiasi tertinggi terjadi pada 14 November 2020 sebesar  $715.503 \text{ W/m}^2$  dan nilai terendah terjadi pada tanggal 12 November 2020 sebesar  $182.025875 \text{ W/m}^2$ .

## 4.2 Analisa Metode Algoritma Incremental Conductance (MPPT)

### 4.2.1 Analisa Algoritma Incremental Metode A

Pengujian sistem ini menggunakan simulasi sistem *photovoltaic* yang disesuaikan dengan *datasheet*, kemudian langsung terhubung ke *buck-boost converter* dan sistem MPPT. Dalam pengujian algoritma *incremental conductance* dilakukan dengan cara memasukan logika dalam bentuk *chart* yang dapat

disimulasikan. Pengujian ini dilakukan dengan membedakan menjadi beberapa metode yaitu metode A merupakan ( $d_i > 0$  ,  $d_i < 0$ ), metode B tanpa MPPT dan metode D merupakan ( $d \sim =$ ) dengan sinyal frekuensi 15.000 Hz



Gambar 4. 5 Chart Algoritma *Incremental Conductance* Metode A

Terlihat pada gambar 4.5 terdapat sebuah tanda lingkaran yang merupakan algoritma yang berjalan yaitu algoritma *incremental conductance* metode A. hal ini dijelaskan sebelumnya bahwa terjadi pemisahan block dalam metode *incremental conductance* agar dapat mengetahui nilai efektif dari algoritma ini.

Metode ini dijalankan dengan *setting time* periode sebesar 5 sec. Hubungan arus, tegangan dan daya yang sama terjadi pada setiap pengujian irradiansi dan temperatur. Namun, nilai daya maksimum, tegangan saat daya maksimum dan arus saat daya maksimum berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini.

Pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data selama satu minggu, data diproses secara bertahap sesuai dengan waktu yang ditentukan.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Hari 1 Metode A

Hari 1 ( $dI > 0$ dan $dI < 0$ ) A									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiansi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	20.97	4.244	18.34	449.905	89	5.286	23.26	122.9	28.6
10	31.24	6.407	28.56	674.265	200.2	7.975	35.09	279.9	30.5
11	17.3	3.468	27.4	360.635	59.98	4.32	19.01	82.12	31
12	42.34	9.302	46.4	1457.55	393.8	10.47	46.08	482.5	32.8
13	8.98	1.722	23.4	176.96	15.46	2.142	9.427	20.2	32.3
14	12.59	2.478	25.82	255.644	31.19	3.086	13.58	41.9	31.9
15	12.17	2.389	24.28	246.322	29.07	2.976	13.09	38.97	32
16	5.137	0.9138	20.53	95.274	4.694	1.136	5	5.683	30.3

Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Hari 2 Metode A

Hari 2 ( $dI > 0$ dan $dI < 0$ ) A									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiansi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	9.43	1.816	28.61	192.444	17.12	2.26	9.944	22.47	28.3
10	8.977	1.721	23.66	181.384	15.45	2.142	9.424	20.18	29
11	8.667	1.656	23.73	174.906	14.35	2.061	9.067	18.68	28.7
12	19.17	3.863	27.23	407.719	74.06	4.812	21.17	101.9	29.1
13	19.4	3.92	31.75	412.538	76.05	4.883	21.48	104.9	29.5
14	27.35	5.59	29.3	587.128	152.9	6.961	30.63	213.2	30.1
15	22.77	4.615	15.77	485.297	105.1	5.748	25.29	145.3	29.7
16	15.12	3.018	26.94	318.528	45.63	3.759	16.54	62.16	29



Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Hari 3 Metode A

Hari 3 (dl > 0 dan dl < 0) A									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	14.76	2.935	26.72	309.048	43.34	3.656	16.09	58.82	29.3
10	9.578	1.848	24.11	193.945	17.7	2.301	10.12	23.3	29.6
11	14.85	2.953	26.7	309.206	43.83	3.678	16.18	59.52	30
12	11.16	2.182	25.26	226.73	24.36	2.717	11.95	32.48	30.9
13	23.97	4.876	15.65	507.18	116.9	6.072	26.72	162.2	31.2
14	19.36	3.905	14.52	406.297	75.59	4.863	21.4	104.1	31
15	16.13	3.222	27.55	335.197	51.95	4.013	17.66	70.87	30.9
16	11.93	2.339	24.98	245.137	27.89	2.913	12.82	37.33	29.8

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Hari 4 Metode A

Hari 4 (dl > 0 dan dl < 0) A									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	27.92	5.695	26.78	594.87	159	7.092	3.12	221.3	30.9
10	37.7	7.828	36.06	880.06	295.1	9.641	42.42	409	31.4
11	5.895	1.074	20.34	110.363	6.329	1.336	5.877	7.85	32.2
12	11.92	2.339	24.75	241.424	27.88	2.912	12.81	37.32	31.8
13	23.69	4.818	22.49	496.594	114.1	6	26.4	158.4	32.4
14	38.43	8.072	23.03	953.53	310.2	9.795	43.1	422.2	36.5
15	30.3	6.209	29.08	643.455	188.2	7.729	34.01	262.9	32.4
16	8.33	1.586	20.51	163.846	13.21	1.974	8.685	17.14	31.6

Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Hari 5 Metode A

Hari 5 (dl > 0 dan dl < 0) A									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	11.44	2.24	25.07	233.208	25.64	2.79	12.28	34.26	30.7
10	6.264	1.151	21.48	119.606	7.211	1.432	6.302	9.027	30.8
11	4.586	0.7978	20.95	82.792	3.658	0.9919	4.365	4.329	30.9
12	4.837	0.851	20.18	88.717	4.116	1.058	4.656	4.927	30.3
13	9.285	1.786	28.18	186.756	16.58	2.222	9.777	21.72	30
14	12.98	2.561	25.47	267.02	33.24	3.189	14.03	44.75	30.5
15	12.03	2.361	24.65	245.611	28.41	2.941	12.94	38.05	30.8
16	11.44	2.239	25.3	232.497	25.6	2.788	12.27	34.2	31

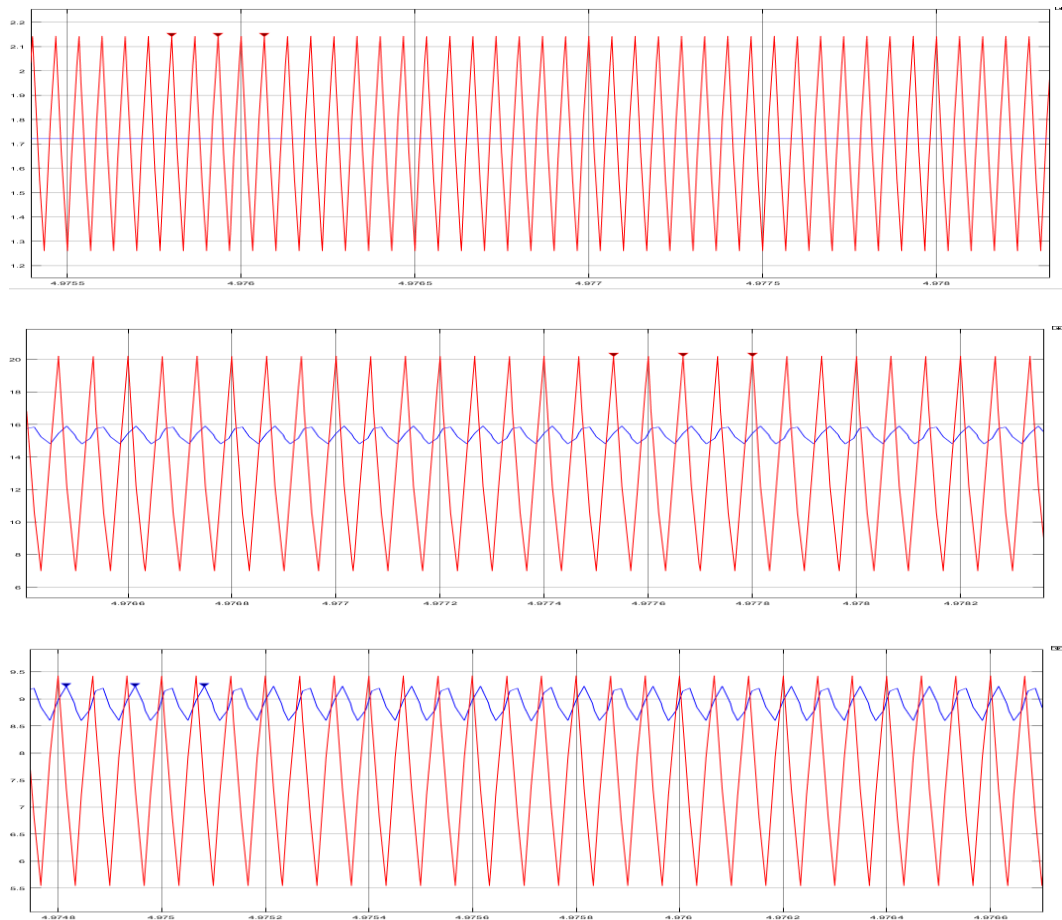
Tabel 4. 8 Hasil Simulasi Hari 6 Metode A

Hari 6 (di > 0 dan di < 0) A									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	15.03	3.001	26.91	314.973	45.11	3.737	16.44	61.44	29.7
10	20.55	4.157	53.79	431.656	85.42	5.177	22.78	117.9	31.3
11	23.32	4.74	18.68	493.276	110.5	5.903	25.97	153.3	31.1
12	17.01	3.407	27.1	352.419	57.94	4.244	18.68	79.26	31.7
13	14.2	2.816	26.25	291.747	39.98	3.508	15.43	54.14	31.4
14	5.129	0.9121	21.16	94.879	4.678	1.134	4.991	5.662	30.6
15	22.19	4.5	13.19	466.021	99.83	5.604	24.66	138.2	31.7
16	4.411	0.7614	21.06	78.4154	3.358	0.9466	4.165	3.943	31.9

Tabel 4. 9 Hasil Simulasi Hari 7 Metode A

Hari 7 (di > 0 dan di < 0) A									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	17.1	3.43	29.87	360.477	58.65	4.271	18.79	80.26	29.6
10	21.42	4.337	18.4	455.277	92.9	5.401	23.77	128.4	29.9
11	40.98	8.723	63.02	1151.82	357.4	10.41	45.78	476.4	29.9
12	43.01	9.484	43.06	1549.19	407.9	10.55	46.43	489.9	31.2
13	42.29	9.226	43.09	1391.19	390.2	10.56	46.67	490,8	30.9
14	12.08	2.371	24.5	245.532	28.64	2.953	12.99	38.37	31.4
15	13.14	2.595	25.63	269.785	34.11	3.232	14.22	45.96	30.9
16	14.6	2.901	26.35	300.753	42.34	3.613	15.9	57.43	31.3

Tabel 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 menunjukkan metode A mengalami peningkatan pada  $V_{out}$  nya, kemudian pada metode A terjadi penurunan terhadap  $V_{pv}$  untuk menghasilkan optimalisasi pada rangkaian topologi *buck-boost dc-dc converter*.



Gambar 4. 6 Grafik I, P, V Jam 13.00 Hari 1 Metode A

Gambar 4.6 merupakan contoh grafik yang dilakukan pada simulasi Matlab Simulink. Grafik  $I_{pv}$  *Bilevel Measurement* dengan transition yang terjadi pada kondisi high  $1.722e+00$ , low  $1.722e+00$ , Amplitude  $1.736e-05$ , pada sisi atas terlihat nilai +edges 19, +rise time  $4.380 \mu s$ , +slew rate  $3.260 (/s)$ , lalu pada sisi bagian bawah terdapat nilai -edges 19, -fall time  $4.116 \mu s$ , -slew rate  $-3.466 (/s)$ . grafik  $I_{pv}$  juga menampilkan overshoots / undershoots dengan nilai pada sisi atas +preshoot 108.452%, +overshoot 153.929%, +undershoot -153.929%, kemudian pada sisi bawah -preshoot 59.398%, -overshoot -95.345%, -undershoot 95.345%. untuk cycles yang terjadi dapat dilihat diketahui nilainya sebesar period  $66.673 \mu s$ , frequency 14.999 kHz, pada sisi atas diketahui nilai +pulses 18, +width  $33.419 \mu s$ ,

duty cycle 50.142 %, lalu pada sisi bawah diketahui nilai grafik  $I_{pv}$  yang berwarna biru dengan -pulses 19, -width 33.197  $\mu\text{s}$ , duty cycle 49.867%. gambar 4.6 juga menjelaskan grafik  $I_{out}$  yang berwarna merah dengan *Bilevel Measurement* yang terjadi transition pada kondisi high 2.139e+00, low 1.264e+00, amplitud 8.746e-01, kemudian terdapat nilai pada sisi atas +edges 19, +rise time 26.289  $\mu\text{s}$ , +slew rate 26.616 (/ms), lalu pada sisi bawah -edges 19, -fall time 26.457  $\mu\text{s}$ , -slew rate -26.447 (/ms). Overshoots / undershoots yang terjadi pada sisi atas +preshoot 0.493%, +overshoot 0.438%, +undershoot -0.438%, kemudian pada sisi bawah -preshoot 0.444%, -overshoot -0.493%, -undershoot 0.493%. Cycles pada  $I_{out}$  sebesar period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz pada sisi atas +pulses 18, +width 33.614  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 50.420%, pada sisi bawah -pulses 19, -width 33.056  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 49.580%.

Selanjutnya dijelaskan pada gambar 4.6  $P_{vp}$  dengan *Bilevel Measurement* transition pada kondisi high 1.547e+01, low 1.524e+01, amplitud 2.307e-01, pada sisi atas +edges 19, +rise time 3.815  $\mu\text{s}$ , +slew rate 49.735 (/ms), pada sisi bawah -edges 19, fall time 3.998  $\mu\text{s}$ , -slew rate -46.178 (/ms). Kemudian overshoots / undershoots yang terjadi dengan nilai sisi atas +preshoot 112.205%, +overshoot 154.698%, +undershoot -95.269%, lalu pada sisi bawah -preshoot 171.537%, -overshoot -0.441%, -undershoot 90.783%. pada gambar 4.6 grafik  $P_{vp}$  yang berwarna biru terjadi cycle dengan nilai period 66.705  $\mu\text{s}$ , frequency 14.991 kHz, pada sisi atas +pulses 18, +width 33.390  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 50.055% kemudian pada sisi bawah -pulses 19, -width 33.312  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 49.949%.  $P_{out}$  dengan *Bilevel Measurement* dengan transitions pada kondisi high 2.014e+01, low 7.048e+00, amplitud 1.310e+01, pada sisi atas menunjukkan nilai +edges 5, +rise time

26.477  $\mu\text{s}$ , +slew rate 395.679 (/ms), lalu pada sisi bawah –edges 5, -fall time 26.078  $\mu\text{s}$ , -slew rate -401.749 (/ms). Grafik yang ditampilkan pada gambar 4.6 memiliki overshoots / undershoots dengan sisi atas +preshoot 0.493%, +overshoot 0.437%, +undershoot -0.437%, kemudian pada sisi bawah –preshoot 0.409%, -overshoot -0.493%, -undershoot 0.493%. Cycle pada  $P_{\text{out}}$  dengan nilai period 66.66  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, pada sisi atas +pulses 4, +width 30.223  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 45.335%, lalu pada sisi bawah –pulses 5, -width 36.406  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 54.664%.

Gambar 4.6 juga terlihat pada grafik  $V_{\text{pv}}$  dengan *Bilevel Measurement* transition yang terjadi pada kondisi high 8.977e+00 , low 8.850e+00. Amplitudo yang terjadi pada grafik  $V_{\text{pv}}$  yang terdapat pada gambar 4.6 sebesar 1.274e-01, dengan +edges sebesar 19, +rise time 3.679  $\mu\text{s}$ , +slew rate 28.522 (/ms), kondisi yang berbeda dengan grafik dibawah menunjukkan nilai –edges 19, -fall time 3.789  $\mu\text{s}$ , -slew rate -26.912 (/ms). Gambar 4.6 juga menjelaskan overshoots / undershoots yang terjadi pada sisi atas +preshoot 123.481 %, +overshoot 61.886%, +undershoot -0.862%, sisi bawah –preshoot 187.001%, -overshoot -0.896%, -undershoot 26.511%. Grafik menunjukkan nilai cycle sisi atas berupa period 66.67  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, +pulse 18, +width 33.551  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 50.321% kemudian sisi bawah –pulse 19, -width 33.120  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 49.679%. selanjutnya pada gambar 4.6 menjelaskan grafik  $V_{\text{out}}$  dengan garis berwarna merah yang memiliki *Bilevel Measurement* dengan transition yang terjadi pada kondisi high 9.411e+00, low 5.562e+00 Amplitudo 3.848e+00, +edges 19, +rise time 26.296  $\mu\text{s}$ , +slew rate 117.078 (/ms). Lalu pada sisi grafik sebelah bawah yang terlihat pada gambar 4.6 terjadi kondisi dengan nilai –edges 18, fall time

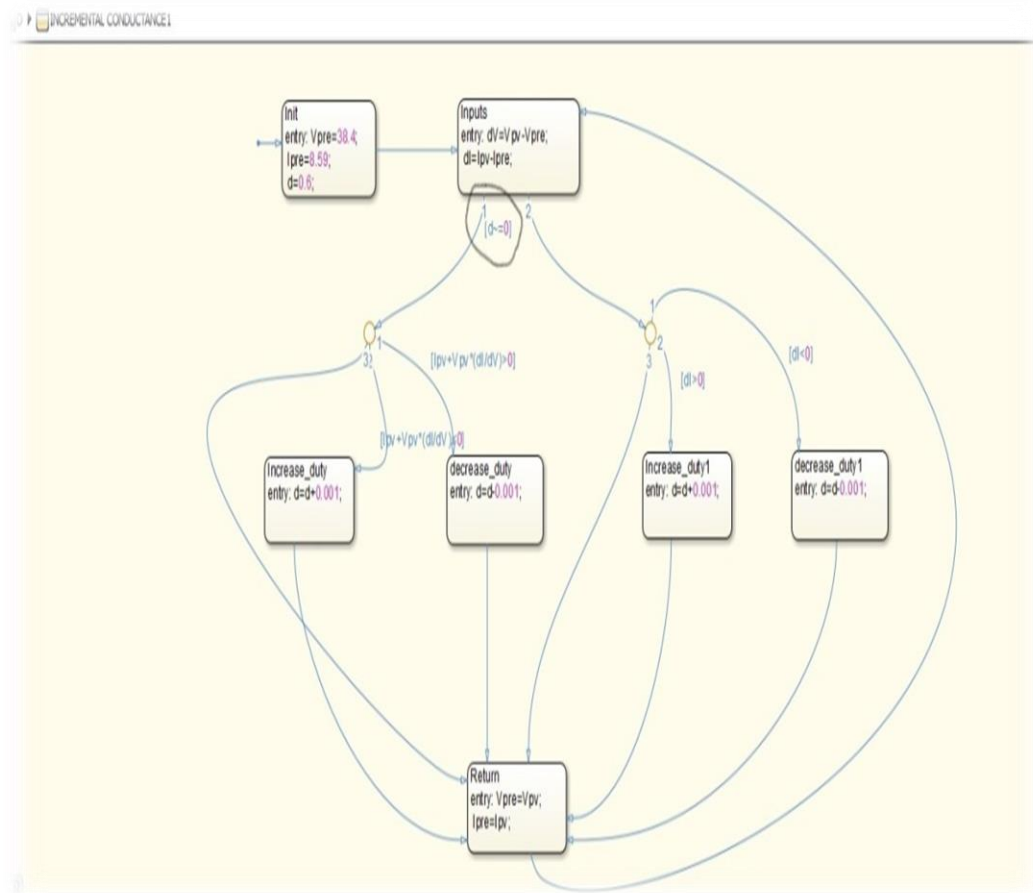
26.465  $\mu\text{s}$ , -slew rate -116.331 (/ms). Kemudian nilai undershoots /overshoots yang terjadi pada sisi atas +preshoot 0.493%, +overshoot 0.445%, +undershoot -0.445%. bagian sisi bawah yang terjadi dapat dilihat nilai yang ditemukan –preshoot 0.441%, -overshoot -0.493%, -undershoot 0.493%. Gambar 4.6 menunjukkan  $V_{\text{out}}$  pada nilai cycle sisi atas sebesar period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, +pulses 18, +width 33.613  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 50.420%. kemudian pada sisi bawah –pulses 18, -width 33.053  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 49.575%.

Gambar 4.6, menunjukkan grafik dari metode A. Grafik ini tidak terjadi distorsi terhadap nilai yang diberikan dari *photovoltaic* dengan input irradiansi matahari dan temperatur pada saat simulasi dilakukan. Tetapi metode ini juga melakukan penurunan terhadap  $V_{\text{pv}}$  yang dihubungkan langsung dengan topologi *buck-boost converter* untuk mencapai nilai yang optimal.

#### 4.2.2 Analisa Algoritma Incremental Metode D

Pada tahap selanjutnya dilakukan simulasi algoritma *incremental conductance* dengan metode D ( $d \sim =$ ).

Lingkaran pada gambar 4.7 menunjukkan penggunaan metode D. Metode ini dijalankan dengan *setting time* periode sebesar 5 sec. Hubungan arus, tegangan dan daya yang sama terjadi pada setiap pengujian irradiansi dan temperatur. Nilai keluaran dari tegangan, daya, arus akan berbeda – beda pada setiap irradiansi dan temperaturnya.

Gambar 4. 7 Chart Algoritma *incremental conductance* metode D

Tabel 4. 10 Hasil simulasi hari 1 metode D

Hari 1 (d ≈ 0) D									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	43.05	1.998	0.314	449.905	86.03	4.74	20.85	98.84	28.6
10	42.7	3.759	0.387	674.265	160.5	6.64	29.22	194	30.5
11	41.21	2.113	0.326	360.635	87.07	4.835	21.27	102.8	31
12	42.34	9.302	17.63	1457.55	393.8	10.47	46.08	482.5	32.8
13	41.63	0.0004163	-16.16	176.96	0.01733	-5.83E-13	-5.78E-12	3.37E-24	32.3
14	42.6	0.00426	-15.12	255.644	0.01815	-8.51E-10	-3.75E-09	3.19E-18	31.9
15	42.49	0.0004249	-29.31	246.322	0.01805	-4.20E-11	-1.85E-10	7.79E-21	32
16	40.63	0.0004063	-9.429	95.274	0.01651	-1.90E-11	-8.41E-11	1.60E-12	30.3

Tabel 4. 11 Hasil simulasi hari 2 metode D

Hari 2 (d ≈ 0) D									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	42.74	0.0004274	-0.272	192.444	0.01826	-9.69E-11	-4.23E-10	4.10E-20	28.3
10	42.44	0.0004244	-3.312	181.384	0.01801	-1.86E-11	-5.50E-12	1.03E-23	29
11	42.42	0.0004242	-11.32	174.906	0.018	9.98E-11	4.49E-10	4.48E-20	28.7
12	43.25	1.388	0.275	407.719	60.04	3.884	17.09	66.39	29.1
13	43.16	1.428	0.279	412.538	61.65	3.932	17.3	68.04	29.5
14	42.28	3.466	0.379	587.128	146.6	6.367	28.02	178.4	30.1
15	42.11	2.802	0.355	485.297	118	5.674	24.96	141.6	29.7
16	41.75	1.67	0.302	318.528	69.72	4.22	18.57	78.34	29

Tabel 4. 12 Hasil simulasi hari 3 metode D

Hari 3 (d ≈ 0) D									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	43.62	0.0004362	-34.32	309.048	0.01903	-2.24E-09	-9.88E-09	2.21E-17	29.3
10	42.46	0.0004246	-25.07	193.945	0.01803	-1.22E-10	-5.36E-10	6.51E-20	29.6
11	41.58	1.58	0.29	309.206	65.71	4.162	18.31	76.22	30
12	42.54	0.0004254	-15.1	226.73	0.01809	-4.41E-10	-1.94E-09	8.57E-19	30.9
13	43.41	1.609	0.287	507.18	69.83	4.231	18.62	78.77	31.2
14	42.76	1.45	0.281	406.297	62.02	3.957	17.41	68.88	31
15	40.97	2.011	0.322	335.197	82.4	4.698	20.67	97.13	30.9
16	49.97	0.0004297	-12.67	245.137	0.01846	-2.40E-06	-1.05E-09	2.53E-19	29.8

Tabel 4. 13 Hasil simulasi hari 4 metode D

Hari 4 (d ≈ 0) D									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	42.31	3.391	0.376	594.87	143.5	6.281	27.64	173.6	30.9
10	42.21	5.619	0.437	880.06	237.2	8.215	36.15	296.9	31.4
11	40.54	0.0004054	-14.37	110.363	0.01643	-2.12E-10	-9.29E-10	1.97E-19	32.2
12	42.48	0.0004248	-54.47	241.424	0.01805	4.38E-10	1.93E-09	8.45E-19	31.8
13	41.65	2.849	0.358	496.594	118.7	5.688	25.03	142.3	32.4
14	41.27	6.134	0.451	953.53	253.2	8.464	37.24	315.2	36.5
15	42.2	3.643	0.384	643.455	153.7	6.503	28.61	186.1	32.4
16	41.61	0.0004161	-24.13	163.846	0.01731	-5.30E-10	-2.34E-09	1.24E-18	31.6



Tabel 4. 14 Hasil simulasi hari 5 metode D

Hari 5 (d <sup>o</sup> = 0) D									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	42.65	0.0004265	-0.003	233.208	0.01819	-1.30E-09	-5.71E-09	7.40E-09	30.7
10	41.05	0.0004105	-26.45	119.606	0.01685	1.64E-10	7.25E-10	1.19E-19	30.8
11	40.15	0.001515	0.014	82.792	0.06084	0.005431	0.0239	0.0001298	30.9
12	40.46	0.0004046	-20.7	88.717	0.01637	1.59E-10	7.02E-10	1.12E-19	30.3
13	42.28	0.0004228	-19.89	186.756	0.01788	4.66E-10	2.05E-09	9.54E-19	30
14	43.01	0.0004301	-27.66	267.02	0.0185	8.64E-10	3.81E-09	3.29E-18	30.5
15	42.75	0.0004275	-42.77	245.611	0.01827	-2.54E-11	-1.12E-10	2.85E-21	30.8
16	42.57	0.0004257	-0.261	232.497	0.01813	-2.79E-10	-1.23E-09	3.42E-19	31

Tabel 4. 15 Hasil simulasi hari 6 metode D

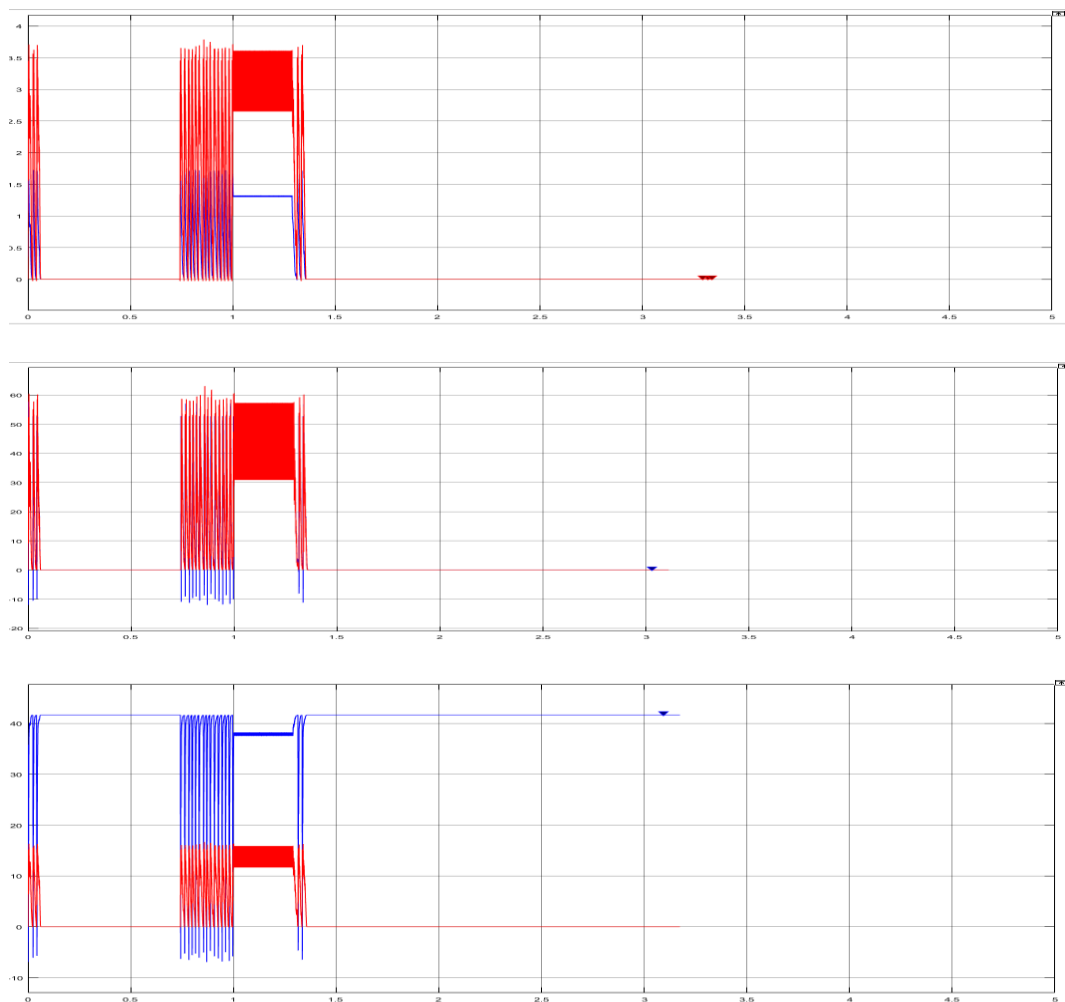
Hari 6 (d <sup>o</sup> = 0) D									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	41.57	1.655	0.302	314.973	68.8	4.19	18.43	77.24	29.7
10	42.95	1.433	0.279	431.656	61.54	3.928	17.28	67.89	31.3
11	43.22	1.721	0.297	493.276	74.39	4.349	19.14	83.24	31.1
12	40.98	2.083	0.324	352.419	85.36	4.769	20.99	100.1	31.7
13	43.02	0.0004302	-30.52	291.747	0.01851	-4.86E-10	-2.14E-09	1.04E-18	31.4
14	40.55	0.0004055	-12.96	94.879	0.01644	4.07E-10	1.79E-09	7.27E-19	30.6
15	42.92	1.673	0.295	466.021	71.79	4.275	18.81	80.39	31.7
16	39.79	0.0003979	-17.28	78.4154	0.01584	-1.17E-10	-5.16E-10	6.05E-20	31.9

Tabel 4. 16 Hasil simulasi hari 7 metode D

Hari 7 (d <sup>o</sup> = 0) D									
Waktu (jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Duty InCo	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	41.48	2.114	0.324	360.477	87.67	4.839	21.29	103	29.6
10	42.68	2.13	0.322	455.277	90.89	4.891	21.52	105.2	29.9
11	42.2	7.845	0.476	1151.82	331.1	9.805	43.14	423	29.9
12	43.01	9.484	139.5	1549.19	407.9	10.55	46.43	489.9	31.2
13	42.29	9.226	43.09	1391.19	390.2	10.56	46.7	490.8	30.9
14	42.61	0.0004261	-0.002	245.532	0.01816	-5.62E-10	-2.47E-09	1.39E-18	31.4
15	42.95	0.0004295	-30.98	269.785	0.01845	-1.69E-11	-8.19E-11	1.38E-21	30.9
16	41.34	1.491	0.286	300.753	61.63	4.02	17.69	71.11	31.3

Diketahui algoritma *incremental conductance* dengan menggunakan metode D banyak mengalami distorsi yang disebabkan nilai irradiansi yang rendah serta temperatur yang tidak sesuai dari ketentuan optimal *photovoltaic*. Metode D dapat meningkatkan keluaran dari *photovoltaic* dengan mempertahankan tegangan  $V_{pv}$  yang disesuaikan dari input irradiansi dan temperatur kedalam *photovoltaic*.

Pada saat melakukan simulasi dari data yang telah tersedia, terdapat 27 gangguan (warna kuning) grafik pada saat *run setting 5 sec*. Hal ini disebabkan nilai input dari irradiansi yang rendah dan temperatur yang tidak sesuai.



Gambar 4. 8 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 metode D

Secara sekilas grafik 4.8 memiliki riak dan ritme yang sama dalam gangguan yang terjadi. Pada saat pertama dilakukan *run*, grafik menunjukkan peningkatan. Peningkatan ini disesuaikan dengan nilai yang keluar dari *photovoltaic*. Iterasi ini terus terjadi sampai detik 1.42 sec pada kondisi *run* lalu grafik menunjukkan gangguan pada detik setelahnya sampai *setting* periode mencapai 5 sec.

Pada gambar 4.8 menunjukkan  $I_{pv}$  garis yang berwarna biru iterasi selama 1.42 sec pada *Bilevel Measurement* dengan transition dengan nilai high pada  $1.317e+00$ , low  $1.298e+00$ , amplitude  $1.2938e-02$ , kemudian pada sisi atas +edges 416, +rise time  $19.566 \mu s$ , +slew rate  $792.474 (/s)$ , lalu pada sisi bawah –edges 416, -fall time  $13.791 \mu s$ , -slew rate  $-1.124 (/ms)$ . Pada grafik  $I_{pv}$  juga menunjukkan overshoots / undershoots yang terjadi pada 1.42 sec dengan sisi atas +preshoot  $0.625\%$ , +overshoot  $24.375\%$ , +undershoot  $-0.242\%$ , pada sisi bawah –preshoot  $24.317\%$ , -overshoot  $-0.625\%$ , -undershoot  $0.625\%$ . Cycle yang terjadi pada grafik  $I_{pv}$  memiliki period  $66.667 \mu s$ , frequency  $15.000 \text{ kHz}$ , pada sisi atas +pulses 415, +width  $39.388 \mu s$ , +duty cycle  $59.082\%$ , lalu pada sisi bawah –pulses 416, -width  $27.279 \mu s$ , -duty cycle  $40.918\%$ . Selanjutnya pada grafik  $I_{out}$  yang berwarna merah pada *Bilevel Measurement* dengan transition kondisi high  $3.604e+00$ , low  $2.654e+00$ , amplitude  $9.501e-01$ , pada sisi atas +edges 416, +rise time  $35.890 \mu s$ , +slew rate  $21.177 (/ms)$ , lalu pada bagian bawah –edges 416, -fall time  $15.161 \mu s$ , -slew rate  $-50.131 (/ms)$ . Grafik  $I_{out}$  memiliki nilai overshoots / undershoots dengan nilai pada sisi atas +preshoot  $0.505\%$ , +overshoot  $0.505\%$ , +undershoot  $-0.505\%$ , pada sisi bawah –preshoot  $0.505\%$ , -overshoot  $-0.505\%$ , -undershoot  $0.505\%$ . Cycle yang terjadi pada grafik  $I_{out}$  dengan period  $66.667 \mu s$ ,

frequency 15.000 kHz, pada sisi atas +pulses 415, +width 38.704  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 58.057%, lalu pada sisi bawah -pulses 416, -width 27.962  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 41.943%

$P_{vp}$  yang terlihat dalam grafik yang tertera pada gambar 4.8 menjelaskan *Bilevel Measurement* dengan transition pada kondisi high 5.015e+01, low 4.924e+01, amplitude 9.027e-01, kemudian pada sisi atas +edges 416, +rise time 20.174  $\mu\text{s}$ , +slew rate 35.796 (/ms), pada sisi bawah -edges 416, -fall time 13.862  $\mu\text{s}$ , -slew rate -52.094. Overshoots / undershoots yang terjadi menampilkan nilai pada sisi atas +preshoot 30.906%, +overshoot 0.658%, +undershoot -0.658%, sedangkan pada sisi bawah -preshoot 0.658%, -overshoot -0.004%, -undershoot 30.921%. Cycle yang terjadi dengan period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, pada sisi atas 416, +width 27.110  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 40.665%, pada sisi bawah -pulses 415, -width 39.556  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 59.335%. Grafik pada  $P_{out}$  diketahui *Bilevel Measurement* dengan transition pada kondisi high 5.717e+01, low 3.101e+01, amplitude 2.616e+01 pada sisi atas +edges 416, +rise time 36.418  $\mu\text{s}$ , +slew rate 574.630 (/ms), lalu pada sisi bawah -edges 416, -fall time 14.949  $\mu\text{s}$ , -slew rate -1.400 (/ms). Overshoots / undershoots yang terjadi pada grafik  $P_{out}$  menunjukkan nilai atas +preshoot 0.505%, +overshoot 0.505%, +undershoot -0.505%, pada sisi bawah -preshoot 0.505%, -overshoot -0.505%, -undershoot 0.505%. Kemudian cycle yang terjadi pada period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, pada sisi atas +pulses 415, +width 36.355  $\mu\text{s}$ , +duty cycle, 54.533%, lalu pada sisi bawah -pulses 416, -width 30.312  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 45.467%.

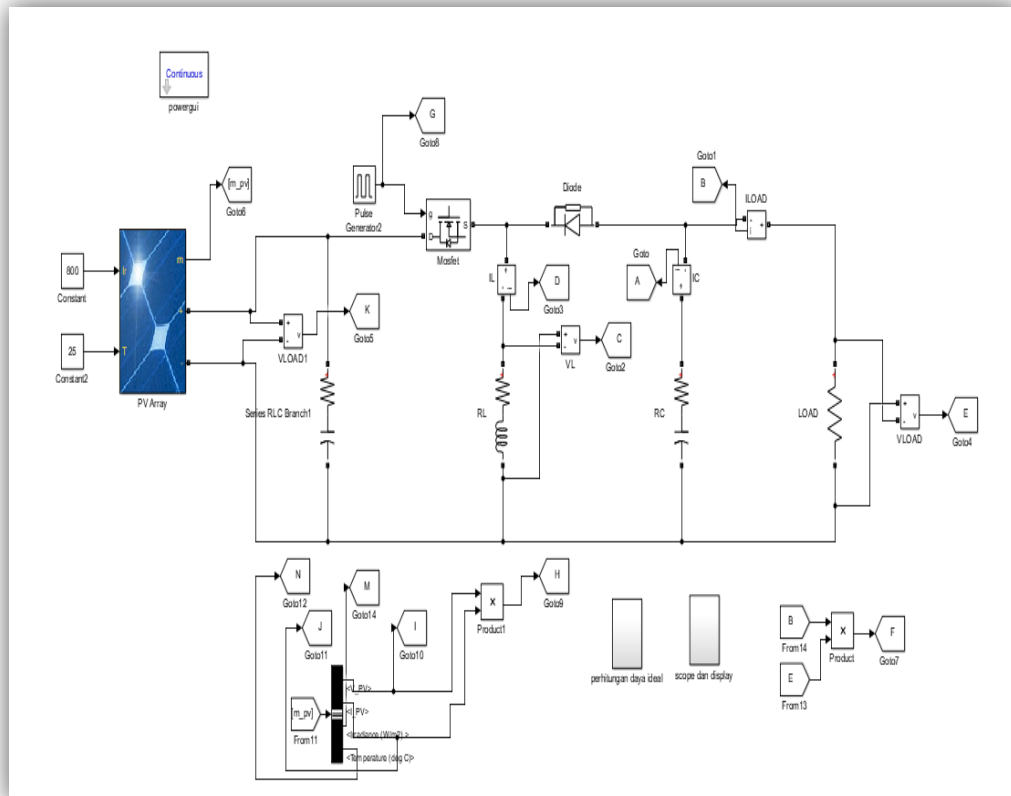
Pada gambar 4.8 grafik  $V_{pv}$  yang berwarna biru menunjukkan *Bilevel Measurement* dengan transition high 3.795e+01, low 3.754e+01, amplitude 4.101e-

01, pada sisi atas +edges 416, +rise time 13.764  $\mu\text{s}$ , slew rate 23.838 (/ms), pada sisi bawah –edges 416, -fall time 10.460  $\mu\text{s}$ , -slew rate -31.366 (/ms). Overshoots / undershoots yang terjadi diketahui pada sisi atas +preshoot 0.833%, +overshoot 65.833%, +undershoot 0.692%, lalu pada sisi bawah –preshoot 65.833%, -overshoot -0.272%, -undershoot 0.272%. Cycle yang terjadi dengan period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, pada sisi atas +pulses 415, +width 35.864  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 53.769%, pada sisi bawah –pulses 416, -width 30.802  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 46.204%. Kemudian pada grafik  $V_{\text{out}}$  yang ditunjukkan pada gambar 4.8 dengan warna grafik merah dengan *Bilevel Measurment* pada transition dengan kondisi high 1.586e+01, low 1.168e+01, amplitude 4.180e+00, pada sisi atas +edges 415, +rise time 35.890  $\mu\text{s}$ , +slew rate 93.180 (/ms), pada sisi bawah –edges 416, -fall time 15.161  $\mu\text{s}$ , -slew rate -220.578 (/ms). Overshoots / undershoots terdapat nilai sisi atas +preshoot 0.505%, +overshoot 0.505%, +undershoot -0.505%, pada sisi bawah –preshoot 0.505%, -overshoot -0.505%, -undershoot 0.505%. Cycle yang terjadi pada  $V_{\text{out}}$  dengan period 66.667  $\mu\text{s}$ , frequency 15.000 kHz, pada sisi atas +pulses 415, +width 38.704  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 58.057%, pada sisi bawah –pulses 415, -width 27.962  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 41.943%

Dalam melakukan simulasi terhadap data yang telah ditampilkan, terdapat kesamaan antara metode A dan metode D ketika irradiasi matahari dan temperatur bernilai (1457.55  $\text{W}/\text{m}^2$ , 32.8  $^{\circ}\text{C}$ ), (1549.19  $\text{W}/\text{m}^2$ , 31.2  $^{\circ}\text{C}$ ), (1391.19  $\text{W}/\text{m}^2$ , 30.9  $^{\circ}\text{C}$ ) dengan perbedaan duty InCo pada setiap metode yang disimulasikan.

#### 4.2.2 Analisa Tanpa MPPT Menggunakan Metode B

Tahapan selanjutnya menggunakan topologi *buck-boost converter* tanpa menggunakan MPPT. *Photovoltaic* langsung terhubung dengan topologi *buck-boost* tanpa menggunakan algoritma *incremental conductance*.



Gambar 4. 9 Simulasi *photovoltaic* tanpa MPPT

Gambar 4.9 menjelaskan bahwa sistem ini dibuat dalam bentuk program dan mendapatkan nilai masukan berupa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic*. Pada sisi *buck-boost converter* resistansi yang digunakan sebagai beban pengganti bernilai  $4,4 \Omega$  sesuai dengan perhitungan persamaan (2.18).

Tabel 4. 17 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 1

Hari 1 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Nilai Irradiasi (W/m2)	Power PV (W)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	6.181	4.258	449.905	26.32	1.667	7.334	12.22	28.6
10	9.137	6.469	674.265	59.11	2.532	11.14	28.21	30.5
11	5.091	3.477	360.635	17.7	1.36	5.985	8.141	31
12	19.57	14.19	1457.55	277.7	5.553	24.43	135.7	32.8
13	2.717	1.724	176.96	4.683	0.6745	2.968	2.002	32.3
14	3.761	2.482	255.644	9.337	0.9698	4.267	4.138	31.9
15	3.641	2.394	246.322	8.716	0.9351	4.114	3.847	32
16	1.637	0.9145	95.274	1.497	0.3567	1.157	0.5599	30.3

Tabel 4. 18 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 2

Hari 2 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Nilai Irradiasi (W/m2)	Power PV (W)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	2.844	1.819	192.444	5.172	0.7116	3.131	2.228	28.3
10	2.716	1.723	181.384	4.681	0.6743	2.967	2.001	29
11	2.628	1.658	174.906	4.358	0.6487	2.854	1.852	28.7
12	5.629	3.874	407.719	21.8	1.516	6.668	10.11	29.1
13	5.716	3.932	412.538	22.47	1.537	6.764	10.4	29.5
14	7.984	5.618	587.128	44.85	2.199	9.675	21.27	30.1
15	6.675	4.631	485.297	30.91	1.81	7.966	14.42	29.7
16	4.472	3.025	318.528	13.53	1.184	5.208	6.165	29

Tabel 4. 19 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 3

Hari 3 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Nilai Irradiasi (W/m2)	Power PV (W)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	4.358	2.942	309.048	12.82	1.151	5.065	5.831	29.3
10	2.888	1.851	193.945	5.346	0.7244	3.187	2.309	29.6
11	4.382	2.959	309.206	12.97	1.158	5.095	5.899	30
12	3.338	2.185	226.73	7.293	0.8553	3.763	3.219	30.9
13	7.027	4.895	507.18	34.4	1.914	8.422	16.12	31.2
14	5.701	3.917	406.297	22.33	1.531	6.738	10.32	31
15	4.756	3.23	335.197	15.36	1.263	5.559	7.023	30.9
16	3.549	2.343	245.137	8.316	0.917	4.035	3.7	29.8

Tabel 4. 20 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 4

Hari 4 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (W)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	8.131	5.726	594.87	46.56	2.241	9.861	22.1	30.9
10	11.84	8.496	880.06	100.6	3.326	14.63	48.68	31.4
11	1.854	1.075	110.363	1.992	0.4193	1.845	0.7735	32.2
12	3.549	2.343	241.424	8.314	0.9169	4.035	3.699	31.8
13	6.941	4.836	496.594	33.57	1.892	8.323	15.74	32.4
14	13.27	9.556	953.53	126.8	3.742	16.46	61.6	36.5
15	8.858	6.263	643.455	55.48	2.451	10.79	26.44	32.4
16	2.534	1.588	163.846	4.023	0.6212	2.733	1.698	31.6

Tabel 4. 21 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 5

Hari 5 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (W)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	3.417	2.244	233.208	7.668	0.8784	3.865	3.395	30.7
10	1.948	1.152	119.606	2.244	0.4506	1.983	0.8934	30.8
11	1.497	0.7983	82.792	1.181	0.3113	1.37	0.4264	30.9
12	1.551	0.8516	88.717	1.321	0.3321	1.461	0.4853	30.3
13	2.803	1.788	186.756	5.012	0.6996	3.078	2.154	30
14	3.874	2.565	267.02	9.938	1.002	4.41	4.42	30.5
15	3.58	2.365	245.611	8.467	0.9258	4.074	3.772	30.8
16	3.414	2.242	232.497	7.657	0.8777	3.862	3.39	31

Tabel 4. 22 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 6

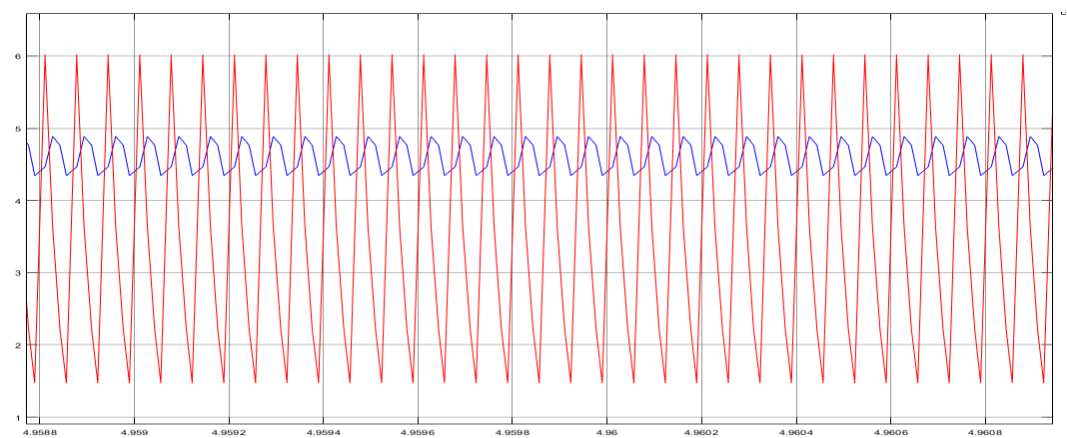
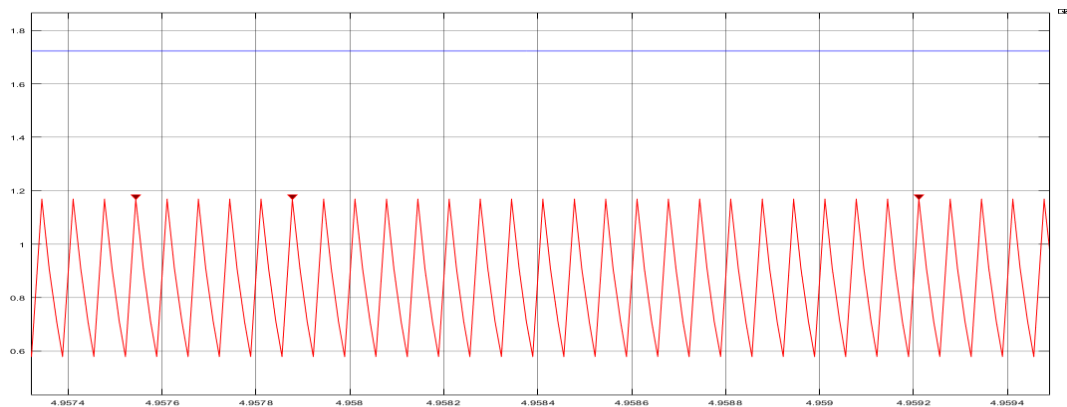
Hari 6 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (W)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	4.448	3.007	314.973	13.38	1.177	5.178	6.093	29.7
10	6.062	4.17	431.656	25.28	1.632	7.182	11.72	31.3
11	6.838	4.757	493.276	32.53	1.86	8.186	15.23	31.1
12	5.008	3.416	352.419	17.11	1.336	5.88	7.857	31.7
13	4.195	2.822	291.747	11.84	1.104	4.859	5.366	31.4
14	1.634	0.9128	94.879	1.492	0.356	1.567	0.5578	30.6
15	6.518	4.515	466.021	29.43	1.765	7.766	13.71	31.7
16	1.43	0.7619	78.4154	1.089	0.297	1.307	0.3882	31.9

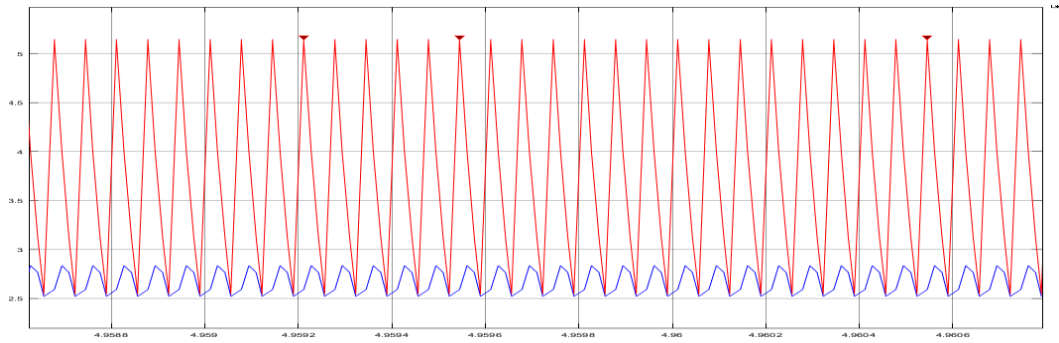


Tabel 4. 23 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 7

Hari 7 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V_PV (V)	I_PV (A)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (W)	I_out (A)	V_out (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	5.039	3.439	360.477	17.33	1.345	5.919	7.963	29.6
10	6.308	4.352	455.277	27.45	1.703	7.495	12.77	29.9
11	15.23	10.98	1151.82	167.3	4.298	18.91	81.29	29.9
12	20.52	14.9	1549.19	305.7	5.831	25.66	149.6	31.2
13	18.43	13.36	1391.19	246.2	5.227	23	120.2	30.9
14	3.593	2.375	245.532	8.534	0.9297	4.091	3.803	31.4
15	3.92	2.6	269.785	10.19	1.016	4.469	4.54	30.9
16	4.311	2.907	300.753	12.53	1.137	5.005	5.693	31.3

Dari tabel 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan pada setiap tabel berubah-ubah sesuai dengan nilai input dari irradiasi dan temperatur yang didapatkan sesuai data penelitian di lapangan.





Gambar 4. 10 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 tanpa MPPT

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik  $I_{pv}$  pada warna biru dengan *Bilevel Measurement* pada kondisi transition dengan nilai high  $1.724e+00$ , low  $1.724e+00$ , amplitude  $2.743e-05$ , pada sisi atas +edges 22, +rise time  $10.409 \mu\text{s}$ , +slew rate  $2.109 (/s)$ , lalu pada posisi bawah -edges 21, -fall time  $14.210 \mu\text{s}$ , -slew rate  $-1.544 (/s)$ . Overshoots / undershoots yang terjadi mendapatkan nilai posisi atas +preshoot  $0.667\%$ , +overshoot  $32.667\%$ , +undershoot  $-0.597\%$ , pada posisi bawah -preshoot  $32.667\%$ , -overshoot  $-0.667\%$ , -undershoot  $0.667\%$ . Cycle yang terjadi dengan period  $66.700 \mu\text{s}$ , frequency  $14.993 \text{ kHz}$ , pada posisi atas +pulses 21, +width  $36.690 \mu\text{s}$ , +duty cycle  $59.506\%$ , lalu pada posisi bawah -pulses 21, -width  $27.010 \mu\text{s}$ , -duty cycle  $40.494\%$ .  $I_{out}$  memiliki grafik berwarna merah yang terjadi pada *Bilevel Measurement* dengan nilai transition menunjukkan nilai high  $1.167e+00$ , low  $5.806e-01$ , amplitude  $5.864e-01$ , pada posisi atas nilai +edges 21, +rise time  $17.796 \mu\text{s}$ , +slew rate  $26.404 (/ms)$ , lalu pada posisi bawah -edges 21, -fall time  $34.940 \mu\text{s}$ , -slew rate  $-13.427 (/ms)$ . Overshoots / undershoots dengan nilai pada posisi atas +preshoot  $0.505\%$ , +overshoot  $0.505\%$ , +undershoot  $0.505\%$ , pada posisi bawah -preshoot  $0.505\%$ , -overshoot  $-0.505\%$ , -undershoot  $0.505\%$ . pada grafik  $I_{out}$  memiliki cycle period  $66.700 \mu\text{s}$ , frequency  $14.993 \text{ kHz}$ ,

pada posisi atas +pulses 21, +width 29.637  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 44.433%, lalu pada posisi bawah –pulses 20, -width 37.063  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 55.567%.

Gambar 4.10 menunjukkan grafik  $P_{vp}$  berwarna biru pada *Bilevel Measurement* dengan transition kondisi high 4.764e+00, low 4.346e+00, amplitude 4.180e-01, pada posisi atas +edges 21, +rise time 23.642  $\mu\text{s}$ , +slew rate 14.144 (/ms), lalu pada posisi bawah –edges 21, -fall time 10.448  $\mu\text{s}$ , -slew rate -32.006 (/ms). Overshoots / undershoots yang terjadi pada posisi atas +preshoot 0.649%, +overshoot 29.221%, +undershoot -29.221%, pada posisi bawah –preshoot 29.221%, -overshoot -0.649%, -undershoot 0.649%. Cycle pada grafik menunjukkan nilai period 66.700  $\mu\text{s}$ , frequency 14.993 kHz, pada posisi atas +pulses 20, +width 34.542  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 51.760%, lalu pada posisi bawah –pulses 21, -width 32.176  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 48.240%. Grafik berwarna merah adalah  $P_{out}$  menunjukkan *Bilevel Measurement* dengan transition pada kondisi high 5.955e+00, low 1.491e+00, amplitude 4.464e+00, pada posisi atas +edges 21, +rise time 17.530  $\mu\text{s}$ , +slew rate 203.729 (/ms), pada posisi bawah –edges 21, -fall time 33.195  $\mu\text{s}$ , -slew rate -107.587 (/ms). Overshoots / undershoots pada posisi atas +preshoot 0.510%, +overshoot 1.531%, +undershoot -1.531%, lalu pada posisi bawah –preshoot 1.531%, -overshoot -0.510%, -undershoot 0.510%. Cycle pada grafik  $P_{out}$  menunjukkan nilai period 66.700  $\mu\text{s}$ , frequency 14.993 kHz, pada posisi atas +pulses 20, +width 26.356  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 39.514%, pada posisi bawah –pulses 21, -width 40.344  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 60.486%.

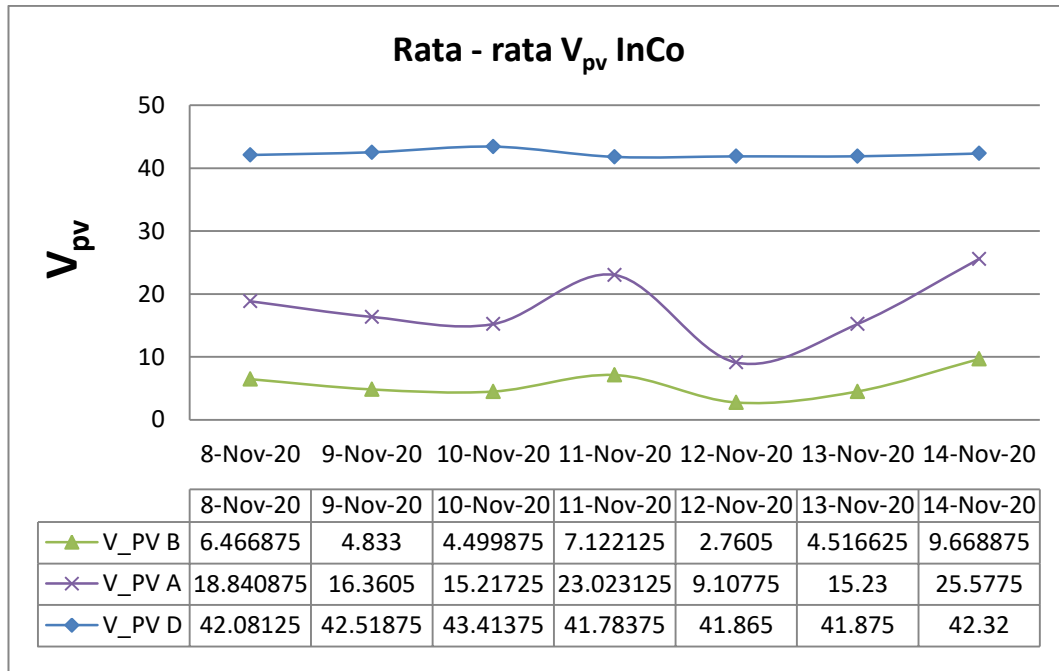
Grafik  $V_{pv}$  berwarna biru yang ditunjukkan pada gambar 4.10 menjelaskan *Bilevel Measurement* dengan transition pada kondisi high 2.764e+00, low 2.521e+00, amplitude 2.452e-01, pada posisi atas +edges 21, +rise time 23.640

$\mu\text{s}$ , +slew rate 8.206 (/ms), pada posisi bawah –edges 22, -fall time 10.447  $\mu\text{s}$ , -slew rate -18.569 (/ms). Overshoots / undershoots pada posisi atas +preshoot 0.649%, +overshoot 29.221%, +undershoot -29.221%, kemudian pada posisi bawah –preshoot 29.221%, -overshoot -0.649%, -undershoot 0.649%. Cycle pada grafik  $V_{pv}$  menunjukkan nilai period 66.700  $\mu\text{s}$ , frequency 14.993 kHz, pada posisi atas +pulses 21, +width 34.523  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 51.759%, kemudian pada posisi bawah –pulses 21, -width 32.177  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 48.241%. Grafik  $V_{load}$  dengan *Bilevel Measurement* yang menunjukkan transition pada kondisi high 5.135e+00, low 2.55e+00, amplitude 2.580e+00, pada posisi atas +edges 21, +rise time 17.769  $\mu\text{s}$ , +slew rate 116.176 (/ms), lalu pada posisi bawah –edges 21, -fall time 34.940  $\mu\text{s}$ , -slew rate -59.081 (/ms). Overshoots / undershoots pada posisi atas +preshoot 0.505%, +overshoot 0.505%, +undershoot -0.505%, lalu pada posisi bawah –preshoot 0.505%, -overshoot -0.505%, -undershoot 0.505%. Cycle yang terjadi dengan period 66.700  $\mu\text{s}$ , frequency 14.993 kHz, pada posisi atas +pulses 21, +width 29.637  $\mu\text{s}$ , +duty cycle 44.433%, lalu pada posisi bawah –pulses 20, -width 37.063  $\mu\text{s}$ , -duty cycle 55.567%.

### 4.3 Optimalisasi Daya Output Sistem MPPT dan Tanpa MPPT

Tabel 4. 24 Rata-rata  $V_{pv}$  metode A, B, D

Tanggal	$V_{PV D}$	$V_{PV B}$	$V_{PV A}$
8-Nov-20	42.08125	6.466875	18.840875
9-Nov-20	42.51875	4.833	16.3605
10-Nov-20	43.41375	4.499875	15.21725
11-Nov-20	41.78375	7.122125	23.023125
12-Nov-20	41.865	2.7605	9.10775
13-Nov-20	41.875	4.516625	15.23
14-Nov-20	42.32	9.668875	25.5775

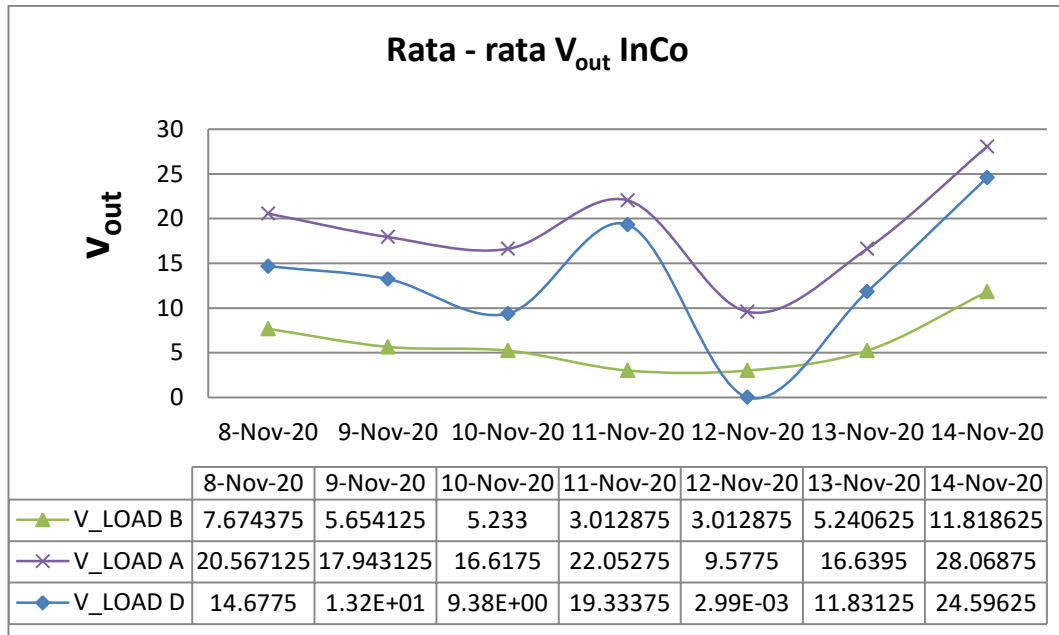


Gambar 4. 11 Grafik rata-rata  $V_{pv}$  incremental conductance dan tanpa MPPT

Gambar 4.11 menggambarkan nilai  $V_{pv}$  pada 3 metode yaitu  $V_{pv}$  metode B,  $V_{pv}$  metode B dan  $V_{pv}$  metode D. dapat dilihat  $V_{pv}$  tertinggi terjadi pada metode  $V_{pv}$  D sebesar 43.41375 Volt dan garis terendah terjadi pada metode  $V_{pv}$  B sebesar 2.7065 Volt.

Tabel 4. 25 Rata-rata  $V_{out}$  metode A, B, D

Tanggal	$V_{OUT}$ D	$V_{OUT}$ B	$V_{OUT}$ A
8-Nov-20	14.6775	7.674375	20.567125
9-Nov-20	1.32E+01	5.654125	17.943125
10-Nov-20	9.38E+00	5.233	16.6175
11-Nov-20	19.33375	3.012875	22.05275
12-Nov-20	2.99E-03	3.012875	9.5775
13-Nov-20	11.83125	5.240625	16.6395
14-Nov-20	24.59625	11.818625	28.06875



Gambar 4. 12 Grafik rata-rata  $V_{out}$  incremental conductance dan tanpa MPPT

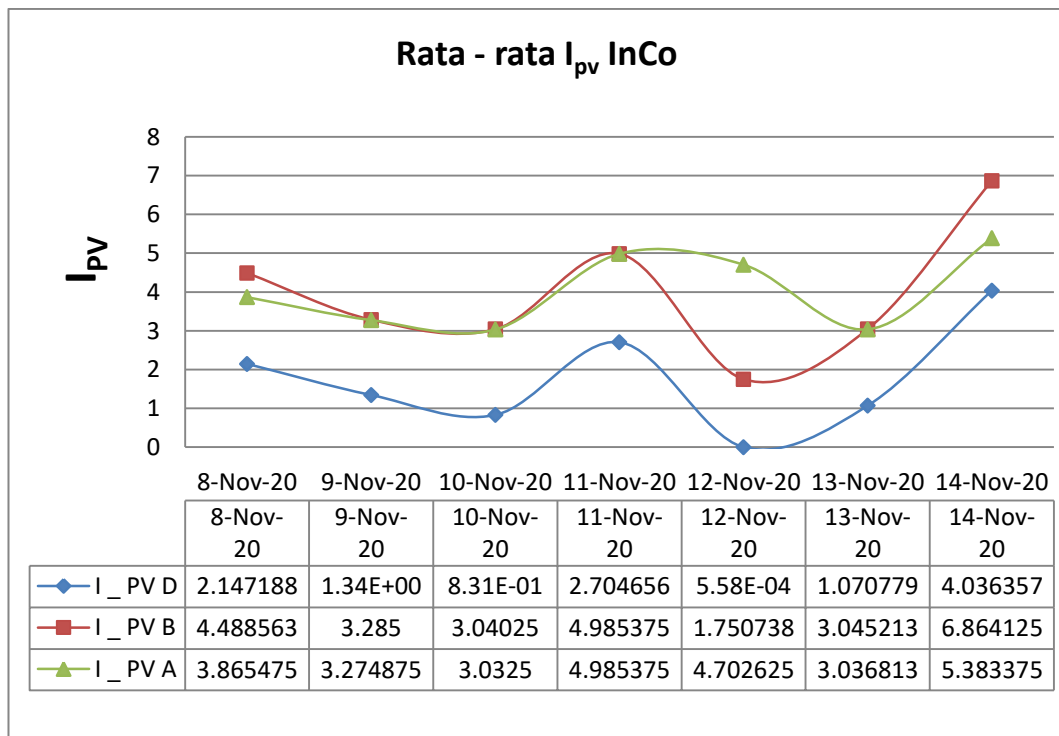
Pada gambar grafik 4.12 dapat dilihat nilai rata-rata  $V_{out}$  yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT dengan nilai menggunakan MPPT sebesar 28.06875 Volt, sedangkan tanpa MPPT 3.012875 Volt. Tetapi pada algoritma *Incremental Conductance* metode D tegangan menjadi drop sebesar 0.0029875 Volt.

Tabel 4. 26 Rata-rata  $I_{pv}$  metode A, B, D

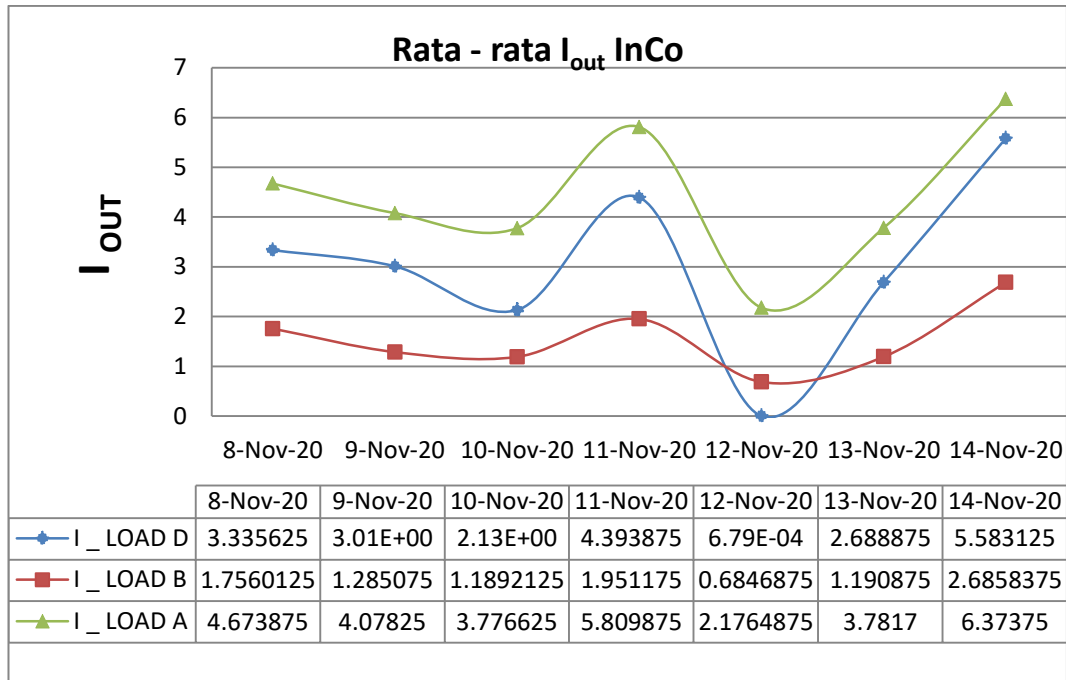
Tanggal	$I_{PV D}$	$I_{PV B}$	$I_{PV A}$
8-Nov-20	2.147188438	4.4885625	3.865475
9-Nov-20	1.34E+00	3.285	3.274875
10-Nov-20	8.31E-01	3.04025	3.0325
11-Nov-20	2.704655788	4.985375	4.985375
12-Nov-20	5.58E-04	1.7507375	4.702625
13-Nov-20	1.0707792	3.0452125	3.0368125
14-Nov-20	4.03635695	6.864125	5.383375

Tabel 4. 27 Rata-rata Iout metode A, B, D

Tanggal	I_OUT D	I_OUT B	I_OUT A
8-Nov-20	3.335625	1.7560125	4.673875
9-Nov-20	3.01E+00	1.285075	4.07825
10-Nov-20	2.13E+00	1.1892125	3.776625
11-Nov-20	4.393875	1.951175	5.809875
12-Nov-20	6.79E-04	0.6846875	2.1764875
13-Nov-20	2.688875	1.190875	3.7817
14-Nov-20	5.583125	2.6858375	6.37375

Gambar 4. 13 Grafik Rata-Rata  $I_{pv}$  Incremental Conductance Dan Tanpa MPPT

Grafik rata-rata  $I_{pv}$  pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa metode B memperoleh nilai tertinggi sebesar 6.864125 Amper dan terendah terjadi pada metode D sebesar 0.000557838 Amper.



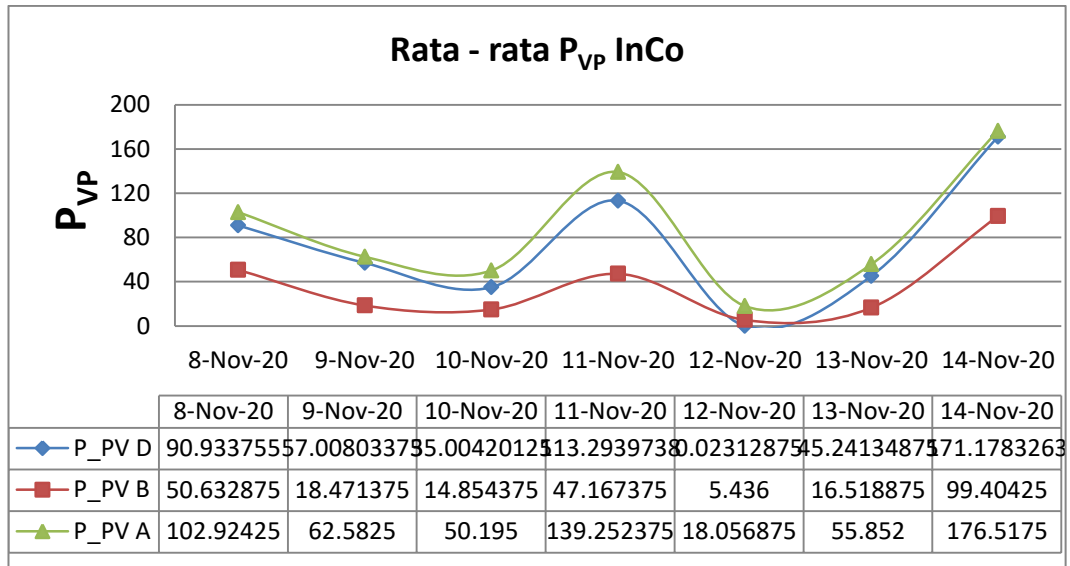
Gambar 4. 14 Grafik rata-rata  $I_{out}$  InCo dan tanpa MPPT

Pada gambar di atas 4.14 menunjukkan grafik dengan peningkatan yang tidak beraturan, dimana  $I_{out}$  menggunakan MPPT lebih tinggi daripada tidak menggunakan MPPT.

Tabel 4. 28 Rata-rata  $P_{pv}$  metode A, B, D

Tanggal	P_PV D	P_PV B	P_PV A
8-Nov-20	90.933755	50.632875	102.92425
9-Nov-20	57.00803375	18.471375	62.5825
10-Nov-20	35.00420125	14.854375	50.195
11-Nov-20	113.2939738	47.167375	139.252375
12-Nov-20	0.02312875	5.436	18.056875
13-Nov-20	45.24134875	16.518875	55.852
14-Nov-20	171.1783263	99.40425	176.5175



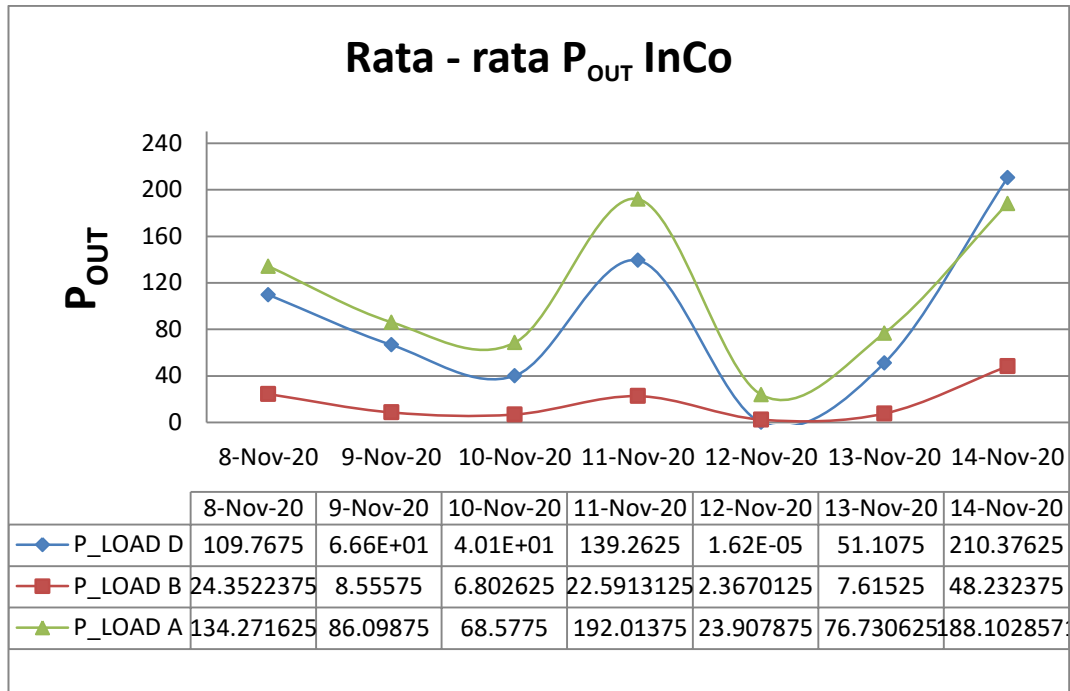


Gambar 4. 15 Grafik rata-rata  $P_{pv}$  incremental conductance dan tanpa MPPT

Gambar 4.15 dilihat daya pada *photovoltaic* menggunakan MPPT lebih besar dibandingkan dengan tidak menggunakan MPPT. Nilai daya yang menggunakan MPPT sebesar 176.5175 Watt yang tidak menggunakan MPPT sebesar 5.436 Watt.

Tabel 4. 29 Rata-rata  $P_{out}$  metode A, B, D

Tanggal	P_OUT D	P_OUT B	P_OUT A
8-Nov-20	109.7675	24.3522375	134.271625
9-Nov-20	6.66E+01	8.55575	86.09875
10-Nov-20	4.01E+01	6.802625	68.5775
11-Nov-20	139.2625	22.5913125	192.01375
12-Nov-20	1.62E-05	2.3670125	23.907875
13-Nov-20	51.1075	7.61525	76.730625
14-Nov-20	210.37625	48.232375	188.1028571



Gambar 4. 16 Grafik rata-rata  $P_{out}$  incremental conductance dan tanpa MPPT

Simulasi yang dilakukan pada tabel 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 menunjukkan bahwa dalam kondisi irradiasi yang berubah-ubah, MPPT akan melacak daya maksimum yang dihasilkan. Dilakukan penguraian dari algoritma *incremental conductance* bertujuan untuk mengetahui karakter dari algoritma tersebut yang akan menghasilkan output dari MPPT dalam implementasi algoritma *incremental conductance*. Hasil algoritma *incremental conductance* yang telah diurai dalam dua metode, akan diambil hasil yang optimal yang diberi tanda merah dan hijau lalu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan rata-rata nilai dari  $V_{out}$ ,  $I_{out}$ ,  $P_{out}$  MPPT dan tanpa MPPT.

Tabel 4. 30 Rata-rata Vout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata V_OUT MPPT	Rata-rata V_OUT tanpa MPPT	Tanggal
20.115875	7.674375	8-Nov-20
17.870625	5.654125	9-Nov-20
17.26	5.233	10-Nov-20
22.9265	8.584625	11-Nov-20
9.5775	3.012875	12-Nov-20
17.177	5.240625	13-Nov-20
28.27875	11.818625	14-Nov-20

Tabel 4. 31 Rata-rata Iout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata I_OUT MPPT	Rata-rata I_OUT tanpa MPPT	Tanggal
4.571375	1.7560125	8-Nov-20
4.061625	1.285075	9-Nov-20
3.92275	1.1892125	10-Nov-20
5.210625	1.951175	11-Nov-20
2.1764875	0.6846875	12-Nov-20
3.90395	1.190875	13-Nov-20
6.42	2.6858375	14-Nov-20

Tabel 4. 32 Rata-rata Pout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata P_OUT MPPT	Rata-rata P_OUT tanpa MPPT	Tanggal
126.119125	24.3522375	8-Nov-20
83.77125	8.55575	9-Nov-20
73.9475	6.802625	10-Nov-20
149.06375	22.5913125	11-Nov-20
23.907875	2.3670125	12-Nov-20
81.310625	7.61525	13-Nov-20
223.8175	48.232375	14-Nov-20

Tabel 4.30, 4.31, 4.32 yang telah ditampilkan menunjukkan bahwa sistem *photovoltaic* dengan MPPT algoritma *incremental conductance* mampu mengoptimalkan *output* baik berupa tegangan, arus, dan daya. Persentase kenaikan parameter keluaran yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut :

## 1. Persentase kenaikan rata-rata tegangan

$$\text{persentase kenaikan} = \frac{V_{MPPT} - V_{\text{tanpa MPPT}}}{V_{MPPT}} \times 100\%$$

$$\text{hari 1} = \frac{20.11587 - 7.674375}{20.11587} \times 100\% = 61.85 \%$$

$$\text{hari 2} = \frac{17.870625 - 5.654125}{17.870625} \times 100\% = 68.36 \%$$

$$\text{hari 3} = \frac{17.26 - 5.233}{17.26} \times 100\% = 69.68 \%$$

$$\text{hari 4} = \frac{22.9265 - 8.584625}{22.9265} \times 100\% = 62.56 \%$$

$$\text{hari 5} = \frac{9.5775 - 3.012875}{9.5775} \times 100\% = 68.54 \%$$

$$\text{hari 6} = \frac{17.177 - 5.240625}{17.177} \times 100\% = 69.49 \%$$

$$\text{hari 7} = \frac{28.27875 - 11.818625}{28.27875} \times 100\% = 58.20 \%$$

Rata-rata dari persentase tegangan dapat dihitung:

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{61.85 + 68.36 + 69.68 + 62.56 + 68.54 + 69.49 + 58.20}{7}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 65.53 \%$$

## 2. Persentase kenaikan rata-rata arus

$$\text{persentase kenaikan} = \frac{I_{MPPT} - I_{\text{tanpa MPPT}}}{I_{MPPT}} \times 100\%$$

$$\text{hari 1} = \frac{4.571375 - 1.7560125}{4.571375} \times 100\% = 61.59 \%$$

$$\text{hari 2} = \frac{4.061625 - 1.285075}{4.061625} \times 100\% = 68.36 \%$$

$$\text{hari 3} = \frac{3.92275 - 1.1892125}{3.92275} \times 100\% = 69.68 \%$$

$$\text{hari 4} = \frac{5.210625 - 1.951175}{5.210625} \times 100\% = 62.55 \%$$

$$\text{hari 5} = \frac{2.1764875 - 0.6846875}{2.1764875} \times 100\% = 68.54 \%$$

$$\text{hari 6} = \frac{3.90395-1.190875}{3.90395} \times 100\% = 69.50 \%$$

$$\text{hari 7} = \frac{6.42-2.6858375}{6.42} \times 100\% = 58.16 \%$$

Rata-rata dari persentase arus dapat dihitung:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{61.59+68.36+69.68+62.55+68.54+69.50+58.16}{7}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = 65.48 \%$$

### 3. Persentase kenaikan rata-rata daya

$$\text{persentase kenaikan} = \frac{P_{\text{MPPT}} - P_{\text{tanpa MPPT}}}{P_{\text{MPPT}}} \times 100\%$$

$$\text{hari 1} = \frac{126.119125-24.3522375}{126.119125} \times 100\% = 80.69\%$$

$$\text{hari 2} = \frac{83.77125-8.55575}{83.77125} \times 100\% = 89.79\%$$

$$\text{hari 3} = \frac{73.9475-6.802625}{73.9475} \times 100\% = 90.80\%$$

$$\text{hari 4} = \frac{149.06375-22.5913125}{149.06375} \times 100\% = 84.84\%$$

$$\text{hari 5} = \frac{23.907875-2.3670125}{23.907875} \times 100\% = 90.09\%$$

$$\text{hari 6} = \frac{81.310625-7.61525}{81.310625} \times 100\% = 90.63\%$$

$$\text{hari 7} = \frac{223.8175-48.232375}{223.8175} \times 100\% = 78.45\%$$

Rata-rata dari persentase daya dapat dihitung:

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{80.69+89.79+90.80+84.84+90.09+90.63+78.45}{7}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = 86.47 \%$$

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi nilai masukan irradiansi yang digunakan pada modul PV array, maka nilai arus  $I_{sc}$  dan tegangan  $V_{oc}$  pada modul PV array semakin tinggi juga, hal yang sama dengan nilai daya maksimumnya.

Algoritma *incremental conductance* dilakukan dengan membuat menjadi dua metode yaitu metode A dan metode D. Ketika melakukan simulasi metode A mengalami peningkatan  $V_{out}$ ,  $I_{out}$  dan tidak terjadi distorsi pada grafik, tetapi metode ini melakukan penurunan terhadap nilai  $V_{pv}$  dan  $I_{pv}$ . Metode D juga melakukan peningkatan  $V_{out}$ ,  $I_{out}$  tetapi banyak mengalami distorsi pada grafiknya sehingga pada saat simulasi nilai *output* mengalami penurunan yang tidak wajar, kelebihan dari metode ini adalah mempertahankan nilai  $V_{pv}$  sesuai dengan input dari *photovoltaic*. Menurut penelitian yang dilakukan kerusakan terjadi apabila nilai irradiansi matahari dibawah  $\pm 300 \text{ W/m}^2$ .

2. Simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa dalam kondisi irradiansi matahari dan temperatur yang berubah-ubah sistem *photovoltaic* yang menggunakan MPPT akan melacak daya yang maksimum sedangkan tanpa MPPT atau metode D daya output sangat kecil.

Sistem yang menggunakan MPPT berbasis algoritma InCo yang dihubungkan dengan topologi *buck-boost converter* dapat mengoptimalkan

output berupa tegangan, arus, dan daya. Persentase rata-rata kenaikan tersebut menggunakan MPPT berbasis algoritma InCo dan dengan tanpa menggunakan MPPT sebesar 65.53% untuk tegangan *output*, 65.48% untuk arus *output*, dan 86.47% untuk daya *output*.

## 5.2 Saran

Adapun saran dari penulis sebagai pengembangan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penulis berharap agar penelitian selanjutnya dapat mencari pelacak lain yang dapat mengoptimalkan daya dengan memanfaatkan selisih daya yang dihasilkan *photovoltaic* dan MPPT.
2. Agar dilakukan perbandingan algoritma dengan menggunakan jenis topologi *converter* yang berbeda.
3. Penulis berharap adanya penelitian tentang perbandingan semua jenis metode dengan mengimplementasikan sistem MPPT ke dalam *hardware*.

## DAFTAR PUSTAKA

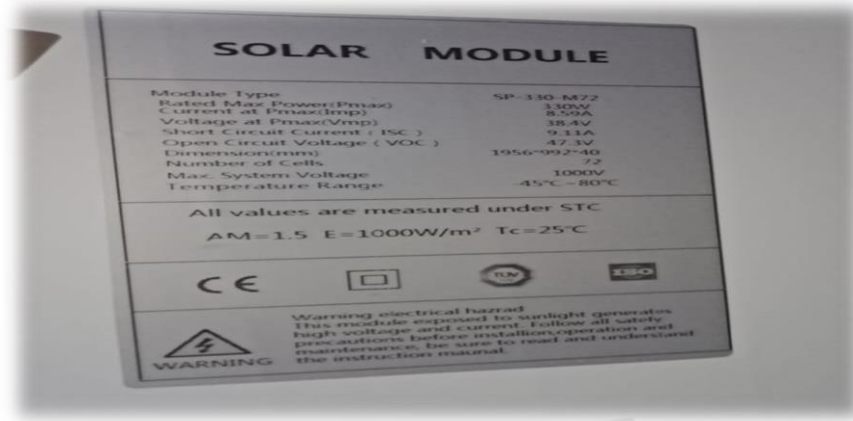
- [1] A. Saleh, W. Hadi, and M. C. Anwar, "Desain Kontrol Maximum Power Point Traker ( Mppt ) Menggunakan Incremental Conductance ( Inc ) Pada Dc / Dc Tipe Sepic," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah*, no. November, pp. 1–8, 2017.
- [2] A. Safari and S. Mekhilef, "Incremental conductance MPPT method for PV systems," *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, pp. 000345–000347, 2011, doi: 10.1109/CCECE.2011.6030470.
- [3] . R., A. Azis Hutasuhut1, and Y. Chaniago, "Analysis of Hybrid Power Plant Technology Using Data Weather in North Sumatera," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4.7, p. 481, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.7.27364.
- [4] 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, doi: 10.26760/elkomika.v6i1.97.
- [5] D. Menniti, A. Burgio, N. Sorrentino, A. Pinnarelli, and G. Brusco, "An incremental conductance method with variable step size for MPPT: Design and implementation," *2009 10th Int. Conf. Electr. Power Qual. Util. EPQU'09*, pp. 2–6, 2009, doi: 10.1109/EPQU.2009.5318833.
- [6] D. Choudhary and A. Ratna Saxena, "Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV System Implemented Using DC-DC Buck and Boost Converter," *J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com*, vol. 4, no. 8, pp. 123–132, 2014, [Online]. Available: [www.ijera.com](http://www.ijera.com).
- [7] 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, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074234.
- [8] I. Buyung and K. Azizi, "Portable Power Plan Solar Cell," *Pros. Semin. Nas. Apl. dan Teknol.*, no. November, pp. 332–342, 2016, [Online]. Available: <http://journal.akprind.ac.id/index.php/snast/article/view/793/518>.
- [9] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2011.
- [10] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic Solar Energy Generation. Series: Springer Series in Optical Sciences*,. 2005.
- [11] A. Bahar, M. Munir, and T. Suheta, "Optimasi Output Photovoltaic dengan Menggunakan Tracking Dinamis," pp. 1–6, 2019.
- [12] B. Y. Dewantara and D. Rahmatullah, "Rancang Bangun Panel Photovoltaic Dengan Automatic Sun Tracking System (Asts) Untuk Mengoptimalan Serapan Energi Matahari," *J. Elektron. List. Telekomun. Komputer, Inform. Sist. Kontro*, vol. 1, no. 1, pp. 15–24, 2019, doi: 10.30649/je.v1i1.11.
- [13] Machmud Effendy, N. A. Mardiyah, and K. Hidayat, "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada," *Jnteti*, vol. 6, no. 1, pp. 2–7, 2017.
- [14] Muhammad Ihsan Fadriantam, "Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme Perturb And Observe (P&O) Dan Incremental Conductance (IC) Pada



- Sistem Kendali Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [15] E. Arfah, C. W. Priananda, and S. I. Haryudo, “Penggunaan Algoritma Peturb And Observe (Pno) dalam Studi Penggunaan Sepic dan Zeta Konverter untuk Maximum Power Point Tracker (Mppt) pada Photovoltaic Statis,” *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 27, 2017, doi: 10.26740/jieet.v1n1.p27-31.
- [16] T. Eswam 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, doi: 10.1109/TEC.2006.874230.
- [17] P. Seminar *et al.*, “Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI Dan PID Berbasis Mikrokontroler,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 1, pp. 87–92, 2017, doi: 10.25042/jpe.052017.13.
- [18] S. Pendidikan, P. Studi, and P. Teknik, “Pengisian Baterai Menggunakan Buck-Boost Converter Pada Sistem Energi Surya,” vol. 8, no. 2, pp. 91–95, 2019.
- [19] D. Almada and P. G. Chamdareno, “Perbandingan Kinerja Konverter Buck Boost Dan Konverter Sepic Sebagai Charger Baterai Berbasis Panel Surya,” pp. 2017–2020, 2019.
- [20] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya,” *J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya Nop.*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015, [Online]. Available: <http://jurnal.untag-sby.ac.id/index.php/jpm17/article/view/545>.
- [21] M. A. Hossain, M. S. Islam, M. M. H. Chowdhury, M. N. H. Sabuj, and M. S. Bari, “PERFORMANCE EVALUATION OF 1 . 68 kWp DC OPERATED SOLAR PUMP WITH AUTO TRACKER USING MICROCONTROLLER BASED DATA ACQUISITION SYSTEM,” *Int. Conf. Mech. Eng. 2011*, vol. 2011, no. December, pp. 18–20, 2011.
- [22] I. Daut, F. Zainuddin, Y. M. Irwan, and A. R. N. Razliana, “Analysis of solar irradiance and solar energy in perlis, northern of peninsular Malaysia,” *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 1421–1427, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.05.158.
- [23] Y. M. Kolewora, E. Firmansyah, and S. Suharyanto, “Mppt Berdasarkan Algoritma P&O Dan Ic Pada Interleaved-Flyback 250W,” *Telematika*, vol. 11, no. 1, p. 18, 2018, doi: 10.35671/telematika.v11i1.603.
- [24] Y. Kang and L. F. Yang, “The perturbation and observation’s method based on the P-V rate of curve,” *Proc. - 2009 Int. Conf. Comput. Intell. Softw. Eng. CiSE 2009*, pp. 3–6, 2009, doi: 10.1109/CISE.2009.5365784.
- [25] B. Majhi, “Analysis of Single-Phase SPWM Inverter,” vol. 3, no. May, pp. 1793–1798, 2012.
- [26] D. Nugraha, “Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer,” *Jtev (Jurnal Tek. Elektro Dan Vokasional)*, vol. 06, no. 01, pp. 340–351, 2020.
- [27] S. Suriadi, I. N. Fajri, R. Munadi, and M. Gapy, “Reduksi Osilasi Daya Pada MPPT Panel Surya Dengan Metode Kombinasi PNO dan Fuzzy,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.13682.

- [28] I. Syafrizal, "Rancang Bangun Konverter Buck-Boost Dengan Kontrol Logika Fuzzy," 2016.
- [29] K. suwito, suhanto, "Sistem Baterai Charging pada Solar Energy System dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara," *J. Teknol. Penerbangan*, vol. 1, p. 1, 2017.

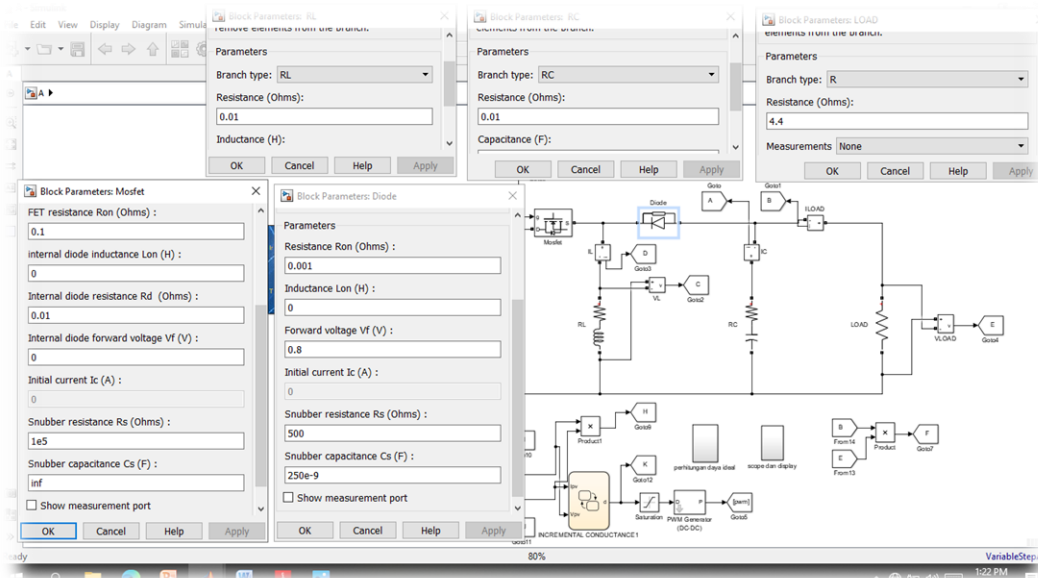
## Lampiran



Gambar 1 Data spesifikasi *photovoltaic* Solar Module



Gambar 2 Proses pengambilan data irradians matahari dan temperatur



Gambar 3 input data kedalam block parameter di Matlab Simulink



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : WIRA AGUS LEXMANA TANJUNG  
NPM : 1607220055  
Judul Tugas Akhir : *MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (InCo) PADA PLTS MENGGUNAKAN BUCK - BOOST DC - DC CONVERTER*

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	3/ Feb /2021	- Perbaiki spasi tulisan - Batasan masalah	
	8/ Feb /2021	- Bab II ditambah metode	
	16/ Feb /2021	- Perbaiki flow chart.	
	25/ Feb /2021	- Bab V kesimpulan & skripsi	
	6/ mar /2021	Acc Sidang	

Pembimbing

RIMBAWATI, S.T., M.T





UMSU

Unggul | Cerdas | Berprestasi

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12

Website: <http://teknik.umsu.ac.id> E-mail: [teknik@umsu.ac.id](mailto:teknik@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor : 705/IL.3AU/UMSU-07/F/2020**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 24 juni 2020 dengan ini Menetapkan :

Nama : WIRA AGUS LEXMANA TANJUNG  
Npm : 1607220055  
Program Studi : TEKNIK Elektro  
Semester : VIII ( Delapan )  
Judul Tugas Akhir : MAXIMUM POWER POINT TRACKER ( MPPT ) BERDASARKAN  
METODE INCREMENTAL ( INCO ) PADA PLTS MENGGUNAKAN  
BUCK - BOOST DC-DC CONVERTER .

Pembimbing I : RIMBAWATI ST. MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

✓/Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 02 Dzulqa'dah 1441 H

24 Juni 2020 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202

Cc. File

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### **Data Pribadi**

Nama : Wira Agus Lexmana Tanjung  
Tempat Tanggal Lahir : Tebing Tinggi, 3 Agustus 1998  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Umur : 22 Tahun  
Agama : Islam  
Status : Belum Mmenikah  
Tinggi / Berat Badan : 173 cm / 85 Kg  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Alamat : Jl. Sei Cuka, Kel. Durian  
Kecamatan Bajenis, Kota Tebing Tinggi  
No Hp / Wa : +6281362591559  
Email : [wiraaguslexmana@gmail.com](mailto:wiraaguslexmana@gmail.com)

### **Data Orang Tua**

Nama Ayah : Waluyo Suradi  
Agama : Islam  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Nama Ibu : Rosdiana Tanjung  
Agama : Islam  
Kewarganegaraan : Indonesia

### **Riwayat Pendidikan**

2004-2010 : SD IT Al-Ihya Tanjung Gading  
2010-2013 : SMPN 1 Tebing Tinggi  
2013-2016 : SMAN 1 Tebing Tinggi  
2016-2021 : Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

# **MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (InCo) PADA PLTS MENGGUNAKAN BUCK-BOOST DC-DC CONVERTER**

**Wira Agus Lexmana, Rimbawati,**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)

Jl. Kapten Muchtar Basri, BA No. 03 Medan Telp. (061) 6622400 ex. 12 Kode Pos 20238  
e-mail: wiraaguslexmana@gmail.com

**Abstrak**— Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia saat ini. Konversi matahari sangat banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. *Solar cell* merupakan kunci dasar *photovoltaic* yang terdapat di PLTS untuk mengekstraksi energi dan mengirimkannya ke beban. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak metode yang dipakai dalam mengarahkan sistem pelacakan MPPT. Penelitian dengan judul “*Maximum Power Point Tracker (Mppt) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (Inco) Pada Plts Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter*” memiliki rumusan masalah untuk mengetahui optimalisasi *output* sistem *photovoltaic* yang terhubung dengan MPPT algoritma *incremental conductance* dan yang tidak terhubung dengan MPPT. Penelitian ini menggunakan metode *library research* atau penelitian kepustakaan. Pengumpulan data melalui alat bantu berupa digital lux meter lalu disimulasikan dengan *software* Matlab Simulink. Perancangan sistem dimulai dengan membuat topologi *buck-boost converter* kemudian melakukan *setting* parameter PV *array* yang disesuaikan dengan *datasheet* pada modul PV yang asli. Berdasarkan analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, semakin tinggi nilai iradiasi yang mengenai permukaan *photovoltaic* maka nilai *Isc* dan *Voc* semakin meningkat. Dalam kondisi iradiasi yang berubah-ubah sistem *photovoltaic* yang menggunakan MPPT dapat melacak daya yang maksimum dengan peningkatan rata-rata sebesar 65.53% tegangan *output*, 65.48% arus *output* dan 86.47% daya *output*.

**Kata kunci** : PLTS, *Photovoltaic*, *Buck-Boost Converter*, *Incremental*

**Abstract**— *Electrical energy is an integral part of human life today. Solar conversion is very widely used to generate electricity. Solar cells are the key to the photovoltaic basis found in plts to extract energy and deliver it to the load. In recent years, many methods have been used in directing MPPT tracking systems. Research titled "Maximum Power Point Tracker (Mppt) Based on Incremental Conductance Method (Inco) In Plts Using Buck – Boost Dc – Dc Converter" has a problem formulation to know the optimization of photovoltaic system output connected with MPPT incremental conductance algorithm and which is not connected with MPPT. This research uses library research method or literature research. Data collection through digital lux meter tools is then simulated with Matlab Simulink software. System design begins by creating a buck-boost converter topology and then setting pv array parameters that are adjusted to the datasheets in the original PV module. Based on the analysis conducted in this study, the higher the value of irradiation that hits the photovoltaic surface, the value of Isc and Voc increases. In changing irradiation conditions photovoltaic systems using MPPT can track maximum power with an average increase of 65.53% output voltage, 65.48% output current and 86.47% output power.*

**Keywords** : PLTS, *Photovoltaic*, *Buck-Boost Converter*, *Incremental*

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia saat ini. Terlebih didukung dengan perkembangan teknologi yang semakin maju mengharuskan manusia untuk senantiasa berinovasi agar dapat mengikuti segala dinamika perubahan atas perkembangan yang ada. Salah satunya dengan memenuhi kebutuhan energi khususnya energi listrik. Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti mencapai 50.000 MW, namun hingga saat

ini kebutuhan tersebut masih belum mencukupi sesuai proyeksi yang ada. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk Indonesia.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak metode yang dipakai dalam mengarahkan pelacakan MPPT dan juga metode tersebut banyak digunakan berupa metode *pertubs and observing* (P&O), serta metode *incremental conductance* (InCo). Sistem PV memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yaitu variasi isolasi dan suhu dapat mempengaruhi karakteristik *output* dari modul PV.

Konverter DC-DC bertindak sebagai antarmuka antara modul PV dengan mengubah *duty cycle* impedansi beban disesuaikan dengan impedansi sumber untuk mendapatkan daya maksimum dari modul PV [2]. Titik daya maksimum adalah titik tegangan dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh modul PV. Dalam metode InCo penyesuaian tegangan terminal *array* sesuai dengan MPP tegangan yang dilakukan [1].

II. STUDI PUSTAKA

*Solar Irradiation*

Konversi energi matahari sangat banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. Indonesia merupakan negara yang terletak dalam jalur khatulistiwa yang sepanjang tahun mendapatkan cahaya matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,5-4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari di seluruh wilayah Indonesia. Suplai energi surya yang di terima oleh permukaan bumi mencapai 3072 joel pertahun. Jumlah energi itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini [4].

*Photovoltaic*

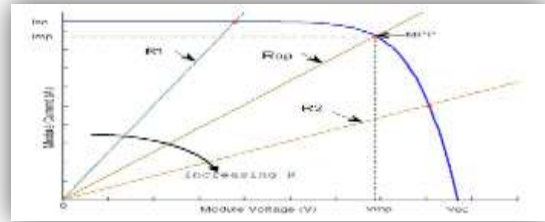
PV (*photovoltaic*) merupakan teknologi menggunakan komponen semikonduktor yang dapat memanfaatkan energi matahari berupa radiasi cahaya menjadi listrik searah. Pada umumnya, solar cell merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada solar cell terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai *junction*.

*Maximum Power Point Tracking*

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan panel surya agar bekerja pada titik maksimumnya, agar daya yang diberikan ke beban adalah daya

maksimal. Hasil keluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC converter. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimum dari panel surya.



Gambar 2.8 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya [5]

Jika tegangan kerja panel surya diganggu (*perturbed*) saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih besar daripada nol, hal tersebut dilakukan agar penggangguan dapat memindahkan tegangan kerja panel surya maju ke arah titik daya maksimum. Apabila tegangan kerja panel surya diganggu saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih kecil daripada nol, penggangguan bertujuan untuk memindahkan tegangan kerja panel surya mundur ke arah titik daya maksimum.

*Incremental Conductance*

*Incremental conductance* didefinisikan sebagai ( $dI_g/dV_g$ ). Dengan mendapatkan nilai konduktansi nyata dari modul termoelektrik, maka dapat diketahui MPP (titik maksimum) titik operasi berada. InCo dapat mencari lebih cepat terhadap peningkatan dan penurunan tingkat kecerahan sehingga memiliki akurasi yang lebih baik Metode Incremental Conductance (InCo) bekerja berdasarkan gradien kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut juga VMPP. MPPT memberikan Vref agar titik kerja sel surya terdapat nilai VMPP tersebut. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT. Karakteristik P – V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradien-nya bernilai nol.

Persamaan dalam metode incremental conductance dinyatakan :

$$dP/dV = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Karena  $P=V.I$ , maka :

$$(d(V.I)) / dV = (V.dI+dV.I) / dV \dots\dots\dots(2)$$

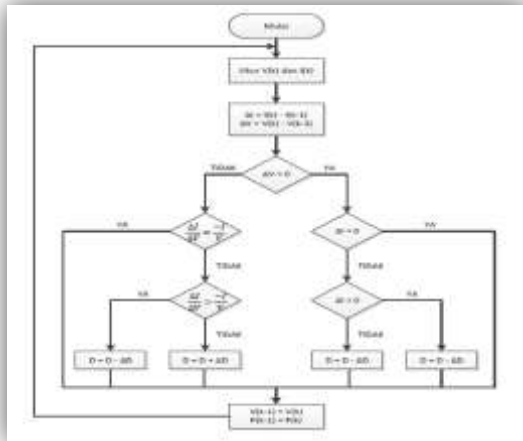


$$V \frac{dI}{dV} + I = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{dI}{dV} = -I / V \dots\dots\dots(4)$$

Jadi, dapat dituliskan seperti berikut :

- $\Delta I / \Delta V = -I / V$  , pada MPP
- $\Delta I / \Delta V > -I / V$  , sebelah kiri dari MPP
- $\Delta I / \Delta V < -I / V$  , sebelah kanan dari MPP



Gambar 2.9 Diagram Algoritma Incremental Conductance

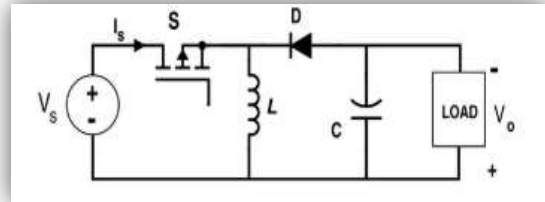
Perubahan  $V_{ref}$  yang diberikan InCo tetap untuk setiap iterasi. Besar perubahan  $V_{ref}$  tersebut dipertimbangkan dari waktu penjajakan menuju nilai maksimum dan osilasi pada nilai maksimum. Kedua parameter tersebut memiliki hubungan terbalik. Perubahan  $V_{ref}$  yang besar akan mempercepat waktu penjajakan, namun sulit mencapai VMPP dan menyebabkan osilasi di sekitar MPP. Oleh karena itu, modifikasi dari algoritma InCo yang telah berkembang selama ini adalah dengan membuat besar perubahan  $V_{ref}$  bervariasi.

*Buck Boost Converter*

Buck-boost converter berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun level yang rendah. Namun buck-boost converter mengubah polaritas dari tegangan input terhadap output. Konverter buck-boost sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluar yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya.

Sistem PV pada penelitian ini menggunakan rangkaian DC-DC converter sebagai charge controller untuk pengaktifan sinyal kendali algoritme MPPT. Buck-boost converter sebagai salah satu saklar regulator mode yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan

tegangan masukannya. Keluaran dari converter ini yang akan dikendalikan oleh algoritma MPPT. Buck-boost converter ini membutuhkan pulsa PWM untuk menjadikan kondisi saturasi dan cut-off dari komponen MOSFET pada rangkaian converter hingga fungsi switching bisa aktif.



Gambar 2.13 Rangkaian Elektrik Buck-Boost Converter [14]

Tegangan keluaran konverter merupakan tegangan yang akan disimpan kedalam baterai sistem PV. Target dari sistem pengendalian yang terhubung dengan dengan buck-boost converter adalah untuk selalu memaksimalkan tegangan dan arus keluaran PV agar selalu menghasilkan daya pada titik maksimal sehingga daya yang akan disimpan ke baterai semakin besar.

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Simulasi

Perancangan sistem merupakan langkah awal untuk menentukan bentuk sistem yang akan dibuat. Tahapan perancangan dilakukan agar pada saat melakukan pembuatan sistem serta mensimulasikan sistem pada penelitian dapat terealisasi secara struktur, sistematis, efektif, dan efisien. Dalam perancangan sistem terbagi atas 3 bagian garis besar yaitu :

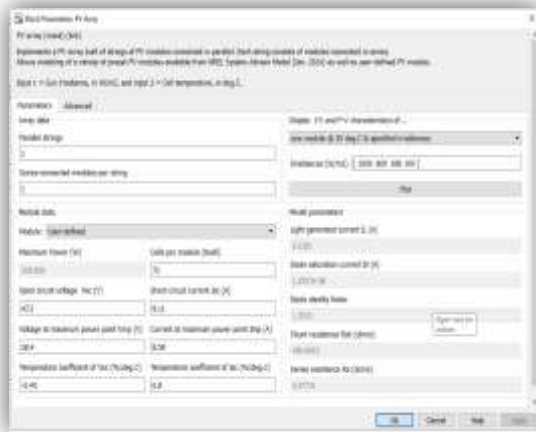
1. Setting parameter photovoltaic sesuai datasheet asli yang digunakan dalam sistem PV di daerah Pematang Johar. Parameter photovoltaic digunakan hanya satu panel dengan jenis monocrystalic.
2. Perancangan simulasi topologi buck-boost converter di dalam software MATLAB R2016a.
3. Perancangan simulasi MPPT dengan metode incremental conductance pada software MATLAB.

Untuk melakukan pengujian simulasi photovoltaic pada perubahan radiasi matahari, dibuat pemodelan radiasi matahari dengan melakukan pengukuran serta temperatur lingkungan sekitar yang diukur secara real time.

Tabel 3. 1 Datasheet Photovoltaic SOLAR MODULE

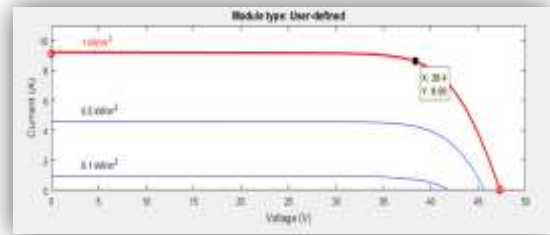
Modul Type	SP-330-M72
Rate Max Power (Pmax)	330 W
Current at Pmax (Imp)	8.59 A
Voltage at Pmax (Vmp)	38.4 V
Short Circuit Current (ISC)	9.11 A
Open Circuit Voltage (VOC)	47.3 V
Dimension (mm)	1956*992*40
Number of Cells	72
Max. System Voltage	1000 V
Temperature Range	-45 <sup>0</sup> C – 80 <sup>0</sup> C

Adapun parameter yang perlu diisi untuk menyesuaikan spesifikasi modul PV yang diinginkan.

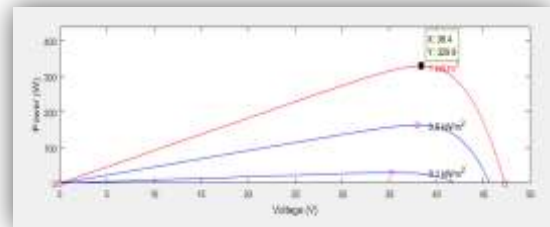


Gambar 3. 3 Block Parameter PV Array

Hasil simulasi menunjukkan grafik hubungan antara arus dan tegangan dari model photovoltaic dan grafik hubungan antara daya serta tegangan dari model photovoltaic.



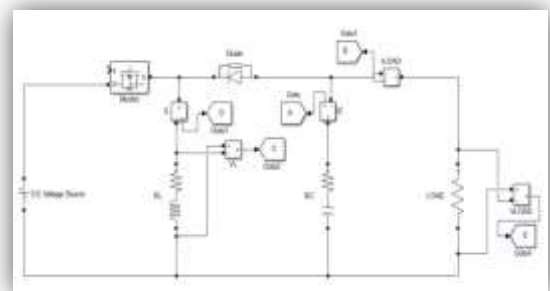
Gambar 3. 4 Hubungan Antara Arus Dengan Tegangan



Gambar 3. 5 Hubungan Antara Daya Dengan Tegangan

## B. Perancangan Simulasi Buck-Boost Converter

Buck-boost converter yang digunakan ialah menggunakan kontrol PWM (Pulse Widht Modulation), dimana buck-boost converter berfungsi untuk mengatur nilai tegangan input menjadi nilai tegangan output yang lebih stabil. Terdapat beberapa komponen utama yang digunakan pada rangkaian buck-boost converter yaitu mosfet, dioda, toroid Inductor, dan kapasitor. Dimana mosfet berfungsi sebagai saklar dan kontrol switching yang menggunakan PWM (Pulse Widht Modulation). switching PWM dapat beroperasi menggunakan algoritma MPPT incremental conductance. Perubahan yang terjadi pada tegangan output dikarenakan adanya perbedaan pada duty cycle.



Gambar 3. 6 Topologi Buck-Boost Converter

Pada penelitian ini digunakan converter jenis buck-boost yang nantinya tegangan dari photovoltaic dapat

diturunkan dan dinaikan dalam mencapai daya output maksimum (MPPT). Buck-boost converter seperti pada gambar di atas digunakan untuk mengontrol aliran daya dari photovoltaic menuju ke beban.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Simulasi Topologi Buck-Boost Converter

Spesifikasi	Keterangan
Pmax	330 Watt
Imp	8.59 Amper
Vmp	38.4 Volt
Isc	9.11 Amper
Voc	47.3 Volt
Frekuensi Switching	15000 Hz
Vout	26 Volt

Untuk menentukan spesifikasi dari buck-boost converter disesuaikan dengan karakteristik dari panel surya yang digunakan. Tabel di atas adalah spesifikasi DC-DC buck-boost converter yang akan dibuat dalam simulasi software MATLAB Simulink.

Tegangan minimum

$$V_{oc} - V_{mp} = 47.3 - 38.4 = 8.9 \text{ Volt}$$

Arus minimum

$$I_{sc} - I_{mp} = 9.11 - 8.59 = 0.52 \text{ Amper}$$

Nilai tengah dari Isc

$$9.11 / 2 = 4.55 \text{ Amper}$$

Untuk menentukan duty cycle

$$\frac{V_0}{V} = \frac{1}{1-D}$$

$$V_0 = \frac{1}{1-D} \times V_i$$

$$26 = \frac{1}{1-D} \times 8.9$$

$$26 = \frac{1}{1-D} \times 8.9$$

$$D = 0.6$$

Penentuan nilai beban pengganti yang menggunakan resistansi

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{38.4^2}{329.9}$$

$$R = 4.4 \Omega$$

Menentukan nilai induktansi dengan ripple tegangan sebesar 1% dan ripple arus sebesar 10% Menentukan nilai induktansi dengan ripple tegangan sebesar 1% dan ripple arus sebesar 10%.

$$L = \frac{V_s (1-D)}{f \Delta I_{pp} I_a}$$

$$L = \frac{26 (1-0.6)}{0.1 \times 4.55 \times 15000}$$

$$L = 1523 \mu\text{H}$$

Menentukan nilai kapasitansi dengan ripple tegangan sebesar 1% dan ripple arus sebesar 10%.

$$C = \frac{\Delta I_{pp} \times I_a}{8 \times \Delta V_{pp} \times f \times V_s}$$

$$C = \frac{0.1 \times 4.55}{8 \times 26 \times 0.01 \times 15000}$$

$$C = 14.5 \mu\text{F}$$

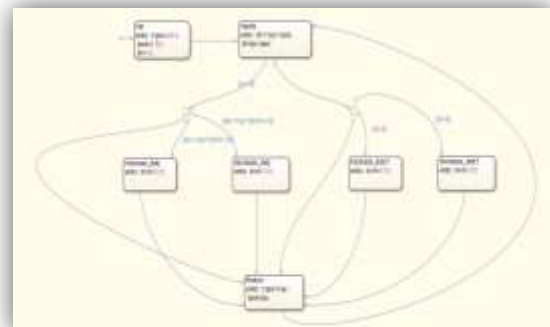
Nilai yang sudah ditentukan akan dimasukan kedalam topologi buck-boost converter dengan software MATLAB Simulink R2016a.

### C. Monitoring Temperatur dan Irradiasi

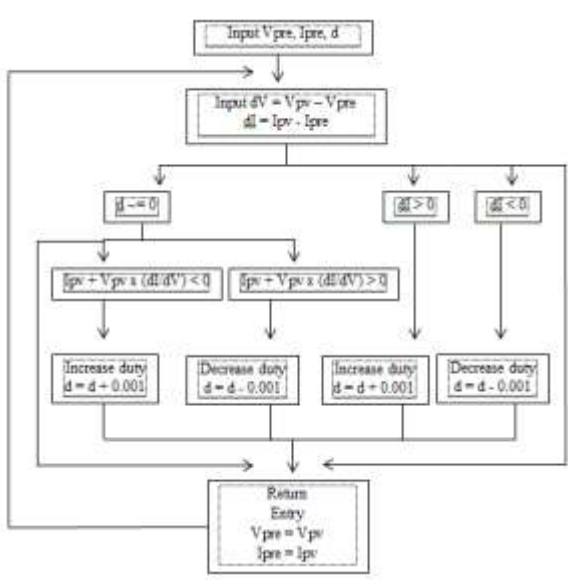
Dalam penelitian ini, terdapat dua parameter utama yaitu radiasi matahari dan temperatur. Hal ini dilakukan secara real time dengan rentang waktu mulai pukul 09.00 – 16.00 WIB. Alat ukur yang digunakan untuk melihat temperatur dan radiasi matahari peneliti menggunakan alat ukur Digital Lux Meter. Menurut [21] konversi 1 lux = 0.0079 W/m<sup>2</sup>. Data tersebut dilakukan setiap satu jam sekali dengan melihat kondisi awan melalui penglihatan mata.

Hari 1			
Waktu (WIB)	Temperatur (Celcius)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kondisi
9	28.6	449.905	Cerah
10	30.5	674.265	Cerah
11	31	360.635	Cerah
12	32.8	1457.55	Cerah
13	32.3	176.96	Berawan
14	31.9	255.644	Berawan
15	32	246.322	Berawan
16	30.3	95.274	Hujan

### D. Perancangan MPPT Implementasi Metode Incremental Conductance



Gambar 3. 7 Chart Simulasi Algoritma Incremental Conductance

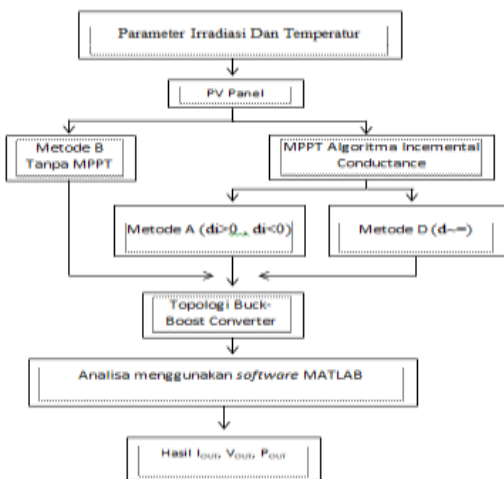


Gambar 3. 8 Diagram Metode Incremental Conductance

Algoritma ini merupakan rancangan yang berasal dari diagram alir metode incremental conductance. Keluaran dari algoritma ini adalah duty cycle yang nantinya setelah simulasi hasil datanya dihubungkan ke dalam rangkaian simulasi topologi buck-boost converter sebagai pengendali saklar.

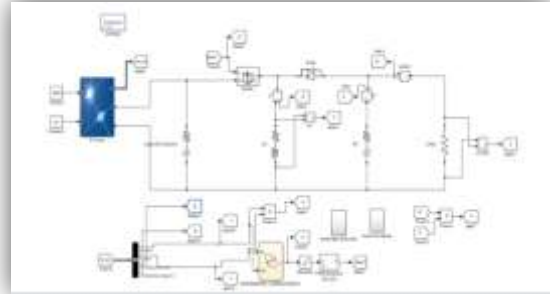
E. Pengujian Sistem

Simulasi tersebut menggunakan software Matlab Simulink dimana datasheet diambil dari photovoltaic yang sebenarnya, lalu mengambil data temperatur dan radiasi matahari dilakukan dengan menggunakan Digital Lux Meter di daerah Pematang Johar.. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan waktu efektif pada kinerja photovoltaic. Data tersebut nanti akan dilihat secara grafik sesuai dengan hasil simulasi yang dilakukan pada lokasi penelitian.

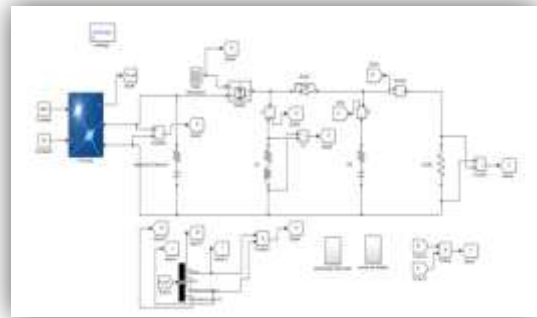


Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengendalian PV

Kemudian langkah selanjutnya adalah melihat perbandingan topologi buck-boost converter mulai dari tegangan, arus, daya yang menggunakan MPPT metode incremental conductance dengan tidak menggunakan MPPT.



Gambar 3. 10 Simulasi Dengan Menggunakan MPPT



Gambar 3. 11 Simulasi Tanpa Menggunakan MPPT

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Temperatur Irradiasi Matahari

Pengambilan data dilakukan secara real time pada tanggal 08 November 2020 – 14 November 2020 dari pukul 09.00 – 16.00 WIB dengan menggunakan Digital Lux Meter.

Data irradiansi matahari dan temperatur ini sebagai acuan dalam sistem photovoltaic yang telah dirancang pada bab tiga sesuai dengan model photovoltaic yang sebenarnya.

Metode yang digunakan dalam simulasi ini adalah dengan melakukan pengamatan temperatur dan irradiansi secara real time. Hasil dari simulasi yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Tabel 4. 1 Nilai Temperatur Tertinggi Dan Terendah Dalam Satu Minggu

Hari	Temperatur terendah (Celcius)	Temperatur tertinggi (Celcius)
8-Nov-20	28.6	32.8
9-Nov-20	28.3	30.1
10-Nov-20	29.3	31.2
11-Nov-20	30.9	36.5
12-Nov-20	30	30.5
13-Nov-20	29.7	31.1
14-Nov-20	29.6	31.2



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Temperatur Tertinggi Dan Terendah

Tabel 4. 2 Nilai Irradiasi Tertinggi Dan Terendah Dalam Satu Minggu

Hari	Irradiasi terendah (W/m2)	Irradiasi tertinggi (W/m2)
8-Nov-20	95.274	1457.55
9-Nov-20	174.906	587.128
10-Nov-20	193.945	507.18
11-Nov-20	110.363	953.53
12-Nov-20	82.792	267.02
13-Nov-20	94.879	493.276
14-Nov-20	245.532	1549.19

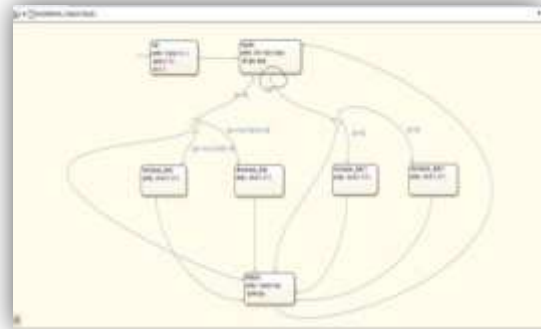


Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Irradiasi Tertinggi Dan Terendah

B. Analisa Algoritma InCo Metode A

Dalam pengujian algoritma incremental conductance dilakukan dengan cara memasukan logika dalam bentuk chart yang dapat disimulasikan. Pengujian ini dilakukan dengan membedakan menjadi beberapa metode yaitu metode A merupakan ( $d_i > 0$  ,

$d_i < 0$ ), metode B tanpa MPPT dan metode D merupakan ( $d_i = 0$ ) dengan sinyal frekuensi 15.000 Hz.



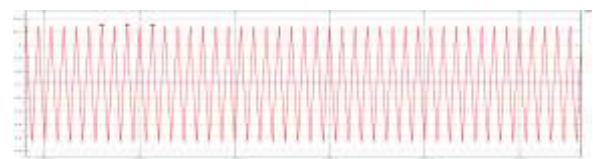
Gambar 4. 5 Chart Algoritma Incremental Conductance Metode A

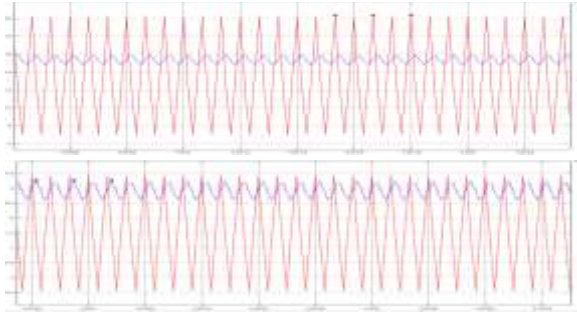
Terdapat sebuah tanda lingkaran yang merupakan algoritma yang berjalan yaitu algoritma incremental conductance metode A. hal ini dijelaskan sebelumnya bahwa terjadi pemisahan block dalam metode incremental conductance agar dapat mengetahui nilai efektif dari algoritma ini. Metode ini dijalankan dengan setting time periode sebesar 5 sec. Hubungan arus, tegangan dan daya yang sama terjadi pada setiap pengujian irradiasi dan temperatur. Namun, nilai daya maksimum, tegangan saat daya maksimum dan arus saat daya maksimum berbeda-beda.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Hari 1 Metode A

Hari 1 ( $d_i > 0$ dan $d_i < 0$ ) A									
Waktu (jam)	V <sub>pv</sub> (V)	I <sub>pv</sub> (A)	Duty (%)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celcius)
9	20.97	4.244	18.34	449.905	89	5.286	23.26	122.9	28.6
10	31.24	6.407	28.56	674.265	200.2	7.975	35.09	279.9	30.5
11	17.3	3.468	77.4	380.635	59.98	4.32	19.01	82.12	31
12	42.34	9.302	46.4	1457.55	393.8	10.47	46.08	482.5	32.8
13	8.98	1.722	23.4	176.96	15.46	2.142	9.427	20.2	32.3
14	12.59	2.478	25.82	255.644	31.19	3.086	13.58	41.9	31.9
15	12.17	2.389	24.28	246.322	29.07	2.976	13.09	38.97	32
16	5.137	0.9138	20.53	95.274	4.694	1.136	5	5.683	30.3

Metode A mengalami peningkatan pada Vout nya, kemudian pada metode A terjadi penurunan terhadap Vpv untuk menghasilkan optimalisasi pada rangkaian topologi buck-boost dc-dc converter.

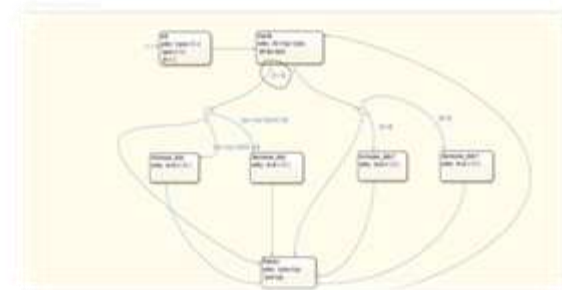




Gambar 4. 6 Grafik I, P, V Jam 13.00 Hari 1 Metode A

C. Analisa Algoritma InCo Metode D

Metode ini dijalankan dengan setting time periode sebesar 5 sec. Hubungan arus, tegangan dan daya yang sama terjadi pada setiap pengujian irradiasi dan temperatur. Nilai keluaran dari tegangan, daya, arus akan berbeda – beda pada setiap irradiasi dan temperturnya.

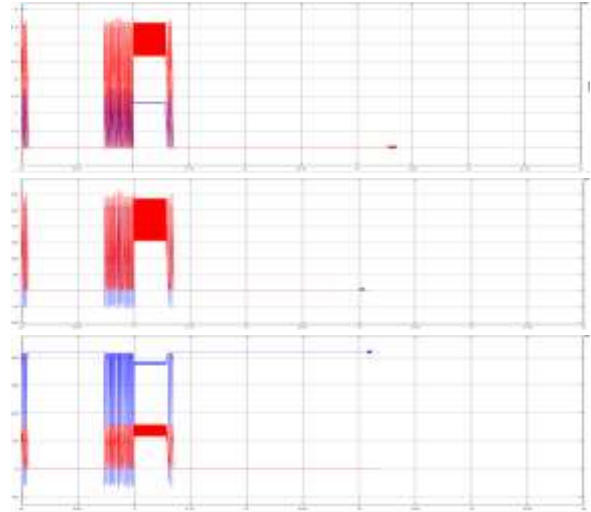


Gambar 4. 7 Chart Algoritma incremental conductance metode D

Tabel 4. 10 Hasil simulasi hari 1 metode D

Hari 1 (t = 0) D									
Waktu (jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Duty InCo	Nilai Irradasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (Watt)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (Watt)	Temperatur (Celsius)
9	43.05	1.998	0.314	449.905	86.03	4.74	20.05	98.84	28.6
10	42.7	3.759	0.387	674.265	160.5	6.64	29.22	194	30.5
11	41.21	2.113	0.326	360.635	87.07	4.835	21.27	102.8	31
12	42.94	9.302	17.63	1457.35	393.8	10.47	46.08	482.5	32.8
13	41.63	0.0004163	-16.16	176.96	0.01793	-5.83E-13	-5.78E-12	3.37E-24	32.3
14	42.6	0.00426	-15.12	255.644	0.01815	-8.51E-10	-3.75E-09	3.19E-18	31.9
15	42.49	0.0004249	-29.31	246.322	0.01805	-4.20E-11	-1.85E-10	7.79E-21	32
16	40.63	0.0004063	-9.429	95.274	0.01651	-1.99E-11	-8.41E-11	1.60E-12	30.3

Diketahui algoritma incremental conductance dengan menggunakan metode D banyak mengalami distorsi yang disebabkan nilai irradiasi yang rendah serta temperatur yang tidak sesuai dari ketentuan optimal photovoltaic. Metode D dapat meningkatkan keluaran dari photovoltaic dengan mempertahankan tegangan V<sub>pv</sub> yang disesuaikan dari input irradiasi dan temperatur kedalam photovoltaic.



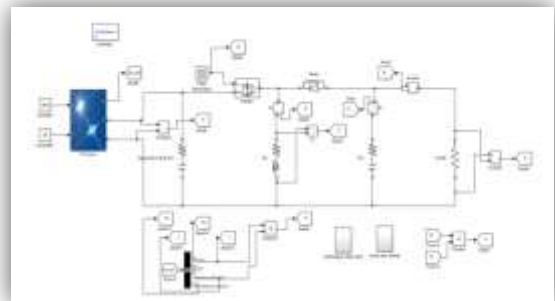
Gambar 4. 8 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 metode D

Secara sekilas grafik 4.8 memiliki riak dan ritme yang sama dalam gangguan yang terjadi. Pada saat pertama dilakukan run, grafik menunjukkan peningkatan. Peningkatan ini disesuaikan dengan nilai yang keluar dari photovoltaic. Iterasi ini terus terjadi sampai detik 1.42 sec pada kondisi run lalu grafik menunjukkan gangguan pada detik setelahnya sampai setting periode mencapai 5 sec.

Dalam melakukan simulasi terhadap data yang telah ditampilkan, terdapat kesamaan antara metode A dan metode D ketika irradiasi matahari dan temperatur bernilai (1457.55 W/m<sup>2</sup>, 32.8 0C), (1549.19 W/m<sup>2</sup>, 31.2 0C), (1391.19 W/m<sup>2</sup>, 30.9 0C) dengan perbedaan duty InCo pada setiap metode yang disimulasikan.

D. Analisa Tanpa MPPT Menggunakan Metode B

Photovoltaic langsung terhubung dengan topologi buck-boost tanpa menggunakan algoritma incremental conductance.



Gambar 4. 9 Simulasi photovoltaic tanpa MPPT

Pada sisi buck-boost converter resistansi yang digunakan sebagai beban pengganti bernilai 4,4 Ω



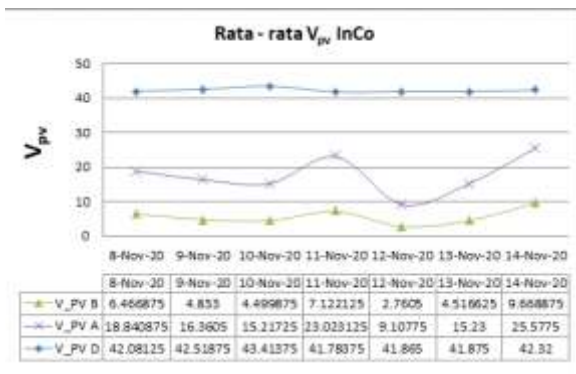
Tabel 4. 17 Hasil simulasi tanpa MPPT metode B hari 1

Hari 1 Tanpa MPPT								
Waktu (Jam)	V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	Nilai Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Power PV (W)	I <sub>out</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	Power out (W)	Temperatur (OC)
9	6.181	4.258	449.905	26.32	1.667	7.334	12.22	28.6
10	9.137	6.469	674.265	59.11	2.532	11.14	28.21	30.5
11	5.091	3.477	360.635	17.7	1.36	5.985	8.141	31
12	19.57	14.19	1457.55	277.7	5.553	24.43	135.7	32.8
13	2.717	1.724	176.96	4.683	0.6745	2.968	2.002	32.3
14	3.761	2.482	255.644	9.337	0.9698	4.267	4.138	31.9
15	3.641	2.394	246.322	8.716	0.9351	4.114	3.847	32
16	1.637	0.9145	95.274	1.497	0.3567	1.157	0.5599	30.3



Gambar 4. 10 Grafik I, P, V jam 13.00 hari 1 tanpa MPPT

E. Optimalisasi Daya Output Sistem MPPT dan Tanpa MPPT



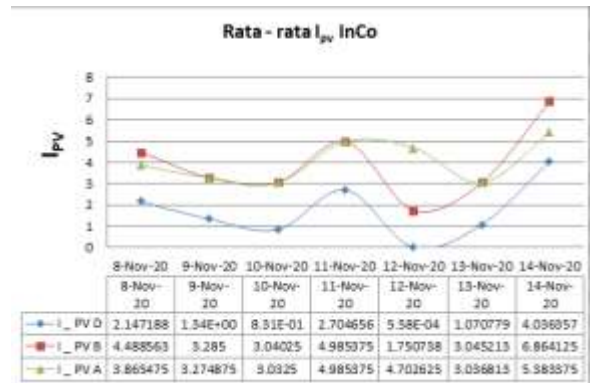
Gambar 4. 11 Grafik rata-rata Vpv incremental conductance dan tanpa MPPT

Nilai Vpv pada 3 metode yaitu Vpv metode B, Vpv metode B dan Vpv metode D. dapat dilihat Vpv tertinggi terjadi pada metode Vpv D sebesar 43.41375 Volt dan garis terendah terjadi pada metode Vpv B sebesar 2.7065 Volt.



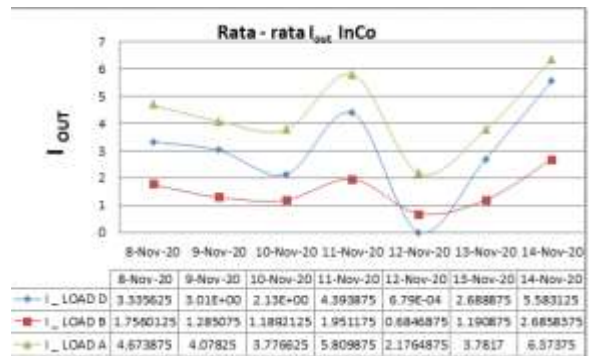
Gambar 4. 12 Grafik rata-rata Vout incremental conductance dan tanpa MPPT

Nilai rata-rata Vout yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT dengan nilai menggunakan MPPT sebesar 28.06875 Volt, sedangkan tanpa MPPT 3.012875 Volt. Tetapi pada algoritma Incremental Conductance metode D tegangan menjadi drop sebesar 0.0029875 Volt.



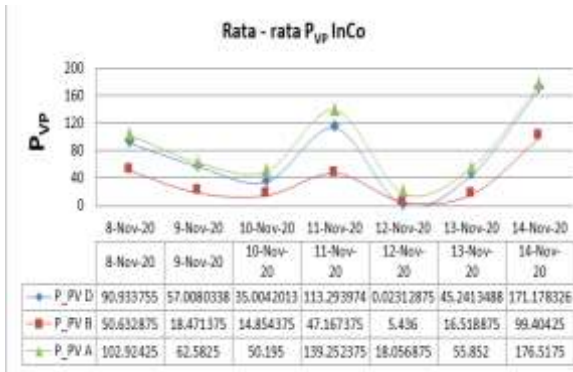
Gambar 4. 13 Grafik Rata-Rata Ipv Incremental Conductance Dan Tanpa MPPT

Metode B memperoleh nilai tertinggi sebesar 6.864125 Amper dan terendah terjadi pada metode D sebesar 0.000557838 Amper.



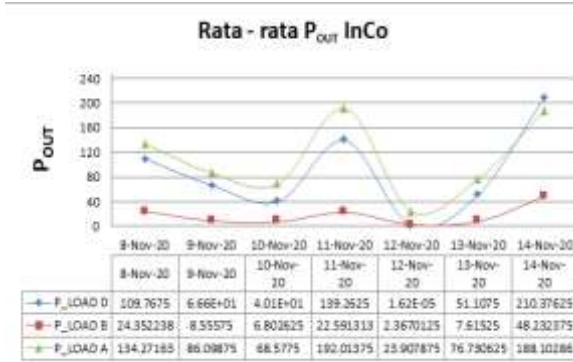
Gambar 4. 14 Grafik rata-rata Iout InCo dan tanpa MPPT

Grafik yang terjadi dengan peningkatan yang tidak beraturan, dimana Iout menggunakan MPPT lebih tinggi daripada tidak menggunakan MPPT.



Gambar 4. 15 Grafik rata-rata Ppv incremental conductance dan tanpa MPPT

Pada photovoltaic menggunakan MPPT lebih besar dibandingkan dengan tidak menggunakan MPPT. Nilai daya yang menggunakan MPPT sebesar 176.5175 Watt yang tidak menggunakan MPPT sebesar 5.436 Watt.



Gambar 4. 16 Grafik rata-rata Pout incremental conductance dan tanpa MPPT

Dilakukan penguraian dari algoritma incremental conductance bertujuan untuk mengetahui karakter dari algoritma tersebut yang akan menghasilkan output dari MPPT dalam implementasi algoritma incremental conductance.

Tabel 4. 30 Rata-rata Vout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata V_OUT MPPT	Rata-rata V_OUT tanpa MPPT	Tanggal
20.115875	7.674375	8-Nov-20
17.870625	5.654125	9-Nov-20
17.26	5.233	10-Nov-20
22.9265	8.584625	11-Nov-20
9.5775	3.012875	12-Nov-20
17.177	5.240625	13-Nov-20
28.27875	11.818625	14-Nov-20

Tabel 4. 31 Rata-rata Iout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata I_OUT MPPT	Rata-rata I_OUT tanpa MPPT	Tanggal
4.571375	1.7560125	8-Nov-20
4.061625	1.285075	9-Nov-20
3.92275	1.1892125	10-Nov-20
5.210625	1.951175	11-Nov-20
2.1764875	0.6846875	12-Nov-20
3.90395	1.190875	13-Nov-20
6.42	2.6858375	14-Nov-20

Tabel 4. 32 Rata-rata Pout optimal MPPT dan tanpa MPPT

Rata-rata P_OUT MPPT	Rata-rata P_OUT tanpa MPPT	Tanggal
126.119125	24.3522375	8-Nov-20
83.77125	8.55575	9-Nov-20
73.9475	6.802625	10-Nov-20
149.06375	22.5913125	11-Nov-20
23.907875	2.3670125	12-Nov-20
81.310625	7.61525	13-Nov-20
223.8175	48.232375	14-Nov-20

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi nilai masukan irradiasi yang digunakan pada modul PV array, maka nilai arus Isc dan tegangan Voc pada modul PV array semakin tinggi juga, hal yang sama dengan nilai daya maksimumnya. Algoritma incremental conductance dilakukan dengan membuat menjadi dua metode yaitu metode A dan metode D. Ketika melakukan simulasi metode A mengalami peningkatan Vout, Iout dan tidak terjadi distorsi pada grafik, tetapi metode ini melakukan penurunan terhadap nilai Vpv dan Ipv. Metode D juga melakukan peningkatan Vout, Iout tetapi banyak mengalami distorsi pada grafiknya sehingga pada saat simulasi nilai output mengalami penurunan yang tidak wajar, kelebihan dari metode ini adalah mempertahankan nilai Vpv sesuai dengan input dari photovoltaic. Menurut penelitian yang dilakukan kerusakan terjadi apabila nilai irradiasi matahari dibawah ± 300 W/m2.
2. Simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa dalam kondisi irradiasi matahari dan temperatur yang berubah-ubah sistem photovoltaic yang menggunakan MPPT akan melacak daya yang maksimum sedangkan tanpa MPPT atau metode D daya output sangat kecil.



Sistem yang menggunakan MPPT berbasis algoritma InCo yang dihubungkan dengan topologi buck-boost converter dapat mengoptimalkan output berupa tegangan, arus, dan daya. Persentase rata-rata kenaikan tersebut menggunakan MPPT berbasis algoritma InCo dan dengan tanpa menggunakan MPPT sebesar 65.53% untuk tegangan output, 65.48% untuk arus output, dan 86.47% untuk daya output.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074234
- [2] D. Choudhary and A. Ratna Saxena, "Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV System Implemented Using DC-DC Buck and Boost Converter," J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com, vol. 4, no. 8, pp. 123–132, 2014, [Online]. Available: www.ijera.com.
- [3] Muhammad Ihsan Fadriantam, "Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme Perturb And Observe (P&O) Dan Incremental Conductance (IC) Pada Sistem Kendali Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [4] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya," J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya Nop., vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015, [Online].
- [5] S. Suriadi, I. N. Fajri, R. Munadi, and M. Gapy, "Reduksi Osilasi Daya Pada MPPT Panel Surya Dengan Metode Kombinasi PNO dan Fuzzy," J. Rekayasa Elektr., vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.13682.