

# Rancang Bangun Modul *Converter DC-DC* Menggunakan Mikrokontroler Arduino Berbasis IoT Untuk Penelitian MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) Pada Panel Surya

Fiko Senrianokxi  
NIM. 1612228  
fiko.noxi@gmail.com

Dr.Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT  
Pembimbing 1

Dr. Eng. I Komang Somawirata  
Pembimbing 2

**Abstrak** - Solar Panel adalah alat yang digunakan untuk menyerap energi matahari dan diubah menjadi energi listrik dengan metode efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* yaitu suatu peristiwa dimana muncul tegangan listrik karena adanya kontak dari dua elektrode dan dihubungkan dengan sistem padat atau cair ketika solar panel mendapatkan energi cahaya. Maka dari itu Solar Panel biasanya disebut dengan *Sel Photovoltaic (PV)*. Efek *photovoltaic* ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839.

*Maximum Power Point Tracking (MPPT)* adalah suatu teknik yang digunakan pada Solar Panel dengan tujuan untuk memaksimalkan daya masukan dalam kondisi apapun. Metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* digunakan untuk terus memberikan daya pada titik semaksimal mungkin meskipun pada kondisi cuaca yang berubah-ubah. Terdapat beberapa metode yang ada pada metode MPPT ini diantaranya yaitu : *Perturb & Observation* dan *Incremental Conductance*.

Untuk mendukung hal tersebut akan dilakukan penelitian terkait perbedaan metode dari dua metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* tersebut yaitu : *Perturb & Observation* dan *Incremental Conductance* dan mengirim data dari kedua metode tersebut pada Web Server. Dengan membuat 3 modul yang akan digunakan sebagai :1.) Modul sebagai *Perturbation & Observation*. 2.) Modul sebagai *Incremental Conductance*. 3.) Modul sebagai pengirim data dari kedua tersebut ke Server Blynk. Dengan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler (sebagai algoritma MPPT), DC-DC Buck Converter, Sensor Arus ACS712, Sensor Tegangan, LCD, dan Modul Wifi ESP8266 sebagai pengirim data ke Server Blynk.

**Kata Kunci** – Solar Panel, MPPT, Arduino Mega 2560, DC-DC Buck Converter, Sensor Arus ACS712, Sensor Tegangan, LCD, ESP8266.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pada perkembangan zaman yang semakin maju ini, sangat dibutuhkan daya yang dapat menyediakan segala keperluan. Daya yang digunakan saat ini masih disediakan oleh pihak PLN dan tentu dalam beberapa periode kedepan pasokan listrik tersebut akan mengalami penurunan dan tentunya harga akan semakin meningkat. Hal ini tentu merugikan banyak beberapa pihak terutama masyarakat yang menggunakan energi tersebut. Maka dari itu, kita harus memanfaatkan energi alternatif sebagai pengganti energi yang sudah ada agar dapat mengurangi biaya serta ramah lingkungan. Energi alternatif atau biasa disebut dengan energi terbarukan banyak sekali macam dan bentuknya, seperti : energi matahari, angin, air dan lain-lain. Dengan memanfaatkan energi alam ini dan diubah menjadi energi listrik, akan menghasilkan energi yang ramah lingkungan serta dapat menggantikan energi yang sudah ada saat ini. Dan tren zaman sekarang yaitu penggunaan Solar Panel bagi penggunaan rumahan atau beberapa instansi lainnya sebagai energi alternatif dengan memanfaatkan energi matahari dan diubahnya menjadi energi listrik.

Solar Panel adalah alat yang digunakan untuk menyerap energi matahari dan diubah menjadi energi listrik dengan metode efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* yaitu suatu peristiwa dimana muncul tegangan listrik karena adanya kontak dari dua elektrode dan dihubungkan dengan sistem padat atau cair ketika solar panel mendapatkan energi cahaya. Maka dari itu Solar Panel biasanya disebut dengan *Sel Photovoltaic (PV)*. Efek *photovoltaic* ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Namun daya listrik yang dihasilkan tergantung pada kondisi cuaca yang mempengaruhi intensitas cahaya matahari dan suhu. Kondisi cuaca dan posisi matahari yang selalu berubah-ubah membuat daya keluaran dari Solar Panel bersifat fluktuatif (tidak tetap) pada kondisi daya yang maksimum. Oleh karena itu diperlukan suatu metode atau alat yang

dapat memaksimalkan daya keluaran dari Solar Panel meskipun dalam kondisi cuaca yang berubah-ubah tersebut.

Metode yang berkembang saat ini dengan tujuan untuk me-maksimalkan keluaran dari Solar Panel yaitu metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) digunakan untuk terus memberikan daya pada titik semaksimal mungkin meskipun pada kondisi cuaca yang berubah-ubah. Terdapat beberapa metode yang ada pada metode MPPT ini diantaranya yaitu : *Perturb & Observation* dan *Incremental Conductance*.

Pada skripsi ini akan membahas tentang perbedaan efisiensi daya dari dua metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) tersebut yaitu : *Perturb & Observation* dan *Incremental Conductance* dan mengirim data dari kedua metode tersebut pada Server Blynk. Dengan membuat 3 modul yang akan digunakan sebagai :1.) Modul sebagai *Perturbation & Observation*. 2.) Modul sebagai *Incremental Conductance*. 3.) Modul sebagai pengirim data dari kedua tersebut ke Server Blynk. Dengan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler (sebagai algoritma MPPT), *DC-DC Buck Converter*, Sensor Arus ACS712, Sensor Tegangan, LCD, dan Modul Wifi ESP8266 sebagai pengirim data ke server Blynk.

### B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana hasil dari penggunaan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan perbandingan pada kedua metode MPPT : *Perturbation & Observation* dan *Incremental Conductance*.
2. Bagaimana desain *Buck Converter* yang digunakan pada MPPT.
3. Bagaimana hasil dari penggunaan aplikasi Blynk untuk MPPT.

Dari rumusan masalah diatas, maka batasan masalah pada pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Hanya menggunakan 1 algoritma pada 1 Mikrokontroler.
2. Hanya menggunakan *Buck Converter* pada tiap algoritma.
3. Membutuhkan 3 modul yang diantaranya : 2 sebagai modul converter dan 1 sebagai server.
4. Dari beberapa metode yang ada pada *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), hanya membandingkan 2 metode yaitu : *Perturbation & Observation* dan *Incremental Conductance*.

### C. Tujuan dan Manfaat

1. Mengetahui teori dan hasil dari menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) pada Solar Panel.

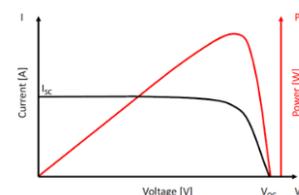
2. Meningkatkan efisiensi penggunaan dari Solar Panel dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).
3. Mengetahui perbandingan dari dua metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) : *Perturbation & Observation* dan *Incremental Conductance*.
4. Hasil dari metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dapat dimonitoring langsung melalui aplikasi Blynk.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori penunjang dari peralatan yang direncanakan. Teori penunjang ini akan membahas tentang teori dan beberapa komponen atau peralatan pendukung alat yang dibuat pokok pembahasan. Teori dan komponen atau peralatan yang akan digunakan pada pembuatan alat tersebut adalah sebagai berikut :

### 1. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

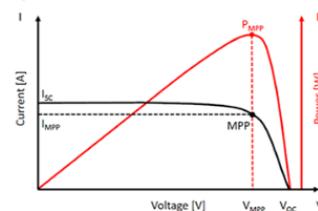
*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah suatu teknik yang digunakan pada Solar Panel dengan tujuan untuk memaksimalkan daya masukan dalam kondisi apapun. MPPT ini merupakan teknik *Solar Tracking* akan tetapi berbeda dengan *Solar Tracker* yang memanfaatkan *irradiation* matahari agar tegak lurus dengan Solar Panel, untuk MPPT ini struktur Solar Panel tetap pada umumnya dan menggunakan *controller* yang berisikan algoritma serta menggunakan *DC-DC Converter* agar mendapatkan daya yang maksimal dan efisien. Dapat dilihat pada kurva I-V dan P-V pada Gambar 2.1.1 adalah kurva yang menunjukkan sistem kerja dari Solar Panel yang bekerja ketika mendapatkan *irradiation* matahari dan mendapatkan daya dengan rumus  $P = V \cdot I$ .



Gambar 2.1.1 : Kurva I-V dan PV Solar Panel

(Sumber : (NG, 2018))

Pada Gambar 2 terdapat titik pada puncak maksimum dari I-V dan P-V dan menghasilkan beberapa diantaranya yaitu :  $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ , dan  $P_{mpp}$ . Itu adalah yang dimaksud dari *Maximum Power Point* (titik daya maksimum).



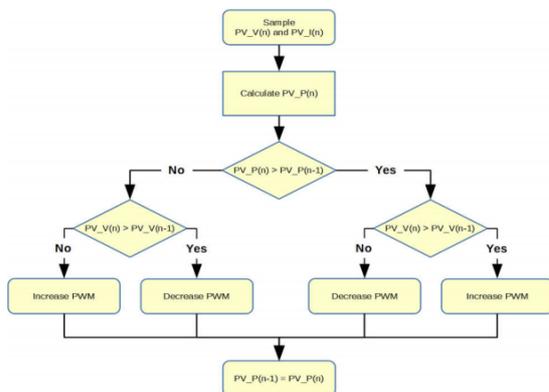
Gambar 2.1.2 : Kurva I-V dan P-V MPP

(Sumber : (NG, 2018))

Pada teknik MPPT ini terdapat beberapa metode algoritma yang digunakan, dua diantaranya yaitu : *Perturbation & Observation* dan *Incremental conductance*. Berikut adalah penjelasan dari kedua metode tersebut :

### 1.1 *Perturbation & Observation*

Metode *Perturbation & Observation* (P & O) beroperasi dengan menambah atau mengurangi tegangan terminal array (PV array), atau arus secara berkala dan kemudian membandingkan daya output PV dengan yang ada pada titik sampel sebelumnya. Dalam algoritma ini sedikit gangguan diperkenalkan ke sistem (Dutta, Barua, & Saha, 2016). Gangguan (*Perturbation*) ini disebabkan oleh kekuatan (daya) modul surya yang bervariasi. Jika daya meningkat karena gangguan maka gangguan dilanjutkan ke arah yang sama. Setelah daya puncak tercapai, daya pada MPP adalah nol dan instan berikutnya berkurang dan karenanya setelah itu gangguan berbalik. Ketika kondisi stabil tiba, algoritma berosilasi di sekitar titik daya puncak. Untuk mempertahankan variasi daya yang kecil, ukuran perturbasi tetap sangat kecil. Teknik ini dikembangkan sedemikian rupa sehingga menetapkan tegangan referensi modul yang sesuai dengan tegangan puncak modul. Berikut flowchart dari metode P & O :



Gambar 2.1.1.1 : Flowchart P & O.

### 1.2 *Incremental Conductance*

Dalam metode *Incremental Conductance* (Konduktansi Tambahan), tegangan dari terminal array (PV) selalu disesuaikan dengan tegangan MPP (*Maximum Power Point*). Hal ini didasarkan pada konduktansi tambahan dan sesaat dari modul PV. Pada tahun 1993, algoritma ini dibuat dimaksudkan untuk mengatasi beberapa kekurangan dari metode *Perturbation & Observation*. Kriteria dari metode konduktansi tambahan pada PV yaitu kemiringan dari array PV dari kurva daya adalah nol pada MPP, positif di sebelah kiri MPP dan negatif di sebelah kanan MPP. Dapat diberikan sebagai berikut,

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV}$$

$$= I + V \frac{dI}{dV}$$

MPP tercapai ketika  $dP / dV = 0$ , dan :

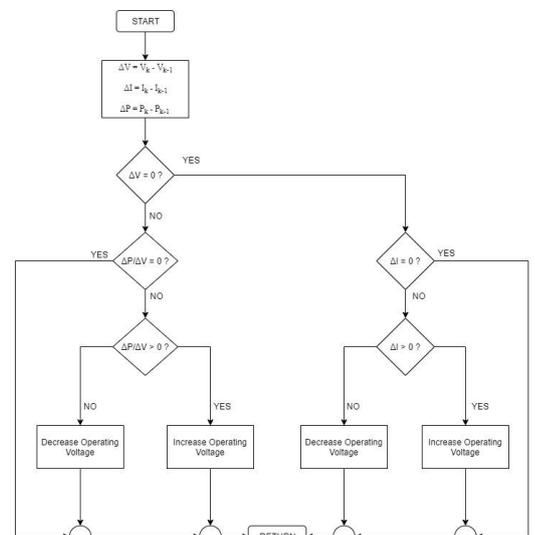
$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

$\frac{dP}{dV} > 0$  maka  $V_p < Mpp$

$\frac{dP}{dV} = 0$  maka  $V_p = Mpp$

$\frac{dP}{dV} < 0$  maka  $V_p > Mpp$

Jadi, jika MPP terletak di sisi kanan,  $dI / dV < -I/V$  dan kemudian tegangan PV harus dikurangi untuk mencapai MPP. Metode ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi PV, mengurangi kehilangan daya dan biaya sistem dari PV. Berikut flowchart dari metode konduktansi tambahan :



Gambar 2.1.1.2 : Flowchart *Incremental Conductance*.

## 2. Solar Panel

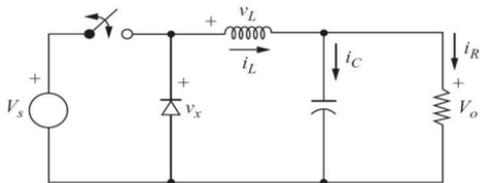
Solar Panel atau Sel Surya adalah suatu komponen atau modul yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana muncul suatu tegangan listrik karena adanya suatu hubungan atau kontak dari dua elektroda, dimana keduanya dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Sel-sel dihubungkan secara elektrik secara seri yaitu untuk tegangan, secara paralel untuk arus listrik.



Gambar 2.2.1 : Solar Panel

### 3. Buck Converter

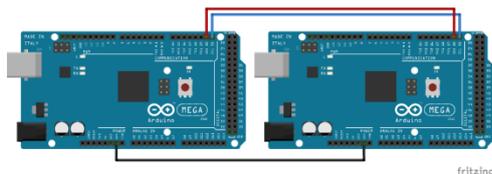
DC-DC *Buck Converter* ( konverter buck) adalah konverter DC-DC yang berfungsi menurunkan tegangan input sesuai dengan kebutuhan (*step down converter*). Konverter ini termasuk kelas *Switched - Mode Power Supply* (SMPS) atau satu daya mode saklar yang biasanya mengandung setidaknya dua semikonduktor (dioda dan transistor) dan terdapat setidaknya satu elemen penyimpanan seperti kapasitor, induktor atau keduanya bisa dikombinasikan. Konverter buck biasanya sangat efisien sekitar 90% yang menjadikannya alat yang ideal untuk tugas-tugas seperti mengubah tegangan suplai massa komputer tegangan yang lebih rendah yang diperlukan untuk CPU dan DRAMS. Berikut adalah gambar umum dari rangkaian converter buck versi pertama :



Gambar 2.2.1 : Rangkaian Konverter Buck.

### 4. Protokol Komunikasi I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C merupakan singkatan dari *Inter Integrated Circuit* merupakan komunikasi serial dua arah yang menggunakan dua saluran untuk mengirim dan menerima data. Sistem I<sup>2</sup>C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I<sup>2</sup>C dengan pengendalinya. Suatu perangkat yang dihubungkan dengan sistem komunikasi I<sup>2</sup>C dapat dioperasikan sebagai *Master* dan *Slave*. *Master* adalah piranti yang memulai mengirim data pada protokol I<sup>2</sup>C dengan membentuk sinyal *Start*, mengakhiri pengiriman data dengan membentuk sinyal *Stop*, dan membangkitkan sinyal *clock*. *Slave* adalah perangkat yang diberikan alamat *Master*. Untuk komunikasi antar arduino menggunakan protokol I<sup>2</sup>C, membutuhkan 3 kabel diantaranya yaitu SDA, SCL dan Ground yang dihubungkan antar arduino.



Gambar 2.4.1 : Protokol Komunikasi I<sup>2</sup>C Arduino.

### 5. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega2560. Ini memiliki 54 pin input/output digital (15 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART

(port serial perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. *Board Mega 2560* kompatibel dengan sebageian besar perisai yang dirancang untuk Uno dan papan sebelumnya Duemilanove atau Diecimila. Berikut gambar dari Arduino Mega :



Gambar 2.5.1 : Mikrokontroler Arduino Mega 2560.

### 6. Sensor Tegangan

Sensor tegangan memiliki fungsi membaca nilai tegangan pada suatu rangkaian dengan memanfaatkan pin analog dari arduino yang dapat membaca nilai tegangan. Dengan menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri dan sebuah input tegangan, dapat membuat tegangan output yang mana tegangan output ini merupakan hasil perhitungan dari tegangan input. Prinsip kerjanya adalah membuat perbandingan antara tegangan asli dengan tegangan yang terbaca oleh arduino.



Gambar 2.6.1 : Modul Sensor Tegangan atau *Divider Voltage*.

### 7. Sensor Arus ACS712 5A

Sensor Arus ACS712 adalah sensor arus dengan system hall effect, artinya besaran besaran arus akan mempengaruhi besar kecil nya hall effect pada sensor. Makin besar arus maka makin besar pengaruh nya pada hall effect sensor pada sensor ini. Sensor ini memiliki beberapa type, ada yang 5A, 20A dan 30A. Sensor yang digunakan merupakan tipe ACS712-05B dengan jangkauan pengukuran  $\pm 5A$  dan dengan sensitivitas 185 mV/A. Berikut gambar dari modul Sensor Arus ACS712 dibawah ini :



Gambar 2.7.1 : Sensor Arus ACS712-5A.

## 8. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS yang berkerja dengan memantulkan cahaya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD merupakan lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparant indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada kaca belakang. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD yang digunakan adalah LCD yang berukuran 16 x 2. Berikut gambar dari LCD dibawah ini :



Gambar 2.8.1 : LCD 16x2

## 9. Modul ESP8266

ESP8266 merupakan modul wifi yang berfungsi sebagai perangkat tambahan mikrokontroler seperti Arduino agar dapat terhubung langsung dengan wifi dan membuat koneksi TCP/IP. Modul ini memiliki 3 mode wifi yaitu Station, Access Point dan Both (keduanya).

Firmware default yang digunakan oleh perangkat ini menggunakan AT Command, dan ada beberapa Firmware SDK yang digunakan oleh perangkat ini berbasis *opensource* diantaranya yaitu : Node MCU, MicroPython, dan AT Command. Modul ESP8266 yang digunakan adalah versi yang pertama atau ESP8266-01. Berikut gambar dari ESP8266-01 :



Gambar 2.9.1 : ESP8266-01.

## III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

### A. Pendahuluan

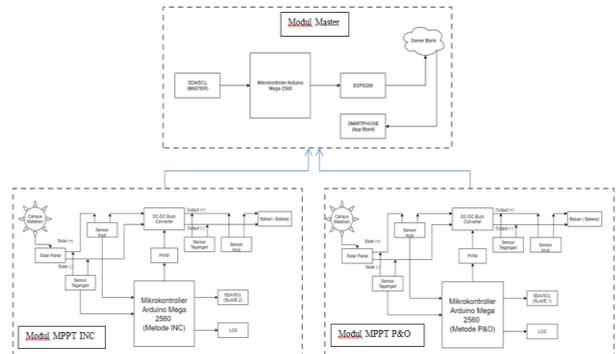
Pada bab ini membahas mengenai perancangan sistem, prinsip kerja sistem, perancangan keras (*hardware*), dan perancangan perangkat lunak (*software*).

Masing-masing bagian tersebut disusun dengan pemilihan beberapa jenis komponen dengan fungsi sesuai perencanaan, sehingga akan

dihasilkan suatu alat dengan fungsi yang sesuai dengan perencanaan awal.

### B. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem, gambaran mengenai modul MPPT dan ketiga modul akan dijelaskan pada diagram blok berikut :



Gambar 3.1 : Diagram Blok 3 Modul.

### C. Prinsip Kerja Sistem

Pada blok diagram sistem (Gambar 3.1) cara kerja sistem akan dijelaskan secara menyeluruh. Perancangan sistem dibagi menjadi beberapa modul diantaranya : 1.) Modul MPPT dengan metode *Incremental Conductance* 2.) Modul MPPT dengan metode *Perturbation & Observation* 3.) Modul sebagai server. Pada blok kedua modul MPPT ini terdapat sensor-sensor yang diantaranya yaitu :Sensor tegangan (Input), sensor arus ACS712 5A (Input) dan *Divider Voltage* (Sensor tegangan/Output), dan sensor arus ACS712 5A (Output). Pada tiap blok MPPT terdapat *Buck Converter* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dengan mengatur nilai PWM sesuai dengan metode MPPT yang digunakan. Sensor-sensor tersebut digunakan sebagai parameter pengukuran dari solar panel yang akan digunakan sebagai penentuan algoritma MPPT. Data dari sensor-sensor tersebut kemudian dikirim ke modul server dengan menggunakan protokol I<sup>2</sup>C kemudian dari modul server data tersebut akan dikirim ke server blynk.

### D. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada perancangan untuk ketiga modul ini, berdasarkan sistem pada Gambar 3.1 dapat digunakan perangkat keras (*hardware*) sebagai berikut :

- Blok Modul MPPT P&O
  - Panel Surya
  - Sensor tegangan atau *divider voltage*
  - Sensor arus ACS712-5A
  - Arduino Mega 2560
  - Buck Converter
  - LCD 16x2
- Blok Modul MPPT INC
  - Panel Surya
  - Sensor tegangan atau *divider voltage*



Pada ketentuan yang dibuat pada Tabel 3.1 maka untuk penentuan komponen yang lainnya yang dibutuhkan oleh Buck Converter seperti induktor, kapasitor dan lain-lain dengan rumus sebagai berikut :

- Pemilihan Induktor

$$L = (V_{in} - V_{out}) \times D \times 1/F_{sw} \times 1/dI \dots (1)$$

Dari rumus (1)  $dI$  merupakan *ripple current*. Untuk *ripple current* yang digunakan yaitu 35% dari arus output. Untuk  $F_{sw}$  adalah frekuensi switching. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai induktor sebesar 59.9 mH.

- Pemilihan Kapasitor

$$C_{out} = dI / (8 \times F_{sw} \times dV) \dots (2)$$

Dari rumus (2)  $dV$  merupakan *ripple voltage*. Untuk *ripple voltage* diberikan nilai yang terbaik yaitu 20 mV. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai kapasitor sebesar 183.75  $\mu$ F.

- Pemilihan MOSFET

Untuk mosfet yang digunakan sesuai dengan ketentuan dari buck converter yang digunakan menggunakan mosfet IRF540N untuk yang Q1 dan Q2. Berikut adalah gambar dari mosfet tersebut dibawah ini.



Gambar 3.6 : Mosfet IRF540N

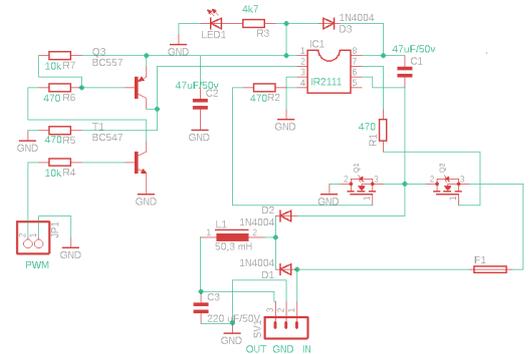
- Pemilihan Driver MOSFET

Driver mosfet dibutuhkan untuk mengendalikan Gate dari mosfet yang digunakan karena pwm arduino tidak dapat mengendalikan gate secara langsung. Maka dari itu dibutuhkan driver untuk mengendalikan gate tersebut. Driver mosfet yang digunakan sesuai dari kebutuhan *datasheet* yaitu IR2111. Berikut gambar dari driver mosfet IR2111 dibawah ini.



Gambar 3.7 : Driver Mosfet IR2111

Dari semua komponen yang digunakan kemudian dirangkai sesuai dari *datasheet* dan prinsip rangkaian yang ada pada *synchronous buck converter*. Berikut gambar skematik yang digunakan dibawah ini.



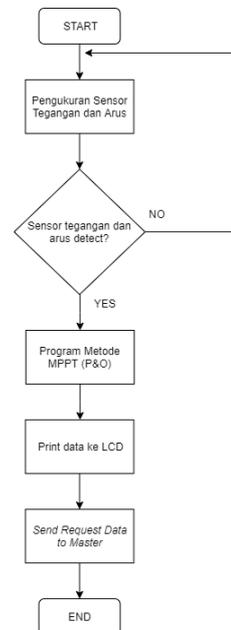
Gambar 3.8 : Skematik Synchronous Buck Converter

E. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pada perancangan perangkat lunak modul converter, perancangan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

I. Perancangan Perangkat Lunak Modul MPPT P&O :

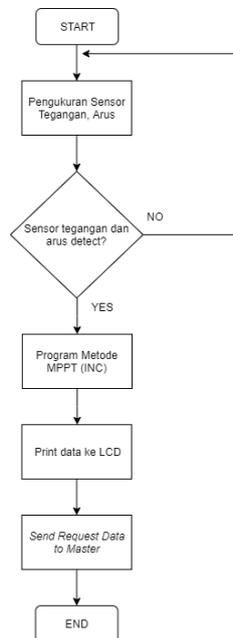
Flowchart perancangan perangkat lunak untuk modul MPPT P&O dapat dilihat pada gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 : Flowchart Modul MPPT P&O

## II. Perancangan Perangkat Lunak Modul MPPT INC :

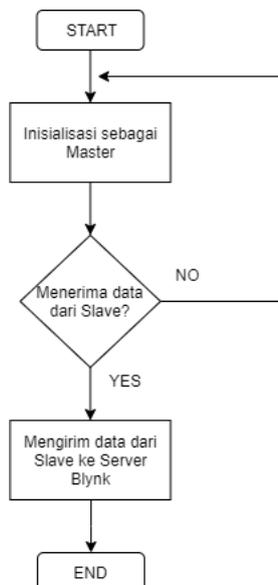
Flowchart perancangan perangkat lunak untuk modul MPPT INC dapat dilihat pada gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9 : Flowchart Modul MPPT INC

## III. Perancangan Perangkat Lunak Modul Server

Flowchart perangkat lunak modul Server dapat dilihat pada gambar 3.10 di bawah ini.



Gambar 3.10 : Flowchart Modul Server

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

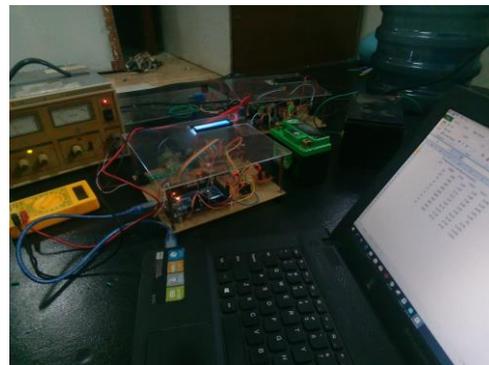
### A. Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas tentang pengujian dan percobaan alat yang meliputi

percobaan sensor yang digunakan, percobaan output dari buck converter, percobaan MPPT P&O, percobaan MPPT INC, percobaan menggunakan aplikasi Blynk dan perbandingan hasil dari kedua MPPT tersebut. Hasil dari pengujian tersebut akan dijadikan dasar untuk menentukan kesimpulan disetiap percobaan.

### B. Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pengujian ini merupakan untuk menentukan keluaran dari sensor yang akan digunakan pada percobaan dengan menggunakan power supply DC dan baterai Li-Ion. Yang nantinya bisa digunakan juga untuk percobaan menggunakan solar panel. Percobaan sensor arus dan tegangan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

### C. Pengujian Buck Converter

Pengujian ini merupakan untuk menguji keluaran dari buck converter dengan menggunakan power supply DC sebagai sumber dan beban menggunakan baterai Li-Ion. Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai PWM dan diukur hasilnya menggunakan multimeter. Berikut gambar 4.2 pengujian buck converter.



Gambar 4.2 : Pengujian Buck Converter

### D. Pengujian MPPT P&O dan INC

Pengujian ini bertujuan untuk pengimplementasian metode MPPT yang digunakan pada solar panel untuk mendapatkan daya yang maksimal. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistif yang diatur nilai hambatan dan daya pada beban. Berikut pengujian modul MPPT pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 : Pengujian MPPT P&O dan INC

E. Pengujian Modul Server atau Respon Blynk Pada Modul

Pada pengujian modul server digunakan untuk mengetahui keluaran yang dihasilkan dari pengiriman data kedua modul MPPT. Dengan menggunakan aplikasi Blynk pada smartphone sebagai keluaran dari hasil penggunaan MPPT dengan menampilkan grafik dan hasil daya. Berikut gambar 4.4 pengujian dari modul server atau respon blynk.



Gambar 4.4 : Pengujian modul server atau Respon Blynk

1. Pengambilan data Sensor Arus dan Tegangan : Pengambilan data dengan menggunakan power supply DC sebagai input serta beban yang digunakan yaitu baterai Li-Po. Berikut ini salah satu gambar saat pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 : Pengambilan data sensor dan buck converter

TABEL II. HASIL PERCOBAAN MODUL SENSOR TEGANGAN

Vmulti (V)	Vsensor (V)	Error (%)
5.00	4.95	1%
6.24	6.16	1.28%
7.88	7.83	0.63%
8.55	8.50	0.58%
10.05	10.00	0.5%
14.74	14.73	0.068%
15.52	15.53	0.064%

TABEL III. HASIL PERCOBAAN DIVIDER VOLTAGE (R1 = 100K, R2 = 10K, C1 = 2uF/16V)

Vmulti (V)	Vsensor (V)	Error (%)
10.08	10.01	0.69%
10.98	10.90	0.73%
12.14	12.06	0.66%
13.14	13.06	0.61%
14.21	14.17	0.28%
14.83	14.80	0.20%
15.55	15.48	0.45%
16.51	16.48	0.18%

Dari percobaan menggunakan modul sensor tegangan dan percobaan menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*divider voltage*, R1 = 100K, R2 = 10K dan C1 = 2uF) untuk perbandingan nilai error dalam penggunaan keduanya hampir memiliki kesamaan. Modul Sensor Tegangan digunakan pada input, dan rangkaian pembagi tegangan digunakan pada output pada converter.

TABEL IV. HASIL PERCOBAAN SENSOR ARUS ACS712-5A

Imulti (A)	Isensor (A)	Error (%)
0.71	0.51	28.17%
0.69	0.74	7.25%
1.31	1.24	10.14%
1.71	1.74	1.75%
2.09	2.02	3.35%

Dari hasil pengujian menggunakan modul sensor ACS712-5A, pengujian dilakukan dengan

menggunakan keluaran arus yang keluar pada saat proses charging baterai Li-Po dengan maksimal arus hanya sampai 2A. Nilai error yang didapatkan bervariasi dikarenakan tidak stabilnya IC ACS712-5A memiliki sensitivitas yang cukup tinggi yaitu sebesar 185mA.

2. *Pengambilan data Buck Converter* : Pengambilan data pada buck converter dengan menggunakan input power supply DC sebesar 15V dan mengubah nilai PWM dan diukur output dari buck converter dengan menggunakan multimeter.

TABEL V. HASIL PENGUJIAN BUCK CONVERTER

Vin (V)	PWM (%)	Vout (V)	Teori (V)	Error (%)
15	10%	1.64	1.50	9.3%
15	20%	3.16	3.00	5.3%
15	30%	4.71	4.50	4.6%
15	40%	6.17	6.00	2.8%
15	50%	7.67	7.50	2.3%
15	60%	9.09	9.00	1%
15	70%	10.53	10.50	0.2%
15	80%	11.89	12.00	0.92%
15	90%	13.28	13.50	1.63%
15	99%	14.55	14.85	2.02%

Dari hasil pengujian buck converter, input tegangan yang digunakan pada saat percobaan 15V. Nilai PWM yang digunakan antara 10-99% dan hasil tegangan keluaran dari converter dapat dilihat pada TABEL IV. Nilai teori didapatkan pada rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana D adalah Duty Cycle, Vo adalah tegangan output dan Vin adalah tegangan input. Dari persamaan rumus (3) dapat ditentukan untuk penentuan nilai Vo adalah :

$$V_o = V_{in} \times D \dots\dots\dots(4)$$

Hasil gelombang PWM dari percobaan diambil beberapa sample seperti pada gambar 4.6 sebagai berikut.



(c) (d)  
Gambar 4.6 : (a) Bentuk gelombang PWM 25%, (b) Bentuk gelombang PWM 50%, (c) Bentuk gelombang PWM 75%, (d) Bentuk gelombang PWM 99%

Dari percobaan pada buck converter, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai PWM, maka semakin besar juga nilai outputnya. Namun besar nilai output tidak akan melebihi dari nilai input.

3. *Pengambilan data MPPT* : Pengambilan data dengan menggunakan beban resistif ( Resistor geser 10 Ohm/ 50 Watt). Dengan merubah nilai hambatan (ohm) pada setiap percobaan dan mengimplementasikan metode MPPT sesuai algoritma yang dibuat.

3.1 Pengujian MPPT P&O

Pengujian yang dilakukan dalam pengambilan data dengan menggunakan beban resistor variable (geser) 10 Ohm/50Watt. Data pengambilan pengujian MPPT P&O selengkapnya ada dibawah ini :

TABEL VI. HASIL PENGUJIAN MPPT P&O (Step PWM = 10)

Data Pengujian MPPT P&O (Step = 30 PWM)					
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)
3		14,36	12,78	3,03	38,76
		14,45	12,89	3,04	39,14
		14,41	12,84	3,04	38,95
		19,42	12,15	2,9	35,22
		14,12	12,57	2,97	37,38
		12,24	10,78	2,5	26,96
		11,49	10,1	2,52	25,48
		14,12	12,57	2,96	37,28
		14,77	12,73	2,99	38,01
		14,31	12,73	2,94	37,37
10		16,04	13,41	2,3	30,89
		16,02	14,05	2,4	33,76
		16	13,99	2,44	34,11
		16	13,94	2,36	31,75
		16	13,94	2,4	33,47
		15,89	13,47	2,36	32
		16,04	12,63	2,24	28,25
		16,04	14,57	2,51	36,63
		16,04	14,57	2,53	36,85
		16,04	14,05	2,44	34,34
10		17,18	15,31	1,92	29,37
		17,2	14,89	1,87	27,78



(a)



(b)

		17,23	15,41	1,9	26,8
		17,24	16,04	1,93	31,02
		17,23	15,41	1,87	28,87
		19,59	14,78	2,4	35,47
		17,18	15,31	2,46	37,68
		17,18	15,99	2,51	40,18
		17,2	15,41	2,46	37,95
		17,13	15,36	2,48	37,81

TABEL VII. HASIL PENGUJIAN MPPT P&O  
(Step PWM =20)

Data Pengujian MPPT P&O (Step = 20 PWM)					
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)
20	3	14,07	12,78	3,14	40,14
		13,52	12,26	2,99	36,66
		14,07	12,78	3,16	40,38
		14,16	12,84	3,11	39,91
		13,15	10,94	2,7	29,58
		11,95	10,73	2,64	28,38
		13,59	12,31	3,16	38,85
		15,06	13,73	3,35	46,04
		15,1	13,78	3,36	46,26
		15,18	13,84	3,36	46,47
		14,07	12,05	2,37	28,55
		14,09	12,94	2,53	32,72
	15,01	13,84	2,65	36,72	
	15,23	14,05	2,66	37,38	
	16,12	14,89	2,83	42,11	
	15,88	14,68	2,78	40,83	
	15,95	14,73	2,8	41,24	
	16,02	14,83	2,8	41,57	
	15,8	14,62	2,76	40,38	
	15,66	14,47	2,73	39,47	
	17,83	16,62	1,54	25,62	
	18,21	16,99	1,57	26,65	
	18,02	16,83	1,54	25,93	
	17,66	16,47	1,53	25,24	
	18,16	16,99	1,57	26,65	
	18,21	17,04	1,56	26,6	
	17,35	14,1	1,77	24,95	
	17,34	13,1	1,62	21,21	
	17,34	14,36	1,77	25,36	
	19,37	12,36	1,63	20,18	

TABEL VIII. HASIL PENGUJIAN MPPT P&O  
(Step = 30 )

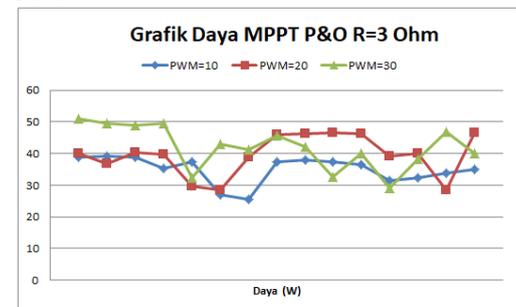
Data Pengujian MPPT P&O (Step = 30 PWM)					
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)
30	3	18,16	17,1	2,98	50,95
		18,19	15,48	3,21	49,69
		17,49	16,41	2,98	48,9
		17,56	16,57	2,99	49,54
		17,83	12,52	2,59	32,42
		19,32	14,45	2,97	42,92
		17,22	13,67	3,02	41,28
		16,32	14,33	3,19	45,71
		14,23	12,98	3,25	42,185

		13,67	11,25	2,91	32,74
		13,97	12,78	2,47	31,61
		20,28	9,52	2,04	19,44
		15,01	12,15	2,36	28,7
		15,23	14,05	2,66	37,32
		15,18	13,99	2,64	36,99
		15,03	13,84	2,62	36,23
		15,25	14,05	2,65	37,3
		15,32	14,1	2,66	37,57
		15,15	13,94	2,63	36,65
		13,8	12,68	2,35	29,77
	5	18,19	17,1	2,05	35,08
		18	16,89	2,04	34,41
		17,9	16,83	2,04	34,32
		17,85	16,73	2,05	34,28
		17,88	14,62	1,82	26,58
		17,88	12,84	1,64	21,01
		17,97	14,89	1,83	27,29
		17,88	16,78	2,02	33,96
		17,9	14,57	1,83	26,72
		19,97	12,26	1,65	20,2
	10	18,19	17,1	2,05	35,08
		18	16,89	2,04	34,41
		17,9	16,83	2,04	34,32
		17,85	16,73	2,05	34,28
		17,88	14,62	1,82	26,58
		17,88	12,84	1,64	21,01
		17,97	14,89	1,83	27,29
		17,88	16,78	2,02	33,96
		17,9	14,57	1,83	26,72
		19,97	12,26	1,65	20,2

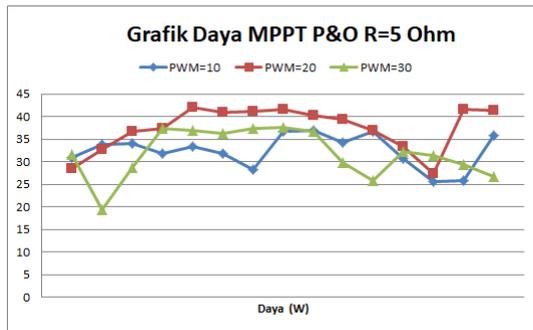
Dari hasil pengujian MPPT P&O pada beberapa tabel di atas, algoritma MPPT P&O dapat men-tracking maksimal hingga 50,95 Watt pada daya maksimal dengan step PWM =30 dan beban R pada 3 ohm. Kualitas dari tracking ditentukan oleh besarnya energi matahari yang ada pada saat pengujian.

Pada pengujian, mengubah step PWM menjadi lebih besar juga menjadi faktor cepat lambatnya tracking pada daya maksimal. Jika semakin besar nilai step PWM, daya maksimal yang dicari akan semakin cepat, namun sistem tidak akan stabil atau naik turunnya akan lebih besar pengaruhnya jika sistem digunakan sebagai charging pada baterai. Jika step PWM bernilai kecil, maka untuk mencapai daya maksimal dibutuhkan beberapa waktu. Ketika sudah mencapai titik maksimalnya, daya akan tetap berisolasi pada titik maksimal bisa lebih ataupun turun akan tetapi lebih stabil.

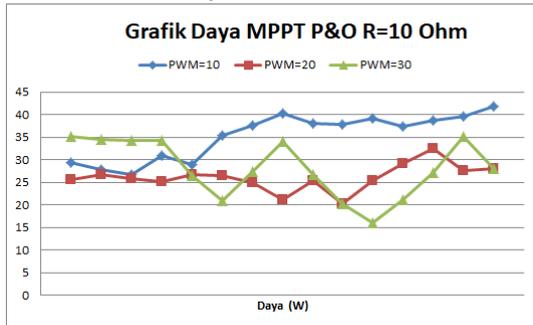
Dari data pengujian tersebut, berikut daya yang dihasilkan dari percobaan MPPT P&O:



Gambar 4.7 : Daya MPPT P&O R = 3 Ohm.

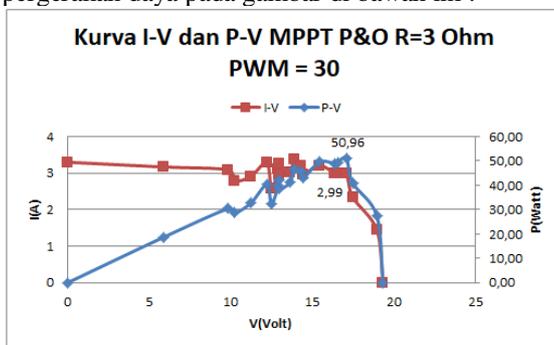


Gambar 4.8 : Daya MPPT P&O R = 5 Ohm.

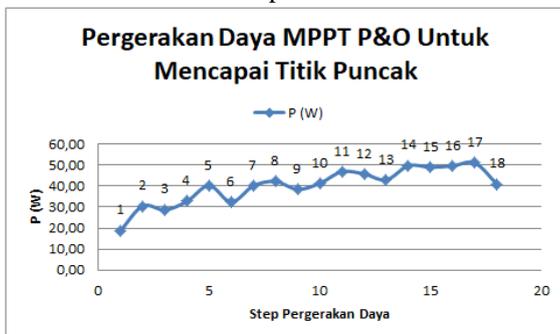


Gambar 4.9 : Daya MPPT P&O R = 10 Ohm.

Dari hasil grafik daya MPPT P&O dan hasil dari pengujian MPPT P&O, didapatkan juga kurva I-V dan P-V dari hasil pengujian yang tertinggi pada metode P&O serta juga didapatkan pergerakan metode yang dihasilkan dari metode P&O. Berikut hasil grafik I-V dan P-V serta pergerakan daya pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.10 : Grafik I-V dan P-V MPPT P&O R=3 Ohm Step=30 PWM



Gambar 4.11 : Pergerakan Daya MPPT P&O Untuk Mencapai Titik Puncak

### 3.2 Pengujian MPPT INC

Pengujian yang dilakukan dalam pengambilan data MPPT INC menggunakan beban yang sama dan step yang sama seperti pengujian MPPT P&O. dengan menggunakan resistor geser 10 Ohm/50 Watt dan dengan step PWM 10-30. Berikut data yang diperoleh pada saat pengujian :

TABEL IX. HASIL PENGUJIAN MPPT INC (Step = 10)

Data Pengujian MPPT INC (Step = 10)							
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)		
10	3	10,62	9,01	2,83	25,49		
		10,72	9,48	2,94	27,91		
		10,74	9,38	2,94	27,53		
		10,34	9,06	2,83	25,64		
		10,17	8,91	2,77	24,7		
		9,86	8,65	2,72	23,55		
		10,34	9,06	2,85	25,82		
		10,38	9,11	2,87	26,19		
		10,57	9,32	2,92	27,27		
		10,74	9,43	2,95	27,81		
		10	5	15,88	14,01	2,44	34,18
				15,86	14,06	2,44	34,3
15,86	14,58			2,54	37,05		
15,84	14,58			2,55	37,13		
15,84	14,58			2,53	36,96		
15,88	14,64			2,56	37,4		
15,55	13,23			2,45	32,46		
15,84	14,64			2,56	37,48		
15,86	14,64			2,57	37,65		
15,84	14,06			2,49	34,96		
10	10			16,57	13,02	1,67	21,77
				16,6	12,92	1,67	21,56
		16	13,54	1,75	23,71		
		16,76	13,7	1,74	24,05		
		16,72	13,89	1,75	24,31		
		16,69	13,91	1,76	24,16		
		16,64	13,85	1,72	23,88		
		16,65	15,57	1,91	29,82		
		16,95	15,89	1,96	31,11		
		16,88	15,83	1,95	30,89		

TABEL X. HASIL PENGUJIAN MPPT INC (Step = 20)

Data Pengujian MPPT INC (Step = 20)					
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)
20	3	10,34	9,11	2,16	19,7
		12,47	10,83	2,69	29,17
		13,99	12,6	2,92	36,78
		14,01	12,6	2,93	36,88
		14,11	11,25	2,74	30,87
		13,18	12,71	2,93	37,27
		13,87	11,51	2,64	30,43
		12,73	11,25	2,55	28,66
		10,76	9,27	2,55	28,66

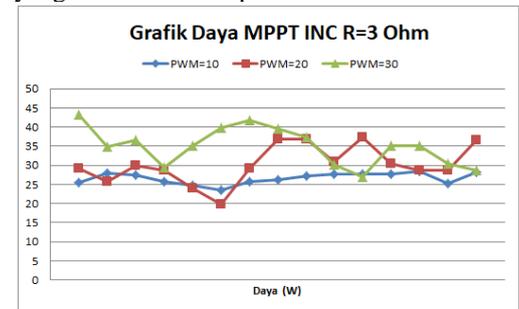
5	13,99	12,55	2,91	36,6	
	12,97	11,67	1,94	22,67	
	14,03	12,71	2,12	26,97	
	14,51	13,23	2,16	28,52	
	13,03	11,88	1,97	23,34	
	15,31	14,01	2,32	32,5	
	15,51	14,17	2,3	32,54	
	15,27	13,96	2,3	32,15	
	15,55	14,22	2,32	33,05	
	15,29	13,96	2,33	33,07	
	15,17	13,85	2,26	31,27	
	10	15,79	14,79	1,84	27,16
		12,49	11,61	1,43	16,56
		15,01	14,01	1,72	24,09
		17,42	16,41	1,97	32,37
		17,61	16,61	2,01	33,39
		17,17	16,09	1,97	31,7
		17,52	16,51	2,02	33,28
		17,61	15,36	1,88	28,91
17,76		15,16	1,87	28,31	
19,46		14,79	1,85	27,35	

TABEL XI. HASIL PENGUJIAN MPPT INC  
(Step = 30)

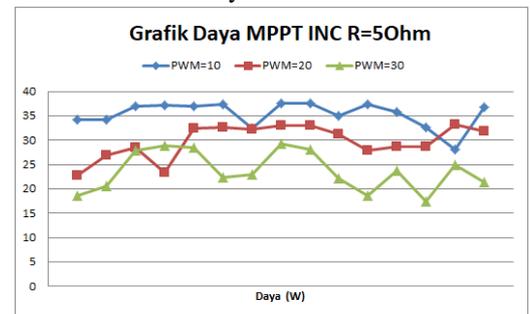
Data Pengujian MPPT INC (Step = 30)					
Step PWM	R (Ohm)	Vin (V)	Vout (V)	I (A)	P (Watt)
30	3	18,35	15,1	2,87	43,33
		20,34	12,5	2,78	34,75
		20,32	12,19	3,01	36,69
		20,32	10,36	2,85	29,52
		20,32	12,4	2,84	35,21
		17,59	14,24	2,79	39,73
		18,24	14,78	2,83	41,83
		15,22	13,28	2,97	39,44
		13,25	12,97	2,87	37,22
		12,75	10,97	2,75	30,16
	5	12,52	9,84	1,89	18,57
		12,97	10,47	1,96	20,56
		13,51	12,34	2,26	27,95
		13,77	12,6	2,29	28,91
		13,82	12,5	2,28	28,44
		13,61	11,04	2,03	22,38
		13,82	11,2	2,05	22,94
		13,94	12,71	2,3	29,22
		13,89	12,5	2,25	28,12
		12,3	11,15	1,98	22,1
	10	18,37	15,26	1,69	25,81
		20,27	12,66	1,47	18,65
		17,97	10,78	1,28	13,81
		17,92	12,97	1,48	19,17
		17,95	10,78	1,28	13,85
		17,97	10,83	1,28	13,88
		20,27	9,9	1,27	12,61
		17,95	12,4	1,45	17,96
		20,25	10,36	1,27	13,14
		20,27	10,16	1,28	12,98

Dari hasil pengujian MPPT INC pada beberapa tabel di atas, algoritma MPPT INC dapat mencari daya maksimalnya hingga 43,33 Watt dengan Step PWM = 30 dan beban yang digunakan 3 Ohm. Kondisi cahaya matahari merupakan faktor utama proses pencarian daya maksimal pada saat pengujian.

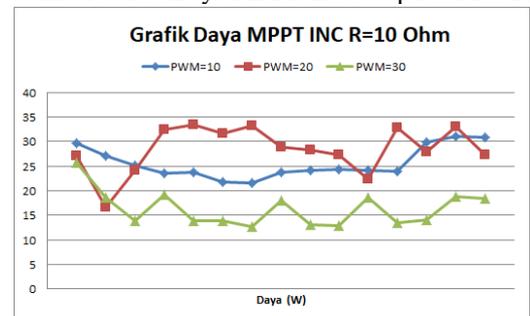
Dari data pengujian tersebut, berikut daya yang dihasilkan dari percobaan MPPT INC :



Gambar 4.12 : Daya MPPT INC R = 3 Ohm

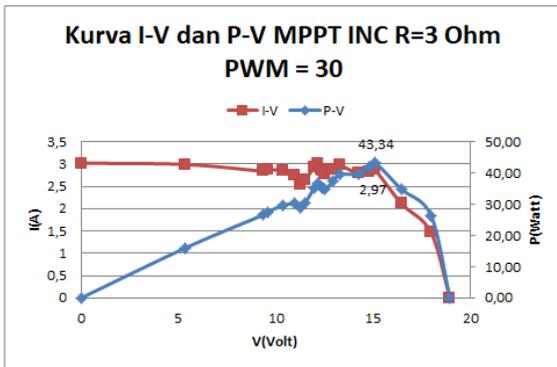


Gambar 4.13 : Daya MPPT INC Step PWM = 20

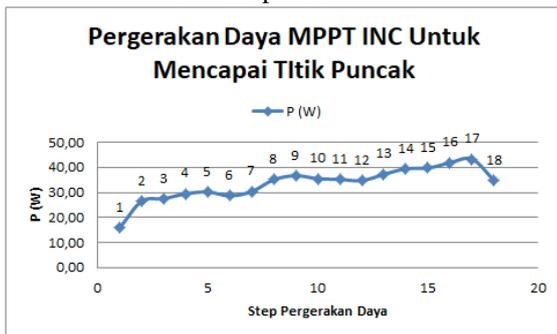


Gambar 4.14 : Daya MPPT INC Step PWM = 30

Dari hasil grafik daya MPPT INC dan hasil dari pengujian MPPT INC, didapatkan juga kurva I-V dan P-V dari hasil pengujian yang tertinggi pada metode INC serta juga didapatkan pergerakan metode yang dihasilkan dari metode INC. Berikut hasil grafik I-V dan P-V serta pergerakan daya pada gambar di bawah ini :



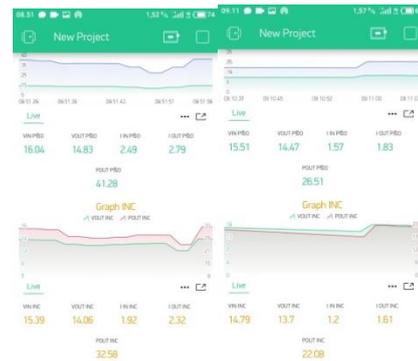
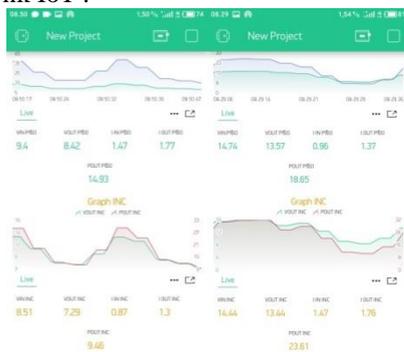
Gambar 4.15 : Grafik I-V dan P-V MPPT INC R=3 Ohm Step = 30 PWM



Gambar 4.16 : Pergerakan Daya MPPT INC Untuk Mencapai Titik Puncak

#### 4. Pengambilan data IoT Blynk

Dalam pengambilan data menggunakan IoT blynk sebagai sistem monitoring dari kedua MPPT tersebut dengan menggunakan aplikasi yang terdapat pada smartphone. Pada pengujian ini, termasuk pengujian dari modul server dalam mengirim data ke server blynk agar dapat menampilkan parameter-parameter yang telah deprogram. Berikut merupakan beberapa gambar cuplikan dari aplikasi blynk IoT :



Gambar 4.13 : Hasil *screenshot* aplikasi Blynk

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pengujian dan analisa data, maka dapat disimpulkan diantaranya yaitu :

1. Pada percobaan menggunakan sensor tegangan dengan menggunakan modul sensor tegangan dan rangkaian pembagi tegangan memiliki nilai error yang tidak jauh berbeda karena pada prinsip kerja dari kedua sensor juga sama. Nilai error rata-rata pada modul sensor tegangan sebesar 0.59 % dan pada rangkaian pembagi tegangan sebesar 0.47%.
2. Pada pengujian buck converter dengan menggunakan input sumber power supply DC dengan mengubah nilai PWM 10-99 % semakin tinggi nilai PWM yang digunakan maka nilai output akan semakin besar. Tetapi nilai output tidak akan melebihi nilai input, karena pada prinsip kerja buck converter yaitu menurunkan tegangan input. Untuk nilai PWM maksimal buck converter yaitu 99% dan nilai input minimal yang digunakan sebesar 10V sesuai dengan datasheet dari Mosfet Driver IR2111.
3. Pada pengujian tiap modul MPPT : P&O dan INC, pada MPPT P& O mampu mencari nilai titik maksima hingga 50,95 Watt pada beban sekian 3 Ohm dan Step PWM = 30. Pada MPPT INC dapat mencari daya maksimal hingga 43,33 Watt pada beban 3 Ohm dan Step PWM = 30.
4. Pada pengujian MPPT P&O dan INC, pengaruh besar kecilnya beban yang digunakan akan mempengaruhi nilai arus yang keluar solar panel. Semakin besar nilai beban (R) yang digunakan, semakin kecil arus yang keluar. Jika

- semakin kecil nilai beban (R) yang digunakan, semakin besar nilai arus yang keluar.
5. Pada pengujian MPPT P&O dan INC, pengaruh dari diubahnya step PWM yang digunakan pada algoritma, mempengaruhi kecepatan suatu pencarian daya maksimal. Jika step PWM yang digunakan tinggi, pencapaian daya maksimal akan semakin cepat. Namun fluktuasi dari perubahan daya maksimal juga akan semakin besar. Jika step PWM yang digunakan rendah, pencarian daya maksimal akan semakin lambat. Namun ketika daya maksimal tercapai, sistem akan berada disekitar titik maksimal dan lebih stabil.
  6. Perbedaan pada MPPT P&O dan INC yaitu pada isi dari algoritma tersebut. P&O mampu mencari daya maksimal dengan cepat karena pada isi dari algoritma tersebut tidak sekompleks dari INC. Pada algoritma P&O hanya membandingkan perbedaan daya sekarang, dan daya sebelumnya. Dan pada INC membandingkan daya sekarang dan daya sebelumnya, tegangan sekarang dan tegangan sebelumnya, arus sekarang dan arus sebelumnya. Namun pada algoritma P&O, daya yang dihasilkan tidak se-stabil pada algoritma INC. Dapat disimpulkan bahwa P&O lebih cepat dalam mencari nilai maksimal, dan algoritma INC lebih stabil ketika telah mencapai nilai maksimal.
  7. Dalam pengujian modul server (IoT), sistem dapat bekerja dengan menggunakan protokol I<sup>2</sup>C dengan lancar. Kekuatan sinyal yang digunakan pada modul server, mempengaruhi kecepatan pengiriman data dan penampilan data pada aplikasi.

#### REFERENSI

- [1] Yejee Choi, Monineath Khun, Giselle Verbera. March 23<sup>th</sup>, 2017. WORCHESTER POLYTECHNIC INSTITUTE : “*Maximum Power Point Tracking*”.
- [2] Roshan Kini, Geetha Narayanan, Aditya Dalvi. Jan (2014). IJRET (*International Journal of Research in Engineering and Technology*) “*Comparative Study and Implementation of Incremental Conductance Method and Perturb and Observe Method with Buck Converter By Using Arduino*”
- [3] B Abdelilah, A Mouna, N KouiderM’Sirdi, A El Hossain. IOP Conf. Series : Material Science and Engineering 353 (2018) 012024. “*Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controller using Arduino*”.
- [4] Ananya Dutta, Niloy Barua, Aninda Saha. A Thesis Submitted to the Department of Electrical and Electronic Engineering of BRAC University (2016). “*Design of an Arduino based Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controller*”.
- [5] Admin. (2019, November 5). *Interfacing ACS712 Current Sensor With Arduino*. Dipetik November 10, 2019, dari NN DIGITAL: <https://www.nn-digital.com/en/blog/2019/11/05/interfacing-ac712-current-sensor-with-arduino/>
- [6] Cornelam. (2009, November 15). *I2C Between Arduinos*. Dipetik Oktober 30, 2019, dari instructables circuit: <https://www.instructables.com/id/I2C-between-Arduinos/>
- [7] electricityofdream. (2016, September 16). *Tutorial Arduino Mengukur Tegangan Dengan Modul Sensor Tegangan*. Dipetik Oktober 30, 2019, dari Electricity Of Dream: <http://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/tutorial-mengukur-tegangan-dengan-modul.html>
- [8] Faudin, A. (2017, September 16). *Cara mengakses modul display LCD 16x2*. Dipetik November 1, 2019, dari Nyebarilmu.com: <https://www.nyebarilmu.com/cara-mengakses-modul-display-lcd-16x2/>
- [9] Kho, D. (2019, Agustus 20). *Komponen Elektronika*. Dipetik Oktober 29, 2019, dari Teknik Elektronika: <https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/>
- [10] Munandar, A. (2012, Juni 27). *Liquid Crystal Display (LCD) 16x2*. Dipetik November 1, 2019, dari LES ELEKTRONIKA: <http://www.leselektronika.com/2012/06/liquid-crystal-display-lcd-16-x-2.html>
- [11] Ng, A. (2018, Februari 26). *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)*. Dipetik Oktober 29, 2019, dari netSolar ENERGY EVOLVED: <https://netsolar.wordpress.com/2018/02/26/maximum-power-point-tracking-mppt/>
- [12] Ngabei, J. d. (2012, November 25). *DC Chopper Tipe Buck (Buck Converter)*. Retrieved 29 Oktober, 2019, from Jendela

dan Ngabei:  
<http://jendeladenngabei.blogspot.com/2012/11/dc-chopper-tipe-buck-buck-converter.html>

- [13] Sejati, P. (2011, Agustus 25). *Mengenal Komunikasi I2C (Inter Integrated Circuit)*. Dipetik Oktober 30, 2019, dari Purnomo Sejati:  
<https://purnomosejati.wordpress.com/2011/08/25/mengenal-komunikasi-i2cinter-integrated-circuit/>
- [14] sinuarduino. (2016, April 6). *Modul Wifi ESP8266*. Dipetik November 1, 2019, dari SINAU ARDUINO:  
<http://www.sinuarduino.com/artikel/esp8266/>
- [15] Sitepu, J. (2019, Februari 26). *Macam Macam Sensor Arus pada Rangkaian Elektronik*. Dipetik Oktober 30, 2019, dari MikroAvr: <https://mikroavr.com/macam-macam-sensor-arus/>
- [16] SM. (2017, Januari 11). *Arduino MEGA 2560*. Dipetik Oktober 29, 2019, dari Arduino:  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>
- [17] Surya, S. C. (2019, September 20). *Pengertian Sel Surya (Solar Cell) dan Prinsip Kerjanya*. Dipetik Oktober 29, 2019, dari Solar Cell Surya:  
<https://www.solarcellsurya.com/manfaat-panel-surya/>
- [18] Wikipedia. (2019, Oktober 20). *Buck Converter*. Dipetik Oktober 29, 2019, dari Wikipedia The Free Encyclopedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Buck\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter)
- [19] Yulias, Z. (2013, September 26). *Arduino Mega 2560*. Dipetik Oktober 30, 2019, dari Famosa Studio Blog:  
<http://blog.famosastudio.com/2013/09/produk/arduino-mega-2560/531>