

# Implementasi Sistem Kontrol dan Proteksi Pembangkit *Photovoltaic* Skala Kecil

Muhammad Halim Prayogo  
1512002  
muhammadprayogohalim@gmail.com

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

**Abstract**— Perkembangan penerapan pembangkit listrik energi terbarukan saat ini berkembang pesat, terutama untuk pembangkit listrik tenaga surya (*Photovoltaic*) yang memanfaatkan sumber energi matahari untuk membangkitkan listrik. Selain biaya pemakaian yang murah, perawatan yang mudah juga salah satu alasan mengapa *Photovoltaic* banyak diminati oleh kalangan masyarakat. Dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya yang mengandalkan energi matahari yang tidak menentu maka dibutuhkan suatu sistem kontrol pada *Photovoltaic* menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk melacak titik daya maksimum pada *Photovoltaic* dan juga dibutuhkan sistem proteksi pada *Photovoltaic* menggunakan *Circuit Breaker* untuk melindungi sistem *Photovoltaic* dari gangguan arus lebih. Sebelum dilakukan Implementasi sistem Kontrol dan Proteksi *Photovoltaic* 800 Watt terlebih dahulu dilakukan simulasi sistem menggunakan *software* PSCAD. Dengan menjalankan simulasi sistem menggunakan *software* PSCAD diketahui bahwa sistem kontrol menggunakan MPPT *Photovoltaic* dapat mengeluarkan daya maksimum dan Tegangan output yang konstan menuju *Inverter* dan beban yaitu motor induksi 1 fasa, simulasi sistem proteksi juga dapat melindungi sistem *Photovoltaic* dari gangguan arus lebih yang berasal dari beban.

**Kata Kunci**— *Photovoltaic*, *Maximum Power Point Tracking*, *Circuit Breaker*.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar untuk pembangkit listrik di Indonesia mayoritas menggunakan bahan bakar fosil yang semakin lama akan menipis, penggunaan energi fosil juga mempunyai gas buang yang mengakibatkan dampak pencemaran lingkungan serta polusi. Sehingga dibutuhkan energi alternatif yang bersumber dari energi terbarukan.

Indonesia terletak di daerah tropis yang kaya akan energi, diantaranya surya, angin serta hidro. Karena musim tropis di Indonesia sangat panjang maka pancaran sinar matahari cukup lama, untuk mengatasi kebutuhan listrik di daerah terpencil di Indonesia yang tidak terjangkau oleh PLN dibutuhkan pembangkit energi terbarukan diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi dengan kilau rata-rata 6-7 jam per hari dengan durasi irradiasi ideal yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik melalui panel surya selama 5-6 jam per hari [10].

Dalam penelitian dianalisis suatu pembangkit *photovoltaic* dengan kapasitas 1 kW dengan

menggunakan MPPT sebagai kontrol untuk memaksimalkan daya keluaran *photovoltaic*, mengingat radiasi matahari dalam penelitian tidak merata, maka digunakan sistem kontrol MPPT untuk mengontrol besaran Arus dan Tegangan sehingga dapat melayani beban secara konstan. Serta untuk memenuhi persyaratan suatu sistem pembangkit listrik akan dilakukan pemasangan suatu sistem proteksi menggunakan *circuit breaker* untuk melindungi sistem *photovoltaic* dari gangguan arus lebih.

Dengan adanya penelitian sistem *photovoltaic* skala kecil ini diharapkan dapat merancang suatu pembangkit dengan kapasitas besar untuk dapat melayani kebutuhan listrik pedesaan. Dalam penelitian ini pengujian terhadap daya luaran dari *photovoltaic* pada beban motor induksi 1 fasa, dengan demikian untuk menjaga besaran arus dan tegangan sebagai luaran sistem *photovoltaic*.

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merangkai *Maximum Power Point Tracking* sebagai sistem kontrol output *Photovoltaic* pada *software* PSCAD.
2. Bagaimana cara merangkai *Circuit Breaker* untuk melindungi sistem *Photovoltaic* dari gangguan menggunakan *software* PSCAD.

### C. Tujuan

1. Pemasangan *Maximum Power Point Tracking* sebagai sistem kontrol untuk mendapatkan daya maksimal dari modul *photovoltaic*.
2. Untuk mendapat unjuk kerja dari *Circuit Breaker* pada saat melakukan proteksi terhadap arus lebih yang terjadi pada sistem *photovoltaic*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel Surya (*photovoltaic*) merupakan alat pengubah panas matahari menjadi energi listrik. Sel surya dibuat dari bahan semikonduktor sehingga menimbulkan aliran fluks ion negatif antara kutub N-P ketika mendapatkan panas yang dihasilkan oleh sinar matahari. Dengan aliran ion negatif yang kontinu maka arus listrik dalam modul sel surya mengalir.

Terdapat model sel surya yang berbeda satu sama lain dalam hal teknik produksi seperti *Monocrystalline*, *Polycrystalline* dan *Thin Film*.

Ketika model tersebut mengubah sinar matahari menjadi energi listrik dengan laju yang berbeda. Sel *monocrystalline* diproduksi dengan 15-22,5%, sel *polycrystalline* dengan 14-16%, *Thin Film* dengan hasil 9-11%[9].

Potensi tenaga surya di Indonesia cukup tinggi (sebagai negara tropis) dengan intensitas 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Intensitas radiasi sinar matahari dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Produksi energi surya pada suatu daerah dapat dihitung sebagai persamaan (1):

$$E = I \times A \quad (1)$$

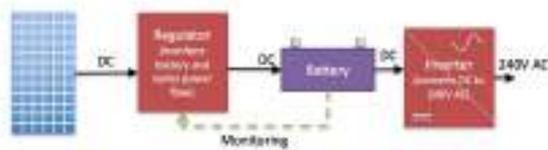
Dimana:

E = Energi surya yang dihasilkan (W)

A = Luas area (m<sup>2</sup>)

I = Isolasi/Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam (W/m)

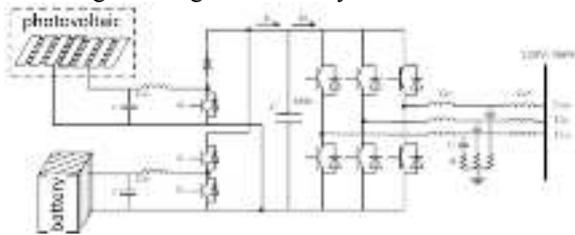
Sistem Pembangkit Listrik tenaga Surya terdiri dari modul Solar Cell, Baterai/Aki, Regulator, Inverter dan Kabel Instalasi[1].



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Photovoltaic [Hasan, Hasnawiya, 2012]

### B. Teori Kerja Photovoltaic

Model *photovoltaic* yang sering digunakan ditunjukkan pada gambar di bawah ini, yang meliputi baterai penyimpanan, inverter, kontrol dan filter. Pola DC/DC memastikan aliran dua arah energi dengan menggunakan pengontrol, pola DC/AC mengubah daya DC menjadi daya AC, dan kemudian dihubungkan dengan sistem daya melalui filter.



Gambar 2. Model Photovoltaic

Dalam operasi sistem tenaga, *photovoltaic* dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan, yaitu:

1. Penurunan tegangan konduktor antara baterai dapat diabaikan.
2. Arus hubung singkat hanya didasarkan pada radiasi dan suhu.
3. Tegangan rangkaian terbuka *photovoltaic* terkait dengan suhu lokasi.
4. Suhu *photovoltaic* hanya didasarkan pada suhu sekitar.
5. Dalam kisaran suhu operasi dan suhu sekitar, resistansi seri dan dioda baterai konstan.

Berdasarkan asumsi tersebut, model elemen *photovoltaic* dapat dibangun oleh elemen arus fotoproduksi ( $I_{ph}$ ) dan dioda ( $I_s$ ). Karakteristik volt-ampere dapat dinyatakan dalam persamaan (2).

$$I = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

Dimana :

q = Muatan elektron

k = Konstanta Boltzman

T = Suhu absolut *photovoltaic*

A = Koefisien kecocokan karakteristik dioda

Rs = Resistansi seri *photovoltaic*

Rh = Resistansi parallel *photovoltaic*

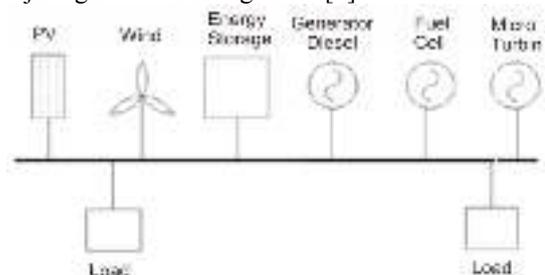
Karakteristik eksternal V-I dan P-U dari *photovoltaic* ditunjukkan dalam gambar 3, arus keluaran tetap konstan sedangkan tegangan *photovoltaic* meningkat. Tetapi ketika tegangan meningkat menjadi sekitar 70 V, arus menurun seiring dengan meningkatnya tegangan. Terdapat titik daya output maksimal pada kurva PV *photovoltaic* yang merupakan tegangan maksimal sementara arus maksimal. Photovoltaic seharusnya diperasikan pada titik ini untuk memanfaatkan efisiensi baterai[5].



Gambar 3. Arus dan Daya diubah Oleh Tegangan

### C. Microgrid

*Micro-Grid* terdiri dari sumber daya energi terdistribusi, beban distribusi dan perangkat penyimpanan energi. *Micro-Grid* menggunakan teknologi elektronika daya untuk mencapai konversi dan kontrol energi. *Micro-Grid* biasanya menggunakan berbagai teknologi pembangkitan berdistribusi bersama, seperti teknologi Hybrid *Photovoltaic*-Turbin Angin dan penyimpanan energi sehingga mencapai pemindahan beban puncak, mengoptimalkan dan meningkatkan efisiensi energi, dan menghambat ketidakpastian daya *photovoltaic* dan pembangkit angin, oleh karena itu kualitas daya di jaringan mikro ditingkatkan[2].



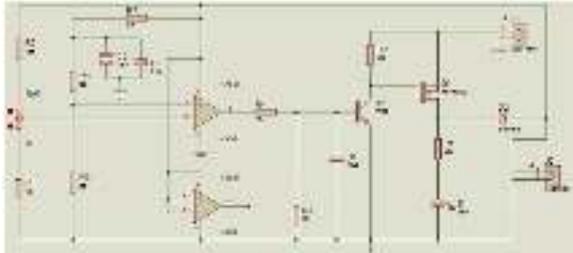
Gambar 4. Sistem Kelistrikan Microgrid

### D. Solar Charge Controller

*Solar Charge Controller* adalah komponen untuk pembangkit listrik tenaga surya, memiliki fungsi sebagai pengisian baterai (kapan baterai diisi dan menjaga pengisian baterai) dan untuk mengatur

Gambar 6 dan 7 menunjukkan karakteristik I-V dan P-V masing-masing modul PV 50 Watt Peak. Karakteristik kelistrikan dari modul PV dijelaskan pada Tabel 1.

arus listrik yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar. *Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari 1 *input* (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya, 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai atau aki, dan 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai biasanya tidak mungkin masuk ke panel surya karena ada *diode protection* yang hanya melewati arus listrik DC dari panel surya ke baterai[7].



Gambar 5. Diagram Sirkuit Solar Charge Controller

Diagram sirkuit *solar charge controller* menggunakan komponen elektronik analog untuk mengontrol aliran muatan dari panel surya ke baterai. RFP30P05 P-channel MOSFET digunakan untuk mengisi baterai. RFP30P05 memiliki rating sekitar 20 ampere. Artinya MOSFET ini dapat dengan mudah melewatkan arus hingga 20 ampere.

Penguat operasional LM358 digunakan untuk menghidupkan atau mematikan saluran P MOSFET saat baterai diisi hingga 13,6 volt. Ketika baterai diisi hingga 13,6 volt, LM358 mematikan MOSFET dengan memberikan sinyal rendah ke resistor R4. LM358 digunakan untuk membandingkan tegangan baterai melalui pembagi tegangan yang terhubung ke pin pembalik dan non-pembalik penguat operasional LM358. Input panel surya dihubungkan menuju konektor J1 dan terminal baterai dengan konektor J2. LED D1 menunjukkan status pengisian.

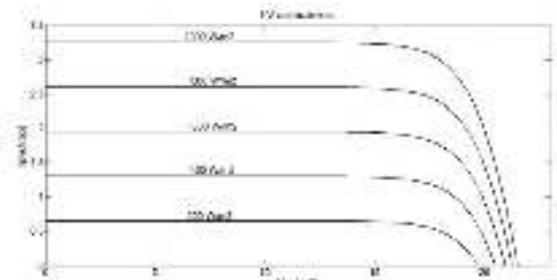
**E. MPPT (Maximum Power Point Tracking)**

Secara alami, masalah PV adalah daya listrik yang dihasilkan tergantung pada kondisi cuaca. Modul PV memiliki karakteristik non-linear dari hubungan arus tegangan (I-V). Dalam kurva I-V, ada titik dimana daya maksimum untuk kondisi iradiasi tertentu. Oleh karena itu, untuk mencapai efisiensi maksimum, perlu untuk melacak titik daya maksimum ini disebut MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)[8]. *Maximum Power Point* MPP sel PV berubah setiap kali ada perubahan kondisi cuaca. Tegangan keluaran sel PV dipengaruhi oleh suhu sel dan arus yang dihasilkan oleh sel PV dipengaruhi oleh tingkat iradiasi matahari[4].

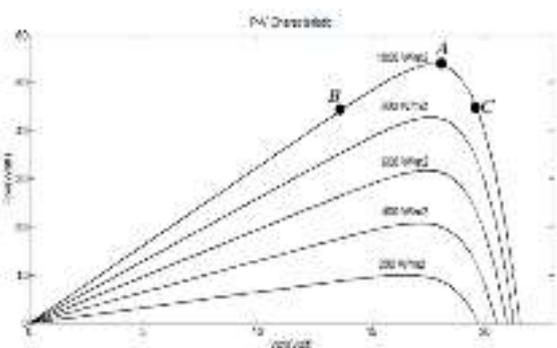
Ada banyak teknik MPPT yang dapat ditemukan dalam literatur, diantaranya: Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance, Logika Fuzzy dan Jaringan Syaraf Tiruan. Metode P&O banyak digunakan karena kesederhanaan dan mudah diimplementasikan. Metode ini mengganggu titik operasi PV dengan menambah atau mengurangi tegangan PV untuk menemukan titik daya maksimum.

Tabel 2.1. Karakteristik Kelistrikan Modul PV (Tingkat Cahaya Standar 1000 W/m<sup>2</sup>)

Variable	Level
Pmax (W)	50 ± 5%
Vpm (V)	17.5 ± 5%
Ipm (A)	2.86 ± 5%
Voc (V)	21.5 ± 5%
Isc (A)	3.25 ± 5%



Gambar 6. Karakteristik I-V pada Modul Photovoltaic



Gambar 7. Karakteristik P-V pada Modul Photovoltaic

Mengamati Gambar 7, untuk tingkat iradiasi matahari tertentu (misalnya 1000 Watt/m<sup>2</sup>), titik A adalah titik daya maksimum. Pada titik ini menghasilkan persamaan (3).

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (3)$$

Ketika titik operasi berubah menjadi B atau C, persamaannya dinyatakan dalam persamaan (4) dan (5) masing-masing:

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

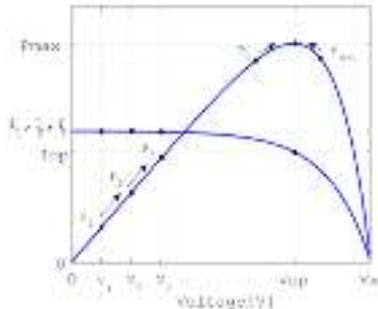
$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (5)$$

Tujuan dari teknik MPPT adalah untuk melacak titik operasi ke titik maksimum (Titik A)[8].

**F. Metode Perturb and Observe**

Terdapat berbagai metode untuk menghitung titik daya maksimum. Yang paling umum digunakan adalah P&O (Gambar 6). Dalam metode ini, tegangan terganggu (diubah) dan daya output diukur untuk

bagai tahap gangguan. Selanjutnya, output dibandingkan dengan nilai-nilai sebelumnya dan tegangan terganggu sesuai untuk memastikan titik daya maksimum. Dengan demikian, algoritma harus mencari melalui seluruh rentang tegangan panel. Dimungkinkan untuk meningkatkan pencarian titik ini mengurangi wilayah pencarian. Untuk membatasi pencarian yang dilakukan oleh algoritma P&O ditemukan 2 batasan.

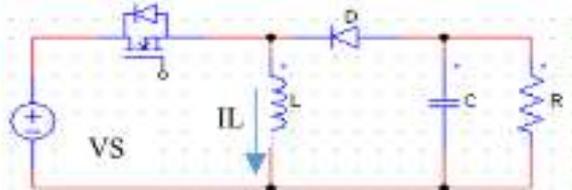


Gambar 6. Teknik *Perturb and Observe*

Untuk menemukan batas rendah digunakan metode yang disebut *Linear Reoriented Coordinates Method* (LRCM). Metode ini digunakan untuk menghitung perkiraan yang sangat dekat dari titik maksimum suatu fungsi. Dalam hal ini, algoritma ini digunakan untuk menghitung batas bawah untuk pencarian yang dilakukan oleh metode P&O. Di sisi lain, untuk batas tinggi, pendekatan linier arus panel surya berdasarkan efisiensinya ditetapkan. Dengan demikian, kisaran keberadaan  $V_{op}$  atau titik lutut berkurang antara dua batas ini[3].

### G. Buck-Boost Converter

Konverter *buck-boost* dapat menghasilkan tegangan output yang lebih rendah atau lebih tinggi dari sumbernya. Skema konverter ini dapat dilihat pada gambar 7.

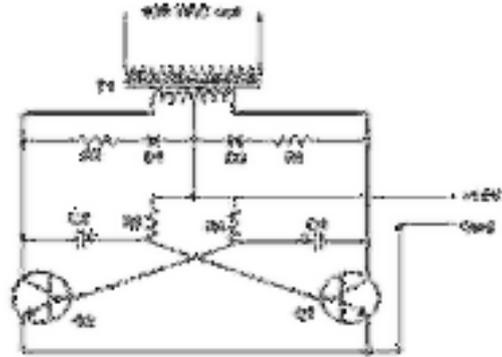


Gambar 7. Topologi Switching Konverter *Buck-Boost*

*Switching power control circuit* akan memberikan sinyal ke MOSFET. Ketika MOSFET dalam posisi OFF maka arus akan mengalir ke induktor, energi yang tersimpan dalam induktor akan naik. Ketika MOSFET dalam posisi ON, energi dalam induktor akan turun dan arus mengalir ke beban. Nilai rata-rata dari tegangan keluaran akan sesuai dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan saklar. Hal ini membuat topologi dapat menghasilkan nilai rata-rata tegangan output / beban bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan sumber. Masalah yang ada pada *buck-boost converter* diperlukan induktor dan filter dan kapasitor yang besar pada sisi input dan output, karena topologi konverter seperti ini menghasilkan arus riak yang sangat tinggi[11].

### G. Inverter DC ke AC

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter mengkonversi sumber DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / *solar cell* menjadi AC untuk selanjutnya dinaikkan tegangannya menggunakan transformator kemudian dihubungkan menuju beban.



Gambar 8. Rangkaian Sirkuit Inverter DC ke AC

Pada rangkaian Inverter DC ke AC tegangan mengalir melalui R1 dan R2 yang intinya menuju kapasitor, masing-masing kapasitor yaitu C1 dan C2 mulai dalam pengisian muatan-muatan listrik, dalam pengisian muatan-muatan listrik ini bergantung pada besarnya arus yang mengalir melalui R1 dan R2 sebesar 12 Volt DC, sedangkan Q1 dan Q2 dihubungkan dengan ground. Misalnya dipilih C2 lebih dulu mengisi muatan-muatan listrik, dan lebih dahulu untuk melepaskan muatan-muatan listriknya untuk mengalir menuju basis transistor Q1 yang kemudian menyulutnya sehingga transistor Q1 menjadi aktif dan menghantarkan arus dari kolektor ke emitornya.

Selama proses tersebut berlangsung kapasitor C1 masih dalam pengisian muatan-muatan listrik, sampai saat transistor Q1 mulai dalam kondisi penjuanan dan menuju cut off. Ketika kapasitor C1 sudah terisi muatan listrik, dan transistor Q1 masuk ke kondisi cut off, kapasitor C1 mulai melepaskan muatan-muatan listriknya menuju basis Q2, tegangan yang ada pada basis Q2 menyulut basisnya mengakibatkan transistor Q2 menjadi aktif untuk menghantarkan tegangan kolektor menuju emitornya. Bersamaan dengan peristiwa tersebut Q2 sedang dalam pengisian muatan-muatan listrik, dan arus yang mengalir melewati R1 lewat menuju resistor R2 untuk menyulut basis dari transistor Q2, dan mengaktifkannya untuk menghantarkan tegangan. Lalu tegangan yang mengalir dari C1 dan C2 masuk melalui Dioda R1 dan R2. Setelah itu tegangan searah diubah menjadi tegangan bolak-balik, T1 berfungsi sebagai penaik arus maupun tegangan.

### H. Circuit Breaker

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis yang mampu mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal, serta mampu memutus arus beban

dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat.

Circuit Breaker (CB) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti termis, efek magnetis dan dinamis stability.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain[6].

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Circuit Breaker (CB) agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, sehingga tidak membuat sistem kehilangan kestabilan dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

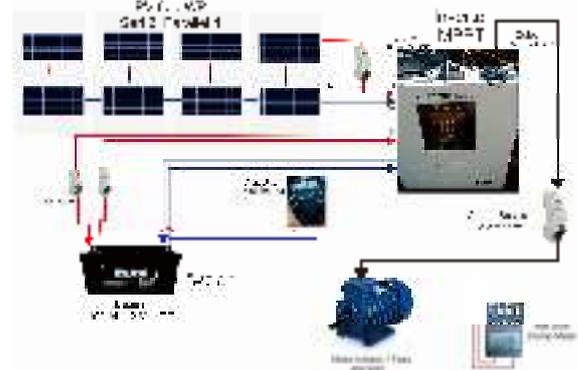
### III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah implementasi sistem kontrol dan proteksi *Photovoltaic* pada Gedung Lab Teknik Elektro ITN Malang dengan memodelkan single line diagram sistem *Photovoltaic* menggunakan *software PSCAD EMTDC*. Implementasi sistem kontrol yaitu dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking* dan implementasi sistem proteksi menggunakan *Circuit Breaker*.

Penelitian ini dilaksanakan di Gedung Lab Teknik Elektro Kampus 2 ITN Malang, sistem *Photovoltaic* digunakan untuk menggerakkan motor induksi 1 fasa.

1. Kajian literatur.
2. Perancangan sistem *photovoltaic* 800 Watt.
3. Pengumpulan data dan gambar *single line* sistem kelistrikan *photovoltaic*.
4. Memodelkan sistem *photovoltaic* menggunakan *software PSCAD*.
5. Menjalankan simulasi *Maximum Power Point Tracking* untuk kontrol *input inverter* agar konstan 12 Volt dan menuju beban 220 Volt.
6. Memasang sistem kontrol *Maximum Power Point Tracking* pada pembangkit *photovoltaic*.
7. Menjalankan simulasi dengan penempatan *Circuit Breaker* untuk melindungi *photovoltaic* dari gangguan arus > 2 Ampere.
8. Memasang sistem proteksi *Circuit Breaker* pada pembangkit *photovoltaic*.
9. Apabila sistem *photovoltaic* sudah bisa tersambung oleh beban dengan output 220 Volt dan sistem proteksi dapat memutuskan arus gangguan > 2 Ampere maka akan didapatkan hasil analisa.

### A. Desain Sistem

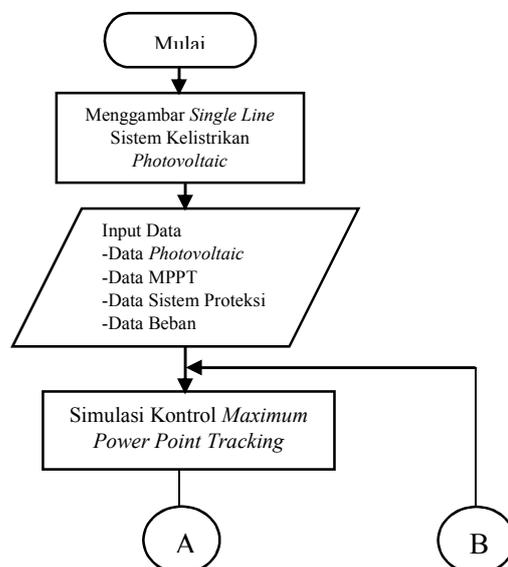


Gambar 7. Skema Alat Penelitian

#### ➤ Penjelasan Penyusunan Alat:

1. Photovoltaic sejumlah 8 masing-masing berkapasitas 100 Wp dihubung seri 2, parallel 4 menghasilkan tegangan 34 Volt, kabel output *Photovoltaic* dihubungkan menuju input Inverter MPPT.
2. Input Inverter MPPT yaitu 15-50 Volt DC.
3. Untuk penyimpanan daya cadangan pada saat tidak ada cahaya matahari digunakan Baterai dengan kapasitas 100 Ah 12 Volt, Pada Baterai dihubung alat multimeter, apabila terukur 12 Volt artinya baterai terisi penuh.
4. Output Inverter MPPT Menghasilkan Tegangan Output 220 Volt sinus murni.
5. Sebelum dihubung beban motor induksi 1 fasa, saluran dihubungkan *circuit breaker* dengan kaasitas 2 Ampere untuk sistem proteksi *photovoltaic*.
6. Setelah sistem proteksi terhubung, motor induksi 1 fasa dapat dihubungkan, pada pengukuran menggunakan alat ukur tang ampere, saluran menuju beban terukur dengan Daya 110 Watt, Tegangan 220 Volt dan Arus 0.52 Ampere.

### B. Flow Chart



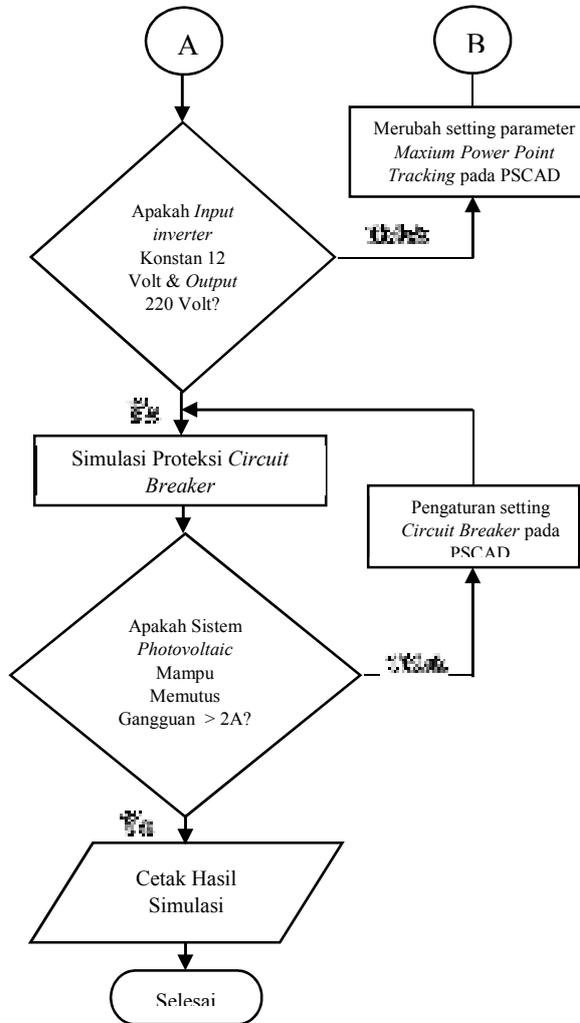
PV Charger	40 A (Max)
------------	------------

Tabel 3. Spesifikasi Sistem Proteksi *Photovoltaic*

Spesifikasi Circuit Breaker 1 Fasa	
Merk Circuit Breaker	: Broco
Rating Tegangan	: 230 Volt
Rating Arus	: 2 Ampere
Daya Maksimal	: 450 Watt

Tabel 4. Spesifikasi Beban *Photovoltaic*

Spesifikasi Motor Induksi 1 Fasa	
Merk Motor	: SHIMIZU
Model	: PS-226 BIT
Tegangan Input	: 220 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Kecepatan	: 2900 rpm
Daya	: 484 Watt
Arus	: 2.2 Ampere



Gambar 8. Flow Chart

#### IV. HASIL SIMULASI

##### A. Single Line Diagram Photovoltaic Off Grid



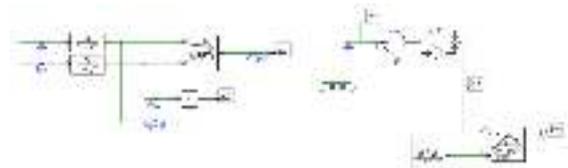
Berikut adalah data-data yang didapat dari sistem *photovoltaic* gedung lab Teknik Elektro ITN Malang.

Tabel 1. Spesifikasi Modul Sel Surya

Spesifikasi Modul GSE Solar Panel	
Solar Module Type	: SP00-12 P
Maximum Power (Pmax)	: 100 Watt
Open-Circuit Voltage (Voc)	: 21,24 V
Short-Circuit Currents (Isc)	: 6,31 A
Voltage at Pmax (Vmp)	: 18 V
Current Pmax (Imp)	: 5,56 A
Power Tolerance	: ±3%
Maximum System Voltage	: 1000 V
Irradiance	: 1000 W/m <sup>2</sup>
Module Temperature	: 25°C

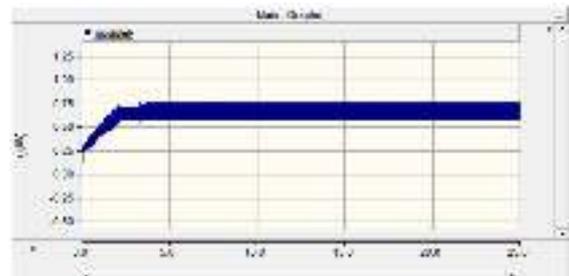
Tabel 2. Spesifikasi Sistem Kontrol *Photovoltaic*

Spesifikasi Solar Pro SPCI-800	
Power Capacity	800 W
Output	220 V, 50 Hz / 60 Hz

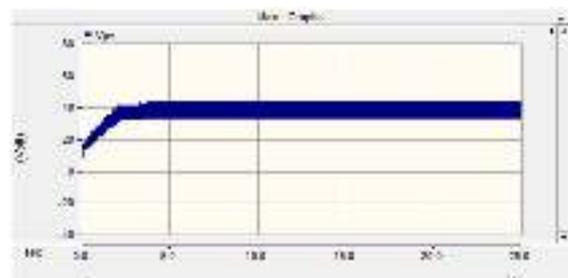


Gambar 9. Rangkaian Kontrol MPPT PSCAD

Berikut adalah hasil simulasi kontrol MPPT.



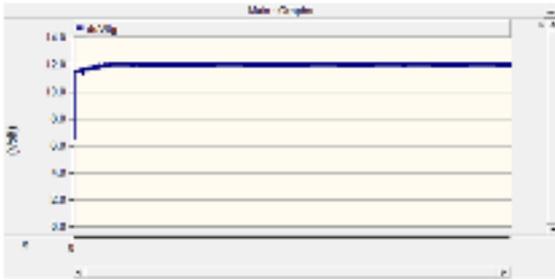
Gambar 10. Tampilan Daya Sel Surya



Gambar 11. Tampilan Tegangan Output Sel Surya

**C. Simulasi Sistem Proteksi Menggunakan *Circuit Breaker* Pada PSCAD**

Simulasi penempatan *circuit breaker* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem mampu menghindari gangguan arus lebih dan melindungi peralatan sistem *Photovoltaic*.

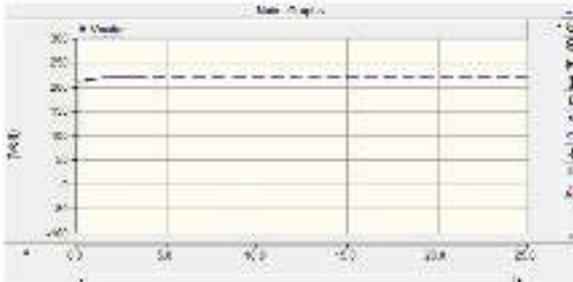


Gambar 12. Tampilan Tegangan DC Input Inverter

Dari Gambar 11. Diketahui bahwa *photovoltaic* dengan kapasitas 100 Wp sejumlah 8 yang dihubung 2 seri 4 parallel menghasilkan tegangan yang bervariasi yaitu 32-40 Volt sesuai pancaran radiasi matahari. Output dari *photovoltaic* tersebut dihubung ke MPPT untuk di kontrol menggunakan komponen solar controller agar tegangan menjadi konstan menuju input baterai dan inverter menjadi 12 Volt (Gambar 12).

Selain berfungsi menjaga tegangan agar tetap stabil menuju input baterai dan inverter, MPPT juga berfungsi untuk menjaga daya *photovoltaic* agar maksimal meskipun dengan radiasi matahari yang berbeda yaitu dengan menggunakan metode *perturb and observe*. Gambar 10 menampilkan simulasi Daya *photovoltaic* yang bervariasi yaitu sebesar 570-750 Watt. Grafik tegangan dan daya pada *photovoltaic* bervariasi dikarenakan pancaran radiasi matahari yang berbeda-beda setiap waktunya.

Berikut adalah hasil simulasi *output Inverter* MPPT menuju beban motor induksi 1 fasa.

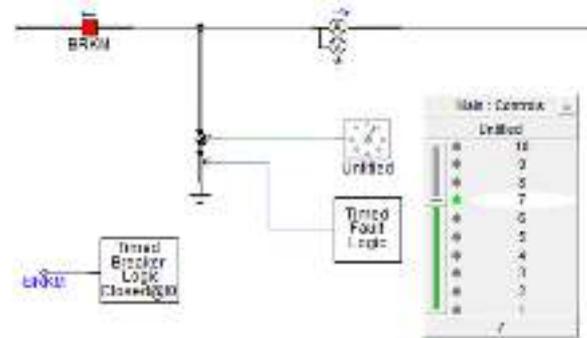


Gambar 13. Tampilan Tegangan Output Inverter MPPT Menuju Beban



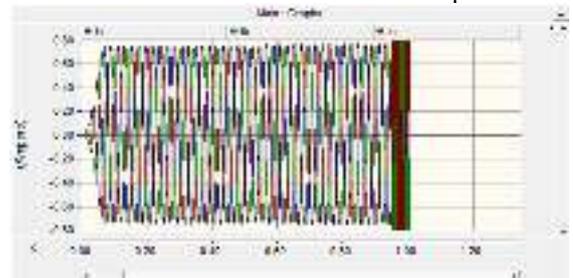
Gambar 14. Tampilan Panel Meter Tegangan pada Beban

Pada Gambar 13 dan 14 menunjukkan tampilan nominal tegangan *output inverter* MPPT. Tegangan input menuju *inverter* awalnya yaitu 12 volt dan dinaikkan oleh transformator mendekati 220 volt sesuai dengan input beban motor induksi 1 fasa.



Gambar 16. Rangkaian Sistem Proteksi *Photovoltaic*

Berikut adalah hasil simulasi sistem proteksi.



Gambar 17. Tampilan Arus Ketika Terjadi Gangguan

Pada simulasi, detik 0.9 terjadi gangguan pada saluran output *Photovoltaic* yang berasal dari beban motor induksi. Seketika *Circuit Breaker* berubah kondisi menjadi *open* (memutus saluran) karena arus telah melebihi batas kemampuan *Circuit Breaker* yaitu diatas 2 Ampere.

Komponen proteksi *circuit breaker* yang di pasang pada sistem *photovoltaic* berfungsi melindungi dan mencegah kerusakan komponen sistem *photovoltaic* dari gangguan arus lebih yang disebabkan oleh beban maupun saluran pada sistem.

**V. HASIL PENGUKURAN**

**A. Pengujian Kontrol *Maximum Power Point Tracking***



Gambar 18. Tampilan Tegangan dan Arus *Photovoltaic* Pukul 12.00

Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang  
Tahun Akademik Genap 2018/2019, Juni 2019  
suplai tegangan menurun, tegangan pada beban tetap  
mendapatkan suplai dari baterai, baterai menjadi  
suplai sumber energi listrik cadangan yang terdapat  
pada sistem pembangkit *photovoltaic* ketika tidak  
menerima pancaran sinar matahari.



Gambar 19. Tampilan Tegangan dan Arus Beban

Gambar 18 menunjukkan tegangan dan arus *photovoltaic* yang ditampilkan pada *Maximum Power Point Tracking* yang di ukur pada pukul 12.00 pada saat matahari terik. Pada pengujian, Tegangan menunjukkan angka yang bervariasi yaitu 30-32 Volt dan Arus 6 Ampere.

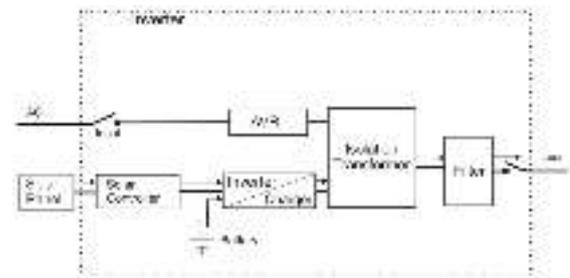
Pada gambar 19 adalah tampilan Tegangan dan Arus beban yang terhubung sistem *photovoltaic*, Tegangan dan Arus pada sisi beban menunjukkan angka yang konstan sesuai tabel 5 pada hasil percobaan yaitu 219 Volt dan 0.52 Ampere. Nilai yang konstan tersebut di kontrol oleh komponen *Solar Controller* yang terdapat dalam Modul Solar Pro SPCI-800.

Tabel 5. Data Hasil Penelitian *Photovoltaic Off Grid*

Waktu	Tegangan PV	Arus PV	Tegangan Beban	Arus Beban
Pukul 12.00	30-32 Volt	6 Ampere	219 Volt	0.52 Ampere
Pukul 13.00	30-33 Volt	5 Ampere	219 Volt	0.52 Ampere
Pukul 14.30	27-30 Volt	5 Ampere	219 Volt	0.52 Ampere
Pukul 15.00	28-33 Volt	2 Ampere	219 Volt	0.52 Ampere
Pukul 16.00	29-34 Volt	1 Ampere	220 Volt	0.53 Ampere
Pukul 16.30	27-35 Volt	1 Ampere	2.19 Volt	0.53 Ampere
Pukul 17.00	28-36 Volt	0	221 Volt	0.53 Ampere
Pukul 17.30	14 Volt	0	219 Volt	0.53 Ampere

Tabel 5 diatas menunjukkan hasil pengujian *Photovoltaic* mulai pukul 12.00 hingga 17.30 dengan radiasi sinar matahari yang berbeda-beda. Tegangan dari *photovoltaic* bervariasi, sedangkan arus *photovoltaic* semakin menurun menyesuaikan radiasi matahari yang semakin menurun. Dengan penggunaan kontrol MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), tegangan dan arus output menuju beban menjadi konstan meskipun input dari *photovoltaic* berubah-ubah.

Pada pukul 17.00 ketika pancaran radiasi matahari mulai berkurang maka *photovoltaic* tidak lagi menghasilkan arus. Kemudian pada pukul 17.30 tegangan yang dihasilkan sel surya turun hingga mencapai 14 volt karena modul sel surya tidak mendapatkan pancaran matahari sama sekali. Namun meskipun sel surya tidak lagi menghasilkan arus dan



Gambar 15. Single Line Diagram MPPT

Dalam percobaan menggunakan input Solar Panel, kemudian tegangan di kontrol menggunakan Solar Controller agar tegangan dari *photovoltaic* menjadi stabil yaitu 12 Volt, selanjutnya tegangan dihubungkan menuju baterai dan ke Inverter. Kemudian dihubungkan menuju Transformer untuk dinaikkan menjadi 220 Volt dan dihubungkan menggunakan filter untuk mengurangi ripple/harmonisa.

## B. Pengujian Sistem Proteksi Menggunakan *Circuit Breaker*.



Gambar 18. Tampilan Arus Gangguan yang Melebihi Kapasitas *Circuit Breaker*



Gambar 19. Tampilan Trip *Circuit Breaker* Ketika Mendeteksi Arus Gangguan

Pada percobaan sistem proteksi *photovoltaic* menggunakan *circuit breaker* dengan nominal  $I_{max}$  2 Ampere. Pada gambar menunjukkan terputusnya saluran menuju beban dan *circuit breaker* menjadi kondisi *open* akibat arus lebih yang ditimbulkan oleh beban motor induksi sebesar 3.3 Ampere. Dengan terputusnya gangguan yang ditimbulkan oleh beban

motor induksi maka komponen pada sistem *photovoltaic* terhindar dari resiko kerusakan.

### KESIMPULAN

1. Dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking* sebagai sistem kontrol *photovoltaic* off grid skala kecil maka sel surya dapat menghasilkan daya maksimum dan output tegangan yang konstan yaitu mendekati 220 volt dengan radiasi matahari yang berbeda-beda. Dengan begitu maka dapat mengurangi resiko kerusakan komponen kelistrikan yang terhubung sistem *photovoltaic*.
2. Berdasarkan hasil pengukuran, Tegangan *photovoltaic* menghasilkan nilai yang bervariasi yaitu 30-32 Volt di cuaca terik pada pukul 12.00 dan arus dengan nilai 6 Ampere. Setelah melewati kontrol MPPT tegangan output menjadi konstan menjadi 219 Volt dan Arus 0.52 Ampere sehingga dapat menggerakkan motor induksi 1 fasa.
3. Dari hasil pemasangan *circuit breaker* dengan kapasitas 2 ampere pada sistem, *photovoltaic* mampu menghindari gangguan yang berasal dari beban. Hasil percobaan menunjukkan ketika arus normal menuju beban motor induksi sebesar 0.52 Ampere dan terjadi arus gangguan melebihi 2 ampere *circuit breaker* akan trip dan memutuskan saluran. Dengan begitu maka sistem *photovoltaic* terhindar dari gangguan arus lebih.

### REFERENSI

- [1] Hasan, Hasnawiya. Desember (2012). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi. *JURNAL RISET DAN TEKNOLOGI KELAUTAN, VOL.10, NO.2*.
- [2] Hong, Chen. Hua, Leng. Haiguo Tang. Jiran, Zhu. Huabing, Zhong. 2017. Research on Model Mangement Method for Micro-grid.
- [3] Salazar Duque, John. Ortiz Rivera, Eduardo. Gonzalez Llorente, Jesus. (2016). Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm Based on a Narrow Set of Initial Conditions.
- [4] Mohammed, Sheik. Devaraj. Ahamed, Imthias. (2016). Maximum Power Point Tracking System for Stand Alone Solar PV Power System Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy.
- [5] Jingpeng, Wang. Xin, Wang. Xiaowei, Yang and Shunzhi, Yu. September (2018). The Research of External Characteristic Model Based on Photovoltaic System. *China International Conference on Electricity Distribution. Paper No.201802280000004*.
- [6] Damarjati, Adhitya. Januari (2017). Pengertian Circuit Breaker. *JURNAL POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA*.
- [7] Permana, Evan. Desrianty, Arie. Rispiana. Oktober (2015). Rancangan Alat Pengisi Panel Surya (Solar Charging Bag) Menggunakan Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. Vol. 3, No. 4*.
- [8] Soetedjo, Aryunto. Lomi, Abraham. Ismail Nakhoda, Yusuf. Uji Krismanto, Awan. July (2012). Modeling of Maximum Power Point Tracking Controller for Solar Power System. *Telkonnika, Vol.10, No.3. e-ISSN: 2087-278X*.
- [9] Samet Sarkin, Ali. Dindar, Taner. May (2017). The Effect of Latitude Differences, Sunshine Periods, Solar Radiation Quantities and Air Temperatures on Solar Electricity Generation. *IJGSET Transactions On Smart Grid and Sustainable Energy, Vol.1, No.1*.
- [10] Soonmin, Ho. Lomi, Abraham. Okoroigwe, Edmund. Rodriguez Urrego, Leonardo. March (2019). Investigation of

Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang  
Tahun Akademik Genap 2018/2019, Juni 2019  
Solar Energy: The Case Study in Malaysia, Indonesia, Colombia and Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research. Vol.9, No.1*.

- [11] Soedibyo. Ashari, Mochamad. Amri, Budi. 2015. The Comparative Study of Buck-Boost, Cuk, Sepic and Zeta Converters for Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using P&O Method. *Int Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*.



### BIOGRAFI PENULIS

Muhammad Halim Prayogo lahir di Pasuruan pada tanggal 26 Februari 1996. Putra dari pasangan Djoni Prayogo dan Lilik Muktingtyas. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis menempuhi pendidikan pertama di TK R.A Perwanida pada tahun 2000 dan tamat tahun 2002. Kemudian melanjutkan ke SDN Petungasri 3 dari tahun 2002 hingga tahun 2008. Setelah tamat SD penulis melanjutkan ke SMP Negeri 2 Pandaan pada tahun 2008 dan tamat tahun 2011. Pada tahun yang sama penulis diterima di SMK N 1 Singosari dan tamat pada tahun 2014. Setelah tamat SMK penulis bekerja sebagai wirausaha selama 1 tahun, di tahun 2015 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang, program studi teknik elektro S-1, peminatan Energi Listrik. Selama duduk di bangku perkuliahan, penulis aktif sebagai asisten laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik periode 2016-2018 dan juga aktif sebagai anggota kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro S-1 periode 2017-2018. Penulis juga lolos PKM didanai DIKTI bidang Penerapan Teknologi pada tahun 2019.