LAPORAN PROYEK AKHIR

**OPTIMISASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) *PERTURB & OBSERVE* (P&O) PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN XILINX ZYNQ *FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY* (FPGA)**

****

**Disusun oleh:**

**MUHAMMAD SHOFUWAN ANWAR**

**21/483339/SV/20142**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN**

**TEKNOLOGI REKAYASA INSTRUMENTASI DAN KONTROL**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA**

**SEKOLAH VOKASI**

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**YOGYAKARTA**

**2023**

# OPTIMISASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) *PERTURB & OBSERVE* (P&O) PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN XILINX ZYNQ *FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY* (FPGA)

**Proyek Akhir**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol**

**Diajukan sebagai syarat kelengkapan studi jenjang Sarjana Terapan**

**Untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol**

**Oleh:**

**MUHAMMAD SHOFUWAN ANWAR**

**21/483339/SV/20142**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN**

**TEKNOLOGI REKAYASA INSTRUMENTASI DAN KONTROL**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA**

**SEKOLAH VOKASI**

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**YOGYAKARTA**

**2023**

# LEMBAR PENGESAHAN

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Judul | : | OPTIMISASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) *PERTURB & OBSERVE* (P&O) PADA *PHOTOVOLTAIC* DENGAN XILINX ZYNQ *FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY* (FPGA) |
| Nama | : | Muhammad Shofuwan Anwar |
| Program Studi | : | Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol |
| Pembimbing | : | Jans Hendry, S.T., M.Eng. |
| Waktu Ujian | : |  |

Telah dipertanggungjawabkan dan diuji oleh Tim Penguji serta disetujui dan disahkan sebagai syarat kelengkapan studi jenjang Sarjana Terapan

Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol

Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Yogyakarta, 25 Januari 2023

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tim Penguji | | | |
| Ketua | | Sekretaris | |
|  | |  | |
| XXXX | | XXXX | |
| NIP. | | NIP. | |
| Anggota | | | |
|  |  | |  |
|  | Jans Hendry, S.T., M.Eng. | |  |
|  | NIKA. 111198501202001101 | |  |
| Mengetahui, | | | |
| Ketua Departemen Teknik Elektro dan Informatika | | Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol | |
|  | |  | |
| Nur Rohman Rosyid, S.T., M.T., D.Eng | | Hidayat Nur Isnianto, S.T., M.Eng | |
| NIP. 111197510201206101 | | NIP. 197305282002121001 | |

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT, dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul “Optimisasi Algoritma *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) *Perturb & Observe* (P&O) pada *Photovoltaic* menggunakan Xilinx Zynq *Field Programmable Gate Array* (FPGA)” dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Penyusunan Proyek Akhir ini guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr) pada program studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.

Dengan selesainya Proyek Akhir ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Nur Rohman Rosyid, S.T., M.T., D.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
2. Hidayat Nur Isnianto, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
3. Jans Hendry, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing, yang telah membimbing dan memberikan pengarahan terkait penyusunan karya Proyek Akhir ini
4. Nama lengkap dan Gelar, selaku Dosen penguji yang telah membantu memberikan kritik dan saran dalam penulisan laporan Proyek Akhir ini
5. Unan Yusmaniar Oktiawati, S.T., M,Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan membantu penulis dalam menjalani proses menuntut ilmu, sampai dengan menyelesaikan karya Proyek Akhir ini
6. Ayah dan Ibu, beserta segenap keluarga tercinta yang memberi *support* dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan karya Proyek Akhir ini
7. Prof. Trio Adiono, S.T, M.T, Ph.D., selaku Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang bersedia berbagi ilmu dan memberikan bimbingan selama proses penyusunan karya Proyek Akhir ini
8. Yusuf Purna Yudhanto, S.T., selaku *Engineer* di Xirka Silicon Technology yang bersedia berbagi ilmu dan pengalaman selama proses penyusunan karya Proyek Akhir ini

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan Proyek Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mohon maaf atas kesalahan dalam Laporan Proyek Akhir ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan guna menyempurnakan pengetahuan penulis. Akhir kata, semoga penyusunan Proyek Akhir ini dapat memberikan manfaat dan sentiasa dikembangkan.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Yogyakarta, 25 Januari 2023  Penulis |
|  |  |
|  | Muhammad Shofuwan Anwar |
|  | 21/483339/SV/20142 |

# DAFTAR ISI

[HALAMAN JUDUL i](#_Toc126497243)

[LEMBAR PENGESAHAN ii](#_Toc126497244)

[KATA PENGANTAR iii](#_Toc126497245)

[DAFTAR ISI v](#_Toc126497246)

[DAFTAR GAMBAR vii](#_Toc126497247)

[DAFTAR TABEL viii](#_Toc126497248)

[DAFTAR LAMPIRAN ix](#_Toc126497249)

[INTISARI x](#_Toc126497250)

[ABSTRACT xi](#_Toc126497251)

[BAB I 1](#_Toc126497252)

[1.1. Latar Belakang 1](#_Toc126497253)

[1.2. Rumusan Masalah 2](#_Toc126497254)

[1.3. Batasan Masalah 2](#_Toc126497255)

[1.4. Tujuan Proyek Akhir 2](#_Toc126497256)

[1.5. Manfaat Proyek Akhir 2](#_Toc126497257)

[1.6. Sistematika Penulisan 3](#_Toc126497258)

[BAB II 4](#_Toc126497259)

[2.1. Lingkup Tinjauan Pustaka 4](#_Toc126497260)

[2.2. Dasar Teori 6](#_Toc126497261)

[2.2.1. *Photovoltaic* 6](#_Toc126497262)

[2.2.2. *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) 6](#_Toc126497263)

[2.2.3. Algoritma *Incremental Conductance* (INC) 7](#_Toc126497264)

[2.2.4. Sensor Tegangan 10](#_Toc126497265)

[2.2.5. Sensor Arus 11](#_Toc126497266)

[2.2.6. Driver Mosfet *Single Phase Inverter* 11](#_Toc126497267)

[2.3. Hipotesis 12](#_Toc126497268)

[BAB III 13](#_Toc126497269)

[3.1. Bahan 13](#_Toc126497270)

[3.2. Peralatan 13](#_Toc126497271)

[3.3. Tahapan Proyek Akhir 13](#_Toc126497272)

[3.4. Rancangan Alat/Purwarupa dan Analisis Data 13](#_Toc126497273)

[BAB IV 14](#_Toc126497274)

[BAB V 15](#_Toc126497275)

[5.1. Kesimpulan 15](#_Toc126497276)

[5.2. Saran 15](#_Toc126497277)

[DAFTAR PUSTAKA 16](#_Toc126497278)

[DAFTAR LAMPIRAN 18](#_Toc126497279)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2.1. Bentuk pemodelan array panel surya (Anowar and Roy, 2019) 6](#_Toc125855502)

[Gambar 2.2. Grafik karakteristik panel surya, (a) perbandingan antara tegangan dan arus, (b) perbandigan daya-tegangan pada temperatur konstan, (c) perbandingan energi-tegangan pada sumber cahaya konstan (Sarvi and Azadian, 2022) 7](#_Toc125855503)

[Gambar 2.3. (a) karakteristik dari panel surya, (b) flowchart algoritma incremental conductanced (Dhaouadi et al., 2019) 10](#_Toc125855504)

[Gambar 2.4. Rangkaian sensor tegangan dengan Voltage Divider (Prihasworo et al., 2020) 11](#_Toc125855505)

[Gambar 2.5. Rangkaian minimal untuk menggunakan ACS712 (Microsystems, 2022) 11](#_Toc125855506)

[Gambar 2.6. Model rangkaian driver full bridge/h-bridge inverter (Rusdi, Samman and Sadjad, 2019) 12](#_Toc125855507)

# DAFTAR TABEL

**No table of figures entries found.**

# DAFTAR LAMPIRAN

**No table of figures entries found.**

# INTISARI

OPTIMISASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) *PERTURB & OBSERVE* (P&O) PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN XILINX ZYNQ *FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY* (FPGA)

Muhammad Shofuwan Anwar

21/483339/SV/20142

Abstraksi…

Kata kunci : MPPT, *Perturb & Observe*, Optimisasi, FPGA, *Photovoltaic*

# ABSTRACT

*MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) *PERTURB & OBSERVE* (P&O) *ALGORITHM OPTIMIZATION ON THE PHOTOVOLTAIC BY USING XILINX ZYNQ FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY* (FPGA)

Muhammad Shofuwan Anwar

21/483339/SV/20142

Abstraction…

Keywords : MPPT, *Perturb & Observe*, FPGA, *Photovoltaic*

# BAB I

PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, kebutuhan dalam pemanfaatan energi terbarukan dan penggunaan dari panel surya meningkat. Bagaimanapun juga, energi yang dihasilkan oleh panel surya tidak konstan (*irregular*) yang dipengaruhi beberapa parameter contohnya seperti temperatur, intensitas cahaya matahari, dan juga perubahan-perubahan yang terjadi pada cuaca sekitar (Hebchi *et al*, 2021). Oleh karena itu, parameter efisiensi dari panel surya perlu ditingkatkan guna memaksimalkan daya keluaran pada panel surya. Sejalan dengan perkembangan teknologi, terdapat metode yang digunakan untuk memaksimalkan efisiensi dari penggunaan panel surya, yaitu *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) (Mustafic *et al.*, 2020).

Dari banyaknya pendekatan *Power Tracking*, terdapat 3 jenis algoritma MPPT yang memanfaatkan kontrol secara langsung (*direct control*) untuk membantu memaksimalkan daya keluaran panel surya yaitu *Perturb and Observation* (P&O), *Hill Climbing* (HC), dan *Incremental Conductanced* (INC) (Motahhir *et al*, 2020). Dari beberapa algoritma MPPT tersebut, *Perturb & Observe* (P&O) dan *Incremental Conductanced* (INC) lebih unggul dari sisi komersial dan juga kemudahan dalam implementasinya (Bhattacharyya *et al.*, 2021). Algoritma *Perturb & Observe* (P&O) merupakan algoritma yang sering digunakan. Namun algoritma *Perturb & Observe* (P&O) memiliki kekurangan dalam kecepatan respon terhadap perubahan nilai MPP dan juga besarnya nilai galat (*error*) *steady state* (Azad, Sadhu and Das, 2020).

Selanjutnya perangkat kontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dengan fitur terpenting yang dimiliki perangkat tersebut yaitu, dapat melakukan pemrosesan secara *concurrent* yang mana mampu menjalankan beberapa proses secara bersamaan (Guerrero *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pembacaan nilai sensor, kalkulasi, dan memproses pengambilan keputusan untuk memaksimalkan penggunaan energi panel surya dapat dilakukan dengan lebih cepat (Motahhir *et al*, 2020).

## Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan pada latar belakang, untuk memaksimalkan pemanfaatan energi panel surya menggunakan algoritma *Perturb & Observe* (P&O). Maka, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana performa kecepatan *Field Progammable Gate Array* (FPGA) untuk dapat merespon *Maximized Power Point* (MPP) setelah diberi masukan nilai tegangan dan arus?
2. Berapa besar nilai efisiensi yang dihasilkan jika dibandingkan antara daya keluaran panel surya dengan keluaran *Maximized Power Point* (MPP)?
3. Berapa besar galat (*error*) pada sensor tegangan dan arus yang digunakan sebagai parameter input dari *Maximized Power Point Tracker* (MPPT)?

## Batasan Masalah

Agar penulisan penelitian ini lebih terarah, permasalahan yang dihadapi tidak terlalu luas, maka perlu menjelaskan batasan-batasan masalah pada penelitian.

1. Algoritma pengaplikasian terbatas pada *Perturb & Observe* (P&O).
2. Desain rangkaian ditulis menggunakan *Hardware Description Language* (HDL) Verilog.
3. Algoritma dan desain yang diterapkan belum mampu mengatasi *Partial Shading Condition* (PSC).

## Tujuan Proyek Akhir

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu, membuat rancangan dan mengimplementasikan, algoritma *Perturb & Observe* (P&O) pada *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dengan melakukan optimisasi kecepatan respon dan mereduksi besaran osilasi yang dihasilkan ketika proses memonitor *Maximum Power Point* (MPP) untuk memaksimalkan penggunaan daya dari *photovoltaic*.

## Manfaat Proyek Akhir

Manfaat dari Proyek Akhir disebutkan dengan tujuan untuk menjelaskan poin-poin terkait implementsi dan kegunaan dari hasil Proyek Akhir ini, diantaranya sebagai berikut :

1. Mendapatkan *Intellectual Property* (IP) dari algoritma *Perturb & Observe* (P&O).
2. Mendapatkan data hasil uji coba implementasi algoritma *Perturb & Observe* (P&O) pada *Field Programmable Gate Array* (FPGA).
3. Mampu mengestimasi nilai *Maximum Power Point* (MPP) dari panel surya (*photovoltaic*).
4. Desain algoritma *Perturb & Observe* (P&O) pada *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dengan optimasi kecepatan respon dan reduksi osilasi.

## Sistematika Penulisan

Laporan proyek akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat informasi tinjauan pustaka dari penelitian sebelumnya dan dasar teori dalam perancangan penelitian ini.

BAB III METODE PROYEK AKHIR

Meliputi waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, perincian alat dan bahan, metode penelitian, implementasi sistem, metode pengambilan data, dan metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat hasil perancangan dan penelitian, pengujian dan pembahasan mengenai penelitian yang telah diimplementasikan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian yang telah sesuai dengan tujuan penelitian serta saran dari penulis untuk penelitian lebih lanjut.

# BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1. Lingkup Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan langkah awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan sebuah penelitian. Melakukan peninjauan beberapa publikasi dan referensi yang terkait. Sehingga, dapat dipastikan bahwa penelitian yang dilakukan dapat memberikan pengembangan dan juga mengisi *gaps* yang telah dikerjakan pada penelitian sebelumnya.

Pada penelitian berjudul “*Comparative Study of Perturb & Observe (P&O) and Incremental Conductance (IC) MPPT Technique of PV System*” pada tahun 2020. Jha dan Dahiya membuat perbandingan antara algoritma *Perturb & Observe* (P&O) dengan algoritma *Incremental Conductance* (INC), perbandingan ini ditujukan untuk mendapatkan data terkait performa dari masing masing algoritma. Setelah melakukan percobaan, algoritma *Incremental Conductance* terbukti dapat bekerja lebih baik dengan menghasilkan pendekatan nilai *Maximum Power Point* (MPP). Hal tersebut dapat dibuktikan dengan respon yang sangat cepat dan akurat ketika diberikan variasi “radiasi”. Selain itu algoritma *Incremental Conductance* (INC) menghasilkan lebih kecil harmonisa dibandingkan dengan algoritma *Perturb & Observe* (P&O) (Jha and Dahiya, 2020).

Penelitian lain terkait perbandingan algoritma *Incremental Conductance* (INC) dan *Perturb & Observe* (P&O) juga menunjukan bahwa hasil dari algoritma *Incremental Conductance* (INC) menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi dibandingkan *Perturb & Observe* (P&O). Hal tersebut dituangkan pada penelitian berjudul “*Comparative Study Between P&O and Incremental Conduction MPPT Techniques-A Review*” pada tahun 2020, oleh Azad, Sadhu, dan Das. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa algoritma *Incremental Conductance* (INC) memiliki kekurangan yang mana pengukuran harus dilakukan secara langsung menggunakan sensor arus dan sensor tegangan. Selanjutnya, kalkulasi turunan (*derivative*) menambah kompleks implementasi algoritma *Incremental Conductance* (INC). Namun dibalik kekurangan itu, algoritma *Incremental Conductance* (INC) dapat melakukan secara cepat dan tepat dalam mendapatkan nilai *Maximum Power Point*  (MPP) dan perubahan *step* yang dapat divariasikan, dengan rata-rata efisiensi *Pout/Pmax* mencapai 98.53% dibandingkan dengan P&O dengan efisiensi 97.58% (Azad, Sadhu and Das, 2020).

Dari hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa implmentasi metode monitoring *Maximum Power Point* (MPP) dengan *algoritma* *Perturb & Observe* (P&O) dapat menghasilkan efisiensi yang baik namun, tidak maksimal dikarenakan osilasi yang dihasilkan pada proses *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Seperti yang telah dijelaskan oleh Kamran, dkk pada publikasi berjudul “*Implementation of Improved Perturb & Observe MPPT Technique with Cofined Search Space for Standalone Photovoltaic System*”. Pada publikasi tersebut, disebutkan bahwa algoritma *Perturb & Observe* (P&O) konvensional akan menghasilkan osilasi pada kondisi *steady state* dan masalah pada kecepatan respon (*response time*), ketika gangguan (*pertubation*) semakin besar. Oleh karena itu Kamran, dkk mengusulkan metode optimisasi (*improvement*) untuk mereduksi masalah tersebut. Dengan cara, menambahkan dua buah sensor tambahan pada *photovoltaic* (PV) berupa *Light Dependent Resistor* (LDR) pada sisi timur (*east*) dan barat (*west*). Cara kerja sistem tersebut yaitu, ketika radiasi cahaya pada kedua sensor sama. Maka, resistansi juga akan sama (RE *=* RW) maka panel surya akan tetap berada pada posisinya. Sedangkan, jika intensitas LDRE lebih besar dibandingkan LDRW maka, menghasilkan VE > VW; *photovoltaic* (PV) akan bergerak ke timur. Hasilnya

Pada tahun 2022 Salah, dkk, melakukan implementasi algoritma *Incremental Conductance* (INC), *Perturb & Observe* (P&O), dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pada penelitian mereka yang berjudul “*Hardware Implementation of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems: A Comparative Study*”. Pada penelitian ini Zahra, dkk, melakukan percobaan dengan merancang desain dan implementasi ketiga algoritma tersebut pada perangkat keras *Field Programmable Gate Array* (FPGA) *Zed-Board Zynq-7000*. Setelah dilakukan uji coba. Hasilnya, algoritma *Incremental Conductance* (INC) *fixed step* memiliki efisiensi *tracking* sebesar 99,18% dan *Fuzzy Logic* *Controller* (FLC)sebesar 99,89%. Jika dilihat dari sisi efisiensi memang lebih unggul. Namun, *Fuzzy Logic Controller* (FLC) memiliki kelemahan dengan pemanfaatan sumber daya (*resource*) yang cukup banyak sebesar 10% LUT (*Lookup Table*), 5.94% FF (*Flip Flop*), dan 21.36% DSP (*Digital Signal Processor*). Sedangkan jika dibandingkan dengan *Incremental Conductance* (INC) pemanfaatan sumber daya (*resource*) sebesar 2.14% LUT (*Lookup Table*), 2.25% FF (*Flip Flop*), dan 0.91% DSP (*Digital Signal Processor*) (Salah *et al.*, 2022).

1. Dasar Teori

### *Photovoltaic*

Sel surya merupakan komponen utama dari panel surya, dengan mengubah sumber energi yang berasal dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Blok *array* panel surya, sumber arus (IL), resistansi *shunt* (Rsh), resistansi secara seri (Rs), dan parameter dioda (I0 dan nI) digunakan untuk membuat permodelan kebutuhan radiasi dan temperature pada panel surya (Gambar 2.1). Karakteristik non-linier antara I-V ditunjukan pada persamaan berikut (Anowar and Roy, 2019).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.1)** |
|  | **(2.2)** |

Dimana, Id = arus dioda, I0 = arus saturasi *reverse*, Vd = tegangan dioda, nI = factor ideal (~1.0), k = konstanta *Boltzmann* (), q = pengikisan elektron (), T = temperatur (kelvin), Ncell = total sel yang dipasang secara seri.

|  |
| --- |
| **Gambar 2.1.** Bentuk pemodelan array panel surya (Anowar and Roy, 2019) |

### *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)

Panel surya memiliki karakteristik non-linier yang dapat kita lihat pada (Gambar 2.2). Titik maksimum pemanfaatan energi dari panel surya tampak pada puncak (*peak*) lengkungan P-V, atau sering disebut dengan *knee point* dari P-V, yang berasal dari penggunaan energi maksimal dari panel surya. *Maximum Power Point* (MPP) dapat berubah-ubah seiring dengan adanya perubahan parameter yang berasal dari radiasi cahaya matahari (*S*), temperature/suhu (*T*), dan keadaan lingkungan sekitar. Untuk memastikan penggunaan energi yang mampu mendekati atau bahkan mencapai *Maximum Power Point* (MPP). Maka, diperlukan rangkaian atau kontroler yang disebut dengan *Maximum Power Point Traker* (MPPT) (Sarvi and Azadian, 2022).

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | |
| (b) | (c) |
| **Gambar 2.2.** Grafik karakteristik panel surya, (a) perbandingan antara tegangan dan arus, (b) perbandigan daya-tegangan pada temperatur konstan, (c) perbandingan energi-tegangan pada sumber cahaya konstan (Sarvi and Azadian, 2022) | |

### Algoritma *Incremental Conductance* (INC)

Algoritma pada penelitian ini berfokus pada *Incremental Conductance* (INC), yang mana secara terus menerus mencari titik atau posisi dari *Maximized Power Point* (MPP), dengan cara memproses perubahan nilai d*I*/d*V* berdasarkan nilai tegangan keluaran (*output*) dan arus (Yang and Yunbo, 2019). Algoritma *Incremental Conductance* (INC) mendeteksi kemiringan pada lengkungan P-V, dan nilai *Maximized Power Point* (MPP) didapatkan dengan cara mencari puncak (*peak*) dari lengkungan P-V (Shang, Guo and Zhu, 2020). Berdasarkan hubungan antara kedua nilai tersebut dapat dijabarkan pada persamaan berikut.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.3)** |

Dari persamaan 2.3 maka, dapat diubah menjadi bentuk persamaan lain, seperti:

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.4)** |

Selanjutnya, jika dan maka,

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.5)** |

Maka, dapat disimpulkan bahwa,

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.6)** |

Algoritma *Incremental Conductance* (INC) mengukur setiap nilai *k* secara langsung pada tegangan V(*k*) dan I(*k*) *photovoltaic* (PV). Lalu, mengukur nilai konduktansi (*I*/*V*) dan nilai *Incremental Conductance* (d*I*/d*V*). Pencarian *Maximum Power Point* (MPP) pada *photovoltaic* (PV) dapat diilustrasikan dengan persamaan 2.7, 2.8, dan 2.9 (Dhaouadi *et al.*, 2019).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(2.7)** |
|  | **(2.8)** |
|  | **(2.9)** |

Berdasarkan poin-poin tersebut, sistem akan menaikkan nilai tegangan ketika *dP/dV* < 0. Selanjutnya, sistem akan menurunkan tegangan ketika *dP/dV* > 0 seperti yang ditunjukan oleh Gambar 2.3(a). Sedangkan, diagram alir (*flowchart*) dari algoritma *Incremental Conductance* (INC) ditunjukan oleh Gambar 2.3(b).

|  |
| --- |
| (a) |
| (b) |
| **Gambar 2.3.** (a) karakteristik dari panel surya, (b) flowchart algoritma incremental conductanced (Dhaouadi *et al.*, 2019) |

### Sensor Tegangan

Pada penelitian ini menggunakan sensor tegangan yang merupakan rangkaian pembagi tegangan (*Voltage Divider*). Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan yang lebih rendah. Nilai tegangan keluaran (VO) didapatkan dari persamaan berikut (Prihasworo *et al.*, 2020).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **(3.0)** |

Dengan VO = tegangan keluaran sensor, R2R1 = resistor pembagi tegangan, Vs = tegangan sumber. Dapat terlihat pada Gambar 2.4 bahwa rangkaian pembagi tegangan yang disusun oleh 2 buah resistor dan di pasang secara seri dengan keluaran (*output*) berada pada titik diantara kedua buah resistor tersebut.

|  |
| --- |
| **Gambar 2.4.** Rangkaian sensor tegangan dengan *Voltage Divider* (Prihasworo *et al.*, 2020) |

### Sensor Arus

Penelitian ini menggunakan sensor arus dengan seri ACS172 yang diproduksi oleh *Allegro Microsystems*. Sensor ini memiliki pembacaan yang presisi, *low-offset*, dan rangkaian *Hall-effect* yang linier. Sensor ini dapat menahan 5x kondisi arus berlebih (*overcurrent*). *Terminal* atau pin pengukuran didesain *isolated* yang membuat sensor ini tidak membutuhkan *opto-isolator* atau *isolator* tambahan lainnya (Microsystems, 2022). Gambar 2.5 merupakan desain implementasi ACS712 dengan beberapa komponen penunjang sistem.

|  |
| --- |
| **Gambar 2.5.** Rangkaian minimal untuk menggunakan ACS712 (Microsystems, 2022) |

### Driver Mosfet *Single Phase Inverter*

Rangkaian *Single Phase Inverter* merupakan rangkaian *full bridge* yang menggunakan kapasitor dengan kapasistas besar untuk mempertahankan tegangan. Cara kerja kontrol rangkaian *driver* tidak dapat dilakukan dengan mengaktifkan sisi *switch* (transistor) yang sama agar tidak terjadi hubungan pendek arus listrik (*short circuit*). Untuk dapat menghasilkan gelombang keluaran, digunakan teknik *Single Pulse Width Modulation* (SPWM) yang di kontrol melalui FPGA (Rusdi, Samman and Sadjad, 2019). Gambar 2.6, menunjukkan susunan transistor membentuk rangkaian *driver* *H-Bridge* yang terhubung dengan kontroler FPGA.

|  |
| --- |
| **Gambar 2.6.** Model rangkaian *driver full bridge/h-bridge inverter* (Rusdi, Samman and Sadjad, 2019) |

1. Hipotesis

# BAB III

METODE PROYEK AKHIR

1. Bahan
2. Peralatan
3. Tahapan Proyek Akhir
4. Rancangan Alat/Purwarupa dan Analisis Data

# BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

# BAB V

PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian yang telah dilaksanakan mulai dari tahapan perancangan sistem sampai dengan tahapan implementasi dan uji coba, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Xxx
2. Xxx
3. Xxx
4. Saran

Pada penelitian yang telah dilakukan, masih banyak hal yang perlu diperbaiki dan dimaksimalkan pada penelitian berikutnya, diantaranya sebagai berikut :

1. Xxx
2. Xxx
3. Xxx

# DAFTAR PUSTAKA

Anowar, M. H. and Roy, P. (2019) ‘A Modified Incremental Conductance Based Photovoltaic MPPTCharge Controller’, *2019 International Conference on Electrical, Computer andCommunication Engineering (ECCE)*.

Azad, M., Sadhu, P. and Das, S. (2020) ‘Comparative Study Between P&O and Incremental Conduction MPPT Techniques-A Review’, *International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*. doi: 978-1-7281-4097-1.

Bhattacharyya, S. *et al.* (2021) ‘Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT-MPPT) for P&Oand InC Algorithms’, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, pp. 293–302.

Dhaouadi, G. *et al.* (2019) ‘Implementation of Incremental Conductance Based MPPT Algorithmfor Photovoltaic System’, *2019 4th International Conference on Power Electronics and theirApplications (ICPEA)*.

Guerrero, E. O. *et al.* (2020) ‘FPGA‐based active disturbance rejection control and maximum power point tracking for a photovoltaic system’, *Wiley Online LibrarySign in*. John Wiley and Sons Ltd, 30(7). doi: 10.1002/2050-7038.12398.

Gupta, A. *et al.* (2021) ‘Effect of various incremental conductance MPPT methods on the charging of battery load feed by solar panel’, *ieeexplore.ieee.org*, 9. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9462084/ (Accessed: 29 January 2023).

Hebchi, M., Kouzou, A. and Choucha, A. (2021) ‘Improved Incremental conductance algorithm for MPPT inPhotovoltaic System’, *2021 18th International Multi-Conference on Systems, Signals &Devices (SSD)*.

Jha, K. and Dahiya, R. (2020) ‘Comparative Study of Perturb & Observe (P&O) and IncrementalConductance (IC) MPPT Technique of PV System’, *Numerical Optimization in Engineering and Sciences*, pp. 191–199.

Microsystems, A. (2022) ‘ACS712 Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear CurrentSensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-ResistanceCurrent Conductor’.

Motahhir, S., El Hammoumi, A. and El Ghzizal, A. (2020) ‘The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-costembedded board for each algorithm’, *Journal of Cleaner Production*, p. 118983.

Mustafic, D. *et al.* (2020) ‘Implementation of Incremental Conductance MPPT Algorithm in RealTime in Matlab/Simulink Environment with Humusoft MF634 Board’, *2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*.

Prihasworo, L. *et al.* (2020) ‘Rancang Bangun Smart DC Current and Voltage Monitoring DenganThingspeak Pada Simulator PLN Laboratorium Teknik TenagaListrik UGM’, *Jurnal Listrik*. JuLIET, 1.

Rusdi, M., Samman, F. A. and Sadjad, R. S. (2019) ‘FPGA-Based Electronic Pulse Generator for Single-Phase DC/ACInverter’, *2019 International Conference on Information and CommunicationsTechnology (ICOIACT)*.

Salah, Z. B. H. *et al.* (2022) ‘Hardware Implementation of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems: A comparative study’, *2022 IEEE 9th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications, SETIT 2022*. IEEE, (Ic), pp. 516–522. doi: 10.1109/SETIT54465.2022.9875805.

Sarvi, M. and Azadian, A. (2022) ‘A comprehensive review and classified comparison of MPPTalgorithms in PV systems’, *Energy Syst.* Springer.

Shang, L., Guo, H. and Zhu, W. (2020) ‘An improved MPPT control strategy based on incrementalconductance algorithm’, *Protection and Control of Modern Power Systems*.

Yang, L. and Yunbo, Z. (2019) ‘A Novel Improved Variable Step Size INC MPPT Method for PVSystems’, *2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*.

# DAFTAR LAMPIRAN