

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)
PADA SOLAR PANEL

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh:

Maya Ardhita

NIM: 1052117

Valencia Liana

NIM: 1052129

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
2024

LEMBAR PENGESAHAN

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA SOLAR PANEL

Oleh:

Maya Ardhita / 1052117

Valencia Liana / 1052129

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D

Pembimbing 2



Ocsirendi, S.ST., M.T

Penguji 1



Eko Sulistyono, M.T

Penguji 2



Yudhi, M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa 1 : Maya Ardhita NIM: 1052117

Nama Mahasiswa 2 : Valencia Liana NIM: 1052129

Dengan Judul: *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA SOLAR PANEL*

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Maya Ardhita



2. Valencia Liana



ABSTRAK

Energi listrik menjadi kebutuhan utama sekaligus menjadi penggerak dalam berbagai aktivitas kehidupan manusia. Penggunaan energi listrik yang semakin meningkat mendorong munculnya energi alternatif agar dapat diperbarui secara alami. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan sinar matahari yang di konversi menjadi energi listrik melalui solar panel. Namun, karakteristik solar panel yang bersifat non-linear menyebabkan daya keluaran menjadi bervariasi sehingga untuk mengoptimalkan penggunaannya diperlukan alat untuk mencari titik daya maksimum dengan metode temperatur dan metode PO (Perturb & Observe),serta memerhatikan pengaruh dari intensitas cahaya. Pada hasil pengujian ini, terjadi kenaikan tegangan dan arus, sehingga memengaruhi daya dengan seiring meningkatnya intensitas cahaya, sedangkan untuk suhu kurang berpengaruh, dikarenakan rata-rata suhu didaerah tropis tidak berbeda jauh.

Kata Kunci: Intensitas Cahaya, MPPT, Metode PO, Solar Panel, Suhu

ABSTRACT

Electrical energy is a major necessity as well as a driving force in various activities of human life. The increasing use of electrical energy encourages the emergence of alternative energy so that it can be renewed naturally. One example is the use of sunlight which is converted into electrical energy through solar panels. However, the non-linear characteristics of solar panels cause the output power to vary so that to optimize their use a tool is needed to find the maximum power point with the temperature method and the PO (Perturb & Observe) method, and pay attention to the influence of light intensity. In the results of this test, there is an increase in voltage and current, thus affecting the power as the light intensity increases, while the temperature has less effect, because the average temperature in the tropics is not much different.

Keywords: Light Intensity, MPPT, PO Method, Solar Panel, Temperature

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan atas Kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini dengan tepat waktu.

Laporan proyek akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dan kewajiban mahasiswa untuk menyelesaikan program Diploma IV di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Kami selaku penyusun, mencoba untuk menerapkan ilmu yang didapat dan dipelajari selama 4 tahun pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada pembuatan makalah dan proyek akhir ini.

Makalah proyek akhir ini dapat diselesaikan bukan karena penyusun sendiri, tapi karena adanya usaha dan kerja sama tim yang baik, serta bantuan, saran dan informasi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penyusun menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak tersebut, antara lain:

1. Orang tua yang selalu senantiasa memberikan kasih sayang, do'a, semangat serta dukungan moril maupun material
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dan pembimbing I yang telah mencurahkan waktu, tenaga dan pikirannya dalam melaksanakan bimbingan di penyusunan laporan akhir ini.
3. Bapak Ocsirendi, M.T., selaku pembimbing II yang telah memberikan saran dan solusi atas permasalahan yang dihadapi selama proses perencanaan dan pembuatan alat, serta pembuatan laporan akhir ini.
4. Bapak Zanu Saputra, S.ST., M.Tr.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro dan Informatika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Indra Dwisaputra, S.ST., M.T., selaku Kepala Prodi Diploma IV Teknik Elektronika dan Dosen Wali Kelas IV Teknik Elektronika A Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

6. Seluruh staff pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Pihak-pihak lain yang turut membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan Proyek Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan laporan proyek akhir ini masih belum sempurna karena penyusun adalah manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, kami berharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar dapat mendukung pengembangan dan perbaikan artikel-artikel selanjutnya. Penyusun juga berharap semoga laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

Sungailiat, Juli 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Proyek Akhir	3
BAB II	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1 <i>Solar Panel</i>	4
2.2 Algoritma <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT).....	5
2.3 Metode <i>Perturb and Observe</i> (PO).....	7
2.4 Metode Temperatur	7
BAB III	9
METODE PELAKSANAAN.....	9
3.1 Blok Diagram	10
3.2 Komponen yang Digunakan	11
3.2.1 <i>Solar Panel</i>	12
3.2.2 Arduino Mega 2560.....	14
3.2.3 <i>Buck-Boost Converter</i>	14
3.2.4 Sensor Tegangan	16
3.2.5 Sensor Arus INA219	17
3.2.6 Sensor Suhu DHT22.....	19

3.2.7	Sensor Cahaya	20
3.2.8	Digital Lux Meter.....	21
BAB IV		23
PEMBAHASAN		23
4.1	Pengujian <i>Buck-Boost Converter</i>	23
4.2	Pengujian Sensor Tegangan	25
4.3	Pengujian Sensor Arus INA219	28
4.4	Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Daya Tanpa MPPT dan	33
	Menggunakan MPPT	33
4.5	Pengujian Alat Menggunakan <i>Solar Panel</i> dengan Metode PO	34
4.6	Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu Menggunakan Metode PO	50
4.7	Linearisasi Sensor Cahaya dan LUX pada <i>Solar Panel</i>	53
4.8	Linearisasi Daya pada <i>Solar Panel</i>	55
4.9	Prediksi MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya	60
BAB V		67
PENUTUP		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3. 1 Spesifikasi Komponen dalam Proyek Akhir.....	11
3. 2 Spesifikasi Solar Panel	12
3. 3 Spesifikasi Arduino Mega 2560	14
3. 4 Spesifikasi XLSEMI 6019	15
3. 5 Konfigurasi Pin XLSEMI 6019.....	15
3. 6 Spesifikasi Sensor Tegangan.....	16
3. 7 Konfigurasi Pin Sensor Tegangan	17
3. 8 Spesifikasi Sensor Arus INA219.....	18
3. 9 Konfigurasi Pin Sensor Arus INA219	18
3. 10 Spesifikasi Sensor Suhu DHT22	19
3. 11 Konfigurasi Pin Sensor Suhu DHT22	19
3. 12 Spesifikasi Sensor Cahaya.....	20
3. 13 Konfigurasi Sensor Cahaya.....	20
3. 14 Spesifikasi Digital Lux Meter	21
4. 1 Pengujian Sensor Tegangan	27
4. 2 Pengujian Sensor Arus INA219	31
4. 3 Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Daya yang dihasilkan Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT	33
4. 4 Pengujian Solar Panel dengan LUX 10400, load 50ΩJ,	38
4. 5 Pengujian Solar Panel dengan LUX 8500, load 50ΩJ,	40
4. 6 Pengujian Solar Panel dengan LUX 7300, load 50ΩJ,	42
4. 7 Pengujian Solar Panel dengan LUX 5500, Load 50ΩJ,	44
4. 8 Pengujian Solar Panel dengan LUX 3500, Load 50ΩJ,	46
4. 9 Pengujian Solar Panel dengan LUX 2300, Load 50ΩJ,	48
4. 10 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu pada Solar Panel	51
4. 11 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Daya Maksimum	52
4. 12 Perbandingan Sensor Cahaya dan LDR.....	54
4. 13 Perbandingan Nilai Daya Maksimum dan Nilai Linearisasi	59

4. 14 Perbandingan MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya dan Metode PO.....	65
--	----



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Solar Panel 100 WP [6].....	4
2. 2 Solar Panel Monocrystalline <i>Silikon</i> [8]	5
2. 3 Solar Panel Polycrystalline Silikon [8]	5
2. 4 Kurva I-V untuk Solar Panel [6]	6
2. 5 Kurva Karakteristik MPPT [11].....	7
2. 6 Kurva Karakteristik Metode Temperatur [13]	8
3. 1 Blok Diagram dalam Proyek Akhir	10
3. 2 Solar Panel 100WP yang digunakan	12
3. 3 Arduino Mega 2560	14
3. 4 Buck-Boost Converter XLSEMI 6019	15
3. 5 Sensor Tegangan	16
3. 6 Sensor Arus INA219	17
3. 7 Sensor Suhu DHT22	19
3. 8 Sensor Cahaya.....	20
3. 9 Digital Lux Meter.....	21
4. 1 Rangkaian Pengujian Buck-Boost Converter	23
4. 2 Rangkaian Buck-Boost Converter	24
4. 3 Grafik <i>Output</i> Tegangan Buck-Boost terhadap Duty Cycle	25
4. 4 Rangkaian Sensor Tegangan	27
4. 5 Grafik Tegangan dari Sensor Tegangan dan Multimeter	28
4. 6 Rangkaian Pengujian Sensor Arus INA219	28
4. 7 Grafik <i>Output</i> Arus Pengujian Sensor Arus INA219.....	32
4. 8 Grafik <i>Output</i> Tegangan Pengujian Sensor Arus INA219.....	32
4. 9 Grafik <i>Output</i> Daya Pengujian Sensor Arus INA219	33
4. 10 Grafik Perbandingan Nilai Daya terhadap Tegangan Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT	34
4. 11 Rangkaian Pengujian Alat Menggunakan Solar Panel dengan Metode PO	35

4. 12 Grafik Tegangan dari LUX 10400, load 50 Ω J, dan suhu 33.2°C.....	39
4. 13 Grafik Arus dari LUX 10400, load 50 Ω J, dan suhu 33.2°C	39
4. 14 Grafik Daya dari LUX 10400, load 50 Ω J, dan suhu 33.2°C	40
4. 15 Grafik Tegangan dari LUX 8500, load 50 Ω J, dan suhu 32.9°C.....	41
4. 16 Grafik Arus dari LUX 8500, load 50 Ω J, dan suhu 32.9°C	41
4. 17 Grafik Daya dari LUX 8500, load 50 Ω J, dan suhu 32.9°C	42
4. 18 Grafik Tegangan dari LUX 7300, load 50 Ω J, dan suhu 32.6°C.....	43
4. 19 Grafik Arus dari LUX 7300, load 50 Ω J, dan suhu 32.6°C	43
4. 20 Grafik Daya dari LUX 7300, load 50 Ω J, dan suhu 32.6°C	44
4. 21 Grafik Tegangan dari LUX 5500, load 50 Ω J, dan suhu 31.4°C.....	45
4. 22 Grafik Arus dari LUX 5500, load 50 Ω J, dan suhu 31.4°C	45
4. 23 Grafik Daya dari LUX 5500, load 50 Ω J, dan suhu 31.4°C	46
4. 24 Grafik Tegangan dari LUX 3500, load 50 Ω J, dan suhu 30.2°C.....	47
4. 25 Grafik Arus dari LUX 3500, load 50 Ω J, dan suhu 30.2°C	47
4. 26 Grafik Daya dari LUX 3500, load 50 Ω J, dan suhu 30.2°C	48
4. 27 Grafik Tegangan dari LUX 2300, load 50 Ω J, dan suhu 29°C.....	49
4. 28 Grafik Arus dari LUX 2300, load 50 Ω J, dan suhu 29°C	49
4. 29 Grafik Daya dari LUX 2300, load 50 Ω J, dan suhu 29°C.....	50
4. 30 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Tegangan.....	51
4. 31 pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Arus	52
4. 32 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Daya Maksimum	53
4. 33 Linearisasi Sensor Cahaya.....	55
4. 34 Grafik Perbandingan Nilai Daya Maksimum dan Nilai Linearisasi.....	60
4. 35 Rangkaian Prediksi MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya.....	60
4. 36 Grafik Perbandingan MPPT dari Intensitas Cahaya dan Metode PO.....	66
4. 37 Grafik Tegangan Maksimum dengan Intensitas Cahaya Berbeda – Beda	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup (Perorangan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia pada saat ini, menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan utama yang menjadi salah satu penggerak untuk berbagai aktivitas yang semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan ini, sumber energi terbarukan menjadi solusi yang dibutuhkan, karena tersedia di sekitar kita dan dapat diperbaharui secara alami. Salah satu contohnya adalah energi matahari, yang didapatkan dari sinar matahari yang paling umum digunakan dan dapat diubah menjadi energi listrik melalui *device* elektronik, yaitu *solar panel*. *Solar panel* merupakan perangkat berbahan semikonduktor yang dapat melepas elektron dan digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Namun, karena *solar panel* memiliki karakteristik *non-linear*, yang disebabkan oleh tingkat penyinaran dan temperatur yang berubah setiap hari, menyebabkan daya yang dihasilkan berbeda dan tidak sama dari *solar panel* [1]. Untuk mengetahui daya maksimum yang terserap dan terpakai pada *solar panel* maka diperlukan alat, yaitu *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), yang di mana *output* daya maksimum dihasilkan dari *input* dari tegangan dan arus [2].

Solar panel memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel untuk cara kerjanya. Intensitas cahaya sangat mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh *solar panel*, ketika *solar panel* banyak menerima intensitas cahaya, maka pada saat itu terjadi pelepasan elektron dipermukaan logam yang disinari oleh cahaya dengan frekuensi yang diambang batas, sehingga banyak foton yang dihasilkan, dan pada saat itulah tegangan yang dihasilkan sangat besar [3]. Selain itu juga, *solar panel* akan bekerja semakin optimal ketika berhadapan langsung dengan matahari, yang dimana pada saat itu suhunya sebesar 25°C. Semakin besar suhu pada *solar panel*, maka akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan, karena ketika suhu terlalu tinggi akan menurunkan daya pada *solar panel* [4].

Maximum Power Point Tracking atau biasanya disingkat dengan MPPT adalah sistem elektronik yang bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja *solar panel* dengan menemukan dan mempertahankan titik daya maksimum pada keluaran *solar panel* tergantung pada intensitas cahaya dan suhu yang bergantung pada cuaca. Terdapat banyak algoritma MPPT yang digunakan antara lain, *Perturb and Observe* (PO), *Temperature Method Incremental*, *Conductance*, *Dynamic Approach*, dll. *Temperature method* merupakan metode yang digunakan untuk mengoptimalkan kinerja dengan memperhitungkan pengaruh suhu terhadap arus yang dihasilkan oleh *solar panel*. Oleh karena itu, ketika algoritma *temperature method* digunakan pada MPPT, maka itu akan digunakan untuk mengadaptasi titik operasi pada *solar panel* dengan memperhatikan faktor dari lingkungan, seperti intensitas cahaya dan suhu, dengan memaksimalkan efisiensi konversi sinar matahari menjadi energi listrik [5].

Dalam proyek akhir ini, sebuah alat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) akan dibuat menggunakan metode temperatur dan pengaruh dari intensitas cahaya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam proyek akhir ini, rumusan masalah diambil dari latar belakang, antara lain:

- a. Bagaimana membuat alat yang dapat mengoptimalkan daya yang ada di *solar panel* dengan menggunakan *temperature method*.
- b. Bagaimana membuat alat yang dapat mengoptimalkan daya yang ada di *solar panel* dengan intensitas cahaya yang berbeda.

1.3 Batasan Masalah

Dalam proyek akhir ini, batasan masalah yang ada adalah:

- a. Pengujian menggunakan *load* 50Ω yang diparalel dengan daya maksimum 100 watt.
- b. Mencari titik maksimum dari solar panel berdasarkan intensitas cahaya dan suhu.
- c. Tegangan maksimum pada alat sebesar 25V.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan dalam proyek akhir ini adalah:

- a. Mendapatkan rancangan alat yang dapat mengoptimalkan daya *solar panel* dengan intensitas cahaya
- b. Mendapatkan rancangan alat yang dapat mengoptimalkan daya *solar panel* dengan *temperature* yang berbeda-beda.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Solar Panel*

Solar panel berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, karena terdiri dari sel-sel fotovoltaik yang dipasang pada sebuah substrat dan ditutupi dengan lapisan pelindung. Sel-sel fotovoltaik pada *solar panel* akan merubah cahaya matahari menjadi daya listrik DC (*Direct Current*). Arus listrik DC ini kemudian diubah menjadi arus AC oleh *inverter*, sebelum digunakan atau disimpan dalam baterai [1].



Gambar 2. 1 Solar Panel 100 WP [6]

Berikut jenis – jenis *solar panel* yang sering digunakan, yaitu:

1. *Monocrystalline* Silikon

Monocrystalline Silicon (Mono-Si) adalah jenis *solar panel* yang terbuat dari silikon kristal, memiliki struktur kristal yang sangat teratur dan homogen. *Solar panel* ini memiliki efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis *solar panel* lainnya, yaitu sekitar 15-20%. Efisiensi ini berarti bahwa *solar panel* ini dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sekitar 15-20% [7].



Gambar 2. 2 Solar Panel Monocrystalline Silikon [8]

2. Polycrystalline Silikon

Polycrystalline Silikon adalah jenis *solar panel* yang terbuat dari beberapa kristal silikon, dilebur bersama untuk membentuk wafer *solar panel* polikristalin. Jenis *solar panel* ini memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan, tetapi masih memiliki efisiensi yang cukup tinggi dan bisa digunakan pada suhu yang lebih tinggi [3].

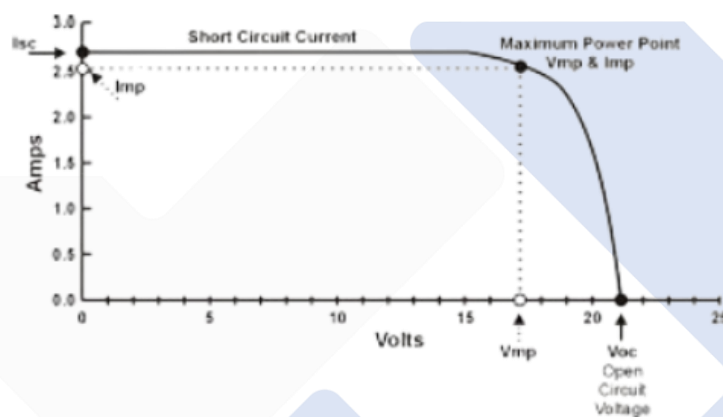


Gambar 2. 3 Solar Panel Polycrystalline Silikon [8]

2.2 Algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah alat yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan *solar panel*. Tujuan MPPT adalah untuk menemukan titik kerja maksimal (*maximum power point*) pada kurva I-V *solar panel*, di mana dapat

menghasilkan daya listrik yang paling besar. Dalam MPPT, *solar panel* dipantau secara terus-menerus untuk mengetahui tegangan dan arus yang terjadi pada saat itu. Dengan menggunakan data ini, MPPT mengatur arus yang mengalir melalui *solar panel* untuk mencapai titik kerja maksimal, sehingga menghasilkan daya listrik yang optimal. MPPT bekerja untuk menaikkan dan menurunkan tegangan kerja, yang dicapai dengan mengatur *duty cycle* pada konverter. Nilai tegangan dan arus berubah jika ada perubahan besar pada nilai daya [9].



Gambar 2. 4 Kurva I-V untuk Solar Panel [6]

Dalam proses kerja, MPPT memiliki dua komponen yang membantu. Untuk menghasilkan daya maksimum (P), maka diperlukan gabungan antara arus (I) dan tegangan (V) dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$P = V \times I \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

P = Daya Maksimum (W)

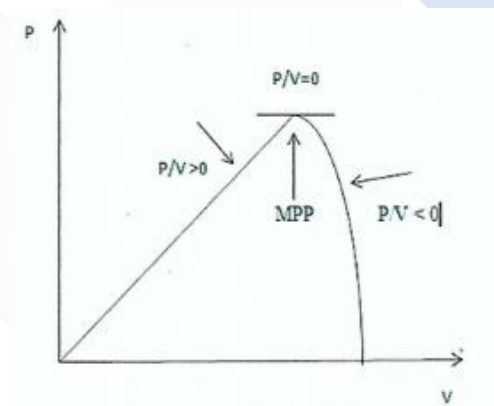
I = Arus input (A)

V = Tegangan input (V)

Daya pada *solar panel* dipengaruhi oleh intensitas radiasi cahaya yang diserap pada kondisi titik daya maksimum *solar panel* yang berbeda – beda dan suhu lingkungan yang ada.

2.3 Metode *Perturb and Observe* (PO)

Perturb and Observe (PO) berpengaruh pada *duty cycle* (DC) sebagai alat untuk menaikkan dan menurunkan nilainya. Titik daya maksimum, dicapai dengan menggunakan nilai parameter daya, tegangan, dan arus sistem fotovoltaik. Metode PO mendapatkan nilai daya maksimum dengan mengubah nilai tegangan (V). Jika PO mengubah tegangan V ke arah kanan, maka akan terjadi peningkatan nilai daya, sehingga perturbasi berikutnya harus tetap sama, yaitu menggeser tegangan (V) ke arah kanan, untuk mencapai titik MPP [5]. Metode ini membutuhkan nilai parameter tegangan, tegangan, dan arus sistem fotovoltaik sebagai masukannya [10].



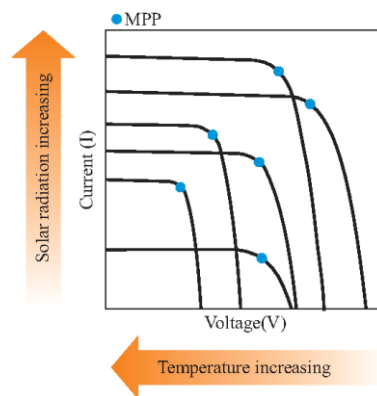
Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik MPPT [11]

Perturbasi akan dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya jauh dari titik pusat (MPP), apabila $dP/dV < 0$, perubahan titik kerja mengarah ke sel surya jauh dari titik pusat (MPP) [6].

2.4 Metode Temperatur

Metode temperatur digunakan untuk mengestimasi tegangan MPP (*Maximum Power Point*) dengan mengukur suhu *solar panel* dan membandingkannya dengan suhu referensi. Metode ini bekerja dengan cara

mengukur suhu *solar panel* dan kemudian mengatur tegangan yang mengalir melalui *solar panel* berdasarkan suhu tersebut. Dengan demikian, MPPT dapat menyesuaikan diri dengan perubahan suhu untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi [12].



Gambar 2. 6 Kurva Karakteristik Metode Temperatur [13]

Metode temperatur juga digunakan dalam beberapa penelitian untuk mengoptimalkan penggunaan *solar panel*. Misalnya, dalam penelitian yang diterbitkan dalam *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, metode ini digunakan untuk mengestimasi tegangan MPP dengan mengukur suhu *solar panel* dan membandingkannya dengan suhu referensi [12].

BAB III

METODE PELAKSANAAN

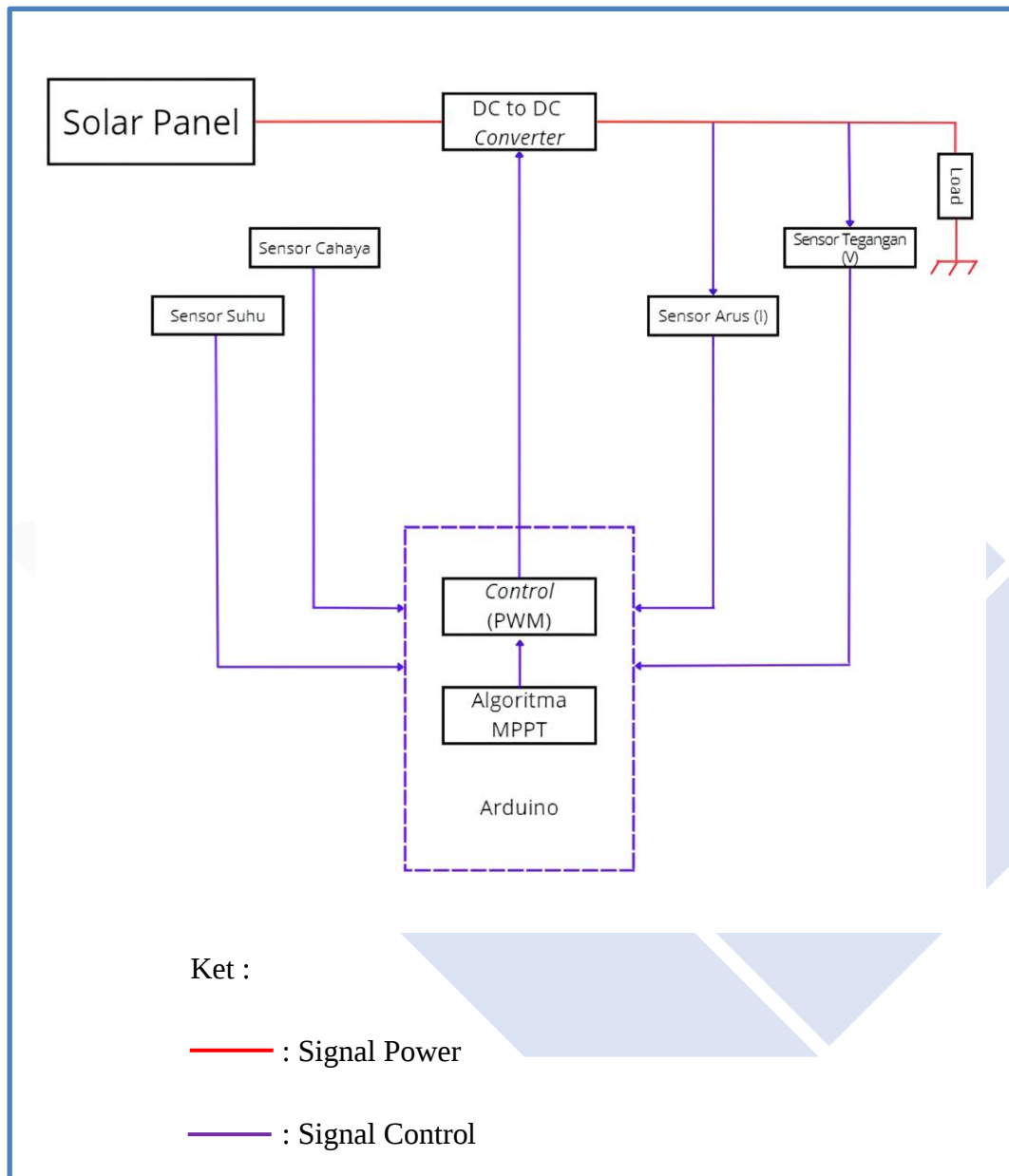
Pada Bab 3 ini, metode pelaksanaan akan dibahas lebih mendetail. Beberapa hal yang harus diperhatikan saat menyelesaikan proyek akhir ini antara lain:

1. Menemukan titik daya maksimum dari *solar panel*.
2. Daya keluaran yang dihasilkan berbeda dari setiap intensitas cahaya yang diserap.
3. Intensitas cahaya matahari dan suhu dapat menghasilkan daya *output* yang akan naik atau turun.

Komponen – komponen yang digunakan dalam proyek akhir ini, yaitu :

- *Solar panel* dengan kapasitas 100 WP.
- *Buck-Boost Converter XLSEMI 6019* berfungsi sebagai sebuah konverter daya yang dapat mengubah daya DC dari satu tingkat ke tingkat lainnya.
- Sensor INA219 berfungsi untuk memantau arus pada rangkaian listrik.
- Sensor tegangan berfungsi untuk memonitoring tegangan keluaran pada rangkaian.
- Sensor DHT22 berfungsi sebagai sensor suhu dan kelembaban yang digunakan untuk mengukur kondisi udara.
- Sensor cahaya berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang mengenai *solar panel*.
- Digital lux meter berfungsi mengukur intensitas cahaya yang diterima.
- Arduino mega 2560 sebagai *controller*.
- Resistor 50 Ω sebagai beban.

3.1 Blok Diagram



Gambar 3. 1 Blok Diagram dalam Proyek Akhir

Berdasarkan Gambar 3.1 *solar panel*, inti dari sistem tenaga surya, mengkonversikan cahaya matahari dengan pengaruh efek fotovoltaiik, sehingga menjadi listrik arus searah (DC). Panel ini tersusun dari sel fotovoltaiik, material semikonduktor yang menyerap foton dari cahaya matahari dan melepaskan

elektron. Aliran elektron ini menghasilkan arus listrik. Intensitas cahaya matahari, faktor penting, secara langsung memengaruhi *output* panel, dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi menghasilkan listrik yang lebih banyak. Selain itu, suhu lingkungan juga berperan, karena suhu yang lebih tinggi dapat sedikit menurunkan efisiensi panel. Untuk memastikan kinerja optimal, sistem menggunakan sensor tegangan dan arus yang terus memantau *output* listrik panel surya. Data ini kemudian dimasukkan ke mikrokontroler Arduino, pengontrol cerdas sistem. Arduino menggunakan algoritma canggih yang disebut MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Algoritma ini dengan cermat menganalisis data sensor untuk menentukan pengaturan tegangan dan arus ideal untuk panel, memaksimalkan *output* dayanya.

3.2 Komponen yang Digunakan

Dalam proyek akhir ini, terdapat beberapa komponen beserta spesifikasiya, yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Komponen dalam Proyek Akhir

No	Komponen	Spesifikasi
1	Arduino Mega 2560	• Digital I/O pin 54 buah, 15 pin PWM <i>output</i> • Tegangan <i>input</i> 7 – 12V DC • Arus DC pin 3.3.V sebesar 5mA • Arus DC I/O pin sebesar 20mA
2	Sensor Arus INA 219	• Arus <i>input</i> 1 – 20A • Tegangan <i>Output</i> 3 – 5V • <i>Current</i> sensor
3	Sensor Tegangan	• Tegangan deteksi 0.02445 – 25V DC • Tegangan <i>input</i> 0 – 25V DC
4	Sensor DHT22	• Tegangan <i>input</i> 3.3 – 6V DC

		• <i>Range</i> suhu -40°C - 80°C
5	Digital Lux Meter	• <i>Display</i> 3 ½ LCD • <i>Max reading value</i> 1999 • <i>Temperatur</i> +-0.1%/°C • <i>Range</i> 1Lux~50000Lux
6	XLSEMI 6019	• <i>Buck-Boost converter</i> • <i>Tegangan input</i> 5 – 40V • <i>Frekuensi</i> 18kHz

3.2.1 Solar Panel

Solar panel merupakan *device* elektronik dengan sel-sel fotovoltaiik yang ada dipermukaan *panel*, yang digunakan untuk mengkonversikan sinar matahari menjadi energi listrik. *Monocrytalline* 100WO menjadi jenis *solar panel* yang digunakan pada proyek akhir ini.



Gambar 3. 2 Solar Panel 100WP yang digunakan

Dibawah ini merupakan Tabel 3.2 spesifikasi dari *solar panel* yang digunakan, yaitu :

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Solar Panel*

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Daya Maksimum	100W

2.	Arus Maksimum	5,62A
3.	Tegangan Maksimum	17,8V
4.	Tegangan Terbuka	21,8V
5	Arus Terhubung	6,05A
6	Temperatur	25°C

Spesifikasi yang ada pada Tabel 3.2 akan dijabarkan kembali sebagai berikut.

1. *Maximum Power* (Daya Maksimum). Daya maksimum (P_{max}) adalah nilai yang menunjukkan *output* daya yang dapat dihasilkan oleh *solar panel*, dengan mengkombinasikan antara tegangan dan arus sehingga menghasilkan daya yang paling tinggi. Spesifikasi yang dipakai sebesar 100 watt. Dalam hal ini, P_{max} dapat dihasilkan oleh *solar panel* 100 watt apabila kondisi ideal terpenuhi, seperti sinar matahari yang kuat dan suhu udara yang optimal. Rumus perhitungan nilai daya maksimum adalah sebagai berikut: $P_{max} = V_{oc} \times I_{cs} \times FF$.
2. *Maximum Power Current* (Arus Maksimum). Arus maksimum (I_{mp}) dari *solar panel* 100 watt yang digunakan dalam proyek akhir ini sebesar 5,62A. I_{mp} adalah arus maksimum yang dikeluarkan oleh *solar panel*.
3. *Maximum Power Voltage* (Tegangan Maksimum). Tegangan maksimum (V_{mp}) dari *solar panel* 100 watt yang digunakan dalam proyek akhir ini sebesar 17,8V. V_{mp} adalah tegangan maksimum yang dikeluarkan oleh *solar panel*.
4. *Open Circuit Voltage* (Rangkaian Tegangan Terbuka). Rangkaian tegangan terbuka (V_{oc}) adalah nilai maksimum dari tegangan yang dicapai pada saat tidak memiliki arus. Nilai maksimum V_{oc} dalam *solar panel* ini sebesar 21,8V.
5. *Short Circuit Current* (Rangkaian Arus Terhubung). Rangkaian arus terhubung (I_{sc}) adalah nilai maksimum *output solar panel* yang didapatkan

dengan kondisi tidak adanya hambatan. Nilai I_{sc} dalam *solar panel* proyek akhir ini sebesar 6,05A.

3.2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan mikrokontroller yang berbasis chip Atmega2560, yang memiliki 54 pin I/O digital (15 diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), dan 16 pin *input* analog [11].



Gambar 3. 3 Arduino Mega 2560

Berikut adalah Tabel 3.3 spesifikasi Arduino Mega yang digunakan dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Arduino Mega 2560

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Digital I/O	Pin 54 buah, 15 diantaranya menyediakan PWM <i>output</i>
2.	Tegangan <i>Input</i>	7-12V DC
3.	Arus DC	3.3V 5 mA
4.	Arus DC I/O	20 mA

3.2.3 Buck-Boost Converter

Buck-boost converter berfungsi sebagai sebuah konverter daya yang dapat mengkonversikan daya dari satu tingkat ke tingkat lainnya, dengan tipe yang digunakan XLSEMI 6019. *Buck-boost Converter* XLSEMI 6019 adalah konverter *DC to DC* yang fleksibel yang dapat meningkatkan dan menurunkan tegangan masukan untuk menghasilkan tegangan *output* yang ter-regulasi.



Gambar 3. 4 Buck-Boost Converter XLSEMI 6019

Berikut adalah spesifikasi dari *XLSEMI 6019* yang digunakan dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 4 Spesifikasi XLSEMI 6019

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Arus Maksimum	5A
2.	Tegangan <i>input</i> 5 – 40V	5 – 40V
3.	Frekuensi	18 kHz
4.	Arus DC I/O	20 mA

Prinsip kerja dari *buck-boost converter XLSEMI 6019* cukup sederhana, yaitu dengan menggunakan kombinasi induktor dan kapasitor untuk menyimpan energi dan mengatur tegangan *output*. *buck-boost converter* dapat beroperasi dalam mode *buck* (menurunkan) dan *boost* (meningkatkan), memungkinkan perubahan tegangan *output* untuk cocok dengan tegangan masukan. Kemampuan ini membuatnya cocok untuk aplikasi di mana tegangan masukan dapat berbeda secara signifikan.

Tabel keterangan pin dari *buck-boost converter XLSEMI 6019*, dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Konfigurasi Pin XLSEMI 6019

No	Pin	Keterangan
1.	Pin IN +	Dihubungkan ke <i>output</i> solar panel +
2.	Pin IN -	Dihubungkan ke <i>output</i> solar panel –

3.	Pin Enable	Dihubungkan ke pin PWM 7
4.	Pin OUT +	Dihubungkan ke pin Vin+ sensor arus
5.	Pin OUT -	Dihubungkan ke <i>load</i>

Pada proyek akhir ini, pin IN + dan pin IN – merupakan pin *input converter* yang dihubungkan ke *output +* dan *output –* panel surya. Pin *enable* merupakan pin kontrol yang dihubungkan dengan pin PWM 7. Pin OUT + akan terhubung dengan pin Vin+ sensor arus, sedangkan pin OUT – *converter* yang dihubungkan ke *load*.

3.2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi sebagai sensor pengukur tegangan *output DC to DC converter* yang diterima pada rangkaian. Sensor tegangan ini umumnya digunakan dalam aplikasi seperti pengukuran tegangan pada sistem listrik, pengawasan tegangan pada perangkat elektronik, dan penggunaan dalam sistem monitoring dan kontrol. Dapat dilihat dari Gambar 3.5 yang merupakan sensor tegangan yang digunakan.



Gambar 3. 5 Sensor Tegangan

Dibawah ini merupakan Tabel 3.6 spesifikasi dari sensor tegangan yang digunakan dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Sensor Tegangan

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tegangan <i>input</i>	0 – 25V DC
2.	Tegangan Deteksi	0.02445 – 25V DC

Untuk konfigurasi pin pada sensor tegangan, dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3. 7 Konfigurasi Pin Sensor Tegangan

No	Pin	Keterangan
1.	Pin VCC	Dihubungkan ke <i>load</i> dan Vin- sensor arus
2.	Pin GND	Dihubungkan ke OUT- <i>buck-boost converter</i>
3.	Pin -	Dihubungkan ke pin GND arduino
4.	Pin +	Dihubungkan ke pin 5V arduino
5.	Pin S	Dihubungkan ke A0 arduino

Pada proyek akhir ini, pin VCC akan dihubungkan ke *load* dan ke Vin – sensor arus. Untuk pin GND akan di hubungkan ke pin OUT – *buck-boost converter*. Pin – terhubung dengan pin GND pada arduino mega 2560. Sedangkan Pin + akan terhubung dengan pin 5V arduino, dan begitu juga pin S akan dihubungkan ke A0 yang ada di arduino mega 2560.

3.2.5 Sensor Arus INA219

Sensor arus INA219 adalah sensor yang dapat memonitoring arus pada rangkaian listrik. Selain itu juga sensor ini digunakan untuk mengukur tegangan melalui komunikasi I2C. Gambar 3.6 merupakan sensor arus yang digunakan.



Gambar 3. 6 Sensor Arus INA219

Pada Tabel 3.8 merupakan spesifikasi dari sensor arus INA219 yang digunakan dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 8 Spesifikasi Sensor Arus INA219

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Arus <i>Input</i>	1 – 20A
2.	Tegangan <i>Output</i>	3 – 5V
3.	<i>Current Sensor</i>	3.2A

Prinsip kerja sensor arus ini, dengan cara mengukur penurunan tegangan resistor shunt yang terhubung seri dengan beban. Tabel 3.9 merupakan konfigurasi pin dari sensor arus INA219.

Tabel 3. 9 Konfigurasi Pin Sensor Arus INA219

No	Pin	Keterangan
1.	Pin VCC	Dihubungkan ke pin 5V arduino
2.	Pin GND	Dihubungkan ke pin GND arduino
3.	Pin SCL	Dihubungkan ke pin SCL arduino
4.	Pin SDA	Dihubungkan ke pin SDA arduino
5.	Pin Vin-	Dihubungkan ke <i>load</i> dan VCC sensor tegangan
6.	Pin Vin+	Dihubungkan ke OUT+ <i>buck-boost converter</i>

Pada proyek akhir ini, pin VCC terhubung ke sumber tegangan yaitu pin 5V arduino. Pin GND sensor arus INA219, dihubungkan ke GND arduino. Pin SCL, terhubung ke pin SCL arduino. Pin SDA, terhubung ke pin SDA arduino. Pin Vin –, terhubung ke sisi negatif beban. Sedangkan pin Vin+, terhubung ke sisi positif beban.

3.2.6 Sensor Suhu DHT22

Sensor suhu adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur suhu udara disekitarnya dan menghasilkan sinyal pada pin data. Jenis sensor suhu yang digunakan adalah DHT22.



Gambar 3. 7 Sensor Suhu DHT22

Tabel 3.10 merupakan spesifikasi dari sensor suhu DHT22 yang digunakan dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 10 Spesifikasi Sensor Suhu DHT22

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tegangan <i>Input</i>	3.3V - 6V DC
2.	<i>Range</i> Suhu	-40°C - 80°C

Untuk konfigurasi pin pada sensor suhu DHT22, dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3. 11 Konfigurasi Pin Sensor Suhu DHT22

No	Pin	Keterangan
1.	Pin +	Dihubungkan ke VCC Arduino
2.	Pin OUT	Dihubungkan ke pin 2 Arduino
3.	Pin -	Dihubungkan ke GND Arduino

Pada proyek akhir ini, Pin + dihubungkan ke sumber tegangan yaitu pin VCC arduino. Pin OUT, terhubung ke pin 2 pada arduino. Pin -, terhubung ke GND yang ada di Arduino.

3.2.7 Sensor Cahaya

Sensor Cahaya, juga dikenal sebagai resistor cahaya dengan jenis LDR (*Light Dependent Resistor*), dengan nilai resistansinya dapat berbeda sesuai dengan intensitas cahaya yang mengenai sensor.



Gambar 3. 8 Sensor Cahaya

Dapat dilihat dalam Tabel 3.12 yang merupakan tabel spesifikasi dari sensor cahaya dalam proyek akhir ini.

Tabel 3. 12 Spesifikasi Sensor Cahaya

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	<i>Max Voltage</i>	200V
2.	<i>Max Power</i>	200mW
3.	Resistansi	10 Ω – 100k Ω

Prinsip kerja sensor cahaya, resistansi akan meningkat apabila cahaya yang masuk sedikit mengenai sensornya sedangkan apabila cahaya banyak mengenai sensornya, maka resistansi yang dihasilkan akan menurun. Oleh karena itu, sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi nilai intensitas cahaya dan mengatur aliran listrik berdasarkan cahaya.

Untuk konfigurasi pin pada sensor cahaya terdapat pada Tabel 3.12 berikut ini.

Tabel 3. 13 Konfigurasi Sensor Cahaya

No	Pin	Keterangan
1.	Kaki 1	Dihubungkan ke A1 dan Kaki 1 resistor

2.	Kaki 2	Dihubungkan ke VCC Arduino
3.	Kaki 2 Resistor	Dihubungkan ke GND Arduino

Pada proyek akhir ini, menggunakan sensor cahaya, dengan Kaki 1 pada sensor cahaya dihubungkan ke A1 arduino dan Kaki 1 resistor, lalu untuk Kaki 2 sensor cahaya dihubungkan ke VCC arduino, sedangkan untuk Kaki 2 resistor dihubungkan ke *ground* yang ada di arduino.

3.2.8 Digital Lux Meter

Digital lux meter merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya secara digital dengan hasil satuannya adalah lux (lx). Ketika penggunaan digital lux meter, cahaya yang masuk harus stabil.



Gambar 3. 9 Digital Lux Meter

Pada proyek akhir ini, digital lux meter melakukan pengukuran intensitas cahaya yang akan diterima oleh *solar panel*, dengan begitu dapat dideteksi kapasitas penggunaan sinar matahari untuk *solar panel*.

Tabel 3. 14 Spesifikasi Digital Lux Meter

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	<i>Display</i>	3 ½ LCD

2.	<i>Max Reading</i>	<i>Value 1999</i>
3.	<i>Temperature</i>	$\pm 0.1\%/^{\circ}\text{C}$
4	<i>Range</i>	1Lux ~ 50000Lux



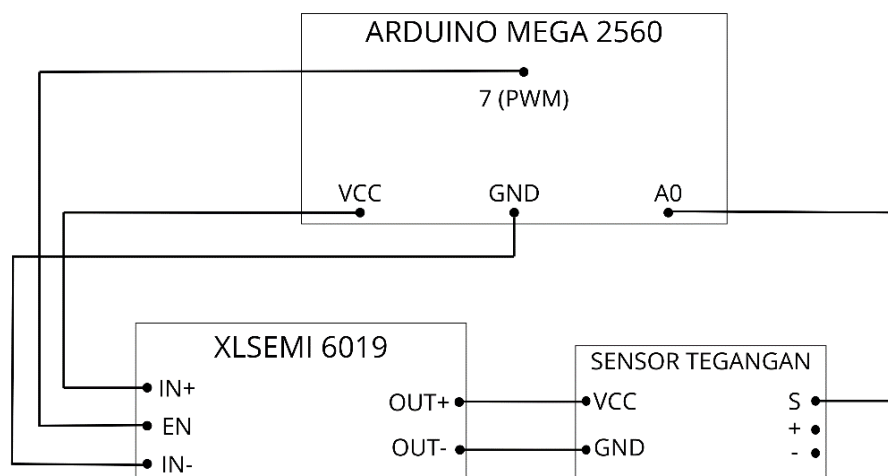
BAB IV

PEMBAHASAN

Pada Bab 4 ini, akan dibahas hasil pengujian yang telah dilakukan pada semua komponen.

4.1 Pengujian *Buck-Boost Converter*

Buck-Boost converter memiliki kombinasi induktor dan kapasitor yang dimana berfungsi untuk menyimpan energi dan untuk mengatur tegangan *output*nya dengan menaikkan dan menurunkan, serta memungkinkan perubahan tegangan *output* dan mencocokkan tegangan *input*. *XLSEMI 6019* jenis *buck-boost converter* yang digunakan dalam proyek akhir ini, dengan *input* dari *buck-boost* yang digunakan berupa 1 buah *solar panel* 100WP. Gambar 4.1 merupakan blok diagram untuk pengujian proyek akhir ini.



Gambar 4. 1 Rangkaian Pengujian Buck-Boost Converter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dan tingkat keakuratan pada converter sebelum digunakan bersama Arduino Mega 2560, dengan pin *enable* yang digunakan adalah pin 7.

Adapun list program yang digunakan untuk pengujian *buck-boost converter XLSEMI 6019*.

```
const int pwmPin = 7;
```

```
void setup () {
  pinMode (pwmPin, output);
  Serial.begin(9600);
}
```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

```
void loop () {
  for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle+=1) {
    analogWrite (pwmPin, dutyCycle);
```

Looping nilai *duty cycle* dari 0 hingga 255, dengan kenaikan 1.

```
float voltage1 = 0;
```

```
voltage1=analogRead(A0);
```

```
float voltage = voltage1 * (25.0 / 1023.0);
```

Rumus tegangan dari pembacaan pin analog 0 (A0) dengan sumber tegangan yang diberikan 25V.

```
Serial.print(dutyCycle);
```

```
Serial.print(",");
```

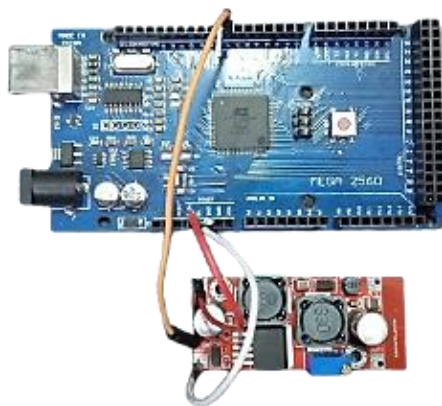
```
Serial.println(voltage);
```

```
delay (500);
```

Nilai *duty cycle* dan tegangan akan mendapatkan *delay* 0,5s.

```
}
}
```

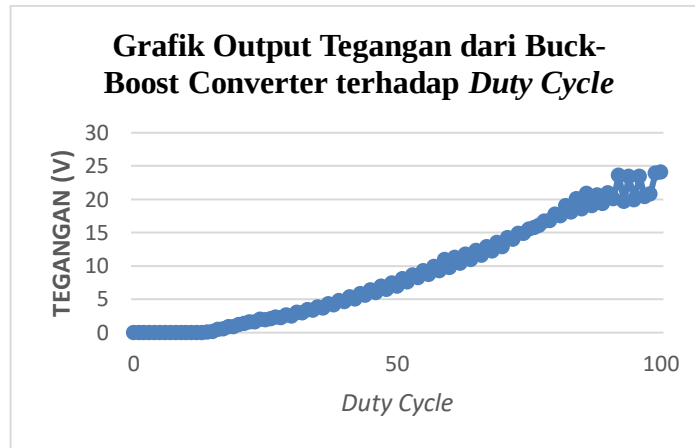
Gambar 4.2 merupakan rangkaian pengujian terhadap *converter XLSEMI 6019*.



Gambar 4. 2 Rangkaian Buck-Boost Converter

Berdasarkan pengujian tersebut, proses pengukuran *duty cycle* sebanyak

100% dan didapatkan grafik yang dihasilkan oleh *buck-boost converter* dengan keluaran nilai dari tegangan.



Gambar 4. 3 Grafik Output Tegangan Buck-Boost terhadap Duty Cycle

Berdasarkan grafik 4.3, nilai pada *duty cycle* rendah, *output* tegangan meningkat secara *linear* dengan *duty cycle*. Namun, pada *duty cycle* tinggi, *output* tegangan tidak meningkat secara signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh semakin tinggi *duty cycle* yang diberikan, semakin tinggi pula *output* PWM yang dihasilkan. Hubungan *linear* ini menunjukkan bahwa *buck-boost converter* bekerja dengan baik dalam mengontrol *output* PWM sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan. Berbeda dengan hubungan *duty cycle* dan *output* PWM, hubungan antara *duty cycle* dan *output* tegangan pada *buck-boost converter* bersifat *non-linear*.

4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Pada pengujian sensor tegangan, memiliki spesifikasi tegangan *input* DC hingga 25V. Sensor ini digunakan untuk mengukur tegangan dari *DC to DC converter* sehingga rangkaian sensor dihubungkan menjadi satu dengan *buck-boost converter XLSEMI 6019* dalam pemrograman arduino.

Proses kerja, pin VCC akan dihubungkan ke *load* dan ke *Vin* – sensor arus. Untuk pin GND akan di hubungkan ke pin OUT – *buck-boost converter*. Pin – dihubungkan ke pin GND yang ada di arduino mega 2560. Pin + dihunungkan ke

pin 5V arduino, dan begitu juga pin S akan dihubungkan ke A7 yang ada di arduino mega 2560.

Adapun list program yang digunakan untuk pengujian sensor tegangan, yaitu sebagai berikut:

```
const int pwmPin = 7;
const int voltagePin = A0;

void setup () {
    pinMode (pwmPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop () {
    for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle += 1)
    {
        analogWrite (pwmPin, dutyCycle);
        delay (500);
        float voltage = analogRead(voltagePin) * (25.0 / 1023.0);
        Serial.print(dutyCycle);
        Serial.print(", ");
        Serial.println(voltage);
    }
}
```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

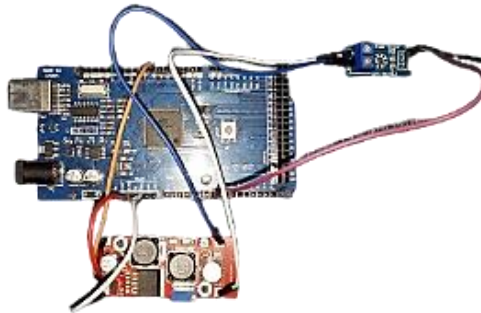
Looping nilai *duty cycle* dari 0 hingga 255, dengan kenaikan 1.

Rumus membaca nilai tegangan dari analog pin 0 (A0).

Pembacaan *duty cycle* dan tegangan ditampilkan dalam serial monitor.

Sensor tegangan dikontrol melalui arduino, dengan keluaran dari *buck-boost converter* berdasarkan *duty cycle* sebanyak 100%. Tegangan keluaran akan otomatis muncul pada serial monitor arduino sesuai dengan *duty cycle* yang dimana, dapat diatur sesuai keinginan sesuai dengan list program arduino.

Berikut merupakan hasil data dari pengujian sensor tegangan.



Gambar 4. 4 Rangkaian Sensor Tegangan

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Tegangan

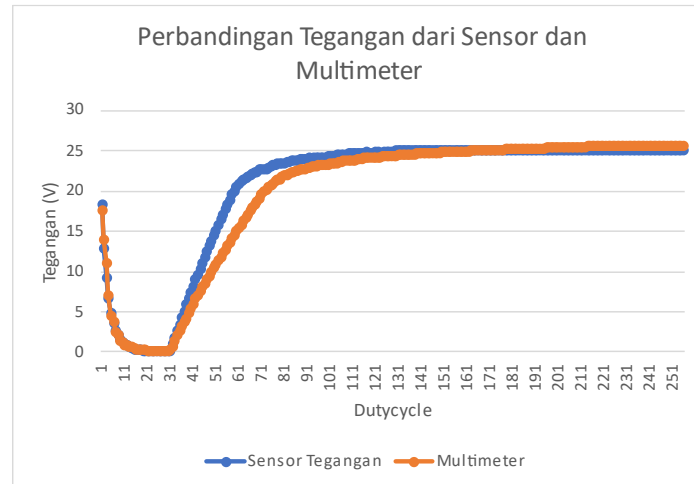
<i>Duty Cycle</i>	Sensor Tegangan Tegangan (V)	Multimeter Tegangan (V)	Persentase Error (%)
1	12.9	13.89	0.076744
15	0.27	0.278	0.02963
35	4.2	3.134	0.25381
50	15.08	10.88	0.278515
100	24.22	23.3	0.037985
150	25	24.76	0.0096
200	25	25.34	0.0136
250	25	25.6	0.024
255	25	25.6	0.024

Untuk mendapatkan persentase *error* diatas, dapat menggunakan rumus persamaan sebagai berikut.

$$\text{Persentase Error} = \frac{|\text{sensor tegangan} - \text{multimeter}|}{\text{sensor tegangan}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Berdasarkan Tabel 4.1 pengujian sensor tegangan, sensor menunjukkan akurasi yang cukup baik dengan 56% pengukuran memiliki *error* 0% dan 80% pengukuran memiliki *error* di bawah 1%. Terdapat hubungan sebanding antara *duty cycle* dan tegangan keluaran pada sensor tegangan. Artinya, semakin tinggi *duty cycle*, semakin tinggi pula tegangan keluarannya. Hal ini dikarenakan tegangan keluaran dihitung dengan mengalikan tegangan *input* dengan *duty cycle*. Pada *duty*

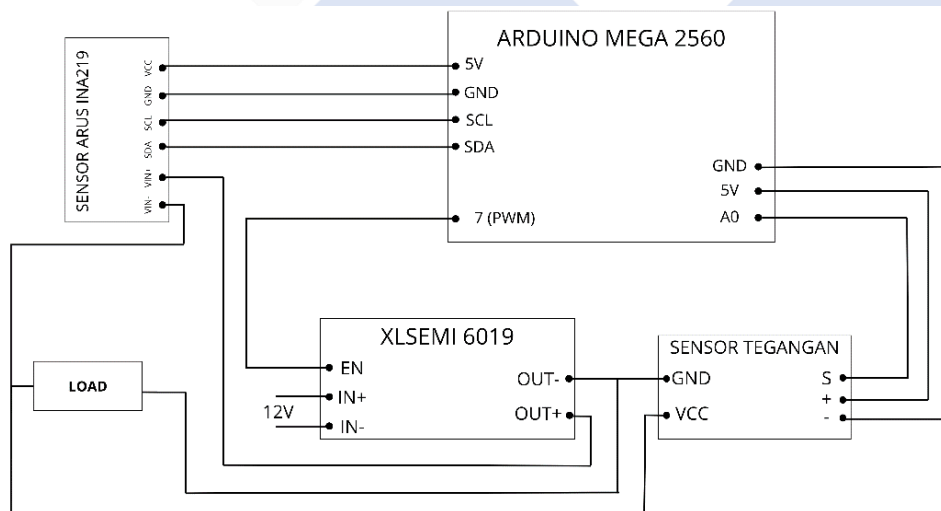
cycle 255%, tegangan keluaran mendekati 25V, batas tegangan sensor.



Gambar 4. 5 Grafik Tegangan dari Sensor Tegangan dan Multimeter

4.3 Pengujian Sensor Arus INA219

Pengujian sensor arus INA219 ini menghubungkan modul sensor INA219 ke pin 5V dan GND Arduino Mega 2560, menggunakan *load* 100 watt 50Ω dan membandingkan nilai sensor arus dengan multimeter.



Gambar 4. 6 Rangkaian Pengujian Sensor Arus INA219

Pada pengujian ini, rangkaian digabungkan dengan sensor tegangan dan *buck-boost converter XLSEMI 6019*. Fungsi dari pengujian ini adalah untuk melihat cara kerja dari kedua sensor yang berfungsi dengan baik dan memiliki keakuratan dengan membandingkan hasil *output* sensor dengan hasil pengukuran pada multimeter digital. Pin Vin+ sensor arus dihubungkan dengan OUT+ pada *buck-boost converter* dan Vin- sensor arus dihubungkan dengan *load*. Untuk pembacaan *output* sensor arus ini menggunakan *library* tersendiri, yaitu Adafruit_219. PWM yang digunakan pada pengujian ini adalah PWM 7 yang digunakan untuk menghasilkan keluaran analog yang proporsional dengan nilai *output* tegangan pada sensor.

Adapun list program yang digunakan untuk pengujian sensor arus INA219, yaitu sebagai berikut:

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_INA219.h>
```

```
Adafruit_INA219 ina219;
```

```
int pinPwm = 7;
```

```
void setup () {
```

```
    ina219.setCalibration_32V_2A ();
```

```
    Serial.begin(9600);
```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

```
    ina219.begin();
```

Inisialisasi sensor INA219

```
}
```

```
void loop () {
```

```
{
```

```
for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <=255; dutyCycle += 1)
```

```
{
```

```
    float shuntvoltage = 0;
```

Looping nilai duty cycle dari 0 hingga 255, dengan kenaikan 1.

```

float busvoltage = 0;
float current_mA = 0;
float power_mW = 0;
float loadvoltage = 0;
float voltage1 = 0;

current_mA = ina219.getCurrent_mA ();
shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV ();
busvoltage = ina219.getBusVoltage_V ();
power_mW = ina219.getPower_mW ();
loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);
voltage1=analogRead(A0);
float voltage = voltage1 * (25.0 / 1023.0);
float power = power_mW / 1000.0;

analogWrite (pinPwm, dutyCycle);

Serial.print("Duty Cycle: "); Serial.print(dutyCycle);
Serial.print("DC");
Serial.print("\tVoltage: "); Serial.print(voltage);
Serial.print("V");
Serial.print("\tArus: "); Serial.print(current_mA);
Serial.print("mA");
Serial.print("\tPower: "); Serial.print(power_mW);
Serial.println("mW");
delay (100);}}}

```

Rumus membaca nilai arus dari sensor arus INA219 dan nilai tegangan dari sensor tegangan.

Menampilkan nilai *duty cycle*, tegangan, arus, dan daya dengan *delay* 0,1 s.

Dan dibawah ini, pada Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian sensor arus INA219. Rangkaian pengujian ini terdiri dari pin *input* negatif yang dihubungkan dengan *load* 100W 50ΩJ dan pin *input* positif yang dihubungkan ke OUT+ *buck-*

boost converter. Pin SCL dan SDA digunakan untuk komunikasi I2C ke Arduino, memungkinkan penggunaan sensor arus INA219.

Tabel 4. 2 Pengujian Sensor Arus INA219

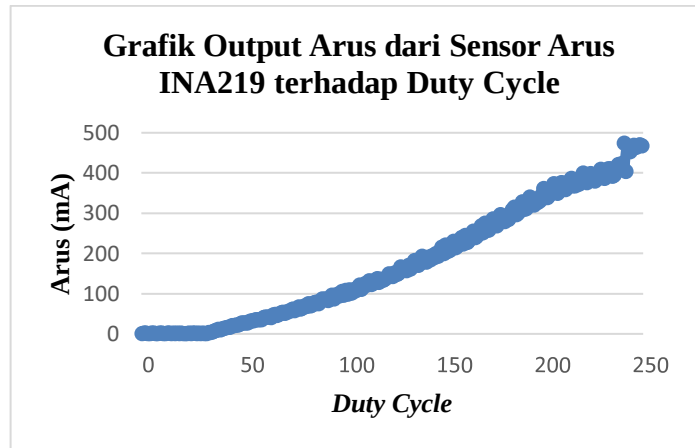
DC	Pengukuran Sensor Arus INA219		Pengukuran Dengan Multimeter		Persentase Error (%)	
	Tegangan (V)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0	0.4	0	0	0	0
50	1.05	22.40	1.332	26.64	0.2	0.16
70	2.42	45.60	2.632	52.64	0.08	0.13
100	4.89	91.50	4.99	99.8	0.02	0.08
130	7.70	147.90	7.92	158.4	0.027	0.066
150	10.12	195.70	10.04	200.8	0.008	0.025
170	11.78	231.60	12.53	250.6	0.06	0.07
200	15.76	334.10	16.82	336.4	0.06	0.07
225	18.84	381.5	19.60	392	0.04	0.03
250	23.68	459.80	23.97	479.4	0.01	0.04
255	24.32	466.10	24.30	486	0.001	0.04

Untuk mendapatkan nilai persentase *error* diatas, dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

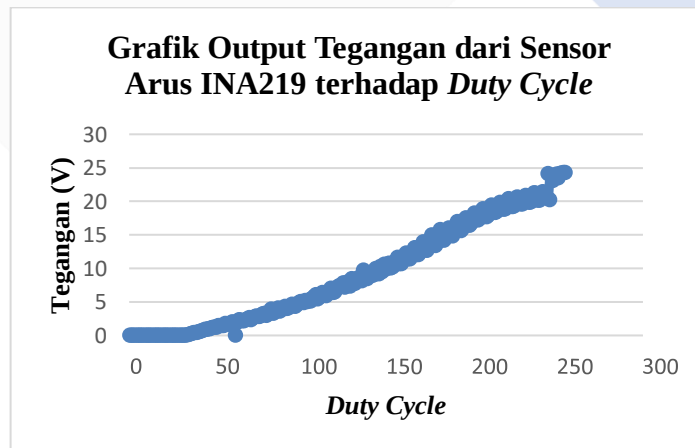
$$\text{Persentase Error} = \frac{|\text{nilai terukur sensor} - \text{nilai terukur multimeter}|}{\text{nilai terukur multimeter}} \times 100\% \dots (4.2)$$

Pada pengujian sensor arus INA219 telah menunjukkan hasil tingkat akurasi yang baik dengan nilai persentase *error* rata-rata sebesar 0,06% dan nilai *error* maksimal sebesar 0,16%. Pengujian ini juga menunjukkan adanya hubungan proporsional antara *duty cycle* dan nilai arus yang terukur. Dalam hal ini, semakin besar *duty cycle* yang digunakan, maka nilai arus yang terukur juga akan semakin besar. Selain itu, sensor INA219 juga menunjukkan respon yang cepat terhadap perubahan *duty cycle*. Pada pengujian ini juga menggunakan 12V dari *power supply*

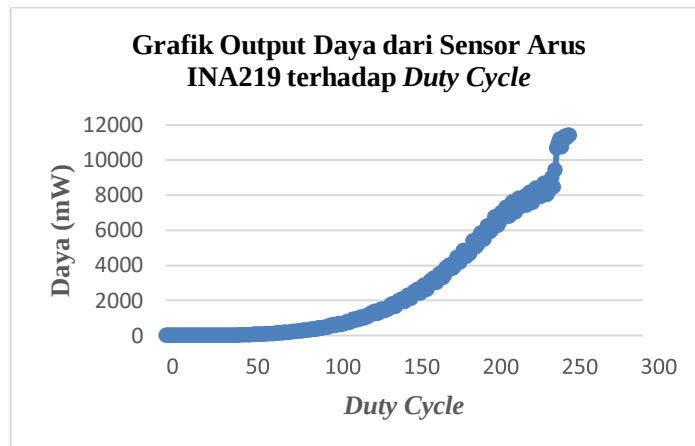
untuk mencari keluaran dari sensor arus tersebut.



Gambar 4. 7 Grafik *Output* Arus Pengujian Sensor Arus INA219



Gambar 4. 8 Grafik *Output* Tegangan Pengujian Sensor Arus INA219



Gambar 4. 9 Grafik Output Daya Pengujian Sensor Arus INA219

4.4 Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Daya Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT

Pada pengujian ini, nilai tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan MPPT akan sangat berbeda dari yang dihasilkan tanpa MPPT, karena pada dasarnya MPPT digunakan untuk mengoptimalkan nilai tegangan yang dikeluarkan dari solar panel. Dibawah ini, pada Tabel 4.3 merupakan nilai perbandingan tegangan terhadap daya yang dihasilkan tanpa MPPT dan menggunakan MPPT.

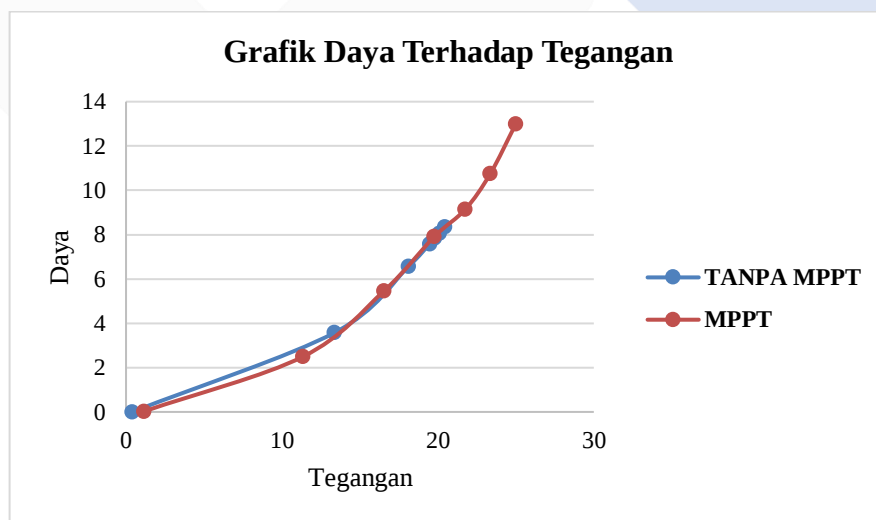
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Daya yang dihasilkan Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT

Perbandingan Nilai Tegangan terhadap Daya							
LUX	Tanpa MPPT			MPPT			Efisiensi Daya (%)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
0	0.408	0.008	0.003	1.15	0.02	0.02	6.91
2300	13.37	0.267	3.6	11.36	0.22	2.50	0.70
3500	18.11	0.362	6.6	16.54	0.33	5.46	0.83
5500	19.47	0.389	7.6	19.77	0.4	7.91	1.04
7300	19.81	0.396	7.8	21.75	0.42	9.14	1.16
8500	20.09	0.402	8.1	23.36	0.46	10.75	1.33
10400	20.44	0.409	8.4	25.00	0.52	13.00	1.56
Rata - Rata			6.0	Rata - Rata			6.97

Berdasarkan Tabel 4.3, daya *output* dari *solar panel* yang terhubung dengan MPPT dapat menghasilkan daya dengan efisiensi sebesar 16.13%, yang dibandingkan tanpa menggunakan MPPT. Efisiensi daya keluaran dari menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Efisiensi = \frac{(P_{MPPT} - P_{non MPPT})}{P_{non MPPT}} \times 100\% \dots \dots \dots (4.3)$$

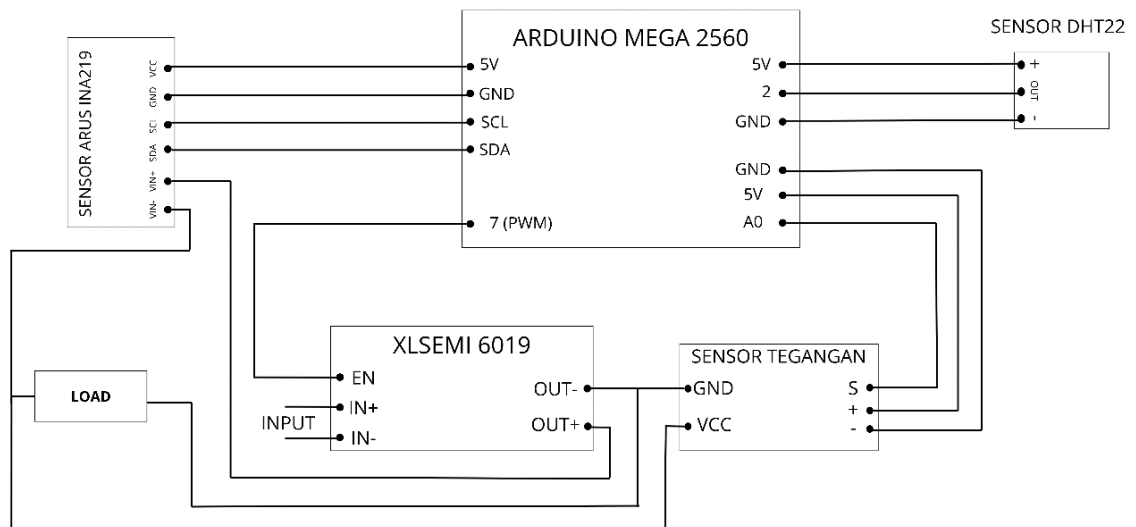
Gambar dibawah ini merupakan grafik dari tegangan terhadap daya yang dihasilkan tanpa MPPT dan menggunakan MPPT.



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Nilai Daya terhadap Tegangan Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT

4.5 Pengujian Alat Menggunakan *Solar Panel* dengan Metode PO

Pengujian ini menggunakan metode PO dan *solar panel monocrystalline* 100 WP dengan *load* 100W 50ΩJ. Rangkaian yang digunakan ada pada gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4. 11 Rangkaian Pengujian Alat Menggunakan Solar Panel dengan Metode PO

Adapun list program yang digunakan untuk pengujian alat menggunakan solar panel, yaitu sebagai berikut:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_INA219 ina219;

const int pwmPin = 7;
const int voltagePin = A0;
const float maxVoltage = 25.0;
const float resistorValue = 50.0;
```

```

float voltage = 0.0;
float current = 0.0;
float power = 0.0;
float prevPower = 0.0;
int deltaDutyCycle = 0;
int dutyCycle = 0;
float temperatureC = 0.0;

```

```

void setup () {
  Serial.begin(9600);
  ina219.begin();
  dht.begin();
  pinMode (pwmPin, OUTPUT);

```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

```

  readAndDisplayTemperature();
}

```

```

float readVoltage() {
  int sensorValue = analogRead(voltagePin);
  float voltage = (sensorValue / 1023.0) * maxVoltage;
  return voltage;
}

```

Rumus membaca nilai tegangan dari sensor tegangan.

```

void readAndDisplayTemperature() {
  temperatureC = dht.readTemperature();
  if (isnan(temperatureC)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
  } else {
    Serial.print("Suhu: ");
    Serial.print(temperatureC);

```

Membaca dan menampilkan suhu di serial monitor.

```

    Serial.println(" *C");
}
}

void perturbAndObserve() {
    for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle += 1)
    {
        float newVoltage = readVoltage();
        float newCurrent = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0;
        float newPower = newVoltage * newCurrent;

        if (newPower > prevPower) {
            dutyCycle += deltaDutyCycle;
        } else {
            deltaDutyCycle = -deltaDutyCycle;
            dutyCycle += deltaDutyCycle;
        }

        dutyCycle = constrain(dutyCycle, 0, 255);
        analogWrite(pwmPin, dutyCycle);
        prevPower = newPower;

        Serial.print(newVoltage); Serial.print(" , ");
        Serial.print(newCurrent); Serial.print(" , ");
        Serial.print(newPower); Serial.print(" , ");
        Serial.println(dutyCycle);

        delay(200);
    }
}

```

Mengoperasikan nilai *duty cycle* dengan kenaikan 1 dari algoritma *Perturb and Observe*.

Rumus implementasi algoritma *Perturb and Observe*. Jika daya baru lebih besar dari daya sebelumnya, maka *duty cycle* akan meningkat. Jika tidak, maka nilai delta mengalami arah perubahan yang dibalik.

Memastikan *duty cycle* berada dalam rentang 0-255.

Menampilkan hasil nilai tegangan, arus, dan daya dari sensor pada serial monitor dengan *delay* 2 s.

```
}
```

```
void loop() {  
    perturbAndObserve();  
    delay(500);  
}
```

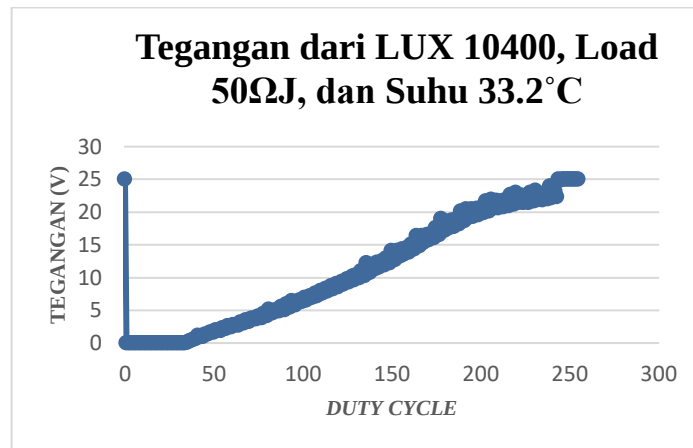
Looping ke iterasi berikutnya dengan *delay* 0,5 s.

Dibawah ini, pada Tabel 4.4 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 10400, *load* 50 Ω J, dan suhu 33.2°C.

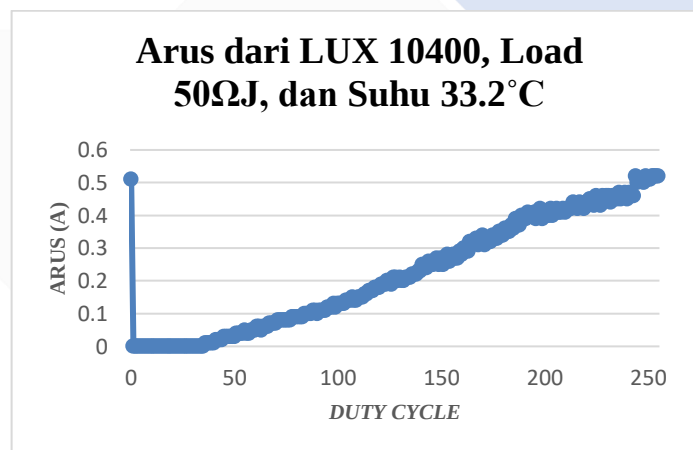
Tabel 4. 4 Pengujian Solar Panel dengan LUX 10400, load 50 Ω J, dan suhu 33.2°C

Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	25	0.51	12.75
25	0	0	0
50	1.61	0.03	0.0483
75	4.13	0.08	0.3304
100	6.35	0.13	0.8255
115	8.16	0.17	1.3872
125	9.82	0.2	1.964
150	14.13	0.27	3.8151
175	17.6	0.34	5.984
200	20.67	0.41	8.4747
225	22.14	0.46	10.1844
250	25	0.51	12.75
255	25	0.52	13

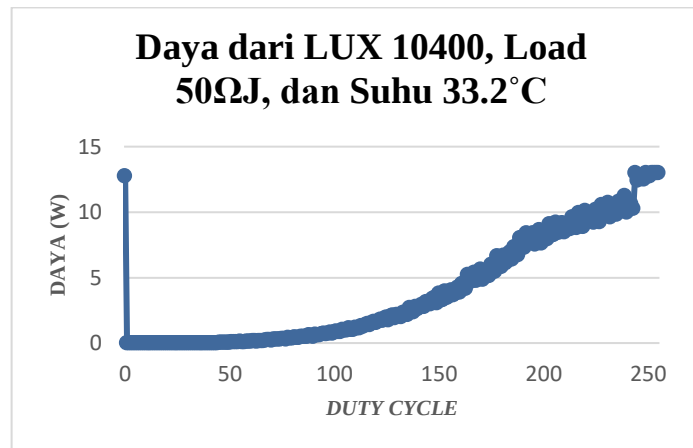
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa dengan LUX 10400, *load* 50 Ω J, dan suhu 33.2°C.



Gambar 4. 12 Grafik Tegangan dari LUX 10400, load 50Ω J, dan suhu 33.2°C



Gambar 4. 13 Grafik Arus dari LUX 10400, load 50Ω J, dan suhu 33.2°C



Gambar 4. 14 Grafik Daya dari LUX 10400, load $50\Omega J$, dan suhu 33.2°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari *load* $50\Omega J$ dan LUX 10400, didapatkan tegangan dan arus yang tidak memiliki titik maksimum. Ini disebabkan oleh *inputan* yang lebih besar dari daya yang dihasilkan. Dapat terlihat pada grafik pengujian yang ditampilkan diatas. Semakin naik tegangan dan arus, maka akan semakin naik juga dayanya, sehingga menyebabkan tidak adanya titik maksimum.

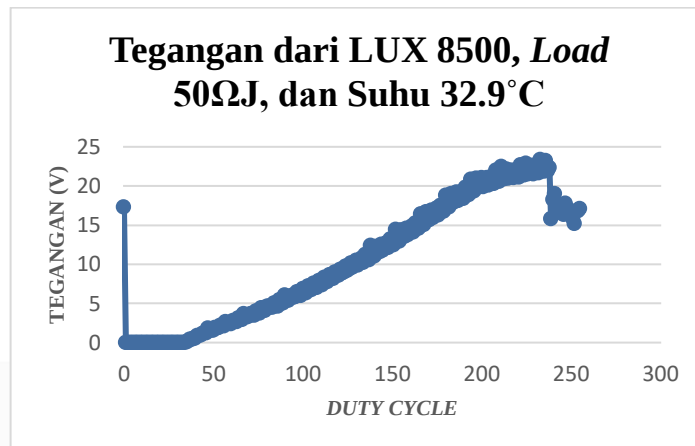
Dibawah ini, pada Tabel 4.5 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 8500, *load* $50\Omega J$, dan suhu 32.9°C .

Tabel 4. 5 Pengujian Solar Panel dengan LUX 8500, *load* $50\Omega J$, dan Suhu 32.9°C

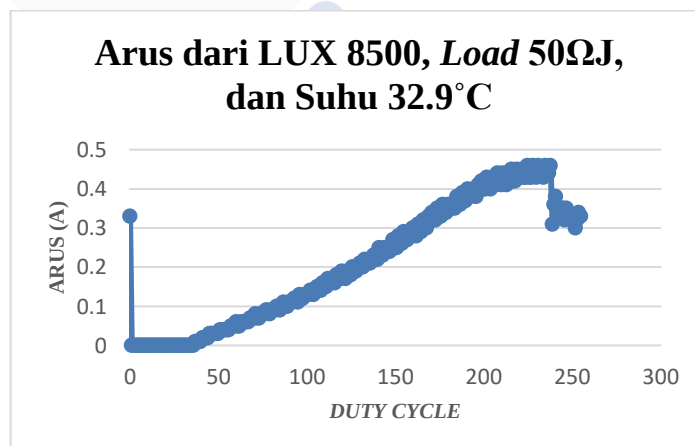
Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	17.25	0.33	5.6925
25	0	0	0
50	1.52	0.03	0.0456
75	3.89	0.08	0.3112
100	6.89	0.13	0.8957
115	8.63	0.17	1.4671
125	9.21	0.18	1.6578
150	13	0.25	3.25
175	17.16	0.33	5.6628
200	21.04	0.4	8.416
225	22.9	0.46	10.534
250	16.52	0.33	5.4516

255	17.11	0.33	5.6463
-----	-------	------	--------

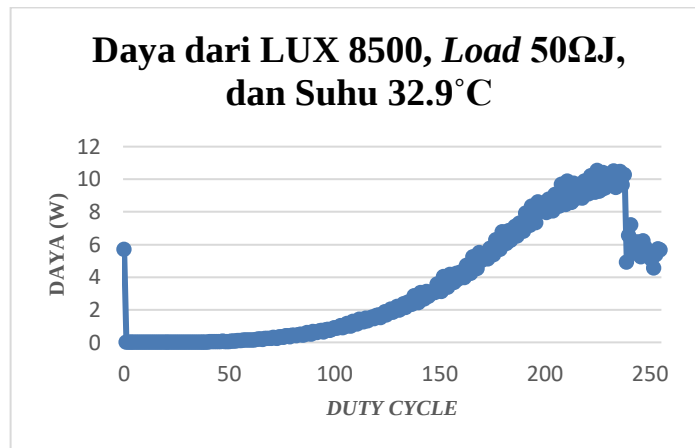
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa dengan LUX 8500, *load* 50 Ω J, dan suhu 32.9°C.



Gambar 4. 15 Grafik Tegangan dari LUX 8500, load 50 Ω J, dan suhu 32.9°C



Gambar 4. 16 Grafik Arus dari LUX 8500, load 50 Ω J, dan suhu 32.9°C



Gambar 4. 17 Grafik Daya dari LUX 8500, load $50\Omega J$, dan suhu 32.9°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari LUX 8500, *load* $50\Omega J$, dan suhu 32.9°C , didapatkan tegangan dan arus yang mencapai titik maksimum, sehingga daya maksimum yang dihasilkan sebesar 10,534 W. Hasil titik maksimum itu dipengaruhi oleh daya *input* lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh beban, sehingga algoritma MPPT ini sangat bergantung oleh *inputan* yang akan diserap oleh *solar panel*.

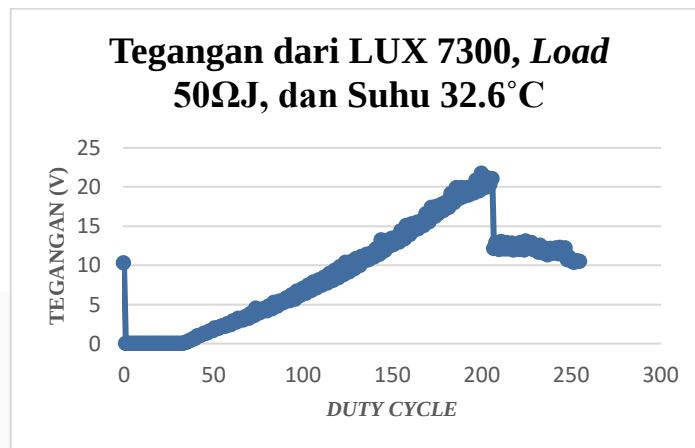
Dibawah ini, pada Tabel 4.6 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 7300, *load* $50\Omega J$, dan suhu 32.6°C .

Tabel 4. 6 Pengujian Solar Panel dengan LUX 7300, *load* $50\Omega J$, dan suhu 32.6°C

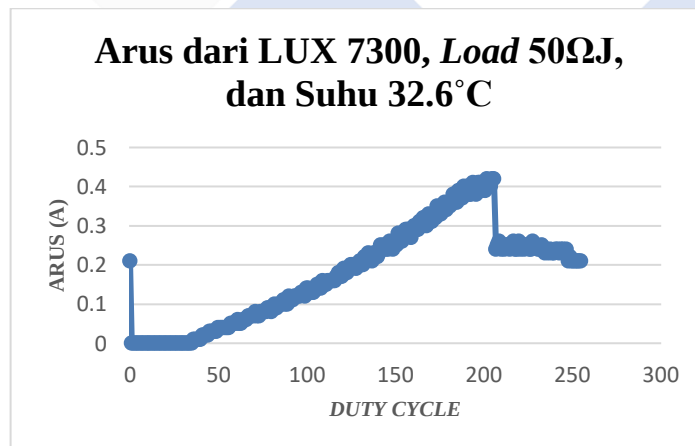
Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	10.26	0.21	2.1546
25	0	0	0
50	1.61	0.04	0.0644
75	4.01	0.08	0.3208
100	6.99	0.14	0.9786
115	8.9	0.16	1.424
125	9.48	0.2	1.896
150	13.39	0.25	3.3475
175	17.52	0.34	5.9568
200	21.75	0.4	8.7

225	13.07	0.25	3.2675
250	10.65	0.21	2.2365
255	10.48	0.21	2.2008

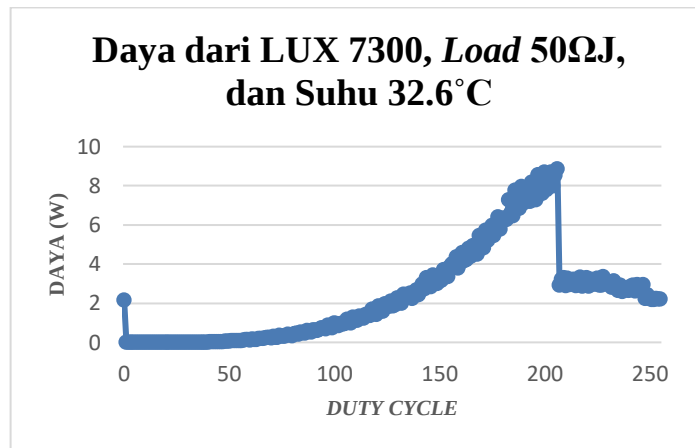
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa dengan LUX 7300, *load* 50ΩJ, dan suhu 32.6°C.



Gambar 4. 18 Grafik Tegangan dari LUX 7300, *load* 50ΩJ, dan suhu 32.6°C



Gambar 4. 19 Grafik Arus dari LUX 7300, *load* 50ΩJ, dan suhu 32.6°C



Gambar 4. 20 Grafik Daya dari LUX 7300, *load* 50ΩJ, dan suhu 32.6°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari LUX 7300, *load* 50ΩJ, dan suhu 32.6°C, didapatkan tegangan dan arus yang mencapai titik maksimum, sehingga daya maksimum yang dihasilkan sebesar 8,8494 W. Hasil titik maksimum itu dipengaruhi oleh daya *input* lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh beban, sehingga algoritma MPPT ini sangat bergantung oleh *inputan* yang akan diserap oleh *solar panel*.

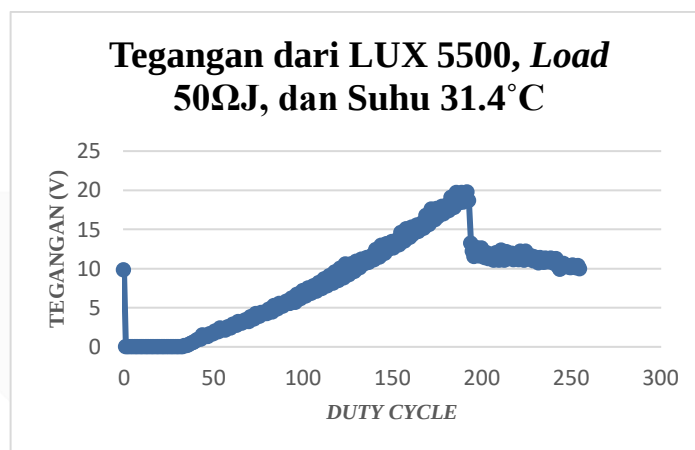
Dibawah ini, pada Tabel 4.7 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C.

Tabel 4. 7 Pengujian Solar Panel dengan LUX 5500, *Load* 50ΩJ, dan Suhu 31.4°C

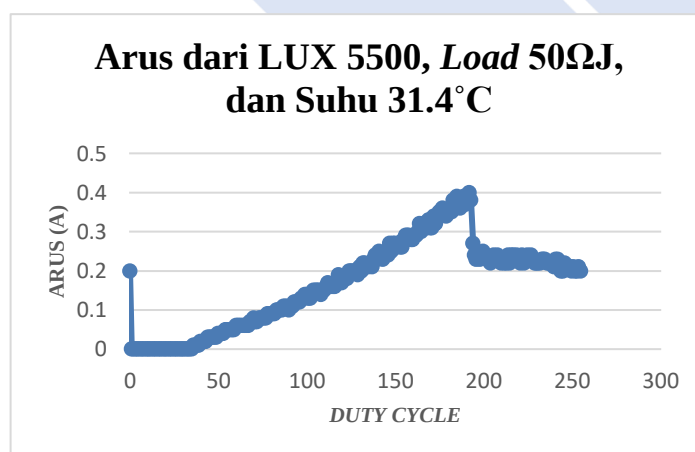
Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	9.87	0.2	1.974
25	0	0	0
50	1.64	0.04	0.0656
75	4.01	0.08	0.3208
100	7.18	0.14	1.0052
115	9.12	0.16	1.4592
125	9.56	0.2	1.912
150	13.44	0.27	3.6288

175	17.67	0.35	6.1845
200	12.66	0.25	3.165
225	12.22	0.24	2.9328
250	10.12	0.2	2.024
255	9.95	0.2	1.99

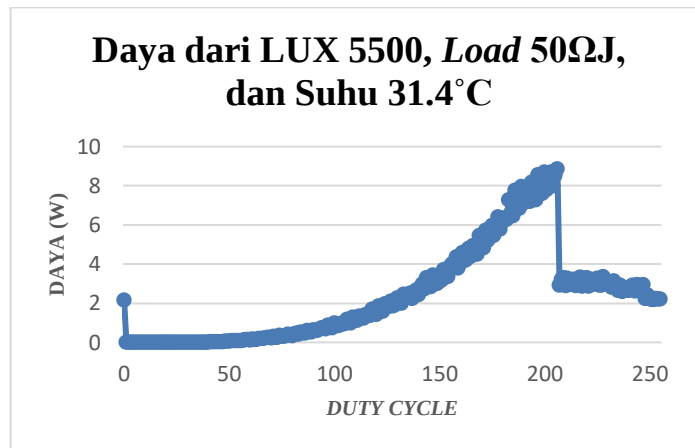
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C.



Gambar 4. 21 Grafik Tegangan dari LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C



Gambar 4. 22 Grafik Arus dari LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C



Gambar 4. 23 Grafik Daya dari LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari LUX 5500, *load* 50ΩJ, dan suhu 31.4°C, didapatkan tegangan dan arus yang mencapai titik maksimum, sehingga daya maksimum yang dihasilkan sebesar 7,908W. Hasil titik maksimum itu dipengaruhi oleh daya *input* lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh beban, sehingga algoritma MPPT ini sangat bergantung oleh *inputan* yang akan diserap oleh *solar panel*.

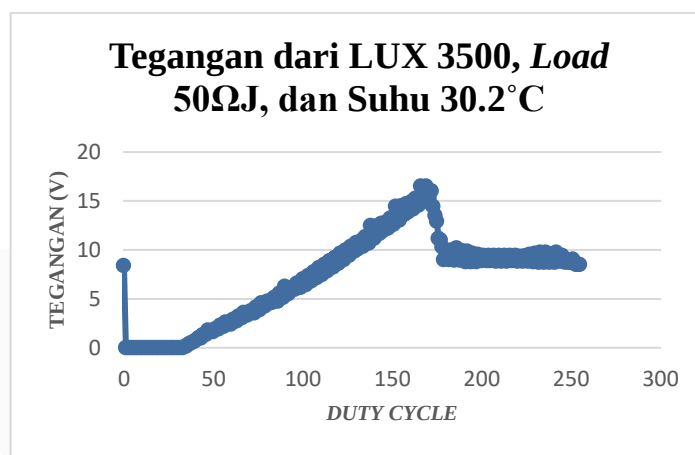
Dibawah ini, pada Tabel 4.8 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 3500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C.

Tabel 4. 8 Pengujian Solar Panel dengan LUX 3500, *Load* 50ΩJ, dan Suhu 30.2°C

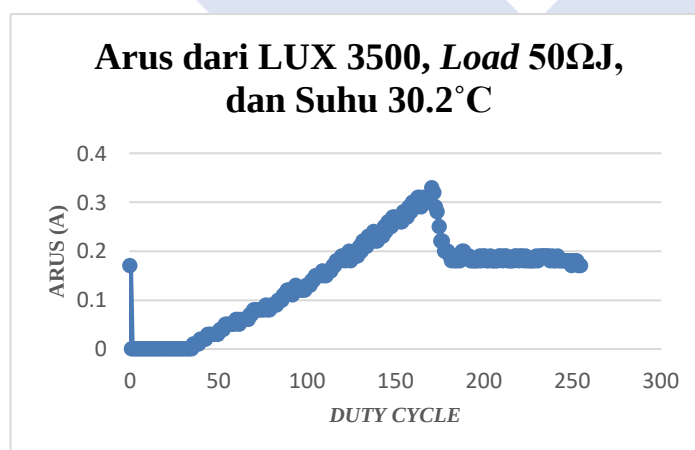
Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	8.43	0.17	1.4331
25	0	0	0
50	1.66	0.03	0.0498
75	4.03	0.08	0.3224
100	7.06	0.13	0.9178
115	8.92	0.17	1.5164
125	9.48	0.18	1.7064
150	13.17	0.27	3.5559
175	12.93	0.25	3.2325

200	8.9	0.19	1.691
225	9.26	0.18	1.6668
250	8.75	0.17	1.4875
255	8.5	0.17	1.445

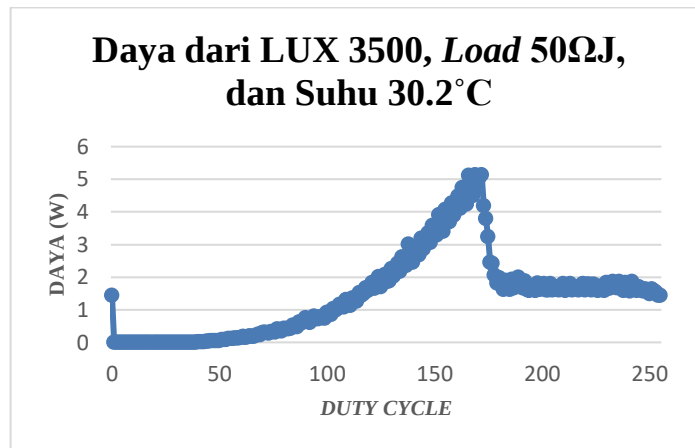
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa LUX 2500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C.



Gambar 4. 24 Grafik Tegangan dari LUX 3500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C



Gambar 4. 25 Grafik Arus dari LUX 3500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C



Gambar 4. 26 Grafik Daya dari LUX 3500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari LUX 3500, *load* 50ΩJ, dan suhu 30.2°C, didapatkan tegangan dan arus yang mencapai titik maksimum, sehingga daya maksimum yang dihasilkan sebesar 5,1392 mW. Hasil titik maksimum itu dipengaruhi oleh daya *input* lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh beban, sehingga algoritma MPPT ini sangat bergantung oleh *inputan* yang akan diserap oleh *solar panel*.

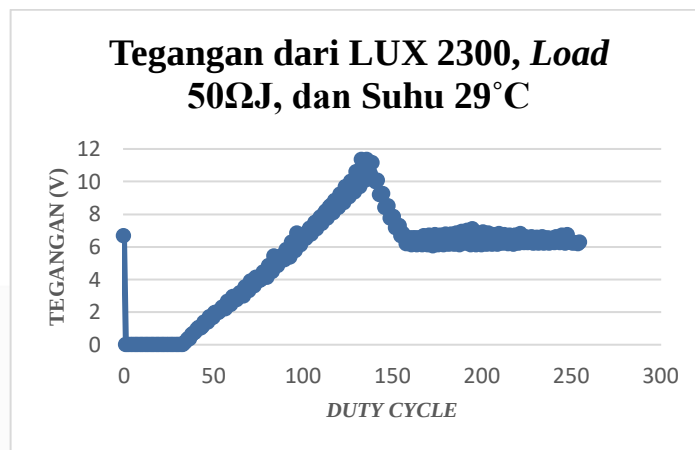
Dibawah ini, pada Tabel 4.9 merupakan hasil dari pengujian alat langsung ke *solar panel* dengan menggunakan LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C.

Tabel 4. 9 Pengujian Solar Panel dengan LUX 2300, *Load* 50ΩJ, dan Suhu 29°C

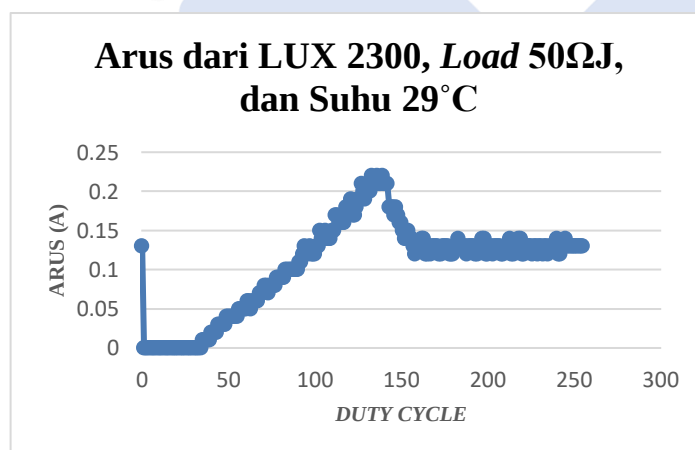
Duty Cycle	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	6.67	0.13	0.8671
25	0	0	0
50	1.69	0.04	0.0676
75	4.06	0.08	0.3248
100	6.62	0.12	0.7944
115	8.43	0.16	1.3488
125	9.53	0.19	1.8107
150	7.84	0.16	1.2544
175	6.52	0.13	0.8476
200	6.13	0.12	0.7356

225	6.62	0.13	0.8606
250	6.33	0.13	0.8229
255	6.3	0.13	0.819

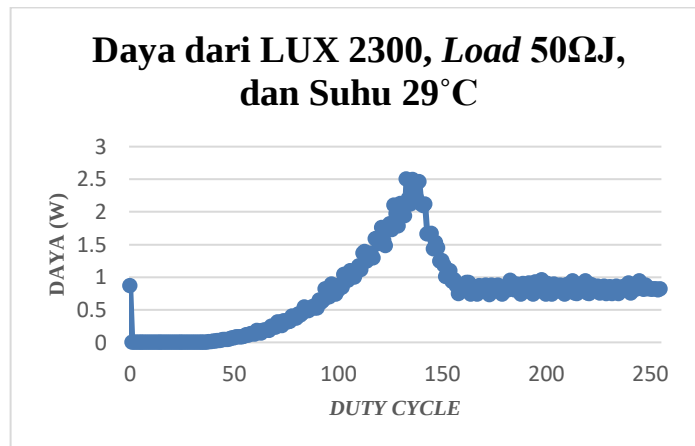
Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hasil pengujian bahwa LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C.



Gambar 4. 27 Grafik Tegangan dari LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C



Gambar 4. 28 Grafik Arus dari LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C



Gambar 4. 29 Grafik Daya dari LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C

Berdasarkan dari grafik pengujian dari LUX 2300, *load* 50ΩJ, dan suhu 29°C, didapatkan tegangan dan arus yang mencapai titik maksimum, sehingga daya maksimum yang dihasilkan sebesar 2,4992 W. Hasil titik maksimum itu dipengaruhi oleh daya *input* lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh beban, sehingga algoritma MPPT ini sangat bergantung oleh *inputan* yang akan diserap oleh *solar panel*.

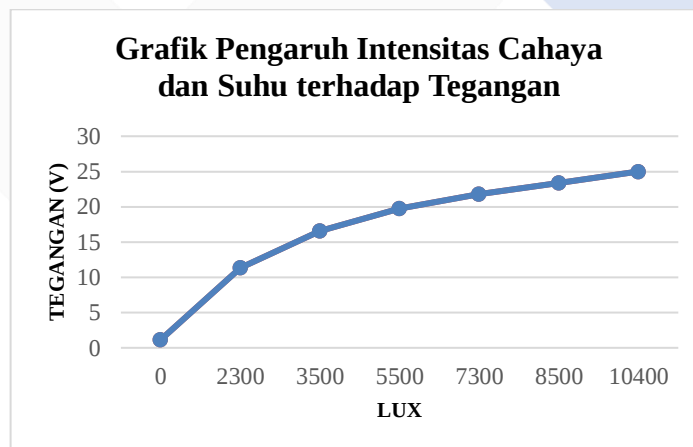
4.6 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu Menggunakan Metode PO

Pengaruh intensitas cahaya dan suhu dengan menggunakan *solar panel* 100WP menghasilkan tegangan dan arus. Pada pengujian ini, tegangan dan arus dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan suhu. Untuk intensitas cahaya, pengukuran secara manua dilakukan dengan menggunakan digital lux meter, sedangkan pengukuran otomatis, menggunakan sensor cahaya LDR. Dibawah ini, dapat dilihat dalam Tabel 4.10 pengaruh intensitas cahaya dan suhu pada *solar panel*.

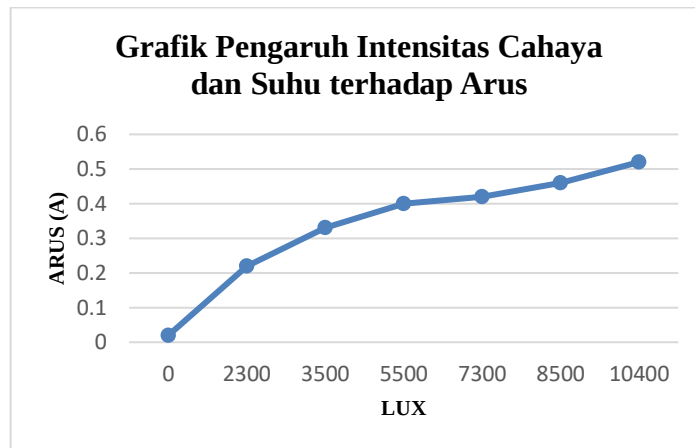
Tabel 4. 10 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu pada *Solar Panel*

LUX	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	26.4	1.15	0.02
2300	29	11.36	0.22
3500	30.2	16.54	0.33
5500	31.4	19.77	0.4
7300	32.6	21.75	0.42
8500	32.9	23.36	0.46
10400	33.2	25	0.52

Gambar dibawah ini merupakan grafik dari pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan *solar panel*.



Gambar 4. 30 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Tegangan



Gambar 4. 31 pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Arus

Selain itu juga, pengaruh dari intensitas cahaya dan suhu untuk daya maksimum, terdapat pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4. 11 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Daya Maksimum

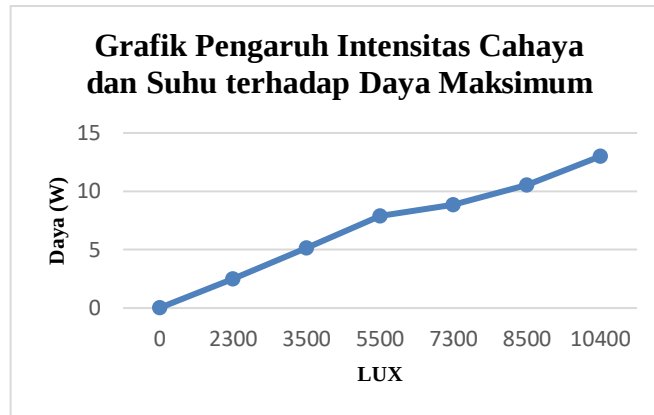
LUX	Suhu (°C)	Daya (W)
0	26.4	0.023
2300	29	2.4992
3500	30.2	5.1392
5500	31.4	7.908
7300	32.6	8.8494
8500	32.9	10.534
10400	33.2	13
Rata -Rata		800 LUX/W

Untuk mendapatkan nilai LUX/W, dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Rata - Rata = \frac{\text{Nilai Daya Maksimum}}{\text{Nilai LUX Maksimum}} \dots\dots\dots(4.4)$$

Berdasarkan Tabel 4.11 pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap daya maksimum, menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya dan suhu sangat memengaruhi nilai daya maksimum. Selain itu juga, intensitas cahaya untuk setiap 1W sebesar 800LUX/W, dengan nilai daya maksimumnya 13 watt.

Gambar dibawah ini merupakan grafik dari pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap daya maksimum yang dihasilkan *solar panel*.



Gambar 4. 32 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Daya Maksimum

4.7 Linearisasi Sensor Cahaya dan LUX pada *Solar Panel*

Linearisasi sensor cahaya dengan LUX bertujuan untuk mendapatkan *output* yang linier terhadap *variabel input*, walaupun *output* sensor tidak linier. Dalam artian, linierisasi ini dilakukan agar sensor cahaya bekerja dengan lebih baik dan akurat.

Adapun list program yang digunakan untuk menampilkan hasil data, yaitu sebagai berikut.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600)

```
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A1);
```

Membaca input pada pin analog 1 (A1).

```
float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
```

Mengonversikan pembacaan analog ke tegangan. Menampilkan nilai tegangan ke serial monitor dengan *delay* 1 s.

```

Serial.println(voltage);
delay (1000);
}

```

Dibawah ini, dapat dilihat dalam Tabel 4.12 perbandingan sensor cahaya dan LUX.

Tabel 4. 12 Perbandingan Sensor Cahaya dan LDR

Sensor Cahaya (LDR)	LUX	Linearisasi
0.44	0	0
0.85	2300	0.296346
0.97	3500	0.450962
1	5500	0.708654
1.2	7300	0.940577
1.2	8500	1.095192
1.34	10400	1.34
Rata-rata	7.761,194 LUX/LDR	

Untuk mendapatkan rata-rata, dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

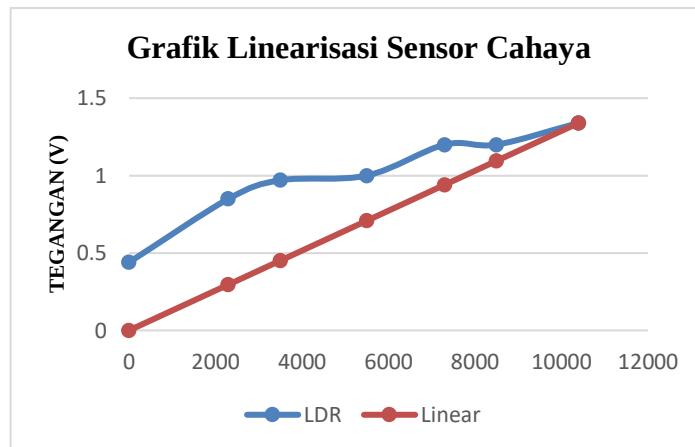
$$Rata - rata = \frac{Nilai \text{ Maksimal } LUX}{Nilai \text{ Maksimal } LDR} \dots\dots\dots(4.5)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai *error*, dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Linearisasi = \frac{LUX}{Rata-Rata \text{ } LUX} \dots\dots\dots(4.6)$$

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat dilihat perbandingan nilai sensor cahaya dan nilai dari LUX. Nilai yang dihasilkan oleh LDR itu berupa tegangan. Sehingga ketika di linearisasi, yang dihasilkan itu mendekati nilai LDR.

Gambar dibawah ini merupakan grafik dari perbandingan nilai sensor cahaya dan nilai dari LUX.



Gambar 4. 33 Linearisasi Sensor Cahaya

4.8 Linearisasi Daya pada Solar Panel

Linearisasi daya pada *solar panel* untuk memprediksi nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar panel* ketika intensitas cahaya yang berbeda – beda.

Adapun list program yang digunakan untuk menampilkan hasil data, yaitu sebagai berikut.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_INA219 ina219;
```

```

const int pwmPin = 7;
const int voltagePin = A0;
const float maxVoltage = 25.0;
const float resistorValue = 50.0;

float currentPower = 0.0;
int currentDutyCycle = 0;
float currentVoltage = 0.0;
float currentCurrent = 0.0;
float temperatureC = 0.0;

const int numPoints = 7;
float powerPoints[numPoints] = {0.0, 2.5, 5.14, 7.9 , 8.85,
11.0, 13.0};
float luxPoints[numPoints] = {0 , 2300 , 3500 , 5500 ,
7300 , 8500, 10400};

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    ina219.begin();
    dht.begin();
    pinMode(pwmPin, OUTPUT);

    readAndDisplayTemperature();
    measurePower();
    displayResults();
}

void loop() {

```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

```

void readAndDisplayTemperature() {
    temperatureC = dht.readTemperature();
    if (isnan(temperatureC)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    }
}

```

Membaca suhu dari sensor DHT.

```

void measurePower() {
    float maxPower = 0.0;
    for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle++) {
        analogWrite(pwmPin, dutyCycle);
        delay(10);

        float voltage = readVoltage();
        float current = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0;
        float power = voltage * current;

        if (power > maxPower) {
            maxPower = power;
            currentPower = power;
            currentDutyCycle = dutyCycle;
            currentVoltage = voltage;
            currentCurrent = current;
        }
    }
}

```

Mencari titik daya maksimum dengan mengubah *duty cycle* PWM dari 0-255.

Jika daya lebih besar dari daya maksimum sebelumnya, menyimpan nilai-nilai terkini.

```

float readVoltage() {

```

```

    int sensorValue = analogRead(voltagePin);    Membaca nilai analog dari pin
    return (sensorValue / 1023.0) * maxVoltage; tegangan.
}

float interpolateLux(float power) {              Menggunakan interpolasi linear
    for (int i = 0; i < numPoints - 1; i++) {    untuk mengetahui nilai lux dan
        if (power >= powerPoints[i] && power <= powerPoints[i +
1])) {
            float slope = (luxPoints[i + 1] - luxPoints[i]) /
(powerPoints[i + 1] - powerPoints[i]);
            return luxPoints[i] + slope * (power - powerPoints[i]);
        }
    }

    float lastSlope = (luxPoints[numPoints-1] -
luxPoints[numPoints-2]) / (powerPoints[numPoints-1] -
powerPoints[numPoints-2]);
    return luxPoints[numPoints-1] + lastSlope * (power -
powerPoints[numPoints-1]);
}

void displayResults() {
    Serial.println("\nHasil Pengukuran:");
    Serial.print("Suhu saat ini: ");
    Serial.print(temperatureC); Serial.println(" °C");
    Serial.print("Titik DC saat ini: ");
    Serial.println(currentDutyCycle);           Menampilkan hasil data nilai
                                                setelah pada serial monitor.
    Serial.print("Nilai daya saat ini: ");
    Serial.print(currentPower); Serial.println(" W");
    Serial.print("Nilai tegangan saat ini: ");

```

```

Serial.print(currentVoltage); Serial.println(" V");
Serial.print("Nilai arus saat ini: ");
Serial.print(currentCurrent); Serial.println(" A");
Serial.print("Lux yang terukur: ");
Serial.print(interpolateLux(currentPower)); Serial.println("
lux");
Serial.println("-----");
}

```

Dibawah ini, dapat dilihat dalam Tabel 4.13 perbandingan nilai daya maksimum dan nilai daya maksimum dari linearisasi.

Tabel 4. 13 Perbandingan Nilai Daya Maksimum dan Nilai Linearisasi

LUX	Suhu (°C)	Daya (W)	Linearisasi
0	26.4	0.023	0
2300	29	2.4992	2.875
3500	30.2	5.1392	4.375
5500	31.4	7.908	6.875
7300	32.6	8.8494	9.125
8500	32.9	10.534	10.625
10400	33.2	13	13
Rata -Rata	800 LUX/W		

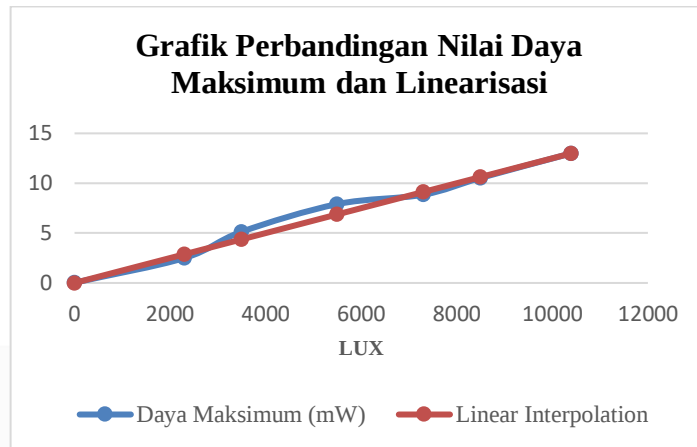
Untuk mendapatkan nilai dari linearisasi, dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Linearisasi = \frac{LUX}{Rata-Rata LUX} \dots\dots\dots(4.7)$$

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat dilihat perbandingan nilai daya maksimum dengan nilai daya maksimum dari lineariasi, yang nilainya tidak jauh berbeda

dengan *error* 0,1%. Dengan kata lain, perkiraan daya maksimum yang dihasilkan dari linearisasi hampir akurat.

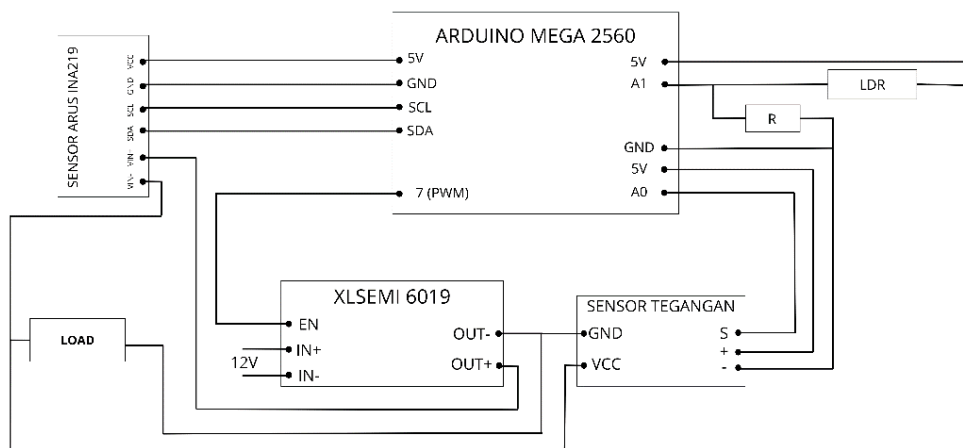
Gambar dibawah ini merupakan grafik dari perbandingan nilai daya maksimum dan nilai linearisasi.



Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Nilai Daya Maksimum dan Nilai Linearisasi

4.9 Prediksi MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya

Pada pengujian ini, nilai MPPT dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Rangkaian yang digunakan ada pada Gambar 4.35 dibawah ini.



Gambar 4. 35 Rangkaian Prediksi MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya

Adapun list program arduino yang digunakan untuk mendapatkan nilai MPPT berdasarkan intensitas cahaya, yaitu sebagai berikut.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_INA219 ina219;

const int pwmPin = 7;
const int voltagePin = A0;
const int ldrPin = A1;
const float maxVoltage = 25.0;

float maxVoltageReached = 0.0;
float maxCurrentReached = 0.0;
float maxPowerReached = 0.0;
int maxDutyCycle = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ina219.begin();
  dht.begin();
  pinMode(pwmPin, OUTPUT);
  analogReference(DEFAULT);
}
```

Port serial digunakan untuk menerima data dengan bit/detik (9600 bps).

```
float readVoltage() {
    int sensorValue = analogRead(voltagePin);
    return (sensorValue / 1023.0) * maxVoltage;
}
```

Membaca input pada pin analog 0 (A0).

```
void readAndDisplayTemperature() {
    float temperatureC = dht.readTemperature();
    if (isnan(temperatureC)) {
        Serial.println("Gagal membaca sensor DHT!");
    } else {
        Serial.print("Suhu: ");
        Serial.print(temperatureC);
        Serial.println(" °C");
    }
}
```

Membaca dan menampilkan nilai suhu dari sensor DHT.

```
void readAndDisplayLDR() {
    int sensorValue = analogRead(ldrPin);
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
    float lux = voltage * 7761.194;
    float power_W = (lux / 800.0) * 1.0;

    Serial.print("Nilai LDR: ");
    Serial.print(sensorValue);
    Serial.print(" | Lux: ");
    Serial.print(lux);
    Serial.print(" | Prediksi Daya Maksimum: ");
    Serial.print(power_W);
    Serial.println(" W");
}
```

Membaca nilai analog dari sensor LDR yang terhubung ke pin analog Arduino.

Faktor 7761.194 adalah konstanta kalibrasi spesifik untuk sensor LDR yang digunakan. Diperoleh dari *datasheet* manual.

Menampilkan nilai LDR, LUX, dan prediksi daya maksimum ke serial monitor.

```

void perturbAndObserve() {
    Serial.println("\nMemulai algoritma Perturb and Observe:");
    for (int dutyCycle = 0; dutyCycle <= 255; dutyCycle += 1) {
        float newVoltage = readVoltage();
        float newCurrent = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0;
        float newPower = newVoltage * newCurrent;

        if (newPower > maxPowerReached) {
            maxPowerReached = newPower;
            maxVoltageReached = newVoltage;
            maxCurrentReached = newCurrent;
            maxDutyCycle = dutyCycle;
        }

        analogWrite(pwmPin, dutyCycle);

        Serial.print("DC: ");
        Serial.print(dutyCycle);
        Serial.print(" | V: ");
        Serial.print(newVoltage);
        Serial.print(" V | I: ");
        Serial.print(newCurrent);
        Serial.print(" A | P: ");
        Serial.print(newPower);
        Serial.println(" W");
        delay(200);
    }

    Serial.println("\nNilai maksimum yang dicapai:");

```

Mengoperasikan nilai *duty cycle* dari 0-255, dengan kenaikan 1 dari algoritma *Perturb and Observe*.

Menampilkan nilai DC 0-255 dengan nilai tegangan, arus, dan daya dengan *delay* 0,2 s.

Menampilkan nilai maksimum yang dicapai berdasarkan algoritma *Perturb and Observe*.

```

Serial.print("Tegangan: ");
Serial.print(maxVoltageReached); Serial.println(" V");
Serial.print("Arus: "); Serial.print(maxCurrentReached);
Serial.println(" A");
Serial.print("Daya: "); Serial.print(maxPowerReached);
Serial.println(" W");
Serial.print("DC: "); Serial.println(maxDutyCycle);}

void loop() {
    // Menjalankan satu siklus MPPT
    Serial.println("\n--- Siklus MPPT ---");
    readAndDisplayTemperature();
    readAndDisplayLDR();

    // Menjalankan satu siklus Perturb and Observe
    Serial.println("\n--- Siklus Perturb and Observe ---");
    perturbAndObserve();

    // Looping pada DC yang menghasilkan titik maksimum
    Serial.println("\n--- DC yang menghasilkan titik maksimum --
-");
    while (true) {
        analogWrite(pwmPin, maxDutyCycle);

        float voltage = readVoltage();
        float current = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0;
        float power = voltage * current;
        int ldrValue = analogRead(ldrPin);

        Serial.print(" | DC: ");

```

<pre> Serial.print(maxDutyCycle); Serial.print(" V: "); Serial.print(voltage); Serial.print(" V I: "); Serial.print(current); Serial.print(" A P: "); Serial.print(power); Serial.println(" W"); delay(1000); } } </pre>	Menampilkan nilai maksimum yang dicapai berdasarkan algoritma <i>Perturb and Observe</i> dengan 1 titik nilai DC maksimum.
--	---

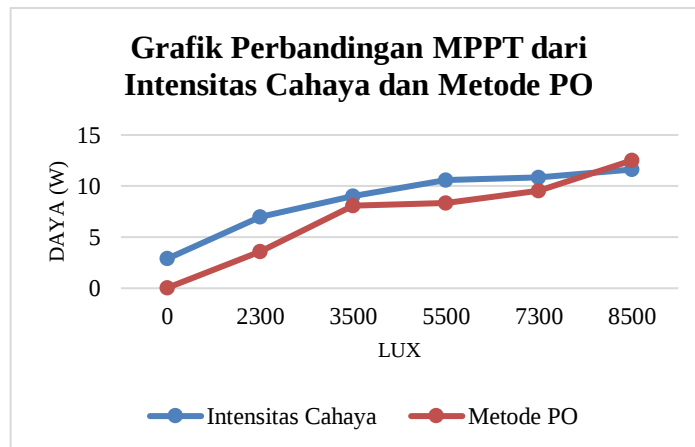
Tabel 4.14 dibawah ini merupakan hasil perbandingan prediksi nilai MPPT berdasarkan intensitas cahaya dengan, nilai MPPT berdasarkan metode PO.

Tabel 4. 14 Perbandingan MPPT berdasarkan Intensitas Cahaya dan Metode PO

Nilai MPPT Pada <i>Solar Panel</i>				
Intesnsitas Cahaya			Metode PO	
LDR	LUX	Daya Maksimum (W)	LUX	Daya Maksimum (W)
61	2313.94	2.89	0	0.04
147	5576	6.97	2300	3.59
190	7207	9.01	3500	8.06
223	8459.17	10.57	5500	8.36
229	8686.77	10.86	7300	9.53
245	9293.71	11.62	8500	12.51

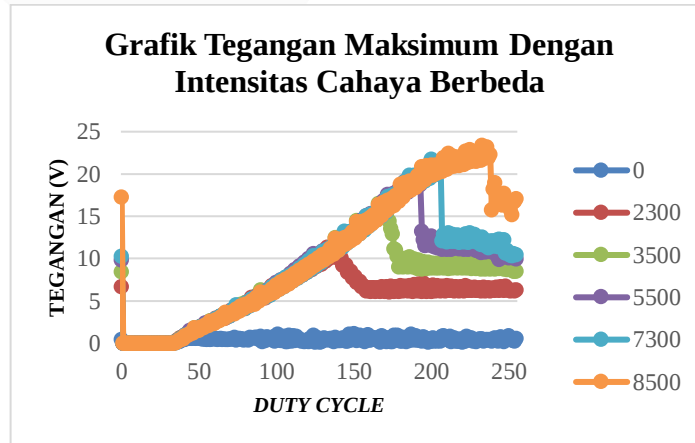
Berdasarkan Tabel 4.14, dapat dilihat perbandingan nilai daya dari MPPT *solar panel*, berdasarkan intensitas cahaya dan metode PO. Nilai dari dua pengaruh yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan *error* sebesar 0,07%.

Gambar dibawah ini merupakan grafik dari perbandingan nilai MPPT yang dihasilkan oleh intensitas cahaya dan metode PO.



Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan MPPT dari Intensitas Cahaya dan Metode PO

Gambar dibawah ini merupakan grafik dari nilai tegangan maksimum yang dihasilkan oleh intensitas cahaya yang berbeda – beda.



Gambar 4. 37 Grafik Tegangan Maksimum dengan Intensitas Cahaya Berbeda –
Beda

Dari Gambar 4.35, dapat dilihat bahwa intensitas cahaya sangat memengaruhi *output solar panel*, yaitu tegangan. Dari grafik tersebut, setiap intensitas cahaya naik, maka nilai tegangan maksimum yang dihasilkan akan naik juga.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil pengujian dari proyek akhir yang berjudul “*Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Solar Panel*” ini adalah sebagai berikut:

1. Memiliki kemampuan untuk memprediksi nilai tegangan maksimum, arus maksimum, dan daya maksimum yang akan ditampilkan pada serial monitor.
2. Nilai daya yang dihasilkan sebelum menggunakan MPPT sebesar 8,4W, sedangkan setelah menggunakan MPPT meningkat sebesar 13W. Jadi untuk efisiensi yang dihasilkan sebesar 16,13%, dan memenuhi standar dari *solar panel monocrystalline* yang berada dikisaran 15% – 20%.
3. Pengaruh suhu lingkungan terhadap *output* yang dikeluarkan *solar panel* kurang berpengaruh pada daerah tropis, seperti Indonesia ini. Adapun yang memengaruhi dari *output solar panel*, yaitu intensitas cahaya. Dengan kata lain, *output* dari *solar panel* yaitu tegangan dan daya dapat berubah – ubah karena intensitas cahaya yang bervariasi.
4. Linearisasi digunakan sebagai pendekatan dan perbandingan antara daya dan intensitas cahaya, dan untuk mendapat daya 1 watt, dibutuhkan intensitas cahaya sebesar 800LUX, sesuai dengan beban yang digunakan, yaitu 50ΩJ.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian proyek akhir ini, memiliki beberapa kendala dan kekurangan yang nantinya akan menjadi saran, agar proses uji coba kedepannya menjadi lebih baik. Pada saat pengujian diusahakan pemasangan kabel lebih rapi dan lebih kuat untuk dihubungkan ke komponen alat. Selain itu, penggunaan beban yang lebih bervariasi untuk melihat perbandingan hasil pengujian dan penggunaan

sensor cahaya harus diperhatikan untuk pengkalibrasiannya agar lebih akurat dengan pembacaan pada LUX meter.

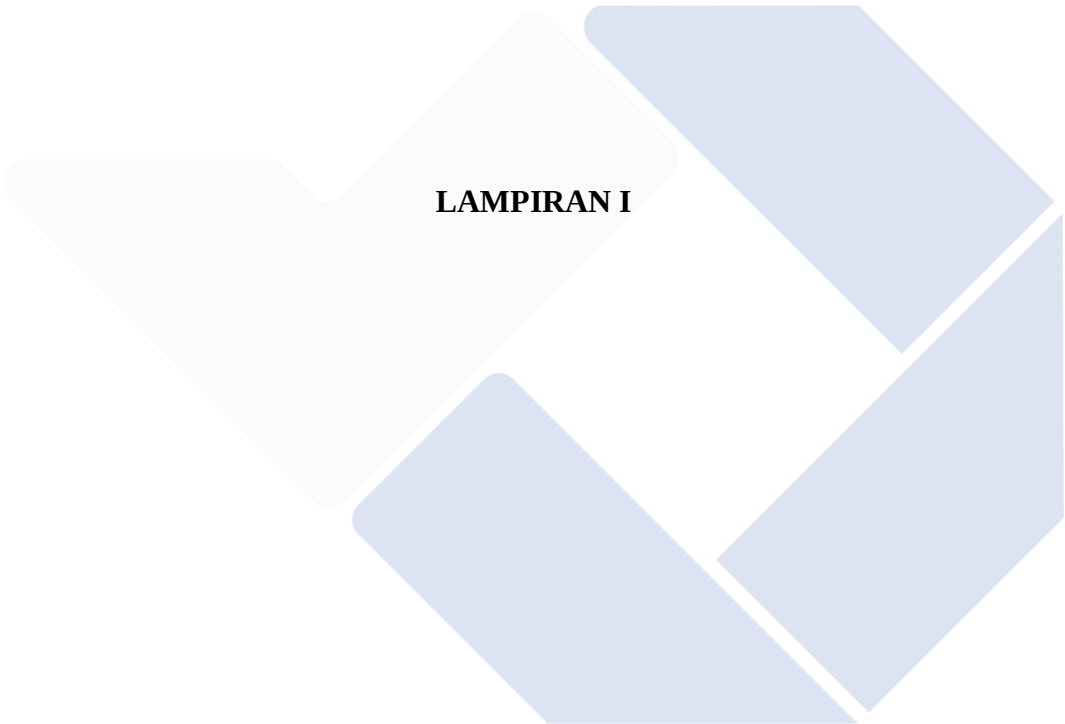


DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Prasetyo and H. Wulandari, "Rancangan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terintegrasi Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 18(2), pp. 22-30, 2019.
- [2] R. D. Sukma and M. Munir, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Metode Perturb & Observe Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *Tenaga Listrik*, vol. 10(2), pp. 147-154, 2016.
- [3] R. Handoyo and E. Suryani, "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Tegangan Keluaran Panel Surya Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic MPPT," *Teknik Elektro*, vol. 8(2), pp. 155-162, 2018.
- [4] E. Haryanto and D. Sunjaya, "Pengaruh Temperatur Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Menggunakan Algoritma Perturb and Observe (P&O) MPPT," *Teknik Elketro*, vol. 7(1), pp. 7-12, 2017.
- [5] M. Yusup and D. Sunjaya, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Grid-Connected dengan Algoritma Fuzzy Logic MPPT," *Teknologi Elektro*, vol. 7(1), p. 106, 2017.
- [6] M. I. N. Kuncoro and N. Ananda, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Solar Panel dengan Sistem Tracking," 2021.
- [7] H. Wulandari and S. A. Prasetyo, "Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu Terhadap Efisiensi Panel Surya Monokristalin," *Teknik Elektro*, vol. 19(1), pp. 1-6, 2020.
- [8] A. I. Syaputra, "Rancangan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terintegrasi Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *Teknik Elektro*, vol. 18(2), pp. 22-30, 2020.
- [9] D. Septianingrum and Tim, "Implementasi Algoritma Perturb and Observe

- (P&O) untuk Pengoptimalan Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap," *Teknik Elektro*, vol. 22(2), pp. 261-268, 2020.
- [10] M. Irsyad and Tim, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Menggunakan Algoritma Perturb and Observe (P&O)," *Teknik Elektro*, vol. 24(1), pp. 61-68, 2022.
- [11] D. M. Fortuna and N. Alamsyah, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk Solar Panel," 2020.
- [12] A. Hussein, "Menghitung Parameter Photovoltaic dengan Menggunakan Metode Temperature," *Renewable and Sustainable Energy*, 2020.
- [13] "an overview of the "Temperature Method" and includes an image of the characteristic curve," *Nature*, [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-69365-5>.





LAMPIRAN I

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup (Perorangan)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Maya Ardhita
Tempat, Tanggal Lahir : Surabaya, 28 Maret 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Kartini I, Kp. Jawa
Email : mayaardhita28@gmail.com
No. HP : 083827143663
Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

- 1) SD Negeri 3 Sungailiat
- 2) SMP Negeri 2 Sungailiat
- 3) SMA Negeri 1 Sungailiat

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, Juli 2024



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Valencia Liana
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 28 Juni 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Rasep II, Desa Karya Makmur
Email : valencialiana06@gmail.com
No. HP : 083175568474
Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

- 1) SD Negeri 9 Pemali
- 2) SMP Negeri 1 Sungailiat
- 3) SMA Negeri 1 Sungailiat

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, Juli 2024