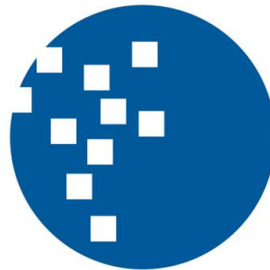


**RANCANG BANGUN SISTEM  
FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI (CPV)  
DENGAN KONSENTRATOR REFLEKTOR  
*V-TROUGH***



**UMN**  
UNIVERSITAS  
MULTIMEDIA  
NUSANTARA

**Nicholas Robert**

**NIM: 00000044771**

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA  
UNIVERSITAS MULTIMEDIA NUSANTARA  
2025**

**RANCANG BANGUN SISTEM  
FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI (CPV)  
DENGAN KONSENTRATOR REFLEKTOR  
*V-TROUGH***



**UMN**  
UNIVERSITAS  
MULTIMEDIA  
NUSANTARA

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Fisika

**Tugas Akhir**

**Nicholas Robert**

**NIM: 00000044771**

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA  
UNIVERSITAS MULTIMEDIA NUSANTARA  
2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir dengan judul

“Rancang Bangun Sistem Fotovoltaik Terkonsentrasi (CPV) dengan Konsentrator  
Reflektor V-Trough”

Oleh

Nama : Nicholas Robert

NIM : 00000044771

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Teknik dan Informatika

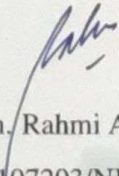
Telah diujikan pada hari Rabu, 8 Januari 2025

Pukul 08.00 s.d 09.30 dan dinyatakan

LULUS

Dengan susunan penguji sebagai berikut.

**Ketua Sidang**



Dr. Techn. Rahmi Andarini

NIDN: 0328107203/NIK: L00753

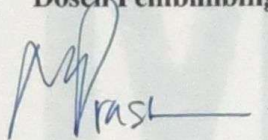
**Penguji**



Ir. Arko, M.Sc., Ph.D

NIDN: 0406086704/NIK: 078764

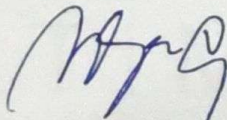
**Dosen Pembimbing**



Dr. Eng. Niki Prastomo, S.T., M.Sc.

NIDN: 0419128203/NIK: 067341

**Ketua Program Studi**



Muhammad Salehuddin, S.T., M.T.

NIDN: 0306108702/NIK: 033878

## HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Dengan ini saya,

Nama : Nicholas Robert

NIM : 00000044771

Program Studi : Teknik Fisika

Skripsi dengan judul: RANCANG BANGUN SISTEM FOTOVOLTAIK  
TERKONSENTRASI (CPV) DENGAN KONSENTRATOR REFLEKTOR *V-TROUGH*

Merupakan hasil karya saya sendiri bukan plagiat dari laporan karya tulis ilmiah yang ditulis oleh orang lain, dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar serta dicantumkan di Daftar Pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti ditemukan kecurangan/penyimpangan, baik dalam pelaksanaan maupun dalam penulisan laporan karya tulis ilmiah, saya bersedia menerima konsekuensi dinyatakan TIDAK LULUS untuk mata kuliah yang telah saya tempuh.

Tangerang, 3 Januari 2025



(Nicholas Robert)

## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nicholas Robert  
NIM : 00000044771  
Program Studi : Teknik Fisika  
Jenjang : S1  
Jenis Karya : Tugas Akhir  
Judul Karya Ilmiah : Rancang Bangun Sistem Fotovoltaik Terkonsentrasi (CPV)  
dengan Konsentrator Reflektor V-Trough

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa saya bersedia:

- ✓ Saya bersedia memberikan izin sepenuhnya kepada Universitas Multimedia Nusantara untuk mempublikasikan hasil karya ilmiah saya ke dalam repositori Knowledge Center sehingga dapat diakses oleh Sivitas Akademika UMN/Publik. Saya menyatakan bahwa karya ilmiah yang saya buat tidak mengandung data yang bersifat konfidensial.
- Saya tidak bersedia mempublikasikan hasil karya ilmiah ini ke dalam repositori Knowledge Center, dikarenakan: dalam proses pengajuan publikasi ke jurnal/konferensi nasional/internasional (dibuktikan dengan *letter of acceptance*)\*\*.
- Lainnya, pilih salah satu:
  - Hanya dapat diakses secara internal Universitas Multimedia Nusantara
  - Embargo publikasi karya ilmiah dalam kurun waktu tiga tahun.

Tangerang, 3 Januari 2025

Yang Menyatakan



Nicholas Robert

---

\*\*Jika tidak bisa membuktikan LoA jurnal/HKI, saya bersedia mengizinkan penuh karya ilmiah saya untuk dipublikasikan ke KC UMN dan menjadi hak institusi UMN.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa demi penyelesaian tugas akhir ini, berjudul "RANCANG BANGUN SISTEM FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI (CPV) DENGAN KONSENTRATOR REFLEKTOR *V-TROUGH*", yang dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia Nusantara. Penulis sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal masa perkuliahan, melalui proses pembelajaran baik di dalam dan di luar lingkungan kampus, hingga pada seluruh langkah penyusunan tugas akhir ini serta proyek yang mendasarinya, akan sangat sulit untuk diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan kakak sebagai anggota keluarga inti penulis yang telah terus-menerus memberikan semangat dan doa kepada penulis dalam penyelesaian pembuatan tugas akhir ini,
2. Bapak Dr. Eng. Niki Prastomo, S.T., M.Sc., sebagai pembimbing akademik dan tugas akhir yang telah berperan sangat besar dalam mengembangkan dan mematangkan proyek dan pelaksanaan tugas akhir.
3. Johanes Dimas Paramasatya, sebagai kawan seperjuangan dalam tugas akhir ini dan juga memberi dukungan luar biasa besar kepada penulis dalam pengembangan bersama dalam proyek.
4. Vanesa Lorent sebagai teman dalam program studi Teknik Fisika, karena telah tak henti-hentinya memberikan semangat dan juga saran bagi penulis agar memungkinkan tugas akhir ini menjadi sesempurna mungkin, dan
5. Teman-teman lain di program studi Teknik Fisika, baik pada angkatan 2020 maupun

seterusnya, karena telah memberikan semangat dan juga menunjukkan ketertarikan ke dalam proyek yang, secara langsung dan tidak langsung, membantu menyempurnakan proyek dan karya tulis ini.

6. Bapak Muhammad Salchuddin, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Universitas Multimedia Nusantara yang telah memberikan bimbingan serta panduan dengan kesabaran yang luar biasa,
7. Tim Building Management Universitas Multimedia Nusantara yang telah sangat membantu dalam berbagai aspek, mulai dari peminjaman alat, panduan untuk beraktivitas di area luar Gedung B lantai 5, dan juga untuk koordinasi yang telah dilakukan dengan seluruh pihak-pihak lain.
8. Tim Mechanical Engineering (ME) Gedung A dan Gedung C Universitas Multimedia Nusantara yang telah memfasilitasi peminjaman alat serta memberi panduan tambahan untuk beraktivitas di area luar Gedung B lantai 5.

Semoga karya tulis tugas akhir ini bermanfaat, baik sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi, bagi para pembaca.

Tangerang, 3 Januari 2025



(Nicholas Robert)

# RANCANG BANGUN SISTEM FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI (CPV) DENGAN KONSENTRATOR REFLEKTOR *V-TROUGH*

## ABSTRAK

Oleh: Nicholas Robert

Penggunaan bahan bakar fosil untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi global memiliki banyak dampak negatif, seperti potensi habisnya sumber daya energi, emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim, dan polusi yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil juga berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, diusulkan sebuah solusi yang menggunakan energi terbarukan yang melimpah, rendah emisi, dan bebas polusi, yaitu energi surya. Proyek tugas akhir ini membahas sebuah rancang bangun sistem fotovoltaik terkonsentrasi (CPV) dengan konsentrator reflektor *V-trough* sebagai salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi dan jumlah konversi energi matahari menjadi listrik demi pembangkitan listrik yang berkelanjutan. CPV dipilih karena potensinya dalam memaksimalkan penggunaan modul surya berukuran kecil dengan biaya rendah. Proyek tugas akhir ini melibatkan proses perancangan, simulasi, dan pengujian kinerja sistem CPV dibandingkan sistem fotovoltaik konvensional. Pengukuran dilakukan di kawasan Universitas Multimedia Nusantara untuk mengevaluasi karakteristik dan performa energi sistem dalam berbagai kondisi iradiasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem CPV *V-trough* meningkatkan daya keluaran hingga 49,46% dengan kondisi iradiasi rata-rata periode 972,83 W/m<sup>2</sup>, rentang 961,2–989,7 W/m<sup>2</sup>, dibandingkan sistem konvensional dalam kondisi dunia nyata, dengan terjadinya kenaikan signifikan pada arus keluaran meskipun terjadi sedikit penurunan tegangan. Sistem CPV dengan pendinginan *heatsink*, CPV-HS, bahkan berpotensi melebihi kinerja CPV. Namun, variasi kinerja yang signifikan ditemukan pada beberapa hari pengukuran akibat fluktuasi iradiasi dan pengaruh posisi pengukuran. Proyek tugas akhir ini menyimpulkan bahwa sistem CPV *V-trough* memiliki potensi besar untuk diterapkan pada skala kecil di Indonesia dengan perbaikan pada desain pendinginan dan pengembangan lebih lanjut pada optimasi konsentrator.

**Kata kunci:** fotovoltaik terkonsentrasi, *V-trough*, energi terbarukan, keberlanjutan

# DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCENTRATED PHOTOVOLTAIC (CPV) SYSTEM WITH V-TROUGH REFLECTOR CONCENTRATOR

## ABSTRACT

By: Nicholas Robert

*Fossil fuels are used to meet most of the current global energy demand, which has many negative impacts, such as the potential depletion of energy resources, copious greenhouse gas emissions that contribute to climate change, and the pollution produced may also be directly harmful to human health and the environment. Therefore, a renewable, abundant, low-emission, and pollution-free solution is proposed, utilizing solar energy. This study explores the design and implementation of a concentrated photovoltaic (CPV) system using a V-trough reflector concentrator as a solution to enhance the efficiency and amount of solar energy converted for sustainable electricity generation. CPV was chosen for its potential to maximize the utility of compact solar modules at a low cost. The research involves the design, simulation, iteration, and performance evaluation of the CPV system compared to conventional photovoltaic systems. Measurements were conducted at Universitas Multimedia Nusantara to assess the system's energy characteristics and performance under various irradiance conditions.*

*The results show that the V-trough CPV system improves power output by up to 49,46%, with irradiance conditions averaging 972,83 W/m<sup>2</sup>, and with a range of 961,2–989,7 W/m<sup>2</sup>, when compared to conventional photovoltaic systems in real-world conditions. This was made possible by a significant increase in output current despite a slight drop in voltage. The CPV system with a heatsink cooling mechanism, CPV-HS, demonstrated even better performance. However, substantial performance variations were observed on certain days due to irradiation fluctuations and measurement location differences. This study concludes that the V-trough CPV system holds significant potential for small-scale implementation in Indonesia, with opportunities for further development in cooling designs and concentrator optimization.*

**Keywords:** concentrated photovoltaics, V-trough, renewable energy, sustainability

## DAFTAR ISI

|                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> . . . . .                    | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> . . . . .               | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT</b> . . . . . | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> . . . . .    | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> . . . . .                   | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRAK</b> . . . . .                          | <b>viii</b> |
| <b>ABSTRACT</b> . . . . .                         | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> . . . . .                       | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> . . . . .                     | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> . . . . .                    | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> . . . . .                  | <b>xvi</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> . . . . .                | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang . . . . .                     | 1           |
| 1.2. Rumusan Masalah . . . . .                    | 4           |
| 1.3. Batasan Masalah . . . . .                    | 4           |
| 1.4. Tujuan . . . . .                             | 5           |
| 1.5. Manfaat . . . . .                            | 5           |
| 1.6. Sistematika Penulisan . . . . .              | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> . . . . .          | <b>7</b>    |
| 2.1. Fotovoltaik Terkonsentrasi . . . . .         | 7           |
| 2.1.1. Sejarah CPV . . . . .                      | 7           |
| 2.1.2. Jenis Konsentrator . . . . .               | 8           |
| 2.1.3. Rasio Konsentrasi . . . . .                | 11          |
| 2.2. Klasifikasi Sel Fotovoltaik . . . . .        | 11          |
| 2.2.1. P-N <i>Junction</i> . . . . .              | 12          |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.2. Struktur Kristal Sel . . . . .                                  | 12        |
| 2.2.3. Respon I-V Sel terhadap Suhu . . . . .                          | 13        |
| 2.3. <i>Solar Tracker</i> . . . . .                                    | 13        |
| 2.4. Tinjauan Sistem . . . . .                                         | 14        |
| <b>BAB III PERANCANGAN SISTEM . . . . .</b>                            | <b>20</b> |
| 3.1. Metodologi Proyek tugas akhir . . . . .                           | 20        |
| 3.1.1. Pemilihan Konsentrator . . . . .                                | 20        |
| 3.1.2. Desain dan Iterasi . . . . .                                    | 21        |
| 3.2. Metodologi Perancangan . . . . .                                  | 22        |
| 3.2.1. Deskripsi Rancangan . . . . .                                   | 22        |
| 3.2.2. Alat dan Bahan . . . . .                                        | 23        |
| 3.3. Rancang Bangun Sistem . . . . .                                   | 32        |
| 3.4. Metodologi Pengumpulan Data . . . . .                             | 37        |
| 3.4.1. Pengukuran Tegangan dan Arus Sistem . . . . .                   | 39        |
| 3.4.2. Pengukuran Suhu Sel Surya . . . . .                             | 40        |
| 3.4.3. Perolehan Data Iradiasi . . . . .                               | 40        |
| <b>BAB IV ANALISIS . . . . .</b>                                       | <b>42</b> |
| 4.1. Simulasi <i>Ray Simulator</i> . . . . .                           | 42        |
| 4.2. Hasil Pengukuran . . . . .                                        | 45        |
| 4.2.1. Periode I . . . . .                                             | 45        |
| 4.2.2. Periode II . . . . .                                            | 55        |
| 4.3. Pengaruh Iradiasi Terhadap Persentase Perbedaan Produksi Daya . . | 61        |
| <b>BAB V PENUTUP . . . . .</b>                                         | <b>66</b> |
| 5.1. Kesimpulan . . . . .                                              | 66        |
| 5.2. Saran . . . . .                                                   | 67        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA . . . . .</b>                                        | <b>69</b> |
| <b>LAMPIRAN . . . . .</b>                                              | <b>73</b> |
| Tabel Waktu <i>Solar Noon</i> . . . . .                                | 73        |
| Kode Pembaca INA219 untuk Arduino UNO . . . . .                        | 74        |
| Surat Izin Akses dan Peminjaman Alat . . . . .                         | 75        |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Biaya Proyek . . . . .   | 78 |
| Form Bimbingan . . . . . | 79 |
| Hasil Turnitin . . . . . | 81 |



## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                            |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Jenis-Jenis Konsentrator untuk CPV . . . . .                                               | 10 |
| Tabel 2.2 | Ringkasan tinjauan sistem . . . . .                                                        | 15 |
| Tabel 4.1 | Hasil pengukuran <i>receiver</i> Ray Simulator . . . . .                                   | 44 |
| Tabel 4.2 | Rata-rata, standar deviasi, dan SEM parameter listrik 7<br>November 2024 . . . . .         | 46 |
| Tabel 4.3 | Rata-rata, standar deviasi, dan SEM parameter listrik 8<br>November 2024 . . . . .         | 49 |
| Tabel 4.4 | Nilai rata-rata dan standar deviasi parameter listrik periode<br>iradiasi rendah . . . . . | 51 |
| Tabel 4.5 | Nilai rata-rata dan standar deviasi parameter listrik periode<br>iradiasi tinggi . . . . . | 53 |
| Tabel 4.6 | Hasil pengukuran suhu per variasi sistem 7–8 November 2024 . .                             | 54 |
| Tabel 4.7 | Rata-rata, standar deviasi, dan SEM parameter listrik 28<br>November 2024 . . . . .        | 56 |
| Tabel 4.8 | Rata-rata, standar deviasi, dan SEM parameter listrik 29<br>November 2024 . . . . .        | 58 |
| Tabel 5.1 | Waktu <i>Solar Noon</i> Gedung B UMN . . . . .                                             | 73 |
| Tabel 5.2 | Biaya proyek tugas akhir . . . . .                                                         | 78 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1  | Konsumsi energi fosil dunia 1920–2023 . . . . .            | 1  |
| Gambar 2.1  | Contoh Fotovoltaik Terkonsentrasi . . . . .                | 7  |
| Gambar 2.2  | Contoh konsentrator sistem CPV . . . . .                   | 9  |
| Gambar 2.3  | Respon tipikal sel surya terhadap variasi suhu . . . . .   | 13 |
| Gambar 3.1  | Simulasi menggunakan Phydemo Ray Optics Simulation . . . . | 21 |
| Gambar 3.2  | Sel surya mini . . . . .                                   | 23 |
| Gambar 3.3  | Sensor INA219 . . . . .                                    | 24 |
| Gambar 3.4  | Arduino UNO . . . . .                                      | 24 |
| Gambar 3.5  | Potongan-potongan plat akrilik . . . . .                   | 25 |
| Gambar 3.6  | Rangkaian empat cermin yang dipasang berjajar . . . . .    | 25 |
| Gambar 3.7  | Rol perekat termal ( <i>thermal tape</i> ) . . . . .       | 26 |
| Gambar 3.8  | Kabel <i>jumper</i> . . . . .                              | 26 |
| Gambar 3.9  | <i>Breadboard</i> . . . . .                                | 27 |
| Gambar 3.10 | Timah solder (kiri) dan alat solder (kanan) . . . . .      | 27 |
| Gambar 3.11 | Plat-plat tembaga . . . . .                                | 28 |
| Gambar 3.12 | <i>Heatsink</i> aluminium . . . . .                        | 28 |
| Gambar 3.13 | Termometer <i>infrared</i> . . . . .                       | 29 |
| Gambar 3.14 | Multimeter . . . . .                                       | 30 |
| Gambar 3.15 | Lem sianokrilat . . . . .                                  | 30 |
| Gambar 3.16 | Logo Autodesk Inventor . . . . .                           | 31 |
| Gambar 3.17 | Logo Arduino IDE . . . . .                                 | 31 |
| Gambar 3.18 | Logo Microsoft Excel . . . . .                             | 32 |
| Gambar 3.19 | Diagram alur rancang bangun . . . . .                      | 33 |
| Gambar 3.20 | Model 3D dari sistem CPV (satuan mm) . . . . .             | 34 |
| Gambar 3.21 | Proses solder sel surya . . . . .                          | 35 |
| Gambar 3.22 | Sel surya setelah selesai proses solder . . . . .          | 35 |
| Gambar 3.23 | Kotak akrilik jadi . . . . .                               | 36 |
| Gambar 3.24 | Proses pemasangan <i>heatsink</i> pada sel surya . . . . . | 36 |
| Gambar 3.25 | Variasi sistem yang dibuat . . . . .                       | 37 |

|             |                                                                                    |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.26 | Diagram alur proses perolehan data sistem . . . . .                                | 38 |
| Gambar 3.27 | Proses pengukuran . . . . .                                                        | 38 |
| Gambar 3.28 | Ilustrasi Rangkaian INA219 dan Arduino UNO pada Tinkercad                          | 39 |
| Gambar 4.1  | Hasil simulasi sistem dengan konsentrator dan dengan <i>receiver</i>               | 43 |
| Gambar 4.2  | Hasil simulasi sistem tanpa konsentrator dengan <i>receiver</i> . . .              | 44 |
| Gambar 4.3  | Grafik Daya Listrik 7 November 2024 . . . . .                                      | 46 |
| Gambar 4.4  | Grafik produksi daya 7 November 2024 dengan iradiasi . . . .                       | 48 |
| Gambar 4.5  | Grafik Daya Listrik 8 November 2024 . . . . .                                      | 49 |
| Gambar 4.6  | Grafik produksi daya 8 November 2024 dengan iradiasi . . . .                       | 50 |
| Gambar 4.7  | Grafik daya listrik periode iradiasi rendah . . . . .                              | 51 |
| Gambar 4.8  | Grafik daya listrik periode iradiasi tinggi . . . . .                              | 52 |
| Gambar 4.9  | Grafik suhu per variasi sistem terhadap waktu 7 November 2024                      | 54 |
| Gambar 4.10 | Grafik suhu per variasi sistem terhadap waktu 8 November 2024                      | 54 |
| Gambar 4.11 | Grafik daya sistem CPV 28 November 2024 . . . . .                                  | 56 |
| Gambar 4.12 | Grafik daya sistem CPV 28 November 2024 dengan iradiasi .                          | 57 |
| Gambar 4.13 | Grafik daya sistem CPV 29 November 2024 . . . . .                                  | 58 |
| Gambar 4.14 | Grafik daya sistem CPV 29 November 2024 dengan iradiasi .                          | 59 |
| Gambar 4.15 | Grafik daya sistem 29 November 2024 dengan iradiasi pukul<br>10:40–11:40 . . . . . | 60 |
| Gambar 4.16 | Grafik daya sistem 29 November 2024 dengan iradiasi pukul<br>12:20–13:20 . . . . . | 60 |
| Gambar 4.17 | Grafik iradiasi 7 November 2024 . . . . .                                          | 61 |
| Gambar 4.18 | Grafik iradiasi 8 November 2024 . . . . .                                          | 61 |
| Gambar 4.19 | Grafik iradiasi 28 November 2024 . . . . .                                         | 62 |
| Gambar 4.20 | Grafik iradiasi 29 November 2024 . . . . .                                         | 62 |
| Gambar 4.21 | Peningkatan daya variasi sistem CPV terhadap iradiasi . . . .                      | 64 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|            |                                                 |    |
|------------|-------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1 | Tabel Waktu <i>Solar Noon</i> . . . . .         | 73 |
| Lampiran 2 | Kode Pembaca INA219 untuk Arduino UNO . . . . . | 74 |
| Lampiran 3 | Surat Izin Akses dan Peminjaman Alat . . . . .  | 75 |
| Lampiran 4 | Biaya Proyek . . . . .                          | 78 |
| Lampiran 5 | Form Bimbingan . . . . .                        | 79 |
| Lampiran 6 | Hasil Turnitin . . . . .                        | 81 |

