

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN *HYBRID*
HEATSINK DAN *HEAT PIPES* PADA FOTOVOLTAIK
TERKONSENTRASI**



UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

Johanes Dimas Paramasatya

NIM: 00000042549

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

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN *HYBRID*
HEATSINK DAN *HEAT PIPES* PADA FOTOVOLTAIK
TERKONSENTRASI**



UMN

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk memperoleh

Gelar Sarjana Teknik Fisika

Tugas Akhir

Johanes Dimas Paramasatya

NIM: 00000042549

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

2025

HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Dengan ini saya,

Nama : Johanes Dimas Paramasatya
NIM : 00000042549
Program Studi : Teknik Fisika

Skripsi dengan judul: RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN *HYBRID HEATSINK* DAN *HEAT PIPES* PADA FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI

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, 1 Januari 2025



(Johanes Dimas Paramasatya)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir dengan judul

"RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN *HYBRID HEATSINK* DAN *HEAT PIPES*
PADA FOTOVOLTAIK TERKONSENTRASI "

Oleh

Nama : Johanes Dimas Paramasatya

NIM : 00000042549

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Teknik dan Informatika

Telah diujikan pada hari Rabu, 8 Januari 2025

Pukul 09.30 s.d 11.00 dan dinyatakan

LULUS

Dengan susunan penguji sebagai berikut.

Ketua Sidang



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

NIDN 0406086704/ NIK 078764

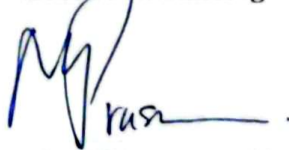
Penguji



Dr. techn. Rahmi Andarini, S. T., M. Eng, Sc,

NIDN: 0328107203/NIK L00753

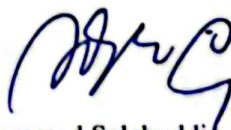
Dosen Pembimbing



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

NIDN: 0419128203/NIK: 067341

Ketua Program Studi



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

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Johanes Dimas Paramasatya
NIM : 00000042549
Program Studi : Teknik Fisika
Jenjang : S1
Judul Karya Ilmiah : Rancang Bangun Sistem Pendinginan *Hybrid*
Heatsink dan *Heat Pipes* Pada Fotovoltaik
Terkonsentrasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa saya bersedia (**pilih salah satu**):

- ☒ 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, 1 Januari 2025

Yang Menyatakan



Johanes Dimas Paramasatya

****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 Syukur atas selesainya penulisan Tugas Akhir ini dengan judul: "Rancang Bangun Sistem Pendinginan *Hybrid Heatsink* dan *Heat Pipes* Pada Fotovoltaik Terkonsentrasi" dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Jurusan Teknik Fisika Pada Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia Nusantara. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, keluarga, dan teman yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama proses pembuatan tugas akhir,
2. Dr. Ninok Leksono, M.A., selaku Rektor Universitas Multimedia Nusantara,
3. Dr. Eng. Niki Prastomo, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Universitas Multimedia Nusantara serta dosen pembimbing yang telah memberikan banyak panduan, arahan, serta dukungan,
4. Bapak Muhammad Salehuddin, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Universitas Multimedia Nusantara,
5. Nicholas Robert, selaku rekan dalam pelaksanaan kolaborasi tugas akhir yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan saran dalam pelaksanaan serta penulisan tugas akhir,
6. Tim Building Management, Security, Lab FTI dan ME Universitas Multimedia Nusantara yang telah membeantu dengan memberikan perizinan lokasi untuk pengukuran data serta meminjamkan peralatan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat, baik sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi, bagi para pembaca.

Tangerang, 1 Januari 2025



(Johaness Dimas Paramasatya)

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN HYBRID SISTEM ALIRAN AIR DAN HEAT PIPES PADA FOTOVOLTAIK TERKONSENTRAS

Johanes Dimas Paramasatya

ABSTRAK

Kebutuhan energi terbarukan menjadi prioritas akibat peningkatan populasi dunia, menurunnya persediaan bahan bakar fosil, serta dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil. Energi surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menggunakan panel surya; namun, terdapat kendala akibat biaya produksi material fotovoltaik yang tinggi, terutama untuk jenis panel surya *multijunction*. Sebagai solusi, digunakan sistem fotovoltaik terkonsentrasi (CPV) yang memanfaatkan elemen optik untuk meningkatkan penerimaan cahaya surya pada panel surya; namun, sistem CPV menjadi rentan terhadap pemanasan yang mampu menurunkan produksi daya listrik. Untuk mengatasi permasalahan pemanasan, dilakukan perancangan dan pengujian 4 variasi sistem CPV sederhana; terdapat satu sistem CPV tanpa perlakuan, dan ketiga sistem CPV lainnya masing-masing memiliki sistem pendingin *heatsink*, *heat pipe*, dan gabungan dari kedua sistem (*hybrid*). Performa sistem CPV dengan pendingin dibandingkan dengan sistem CPV tanpa pendingin. Penurunan suhu kerja sel surya untuk setiap sistem pendingin terhadap sistem CPV adalah $-0,5^{\circ}\text{C}$ s/d $-1,6^{\circ}\text{C}$ (*heatsink*), $-0,8^{\circ}\text{C}$ s/d $-3,3^{\circ}\text{C}$ (*heatpipe*), dan $-2,2^{\circ}\text{C}$ s/d $-6,5^{\circ}\text{C}$ (*hybrid*). Pada kondisi iradiasi tinggi, peningkatan daya rata-rata terhadap CPV setiap sistem pendingin adalah 3,55% (*heatsink*), 2,91% (*heatpipe*), dan 2,37% (*hybrid*). Pada kondisi iradiasi rendah, peningkatan daya rata-rata terhadap sistem CPV setiap sistem pendingin adalah 3,02% (*heatsink*), 4,96% (*heatpipe*), dan 5,08% (*hybrid*).

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Fotovoltaik Terkonsentrasi, Sistem Pendinginan *Heatsink*, Sistem Pendingin *Heat Pipe*

SYSTEM DESIGN OF HEATSINK AND HEAT PIPES HYBRID COOLING FOR CONCENTRATED PHOTOVOLTAICS

Johanes Dimas Paramasatya

ABSTRACT

The need for renewable energy has become a priority due to the increase of world population, the decrease of fossil fuel supply, and the negative impact of fossil fuel usage. Solar energy is one of the forms of renewable energy that can utilized using solar panels, however there are obstacles due to the high production cost of photovoltaic materials, especially for multijunction solar panels. As a solution, concentrated photovoltaics (CPV) utilizes optical elements to increase the reception of sunlight on solar panels; however, this results in CPV being more vulnerable towards heating which can result in a decrease of electrical energy produced. To solve the heating issues, the design and testing 4 variants of a simple CPV system was conducted; one of the CPV system has no treatments, and the other three CPV systems were each installed with a heatsink (CPV-Hs), heat pipe (CPV-HP), and the combination of both (CPV-Hybrid) cooling system. The performance of the CPV systems that were applied with a cooling system were compared to a CPV system without cooling. The solar cell operating temperature reduction for each cooling system compared to CPV are $-0,5^{\circ}\text{C}$ to $-1,6^{\circ}\text{C}$ (heatsink), $-0,8^{\circ}\text{C}$ to $-3,3^{\circ}\text{C}$ (heatpipe), and $-2,2^{\circ}\text{C}$ to $-6,5^{\circ}\text{C}$ (hybrid). During high irradiance condition, the average power increase compared to CPV for each cooling system are 3,55% (heatsink), 2,91% (heatpipe), and 2,37% (hybrid). During low irradiance condition, the average power increase compared to CPV for each cooling system are 3,02% (heatsink), 4,96% (heatpipe), and 5,08% (hybrid).

Keyword: Renewable Energy, Concentrated Photovoltaics, Heatsink Cooling, Heat Pipe Cooling

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.1.1 <i>Heatsink</i>	4
2.1.2 <i>Heat Pipes</i>	6
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1 Fotovoltaik Terkonsentrasi (CPV)	7
2.2.2 Kebutuhan Pendinginan Fotovoltaik	8
2.2.3 Pendinginan <i>Heatsink</i>	9
2.2.4 Pendinginan <i>Heat Pipes</i>	9

2.2.5	Perpindahan Panas dan Resistansi Termal	10
BAB III	METODE PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN	13
3.1.	Gambaran Umum	13
3.2.	Metode Perancangan	13
3.2.1	Deskripsi Rancangan	14
3.2.2	Alat dan Bahan	16
3.2.3	Rancang Bangun Sistem	25
3.3.	Cara Kerja Sistem	26
3.3.1	Konsentrator	27
3.3.2	Sistem Pendinginan	27
3.3.3	Sensor INA219	29
3.4.	Variabel Proyek Tugas Akhir	30
3.5.	Metodologi Pengumpulan Data	31
BAB IV	DATA DAN ANALISIS	33
4.1.	Hasil Pengukuran Data dan Analisis	33
4.1.1	Hasil Pengukuran Trial 1	33
4.1.2	Proses Koreksi Sistem	39
4.1.3	Hasil Pengukuran Trial 2	39
4.2.	Perhitungan Teoritis Penerimaan Panas Sistem CPV	50
4.2.1	Perhitungan CPV Dengan <i>Heatsink</i>	51
4.2.2	Perhitungan CPV Dengan <i>Heat Pipe</i>	57
4.2.3	Perhitungan CPV Dengan Pendingin <i>Hybrid</i>	61
4.2.4	Perhitungan CPV Tanpa Sistem Pendingin	62
4.2.5	Analisis Hasil Perhitungan Teoritis	63
BAB V	KESIMPULAN & SARAN	66
5.1.	Kesimpulan	66
5.2.	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Acuan Teori	4
Tabel 4.1	Suhu rata-rata dan standar deviasi pengukuran Trial 1	35
Tabel 4.2	Nilai parameter listrik rata-rata dan standar deviasi	38
Tabel 4.3	Suhu rata-rata dan standard deviasi pengukuran iradiasi tinggi	41
Tabel 4.4	Nilai parameter listrik rata-rata dan standar deviasi iradiasi tinggi	44
Tabel 4.5	Suhu rata-rata dan standard deviasi pengukuran iradiasi rendah	46
Tabel 4.6	Nilai parameter listrik rata-rata dan standar deviasi iradiasi rendah	48
Tabel 4.7	Perbandingan suhu perhitungan teoritis dengan pengukuran nyata	63
Tabel 4.8	Penyesuaian perbandingan suhu perhitungan teoritis dengan pengukuran nyata	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Alur proses perancangan sistem fotovoltaik	14
Gambar 3.2	Ilustrasi pemantulan cahaya pada CPV	15
Gambar 3.3	Model Autodesk Inventor sistem CPV	16
Gambar 3.4	Arduino UNO	17
Gambar 3.5	<i>Breadboard</i>	18
Gambar 3.6	Sel surya	18
Gambar 3.7	Sensor INA219	19
Gambar 3.8	Potongan akrilik dalam proses perakitan menjadi penopang	19
Gambar 3.9	Kabel jumper	20
Gambar 3.10	<i>Thermal tape</i>	20
Gambar 3.11	Cermin yang dipasang berurutan	21
Gambar 3.12	<i>Heatsink</i> 4x4cm	22
Gambar 3.13	<i>Roll</i> pipa tembaga	22
Gambar 3.14	Plat tembaga	23
Gambar 3.15	Timah (kiri) dan solder (kanan)	24
Gambar 3.16	Termometer tembak inframerah (IR)	24
Gambar 3.17	Multimeter	25
Gambar 3.18	USB Hub	25
Gambar 3.19	Tampak depan sistem CPV lengkap	26
Gambar 3.20	Tampak samping sistem CPV lengkap	26
Gambar 3.21	Sistem pendingin <i>hybrid</i> pada sel surya	27
Gambar 3.22	Proses kerja sistem pendingin <i>heatsink</i>	28
Gambar 3.23	Proses kerja sistem pendingin <i>heat pipe</i>	29
Gambar 3.24	Ilustrasi rangkaian INA219 pada Tinkercad	30
Gambar 3.25	Tampak seluruh variasi sistem fotovoltaik yang diuji	31
Gambar 4.1	Grafik iradiasi dan suhu seluruh sistem CPV 5 November 2024	33
Gambar 4.2	Grafik iradiasi dan suhu seluruh sistem CPV 7 November 2024	34
Gambar 4.3	Grafik iradiasi dan suhu seluruh sistem CPV 8 November 2024	34
Gambar 4.4	Grafik daya listrik pengukuran 5 November 2024	36
Gambar 4.5	Grafik daya listrik pengukuran 7 November 2024	37

Gambar 4.6	Grafik daya listrik pengukuran 8 November 2024	37
Gambar 4.7	Grafik iradiasi dan suhu seluruh sistem CPV 28 November 2024	40
Gambar 4.8	Grafik <i>scatter plot</i> suhu terhadap iradiasi tinggi	41
Gambar 4.9	Grafik <i>scatter plot</i> daya listrik terhadap iradiasi tinggi	42
Gambar 4.10	Grafik <i>scatter plot</i> daya listrik terhadap iradiasi tinggi tanpa <i>outlier</i> . .	43
Gambar 4.11	Grafik perbandingan suhu dan daya listrik iradiasi tinggi	45
Gambar 4.12	Grafik <i>scatter plot</i> suhu terhadap iradiasi rendah	46
Gambar 4.13	Grafik daya listrik iradiasi rendah	48
Gambar 4.14	Grafik perbandingan suhu dan daya listrik iradiasi rendah	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kode Arduino Sensor INA21	73
Lampiran 2 Surut Izin Peminjaman Alat dan Lokasi	74
Lampiran 3 Biaya Proyek Tugas Akhir Total	77
Lampiran 4 Tabel <i>Solar Noon</i>	78
Lampiran 5 Form Bimbingan	79
Lampiran 6 Hasil Turnitin	81

