

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN PANEL
SURYA TIPE *MONOCRYSTALLINE* 100 WP
MENGUNAKAN *BEE*SWAX**



WIJAYA KUSUMA ADHA

03051282126056

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN PANEL
SURYA TIPE *MONOCRYSTALLINE* 100 WP
MENGUNAKAN *BEE*SWAX**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH
WIJAYA KUSUMA ADHA
03051282126056**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

JUDUL
STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN PANEL SURYA
TIPE MONOCRYSTALLINE 100 WP MENGGUNAKAN
BEESWAX

SKRIPSI
Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar sarjana Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
WIJAYA KUSUMA ADHA
03051282126056

Indralaya, 20 Mei 2025

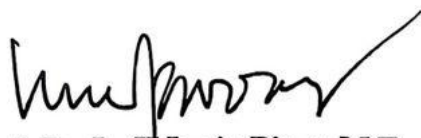
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197909272003121004

Pembimbing Skripsi



Prof. Dr. Ir. H Irwin Bizzy, M.T.
NIP 196005281989031002

JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda No.

: 003/TM/AK/2025

FAKULTAS TEKNIK

Diterima Tanggal

: 22 Mei 2025

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Paraf

: 

SKRIPSI

NAMA : WIJAYA KUSUMA ADHA
NIM : 03051282126056
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN
PANEL SURYA TIPE *MONOCRYSTALLINE*
100 WP MENGGUNAKAN *BEESWAX*
DIBUAT TANGGAL : 22 AGUSTUS 2024
SELESAI TANGGAL : 20 MEI 2025

Palembang, 20 Mei 2025

Mengetahui,

Diperiksa dan disetujui oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing Skripsi


Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004


Prof. Dr. Ir. H Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

HALAMAN PERSETUJUAN

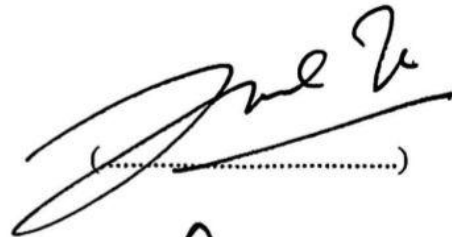
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “**Studi Eksperimental Pendinginan Panel Surya Tipe *Monocrystalline* 100 WP Menggunakan *Beeswax***” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 Mei 2025.

Palembang, 8 Mei 2025

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Proposal Skripsi :

Ketua :

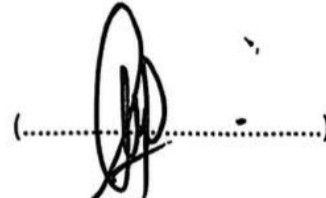
1. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001



(.....)

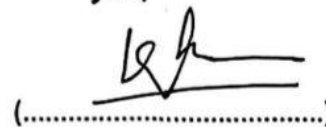
Anggota :

2. Dr. Ir. Dendy Adanta, S.P.d., M.T.
NIP. 199306052019031016



(.....)

3. Prof. Dr. Ir. Kaprawi. DEA.
NIP. 195701181985031004



(.....)

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Prof. Anis Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

Pembimbing Skripsi



Prof. Dr. Ir. H. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa, yang atas limpahan rahmat dan karunia Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir yang dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya dengan judul “Studi Eksperimental Pendinginan Panel Surya Tipe *Monocrystalline* 100 WP Menggunakan *Beeswax*”.

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan Yang Maha Agung Lagi Maha Perkasa, yang telah melancarkan segala urusan penulis melalui nikmat kesehatan, keimanan, dan telah mengirimkan orang-orang terbaik dalam hidup penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini. Melalui kesempatan ini, dengan penuh rasa hormat dan ketulusan hati penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

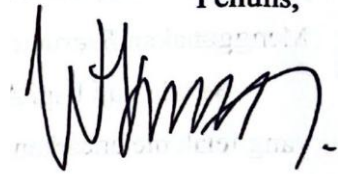
1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ristan Mulyanto dan Ibu Harnawati yang selalu memberikan dukungan baik secara doa, kasih sayang dan materil demi keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T selaku dosen pembimbing skripsi.
3. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus dosen pembimbing akademik.
4. Bapak Ir. Barlin, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh dosen dan staf administrasi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Handoko Salim dan Permata Subing selaku teman satu bimbingan skripsi yang selalu memberi dukungan dan informasi satu sama lain.
7. Mekanik Ar-Rohman Alid, Ateng, Apeng, Bintang, Endru, dan Rejak selaku teman satu kos dan satu perjuangan dari awal perkuliahan yang selalu membantu dan memberi dukungan.
8. Keluarga Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya terutama angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu persatu.

9. Segenap keluarga, teman-teman, beserta seluruh pihak yang memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dengan rendah hati penulis mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik kedepannya.

Indralaya, 8 Mei 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wijaya Kusuma Adha', written over a faint, circular official stamp.

Wijaya Kusuma Adha

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wijaya Kusuma Adha

NIM : 03051282126056

Judul : Studi Eksperimental Pendinginan Panel Surya Tipe
Monocrystalline 100 WP Menggunakan *Beeswax*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Inderalaya, 20 Mei 2025



Wijaya Kusuma Adha

NIM. 03051282126056

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wijaya Kusuma Adha

NIM : 03051282126056

Judul : Studi Eksperimental Pendinginan Panel Surya Tipe *Monocrystalline*
100 WP Menggunakan *Beeswax*

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang, 20 Mei 2025



[Signature]
Wijaya Kusuma Adha
NIM. 03051282126056

RINGKASAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN PANEL SURYA TIPE *MONOCRYSTALLINE* 100 WP MENGGUNAKAN *BEESWAX*

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, 8 Mei 2025

Wijaya Kusuma Adha, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H Irwin Bizzy, M.T.

xxvii + 88 halaman, 29 tabel, 37 gambar, 2 lampiran

RINGKASAN

Salah satu kebutuhan utama manusia adalah energi, hanya sumber energi terbarukan seperti tenaga surya yang dapat menyediakan pasokan listrik yang berkelanjutan. Photovoltaic (PV) atau panel surya merupakan alat yang dapat mengubah pancaran energi surya tersebut menjadi listrik bertegangan DC (Direct Current). Dalam praktiknya panel surya hanya menerima 15-20% radiasi matahari yang dapat diubah menjadi listrik sisanya terbuang menjadi panas. Jika temperatur panel surya meningkat satu derajat maka efisiensi panel surya menurun diantara 0,40-0,65%. Oleh karena itu, untuk mengatasi kenaikan temperatur panel surya dan meningkatkan efisiensinya, maka diperlukan pendinginan pada panel surya. Penggunaan *Phase Change Material* (PCM) berupa *beeswax* sebagai metode pendinginan pasif panel surya yang dapat diimplementasikan guna menyerap kalor dan menyimpan kalor sehingga terjadi penurunan temperatur permukaan panel surya. Penggunaan *beeswax* ini juga digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan temperatur permukaan, tegangan, arus, daya keluaran, serta efisiensi yang dihasilkan panel surya. Pengujian dilakukan di kota Palembang pada tanggal 30 November – 2 Desember 2024 dari pukul 10:00 WIB - 16:00 WIB. Penggunaan *beeswax* sebagai pendingin panel surya dalam pengujian ini belum efektif untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya dikarenakan kurangnya ketebalan dari radiator PCM. Namun pada panel surya dengan *beeswax* diperoleh tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi lebih tinggi dari panel surya

tanpa beeswax. Dapat dilihat pada perolehan data, rata-rata arus listrik selama 1 hari yang dihasilkan, pada hari pertama diperoleh arus listrik sebesar 1,36 A untuk panel surya tanpa beeswax dan 2,78 A untuk panel dengan beeswax dengan tegangan listrik masing-masing 19,43 V dan 19,58 V. Sama halnya dengan hari kedua dan ketiga, di mana pada hari kedua untuk panel tanpa beeswax menghasilkan rata-rata tegangan selama percobaan sebesar 19,27 V dan arus 1,87 A, sedangkan untuk panel dengan beeswax menghasilkan tegangan sebesar 19,32 V dan arus sebesar 3,82 A. Pada hari ketiga untuk panel surya dengan *beeswax* diperoleh tegangan sebesar 19,42 V dan arus 3,62 A untuk panel surya tanpa *beeswax* dan tegangan 19,38 V dan arus 1,76 A. Kenaikan rata-rata efisiensi panel surya sebesar 8,12% untuk panel yang menggunakan *beeswax* dan mampu menyimpan energi sebesar 213,232 W sampai dengan 235,454 W.

Kata Kunci : *beeswax*, panel surya, efisiensi, *phase change material*

Kepustakaan : 33

SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING 100 WP MONOCRYSTALLINE TYPE SOLAR PANEL USING BEESWAX

Scientific Writing in the Form of a Thesis, 8 May 2025

Wijaya Kusuma Adha, supervised by Prof. Dr. Ir. H Irwin Bizzy, M.T.

xxvii + 88 pages, 29 tables, 37 figures, 2 attachments

SUMMARY

One of the main human needs is energy, only renewable energy sources such as solar power can provide a sustainable supply of electricity. Photovoltaic (PV) or solar panel is a device that can convert solar energy rays into DC (Direct Current) voltage electricity. In practice, solar panels only receive 15-20% of solar radiation that can be converted into electricity, the rest is wasted as heat. If the temperature of the solar panel increases by one degree, the efficiency of the solar panel decreases between 0.40-0.65%. Therefore, to overcome the increase in temperature of solar panels and increase their efficiency, cooling of solar panels is required. The use of Phase Change Material (PCM) in the form of beeswax as a passive cooling method for solar panels can be implemented to absorb heat and store heat so that there is a decrease in the surface temperature of solar panels. The use of beeswax is also used to determine its effect on changes in surface temperature, voltage, current, output power, and efficiency produced by solar panels. Testing was carried out in Palembang city on November 30 - December 2, 2024 from 10:00 WIB - 16:00 WIB. The use of beeswax as a solar panel coolant in this test has not been effective in reducing the surface temperature of solar panels due to the lack of thickness of the PCM radiator. However, solar panels with beeswax obtained voltage, current, output power, and efficiency higher than solar panels without beeswax. It can be seen in the data acquisition, the average electric current for 1 day produced, on the first day obtained an electric current of 1.36 A for solar panels without beeswax and 2.78 A for panels with beeswax with an electric voltage of 19.43 V and 19.58 V

respectively. Similarly, on the second and third days, where on the second day for panels without beeswax, the average voltage during the experiment was 19.27 V and a current of 1.87 A, while for panels with beeswax, the voltage was 19.32 V and a current of 3.82 A. On the third day for solar panels with beeswax, a voltage of 19.42 V and a current of 3.62 A was obtained for solar panels without beeswax and a voltage of 19.38 V and a current of 1.76 A. The average increase in solar panel efficiency was 8.12% for panels using beeswax and was able to store energy of 213.232 W to 235.454 W.

Keywords : beeswax, solar panel, efficiency, phase change material

Literature : 33

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SKRIPSI.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Surya	5
2.2 Panel Surya	6
2.2.1 Struktur Panel Surya.....	7
2.2.2 Jenis Panel Surya	8
2.2.3 Cara Kerja Panel Surya.....	10
2.3 Balans Energi.....	14
2.4 Perpindahan Kalor	15
2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi	15
2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi	17
2.4.3 Perpindahan Kalor Radiasi	19

2.5	Efisiensi Panel Surya.....	20
2.6	<i>Thermal Energy Storage</i>	21
2.7	<i>Phasse Change Material (PCM)</i>	22
2.7.1	Jenis-Jenis <i>Phase Change Material (PCM)</i>	23
2.7.1.1	Organik	23
2.7.1.2	Inorganik.....	24
2.7.1.3	<i>Eutetic</i>	25
2.7.2	<i>Beeswax</i>	25
2.8	Penelitian Terdahulu	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Persiapan Penelitian	30
3.3	Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1	Desain Pendingin Panel Surya	30
3.3.2	Persiapan Alat dan Bahan	31
3.3.2.1	Panel Surya.....	31
3.3.2.2	<i>Beeswax</i>	32
3.3.2.3	Radiator <i>Beeswax</i>	33
3.3.3	Prosedur Pengujian	34
3.3.4	Perhitungan Balans Energi	37
3.4	Pengolahan dan Analisa Data.....	38
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Data Kondisi Geografis	39
4.2	Data Hasil Pengukuran.....	39
4.2.1	Intensitas Daya Matahari	39
4.2.2	Pengukuran Temperatur.....	40
4.2.3	Pengukuran Tegangan dan Arus	44
4.3	Perhitungan Daya Keluaran dan Efisiensi Panel Surya	48
4.4	Kecepatan Udara	57
4.5	Kerugian Energi yang Dialami Panel.....	61
4.6	Analisis Data	65
4.6.1	Temperatur	65

4.6.2	Daya Keluaran dan Efisiensi	67
4.7	Kenaikan Daya Temperatur	68
4.8	Distribusi Temperatur Panel Surya.....	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN.....		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Sebaran Potensi Energi Surya Indonesia.....	5
Gambar 2.2 Panel Surya.....	6
Gambar 2.3 Struktur Panel Surya	7
Gambar 2.4 Panel Surya Monocrystalline	8
Gambar 2.5 Panel Surya Polycrystalline.....	9
Gambar 2.6 Panel Surya Thin Film	10
Gambar 2.7 Ilustrasi perpindahan muatan pada semikonduktor	10
Gambar 2.8 Semikonduktor tipe P dan tipe N	11
Gambar 2.9 Perpindahan Elektron dan <i>Hole</i> pada	11
Gambar 2.10 Daerah deplesi	12
Gambar 2.11 Munculnya medan listrik internal E	12
Gambar 2.12 Sambungan semikonduktor terkena Cahaya	13
Gambar 2.13 Fotogenerasi elektron-hole	14
Gambar 2.14 Skema perpindahan kalor konduksi	16
Gambar 2.15 Skema perpindahan kalor konveksi.....	17
Gambar 2.16 Skema perpindahan kalor radiasi	20
Gambar 2.17 Kurva Pemanasan standar	21
Gambar 2.18 Prinsip kerja PCM	22
Gambar 2.19 Klasifikasi PCM (Delgado dkk., 2019).....	23
Gambar 3.1 Diagram alir.....	29
Gambar 3.2 Desain panel surya dan radiator PCM.....	30
Gambar 3.3 Desain panel surya serta penyangga panel surya	31
Gambar 3.4 Panel Surya Tipe Monocrystalline 100 WP	32
Gambar 3.5 Rancangan radiator PCM dari alumunium.....	33
Gambar 4.1 Grafik Intensitas Daya Matahari	40
Gambar 4.2 Grafik Temperatur Hari Pertama.....	41
Gambar 4.3 Grafik Temperatur Hari Kedua	42

Gambar 4.4 Grafik Temperatur Hari Ketiga	43
Gambar 4.5 Perbandingan daya keluaran hari pertama	47
Gambar 4.6 Perbandingan daya keluaran hari kedua	48
Gambar 4.7 Perbandingan daya keluaran hari ketiga	48
Gambar 4.8 Perbandingan temperatur permukaan atas kedua panel hari pertama	65
Gambar 4.9 Perbandingan temperatur permukaan atas kedua panel hari kedua	66
Gambar 4.10 Perbandingan temperatur permukaan atas kedua panel hari ketiga	66
Gambar 4.11 Distribusi temperatur hari pertama pada panel dengan beeswax ...	69
Gambar 4.12 Distribusi temperatur hari kedua pada panel dengan beeswax	69
Gambar 4.13 Distribusi temperatur hari ketiga pada panel dengan beeswax	70

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Beeswax properties (Putra dkk., 2016).....	26
Table 3.1 Spesifikasi Panel Surya	31
Table 3.2 Sifat Beeswax (Putra dkk., 2016)	33
Table 3.3 Variabel Pengujian	35
Table 3.4 Tabel Hasil Pengujian.....	36
Table 3.5 Tabel Hasil Perhitungan	37
Table 4.1 Arus dan tegangan hari pertama	44
Table 4.2 Arus dan tegangan hari kedua	45
Table 4.3 Arus dan tegangan hari ketiga	46
Table 4.4 Data Intensitas Matahari 1 (Hari Pertama)	49
Table 4.5 Data Intensitas Matahari 2 (Hari Pertama)	49
Table 4.6 Data Intensitas Matahari 3 (Hari Kedua).....	50
Table 4.7 Data Intensitas Matahari 4 (Hari Kedua).....	50
Table 4.8 Data Intensitas Matahari 5 (Hari Kedua).....	51
Table 4.9 Data Intensitas Matahari 6 (Hari Kedua).....	51
Table 4.10 Data Intensitas Matahari 7 (Hari Kedua)	52
Table 4.11 Data Intensitas Matahari 8(Hari Kedua)	52
Table 4.12 Data Intensitas Matahari 9 (Hari Kedua)	53
Table 4.13 Data Intensitas Matahari 10 (Hari Kedua)	53
Table 4.14 Data Intensitas Matahari 11 (Hari Kedua)	54
Table 4.15 Data Intensitas Matahari 12 (Hari Ketiga)	54
Table 4.16 Data Intensitas Matahari 13 (Hari Ketiga)	55
Table 4.17 Data Intensitas Matahari 14 (Hari Ketiga)	55
Table 4.18 Hasil perhitungan daya keluaran panel surya.....	56
Table 4.19 Hasil perhitungan efisiensi panel surya.....	57
Table 4.20 Kecepatan udara hari pertama	58
Table 4.21 Kecepatan udara hari kedua	59

Table 4.22 Kecepatan udara hari ketiga.....	60
Table 4.23 Kerugian kalor yang dialami panel surya	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Kerugian Energi Kalor	77
Lampiran 2 Gambar Pengambilan Data	85
Lampiran 3 Form Formulir Konsultasi Tugas Akhir	87
Lampiran 4 Cek Turnitin.....	88

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu kebutuhan utama manusia adalah energi, berdasarkan sumbernya energi dibagi menjadi energi tak terbarukan (*non-renewable energy*) dan energi terbarukan (*renewable energy*). Batubara, minyak, dan gas merupakan bagian dari kelompok energi tak terbarukan. Sedangkan matahari, angin, air, dan panas bumi merupakan kelompok energi terbarukan.

Sebagian besar aktivitas di dunia ini masih menggunakan energi fosil ini, Dalam bukunya Biological Fuels, Christ Lewis mengatakan bahwa minyak bumi akan habis pada tahun 2080, gas alam pada tahun 2047, dan batu bara pada tahun 2180. Ini disebabkan oleh eksplorasi intensif energi fosil dan tidak sebanding dengan jumlah waktu yang dihabiskan untuk menghasilkan energi fosil. (Afifudin dan Samsu Hananto, 2012.). Hanya sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya yang dapat menyediakan pasokan Listrik yang berkelanjutan, karena sumber energi konvensional saat ini sekitar 81% energi berasal dari fosil (minyak bumi 32,4%, batu bara 27,3%, dan gas alam 21,4%). Energi terbarukan hanya 13% dan tenaga nuklir 5,7% Energi matahari adalah jenis energi yang paling banyak digunakan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.(Hasanuzzaman dkk., 2016)

Indonesia sebagai negara yang beriklim tropis, secara geografis Indonesia terletak digaris khatulistiwa yang membuat Indonesia disinari matahari sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya menjadi listrik adalah sebuah sistem yang paling ramah lingkungan. Menurut data dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Indonesia memperoleh intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari. Sumber energi ini memiliki banyak peluang untuk dikembangkan, salah satu contohnya adalah penggunaan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan panel surya.

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi Listrik. Dalam praktiknya panel surya hanya menerima 15-20% radiasi matahari yang dapat diubah menjadi listrik sisanya terbuang menjadi panas. Jika temperatur panel surya meningkat satu derajat maka efisiensi panel surya menurun diantara 0,40-0,65%.(Rahman dkk., 2015). Oleh karena itu, untuk mengatasi kenaikan temperatur panel surya dan meningkatkan efisiensinya, maka diperlukan pendinginan pada panel surya tersebut. Jenis pendinginan pada panel surya dibagi dua yaitu, pendinginan aktif dan pasif. Pendinginan aktif yaitu menggunakan energi tambahan seperti pompa, *fan*, dan lain-lain. Sedangkan pendinginan pasif tidak memerlukan energi tambahan lagi seperti plat berlubang, *heatsink*, dan PCM (*Phase Change Material*). *Beeswax* atau lilin madu dikenal sebagai PCM (*Phase Change Material*) dapat digunakan sebagai pendingin pasif untuk panel surya karena mampu mengalami perubahan fasa pada temperatur tertentu dengan menyerap kalor yang dihasilkan panel surya agar temperatur panel surya turun. Dalam satu penelitian (Arifin dkk., 2022) untuk meningkatkan peforma dari panel surya didapatkan *beeswax* mampu menurunkan temperatur panel surya disbanding PCM jenis *soy wax* dan *paraffin*. Oleh karena itu, penulis berinisiatif melakukan penelitian berjudul “Studi Eksperimental Pendinginan Panel Surya Tipe Monocrystalline 100 WP Menggunakan *Beeswax*” yang nantinya perolehan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk para peneliti dan praktisi.

1.2 Rumusan Masalah

Adanya keterbatasan temperatur yang dapat diterima oleh kerja panel surya menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi apabila panel surya bekerja pada temperatur yang melebihi temperatur optimal, sehingga dibutuhkan PCM (*Phase Change Material*) sebagai pendingin panel surya guna meningkatkan efisiensi kerja dari panel surya dan kalor yang diterima oleh PCM dapat disimpan sebagai energi termal.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan adalah bertipe monocrystalline dengan kapasitas 100 WP (Watt Peak) dengan dimensi 1020×670 mm.
2. Panel surya yang digunakan berjumlah 2 unit, salah satunya menggunakan PCM berupa *beeswax* dan satu tanpa PCM dengan spesifikasi yang sama, dengan tegangan saat P maksimum adalah 17,4 V dan arus saat P maksimum adalah 5,74 A.
3. Panel surya ditempatkan pada penyangga dengan ketinggian 84 cm dan 52 cm dengan posisi panel surya memiliki kemiringan sebesar 15° terhadap arah utara mata angin.
4. Penelitian ini hanya untuk membuktikan kesetimbangan energi pada sistem PV-PCM tipe *beeswax*. Data PCM menggunakan artikel yang telah tersedia di jurnal terakreditasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi termal dari panel surya tipe monocrystalline dengan bantuan pendinginan PCM (*Phase Change Material*).
2. Menganalisis balans energi pada sistem panel surya tipe monocrystalline dengan pendinginan PCM (*Phase Change Material*).
3. Menganalisis daya Listrik yang dihasilkan panel surya tipe monocrystalline.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menghasilkan perangkat panel surya yang dapat meningkatkan efisiensi termal.
2. Memberikan referensi untuk solusi peningkatan efisiensi kerja panel surya dengan bahan PCM (*Phase Change Material*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurakman, J., Pravitasari, D., & Setiawan, H. T. (2023). Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Panel Surya Mono-Crystalline Terhadap Keluaran Daya Di Universitas Tidar Magelang. *Senaster Journal UNTIDAR* (Vol 4, No.1)
- Afifudin, F., & Samsu Hananto, F. (2012). Optimalisasi Tegangan Keluaran Dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino* (Vol 4, No 2)
- Albahar, A. K., & Haqi, M. F. (2020). Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya (PV) Terhadap Keluaran Daya. *Jurnal Elektro*, 8(2), 115-122.
- Amin, M., Putra, N., Kosasih, E. A., Prawiro, E., Luanto, R. A., & Mahlia, T. M. I. (2017). Thermal properties of beeswax/graphene phase change material as energy storage for building applications. *Applied Thermal Engineering*, 112, 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.085>
- Arifin, Z., Prasetyo, S. D., Tribhuwana, B. A., Tjahjana, D. D. D. P., Rachmanto, R. A., & Kristiawan, B. (2022). Photovoltaic performance improvement with phase change material cooling treatment. *International Journal of Heat and Technology*, 40(4), 953-960.
- Bizzy, I. (2020). *Teknologi Tenaga Surya*. Universitas Sriwijaya
- Budiyanto, H., Setiawan, A., & Siswati, A. (2022). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Pertanian Hidrokanik Padi*. Universitas Merdeka Malang
- Cengel, Y. A. (2004). *Heat Transfer: A Practical Approach*. (Edisi 2).
- Delgado, J. M. P. Q., Martinho, J. C., Sá, A. V., Guimarães, A. S., & Abrantes, V. (2019). Thermal Energy Storage with Phase Change Materials: A Literature Review of Applications for Buildings Materials (1st ed.). *Springer Cham*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97499-6>
- Dewan Energi Indonesia. (2023). *Outlook Energi Indonesia 2023*.

- Elavarasan, R.M., Velmurugan, K., Subramaniam, U., Kumar, A.R., Almakhlles, D., 2020. Experimental investigations conducted for the characteristic study of OM29 phase change material and its incorporation in photovoltaic panel. *Energies*, 13 (4): 1–18. <https://doi.org/10.3390/en13040897>
- Fleischer, A. S. (2015). *Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials : Fundamentals and Applications*. Springer International Publishing.
- Hardani, M. S. (2019). *Dye-Sensitized Solar Cell: Teori dan Aplikasi*. Pustaka Ilmu. <https://books.google.co.id/books?id=rmxWEAAAQBAJ>
- Hardianto. (2019). Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review Hardianto. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3634186>
- Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., Islam, M. M., Pandey, A. K., & Rahim, N. A. (2016). Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review. In *Solar Energy* (Vol. 137, pp. 25–45). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.010>
- Hekimoğlu, G., & Sarı, A. (2022). A review on phase change materials (PCMs) for thermal energy storage implementations. *Materials Today: Proceedings*, 58, 1360–1367. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.231>
- Indartono, Y. S., Prakoso, S. D., Suwono, A., Zaini, I. N., & Fernaldi, B. (2015). Simulation and experimental study on effect of phase change material thickness to reduce temperature of photovoltaic panel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 88(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/88/1/012049>
- Kuznesof, P. M., & by Brian Whitehouse, R. D. (2005). *Beeswax CTA*. Chemical and Technical Assessment 65th.
- Leszczynski, J., Roy, J. K., & Kar, S. (2021). Development of Solar Cells Theory and Experiment. <https://www.springer.com/series/6918>
- Nazir, H., Batool, M., Bolivar Osorio, F. J., Isaza-Ruiz, M., Xu, X., Vignarooban, K., Phelan, P., Inamuddin, & Kannan, A. M. (2019). Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *International Journal*

- of Heat and Mass Transfer*, 129, 491–523.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.126>
- Pielichowska, K., & Pielichowski, K. (2014). Phase change materials for thermal energy storage. *Progress in Materials Science*, 65, 67–123.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2014.03.005>
- Prasetyo Jl Sudarto, B. H. (2018). Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *In Eksergi Jurnal Teknik Energi* (Vol. 14, Issue 3). <http://www.polines.ac.id>,
- Putra, N., Prawiro, E., & Amin, M. (2016). Thermal Properties of Beeswax/CuO Nano Phase-change Material Used for Thermal Energy Storage. *International Journal of Technology*, 7(2), 244–253.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i2.2976>
- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067>
- Ramnanan-Singh, R. (2012). Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient. https://academicworks.cuny.edu/cc_etds_theses/115Discoveradditionalworksat:https://academicworks.cuny.edu
- Rumbayan, M. (2020). *Energi Surya Sebagai Energi Alternatif Yang Terbarukan* (N. Pangesti, Ed.). Ahlimedia Press.
- Safitri Nelly, Lhokseumawe, P. N., Rihayat, T., & Lhokseumawe, P. N (2019). *Teknologi Photovoltaic*. <https://www.researchgate.net/publication/341909134>
- Sharma, A., Tyagi, V. V, Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>

- Stropnik, R., & Stritih, U. (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM. *Renewable Energy*, 97, 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.011>
- Su, W., Darkwa, J., & Kokogiannakis, G. (2015). Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 48, pp. 373–391). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.044>
- Thaib, R. (2021). Experimental Study of Beeswax / Rice Husk Ash Phase Changes Material as Energy Storage in Concrete. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 6(3), 34–37. <https://doi.org/10.24018/ejers.2021.6.3.2411>
- Thaib, R., Hamdani, H., & Amin, M. (2019). Utilization of Beeswax/Bentonite as energy storage material on building wall composite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044038>
- Thaib, R., Rizal, S., Riza, M., Mahlia, T. M. I., & Rizal, T. A. (2018). Beeswax as phase change material to improve solar panel's performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 308(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/308/1/012024>