

SKRIPSI

**ANALISIS PERFORMANSI SOLAR PANEL DENGAN
PENDINGIN PERMUKAAN BERBASIS *PHASE*
*CHANGE MATERIAL***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I KOMANG BUDAYASA
NIM. 2115234011

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Panel surya merupakan solusi umum dalam pemanfaatan energi terbarukan. Namun demikian, efisiensinya cenderung menurun ketika suhu permukaan meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut, diterapkan metode pendinginan pasif dengan memanfaatkan *Phase Change Material* (PCM) yang berfungsi mengatur suhu panel melalui mekanisme penyerapan panas laten. Penelitian ini mengevaluasi kinerja panel surya yang dilengkapi dengan dua jenis sistem pendinginan berbasis PCM, yaitu *paraffin wax* murni dan komposit *paraffin wax* dengan *expanded graphite*.

Pengujian dilakukan dalam tiga skenario: panel tanpa pendinginan, panel dengan PCM *paraffin wax*, dan panel dengan PCM *paraffin wax-expanded graphite*. Data yang dikumpulkan meliputi suhu permukaan panel, suhu lingkungan, intensitas cahaya matahari, daya masuk dan daya keluar, serta efisiensi panel secara keseluruhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel tanpa sistem pendingin mencapai suhu permukaan rata-rata sebesar 47,17°C dengan efisiensi 15,96%. Ketika menggunakan *paraffin wax*, suhu turun menjadi 43,18°C dan efisiensi meningkat menjadi 16,80%. Pendinginan paling efektif diperoleh dari penggunaan PCM komposit, yang menurunkan suhu hingga 42,57°C dan meningkatkan efisiensi menjadi 17,81%. Temuan ini membuktikan bahwa sistem pendinginan pasif berbasis PCM khususnya yang mengandung *expanded graphite* dapat secara signifikan meningkatkan kinerja panel surya tanpa membutuhkan energi tambahan, sehingga sangat cocok diterapkan di wilayah beriklim tropis.

Kata kunci: *Panel Surya, Efisiensi, PCM, Paraffin Wax, Expanded Graphite*

PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR PANEL WITH SURFACE COOLING BASED ON PHASE CHANGE MATERIAL

ABSTRACT

Solar panels are a common solution for harnessing renewable energy; however, their efficiency tends to decline as the surface temperature rises. To mitigate this effect, a passive cooling approach utilizing Phase Change Material (PCM) is implemented to regulate the panel's temperature through latent heat absorption. This research evaluates the performance of solar panels equipped with two types of PCM-based cooling systems: pure paraffin wax and a composite of paraffin wax with expanded graphite.

The experimental setup included three testing scenarios: panels without cooling, with paraffin wax PCM, and with paraffin wax–expanded graphite PCM. Collected data encompassed surface and ambient temperatures, solar radiation, power input and output, and overall panel efficiency.

Findings reveal that panels without any cooling system reached an average surface temperature of 47.17°C with an efficiency of 15.96%. When using paraffin wax, the temperature dropped to 43.18°C and efficiency improved to 16.80%. The composite PCM provided the most effective cooling, reducing the temperature further to 42.57°C and enhancing efficiency to 17.81%. These results confirm that PCM-based passive cooling particularly with expanded graphite can significantly enhance solar panel performance without the need for external energy, making it ideal for use in tropical climates.

Keywords: *Solar Panel, Efficiency, Phase Change Material, Paraffin Wax, Expanded Graphite*

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Pengesahan oleh Pembimbing	ii
Persetujuan Dosen Penguji.....	iii
Pernyataan Bebas Plagiat	iv
Ucapan Terima Kasih.....	v
Abstrak	vii
<i>Abstract</i>	viii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.4.1 Tujuan Umum.....	3
1.4.2 Tujuan Khusus.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.5.1 Bagi Penulis.....	3
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali.....	4
1.5.3 Bagi Mahasiswa.....	4
1.5.4 Bagi Masyarakat.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengertian Energi	5
2.2 Energi Listrik.....	5
2.3 Energi Surya (Matahari).....	6
2.4 Panel Surya (Solar Panel).....	7
2.5 Jenis Panel Surya.....	9

2.6	Sistem dan Komponen Pada Panel Surya	12
2.7	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya	15
2.8	Temperatur Kinerja Optimum Pada Panel Surya	16
2.9	Daya Input Panel Surya	17
2.10	Daya Output Panel Surya	17
2.11	Efisiensi Panel Surya	17
2.12	Teknik Pendinginan Modul Surya	18
2.13	Pengertian PCM (<i>Phase Change Material</i>)	19
2.14	Jenis - Jenis <i>Phase Change Material</i>	20
2.14.1	<i>Phase Change Material</i> Organik	20
2.14.2	<i>Phase Change Material</i> Anorganik	21
2.14.3	<i>Phase Change Material</i> Eutektik	22
2.14.4	Karakteristik <i>Phase Change Material</i>	24
2.15	<i>Expanded Graphite</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Jenis Penelitian	27
3.1.1	Desain PCM pada panel surya	28
3.2	Alur Penelitian	29
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.4	Penentuan Sumber Data	31
3.5	Sumber Daya Penelitian	32
3.6	Instrumen Penelitian	33
3.7	Prosedur Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Hasil Penelitian	38
4.1.1	Solar panel tanpa menggunakan sistem pendingin PCM	45
4.1.2	Solar panel menggunakan sistem pendingin PCM <i>Paraffin Wax</i> .	50
4.1.3	Solar panel menggunakan pendingin PCM <i>Paraffin Wax</i> – <i>Expanded Graphite</i>	55
4.1.4	Perbandingan grafik data yang dihasilkan	60
4.2	Pembahasan	70

BAB V PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik PCM paraffin wax	21
Tabel 3.1	Waktu Penelitian	31
Tabel 3.2	Data Tabel yang akan digunakan untuk pengukuran	37
Tabel 4.1	Perhitungan rasio campuran PCM.....	42
Tabel 4.1	Data pengujian panel surya tanpa PCM	45
Tabel 4.2	Data hasil pengujian menggunakan <i>PCM paraffin wax</i>	50
Tabel 4.3	Data hasil pengujian menggunakan <i>PCM paraffin wax - EG</i>	55
Tabel 4.5	Rata- rata temperatue yang dihasilkan	61
Tabel 4.6	Rata- rata tegangan yang dihasilkan.....	63
Tabel 4.7	Rata- rata ampere yang dihasilkan	64
Tabel 4.8	Rata- rata daya input yang dihasilkan	65
Tabel 4.9	Rata- rata daya output yang dihasilkan	67
Tabel 4.10	Rata- rata efisiensi yang dihasilkan.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Energi Surya	7
Gambar 2. 2	Panel surya.....	8
Gambar 2. 3	Jenis panel surya Monocrystalline.....	10
Gambar 2. 4	Jenis panel surya Polycrystalline.....	10
Gambar 2. 5	Jenis panel surya <i>thin film photo vaic</i>	12
Gambar 2.6	Modul panel surya	13
Gambar 2.7	Inverter	13
Gambar 2.8	Panel kontrol.....	14
Gambar 2.9	Baterai.....	14
Gambar 2.10	PCM organik (<i>paraffin wax</i>)	21
Gambar 2.11	PCM Anorganik (<i>Natrium sulfat dekahidrat</i>)	22
Gambar 2.12	PCM Eutektik	24
Gambar 2.13	<i>Graphite Powder</i>	26
Gambar 3.1	Desain penambahan PCM pada panel surya	28
Gambar 3.2	Rangkaian sistem panel surya menggunakan PCM.....	29
Gambar 3.3	Diagram alur penelitian	30
Gambar 3.4	Multimeter	33
Gambar 3.5	Termometer	34
Gambar 3.6	Lux meter.....	34
Gambar 3.7	Stopwatch	35
Gambar 4. 1	Solar panel dengan pendingin PCM.....	38
Gambar 4.2	Pelehan dan pencetakan <i>paraffin wax</i>	40
Gambar 4.3	Muffle furnace untuk memanaskan EG.....	41
Gambar 4.4	Graphite powder, expandable graphite, expanded graphite	41
Gambar 4.5	Pencampuran dan pencetakan <i>paraffin wax</i> dengan <i>expanded graphite</i>	43
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara waktu dengan intensitas cahaya dan temperature permukaan solar panel.....	46

Gambar 4.7	Grafik hubungan waktu dengan temperature permukaan solar panel dan tegangan	47
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara waktu dengan temperature dan ampere	48
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi panel surya	49
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara waktu dengan intensitas cahaya dan temperature permukaan solar panel.....	51
Gambar 4.11	Grafik hubungan waktu dengan temperature permukaan solar panel dan Tegangan.....	52
Gambar 4.12	Grafik hubungan waktu dengan temperature permukaan solar panel dan ampere.....	53
Gambar 4.13	Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi panel surya	54
Gambar 4.14	Grafik hubungan antara waktu dengan intensitas cahaya dan temperature permukaan solar panel.....	56
Gambar 4.15	Grafik hubungan waktu dengan temperature permukaan solar panel dan tegangan	57
Gambar 4.16	Grafik hubungan waktu dengan temperature permukaan solar panel dan ampere.....	58
Gambar 4.17	Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi panel surya	59
Gambar 4.18	Grafik perbandingan temperatur panel surya	60
Gambar 4.19	Grafik perbandingan tegangan panel surya	62
Gambar 4.20	Grafik perbandingan arus panel surya.....	63
Gambar 4.21	Grafik perbandingan daya input panel surya.....	65
Gambar 4.22	Grafik perbandingan daya output panel surya.....	66
Gambar 4.23	Grafik perbandingan efisiensi panel surya	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Data Pengujian Tanpa Menggunakan PCM	80
Lampiran 2	Tabel Data Pengujian Menggunakan Pendingin PCM <i>Paraffin Wax</i>	81
Lampiran 3	Tabel Data Pengujian Menggunakan Pendingin PCM <i>Paraffin Wax EG</i>	82
Lampiran 4	Proses <i>graphite powder</i> menjadi <i>expanded graphite</i>	83
Lampiran 5	Proses pelelehan dan pencetakan <i>paraffin wax</i>	84
Lampiran 6	Proses pelelehan dan pencetakan <i>paraffin wax- EG</i>	85
Lampiran 7	Proses pemasangan PCM pada panel surya.....	86
Lampiran 8	Lembar bimbingan dosen pembimbing 1	87
Lampiran 9	Lembar bimbingan dosen pembimbing 2	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia yang berupa kepulauan, dengan banyak wilayah kecil dan terpencil, membuat akses terhadap jaringan listrik terpusat menjadi cukup sulit. Namun, letak Indonesia yang berada tepat di garis khatulistiwa justru memberikan keuntungan besar karena potensi energi surya sangat melimpah. Rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia mencapai sekitar 4,8 kWh/m² per hari di hampir seluruh wilayah (Kholiq, 2012). Potensi ini tentu bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

Panel surya merupakan perangkat yang dirancang untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik atau panas yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Akan tetapi, kinerja panel surya sangat bergantung pada suhu operasionalnya. Panel surya bekerja optimal pada temperatur tertentu, namun ketika permukaan panel terlalu panas akibat paparan sinar matahari yang terus-menerus, efisiensi konversinya menurun. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi panel surya bisa turun sekitar 0,4–0,5% untuk setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas suhu optimal (Laksana *et al.*, 2022).

Salah satu pendekatan yang dianggap efektif untuk menjaga kestabilan suhu panel adalah dengan metode pendinginan pasif menggunakan *phase change material* (PCM). PCM adalah material yang mampu menyerap dan melepaskan energi panas selama proses perubahan fasenya, misalnya dari padat menjadi cair atau sebaliknya. Sifat unik ini membuat PCM dapat menyimpan panas saat suhu naik, lalu melepaskannya kembali ketika suhu menurun. Dengan begitu, suhu permukaan panel bisa lebih stabil (Ling *et al.*, 2014).

Pemanfaatan PCM bukan hanya membantu meningkatkan efisiensi termal panel surya, tetapi juga mendukung pengembangan teknologi energi yang ramah lingkungan serta lebih hemat energi. Meski begitu, penerapannya tidak bisa dilakukan sembarangan. Ada beberapa faktor penting yang harus diperhatikan,

seperti pemilihan jenis PCM dengan titik leleh yang sesuai dengan suhu operasi panel, desain sistem distribusi panas yang tepat, serta evaluasi performa termalnya secara menyeluruh. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan PCM yang tepat dapat meningkatkan efisiensi panel surya hingga 10% dibandingkan dengan sistem tanpa pendinginan (Sivasamy *et al.*, 2018).

Sebagai perbandingan, penelitian sebelumnya yang menggunakan sembilan *thermoelectric cooler* (TEC) menunjukkan bahwa suhu panel surya dapat mencapai titik tertinggi 50,8°C dan titik terendah 46,1°C, dengan rata-rata intensitas cahaya sekitar 510,01 W/m² (Maulana, 2024). Dari hasil tersebut terlihat bahwa suhu panel masih relatif tinggi dan berpotensi menurunkan efisiensi konversi daya.

Berdasarkan kondisi itu, penelitian ini bertujuan untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya agar daya keluarannya meningkat. Target suhu yang diharapkan adalah stabil di sekitar 43°C. Untuk mencapainya, digunakan sistem pendinginan pasif berbasis PCM dengan bahan organik berupa *paraffin wax*, serta kombinasi *paraffin wax* dengan *expanded graphite*. Kombinasi ini diharapkan mampu menjaga suhu panel tetap stabil sekaligus meningkatkan efisiensi daya keluaran panel surya dibandingkan penelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana pengaruh PCM *paraffin wax* terhadap efisiensi dan temperatur panel surya.
2. Bagaimana pengaruh kombinasi PCM *paraffin wax* - *expanded graphite* terhadap efisiensi dan temperatur panel surya.
3. Bagaimana perbandingan efisiensi antara penggunaan PCM *paraffin wax* dan kombinasi PCM *paraffin wax* - *expanded graphite* dalam penyerapan panas pada permukaan panel surya.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini hanya difokuskan pada pendinginan sel panel surya menggunakan pendinginan pasif *Phase change material* (PCM).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan umum dari penyusunan proposal skripsi ini adalah:

- a. Sebagai persyaratan untuk memenuhi syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan sarjana terapan program studi D4 Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
- b. Sebagai pengkajian dan pengaplikasian ilmu pengetahuan dan praktikum yang diperoleh selama masa perkuliahan.

1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dari penyusunan proposal skripsi ini adalah:

- a. Mampu mengetahui pengaruh PCM *paraffin wax* terhadap efisiensi dan temperatur panel surya.
- b. Mampu mengetahui pengaruh kombinasi PCM *paraffin wax-expanded graphite* terhadap efisiensi dan temperatur panel surya.
- c. Mampu mengetahui perbandingan efisiensi antara penggunaan PCM *paraffin wax* dan kombinasi PCM *paraffin wax - expanded graphite* dalam penyerapan panas pada permukaan panel surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil analisis yang berjudul “Analisis performansi solar panel dengan pendingin permukaan berbasis *phase change material (PCM)*” diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis, dan sebagai sarana pembelajaran khusus praktikum di Politeknik Negeri Bali.

1.5.1 Bagi Penulis

Sebagai sarana untuk menerapkan dan mengembangkan ilmu – ilmu yang didapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali baik secara teori maupun praktek. Selain itu merupakan syarat menyelesaikan

pendidikan sarjana terapan program studi D4 Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik negeri Bali.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai sarana pendidikan atau ilmu pengetahuan dibidang energi terbarukan di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk dapat dikembangkan kembali.

1.5.3 Bagi Mahasiswa

Penelitian tentang penggunaan *phase change material (PCM)* sebagai pendingin permukaan panel surya dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa yaitu dapat memberikan pemahaman tentang cara kerja dan kinerja *PCM* sebagai pendingin permukaan panel surya dan dapat meningkatkan keterampilan mahasiswa dalam menggunakan peralatan dan teknik analisi yang digunakan dalam penelitian.

1.5.4 Bagi Masyarakat

Penelitian tentang penggunaan *phase change material (PCM)* sebagai pendingin panel surya dapat memberikan manfaat bagi masyarakat yaitu membantu dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan menyediakan sumber energi yang lebih terjangkau dan stabil.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap penggunaan *Phase Change Material* (PCM) sebagai sistem pendingin pasif permukaan pada panel surya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Penggunaan PCM *Paraffin Wax* terhadap Panel Surya: Penggunaan PCM *paraffin wax* berhasil menurunkan temperatur permukaan panel surya dari rata-rata 47,17°C (tanpa pendinginan) menjadi 43,18°C. Penurunan suhu ini berdampak pada meningkatnya efisiensi panel surya dari 15,96% menjadi 16,80%. Hal ini menunjukkan bahwa PCM *paraffin wax* mampu menyerap panas laten secara efektif, sehingga menjaga suhu permukaan panel tetap stabil dan meningkatkan efisiensi kerja panel.
2. Pengaruh Kombinasi PCM *Paraffin Wax* dan *Expanded Graphite*: Kombinasi antara *paraffin wax* dan *expanded graphite* menghasilkan performa pendinginan yang lebih optimal. Suhu permukaan rata-rata panel surya turun menjadi 42,57°C, dengan efisiensi meningkat hingga 17,81%. Hal ini terjadi karena penambahan *expanded graphite* meningkatkan konduktivitas termal pada PCM, mempercepat proses distribusi dan pelepasan panas selama proses transisi fase.
3. Dari tiga kondisi pengujian tanpa pendinginan, dengan PCM *paraffin wax*, dan dengan kombinasi *paraffin wax-expanded graphite* terlihat bahwa PCM komposit (*paraffin + expanded graphite*) memberikan hasil terbaik. Kombinasi tersebut mampu meningkatkan efisiensi lebih dari 11,6% dibandingkan kondisi tanpa pendinginan, serta menunjukkan kestabilan suhu yang lebih baik selama proses pengujian berlangsung.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta temuan-temuan yang diperoleh, penulis menyampaikan beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian maupun pengembangan lebih lanjut. Saran-saran ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas penelitian selanjutnya dan memberikan hasil yang lebih maksimal :

1. Disarankan agar talang yang digunakan dibuat dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini bertujuan supaya volume penampungan PCM Paraffin Wax juga lebih banyak, sehingga kemampuan material dalam menyerap panas laten akan semakin tinggi. Dengan kapasitas penyerapan yang lebih besar, maka efektivitas pendinginan pasif pada panel surya pun dapat meningkat secara signifikan.
2. Melakukan pengujian tambahan dalam kondisi lingkungan yang bervariasi, seperti perbedaan suhu udara dan intensitas cahaya matahari. Pengujian dengan variasi kondisi ini sangat diperlukan untuk memastikan bahwa sistem pendingin berbasis PCM dapat bekerja secara konsisten dan tetap stabil dalam berbagai situasi nyata di lapangan
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dipertimbangkan penambahan komponen *heat sink*. Keberadaan *heat sink* dapat membantu mempercepat proses pelepasan panas dari PCM sehingga kemampuan PCM dalam menyerap panas tetap optimal. Dengan demikian, PCM tidak cepat jenuh dan sistem pendinginan dapat berlangsung lebih efektif.
4. Penggunaan lebih dari satu panel surya untuk perbandingan agar data hasil penelitian lebih valid dan dapat dipercaya, disarankan untuk menggunakan tiga panel surya sekaligus dengan perlakuan yang berbeda. Panel surya pertama digunakan tanpa PCM sebagai kontrol, panel surya kedua menggunakan PCM *Paraffin Wax* murni, sedangkan panel surya ketiga menggunakan campuran PCM *Paraffin Wax* dengan *Expanded Graphite*. Dengan metode perbandingan ini, peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas PCM dengan berbagai perlakuan.

5. Pemanfaatan cahaya buatan untuk meminimalisir adanya variabel luar yang sulit dikendalikan, khususnya intensitas cahaya matahari yang dapat berubah-ubah, maka dalam penelitian lanjutan lebih baik menggunakan sumber cahaya buatan. Dengan cahaya buatan, intensitas cahaya dapat diatur sesuai kebutuhan, sehingga hasil pengujian lebih terkontrol, konsisten, dan akurat.
6. Aspek terakhir yang juga penting adalah memperhatikan kemasan atau cetakan PCM. Pengemasan yang baik dapat meningkatkan penyerapan panas dan mencegah terjadinya kebocoran. Pemilihan bahan cetakan juga perlu diperhatikan agar PCM memiliki umur pakai yang lebih panjang dan tetap efisien digunakan dalam jangka waktu lama. Dengan demikian, efektivitas PCM sebagai media penyimpanan panas dapat terus terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, Y., Yao, X., Chen, Y., & Zou, D. (2023). Review on ceramic-based composite phase change materials: Preparation, characterization and application. *Composites Part B: Engineering*, 254, 110584.
- Cheto Riskiantoro. (2023). Sebagai Reinforced Composite Phase Change Material Teri N Tegrasi Heat Pipe U N Tuk Pe N Gemba N Ga N Ma N Ajeme N Termal.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2018). Solar heating and cooling. In *Renewable Energy* (pp. Vol2_371-Vol2_386). Routledge.
- Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384.
- El Ouiqary, A., & Smiej, M. F. (2021). Estimation of the global horizontal solar irradiation GHI for the Moroccan national territory from meteorological satellite images of the Second Generation Meteosat series MSG. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, 8(3), 2814-2827.
- Haryanto, T. (2021). Perancangan Energi Terbarukan Solar Panel Untuk Essential Load Dengan Sistem Switch. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 10(1), 41-50.
- Indra Bayu, J., Budi Sulistiyawati, I., & Putu Agustini, N. (2023). Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal FORTECH*, 4(1), 27–32.
- Iqtimal, Z., Sara, I. D., & Syahrizal, S. (2018). Aplikasi sistem tenaga surya sebagai sumber tenaga listrik pompa air. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 3(1).
- Kholiq, I. (2015). Analisis pemanfaatan sumber daya energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM. *Jurnal Iptek*, 19(2), 75-91.
- Kusuma, Y. W. J. (2015). Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor Photodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 9(1), 11-20.
- Laksana, E. P., sanjaya, O., sujono, S., broto, S., & fath, N. (2022). Sistem

- Pendinginan Panel Surya dengan Metode Penyemprotan Air dan Pengontrolan Suhu Air menggunakan Peltier. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 652.
- Li, W. W., Cheng, W. L., Xie, B., Liu, N., & Zhang, L. S. (2017). Thermal sensitive flexible phase change materials with high thermal conductivity for thermal energy storage. *Energy conversion and management*, 149, 1-12.
- Li, X., Zhou, Y., Nian, H., Zhang, X., Dong, O., Ren, X., ... & Shen, Y. (2017). Advanced nanocomposite phase change material based on calcium chloride hexahydrate with aluminum oxide nanoparticles for thermal energy storage. *Energy & Fuels*, 31(6), 6560-6567.
- Ling, Z., Zhang, Z., Shi, G., Fang, X., Wang, L., Gao, X., ... & Liu, X. (2014). Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, Li-ion batteries and photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 427-438.
- Malik, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2016). Review on use of phase change materials in battery thermal management for electric and hybrid electric vehicles. *International Journal of Energy Research*, 40(8), 1011-1031.
- Manan, S. (2009). Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif Yang Effisien, Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia. Gema teknologi.
- Moh Maulana. (2024). Skripsi analisis eksperimental unjuk kerja solar panel (fotovoltaik) dengan sistem pendingin permukaan berbasis thermoelectric cooler.
- Muji Setiyo. 2023 Teori Dasar Listrik. Mechanical Engineering for Society and Industry <https://muji.blog.unimma.ac.id/teori-dasar-listrik/> Diakses tanggal 20 januari 2024.
- Nie, B., Chen, J., Du, Z., Li, Y., Zhang, T., Cong, L., ... & Ding, Y. (2021). Thermal performance enhancement of a phase change material (PCM) based portable box for cold chain applications. *Journal of Energy Storage*, 40, 102707.
- Nassima, R. (2022). *A Comprehensive Review of Composite Phase Change Materials (cPCMs) for Thermal Management Applications, Including Manufacturing Processes, Performance, and Application*.

- Nie, B., Chen, J., Du, Z., Li, Y., Zhang, T., Cong, L., Zou, B., & Ding, Y. (2021). Thermal performance enhancement of a phase change material (PCM) based portable box for cold chain applications. *Journal of Energy Storage*, 40(January), 102707.
- Pujotomo, I., & Aita Diantari, R. (2018). Characteristics Surface Temperature of Solar Cell Polycrystalline Type to Output Power. *E3S Web of Conferences*, 73, 8–11.
- Rahardjo, D. C., Fitri, S. P., & Wardhana, E. M. (2023). Analisis Kinerja Termal Sistem Refrigerasi Hybrid Menggunakan Phase Change Material Pada Eco Reefer Container Kapasitas ½ Ton. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 3–9.
- Rina, B., & Safitri, A. (2010). *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram Vol. 6. No.1 ISSN:2355-6358*. 6(1), 9–15.
- Radouane, N. (2022). A comprehensive review of composite phase change materials (cPCMs) for thermal management applications, including manufacturing processes, performance, and applications. *Energies*, 15(21), 8271.
- Rahmadsyah, A. S., Sara, I. D., & Syahrizal, S. (2023). Penerapan Natural Cooling pada Aplikasi Building Applied Photovoltaic: Studi Kasus Kota Banda Aceh. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 8(2).
- Rusman, R. (2017). Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 Wp. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(2).
- 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.
- Sulistyowati, R., & Fadholi, A. (2022, April). Optimalisasi Panel Surya Untuk Skala Rumah Tangga. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)* (Vol. 1, No. 1, pp. 11-20).
- Suwarti, W., Prasetyo, B. 2018. Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *Jurnal Teknik Energi*, 14(3), 78-85.

- Si, M., Rahayu, S., Usna, A., Si, M., & Fisika, D. (2023). *Efektivitas perubahan fase material kcl / h₂o sebagai sistem pendingin ikan laut skripsi Dosen Pembimbing* : 1–3.
- Sivasamy, P., Devaraju, A., & Harikrishnan, S. (2018). Review on Heat Transfer Enhancement of Phase Change Materials (PCMs). *Materials Today: Proceedings*, 5(6), 14423–14431.
- Sun, H., Ryno, S., Zhong, C., Ravva, M. K., Sun, Z., Körzdörfer, T., & Brédas, J. L. (2016). Ionization Energies, Electron Affinities, and Polarization Energies of Organic Molecular Crystals: Quantitative Estimations from a Polarizable Continuum Model (PCM)-Tuned Range-Separated Density Functional Approach. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 12(6), 2906–2916.
- Si, M., Rahayu, S., Usna, A., Si, M., & Fisika, D. (2023). *Efektivitas perubahan fase material kcl / h₂o sebagai sistem pendingin ikan laut skripsi Dosen Pembimbing* : 1–3.
- Sianipar, R. (2017). Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11, 61–78.
- Tiyas, P. K., & Widyartono, M. (2020). Pengaruh efek suhu terhadap kinerja panel surya. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1).
- Vidyanandan, K. V. (2017). An overview of factors affecting the performance of solar PV systems. *Energy Scan*, 27(28), 216.
- Weng, J., Ouyang, D., Yang, X., Chen, M., Zhang, G., & Wang, J. (2020). Optimization of the internal fin in a phase-change-material module for battery thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 167, 114698.
- Wiriyanta, I. K. E. H. (2024). Komposit Nano Pcm-Aln/Eg Dan Heat Pipe Sebagai Pengontrol Suhu Baterai Kendaraan Listrik.