

SKRIPSI

**ANALISIS PEMANFAATAN *BEE*SWAX SEBAGAI
PHASE CHANGE MATERIAL GUNA
MENINGKATKAN EFISIENSI PANEL SURYA**



MUHAMMAD KHOIRI

03051281924125

PROGAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**ANALISIS PEMANFAATAN *BEE*SWAX SEBAGAI
PHASE CHANGE MATERIAL GUNA
MENINGKATKAN EFISIENSI PANEL SURYA**

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



OLEH

MUHAMMAD KHOIRI

03051281924125

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PEMANFAATAN *BEESWAX* SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL* GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI PANEL SURYA

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD KHOIRI

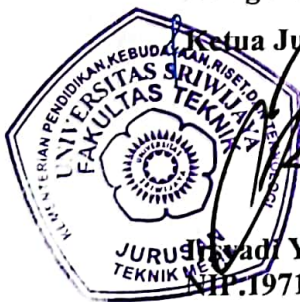
03051281924125

Palembang, November 2023

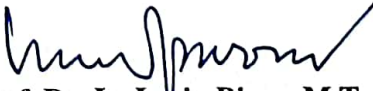
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

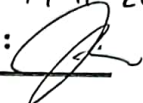
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Yudi Yuni, S. T, M.Eng, Ph.D.
NIP. 197112251997021001



Prof. Dr. Ir. Irvin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : DSO/TM/Hk/2023
Diterima Tanggal : 19-11-2023
Paraf : 

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD KHOIRI
NIM : 03051281924125
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS PEMANFAATAN *BEE SWAX*
SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL*
GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI
PANEL SURYA
DIBUAT TANGGAL : 18 JUNI 2022
SELESAI TANGGAL : 11 OKTOBER 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Yani, S. T, M.Eng, Ph.D.
NIP.197112251997021001

Palembang, November 2023
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi


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

HALAMAN PERSETUJUAN

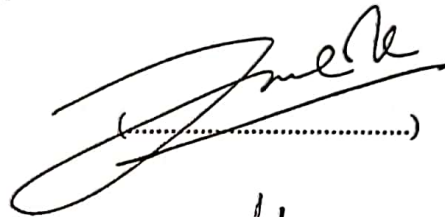
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Pemanfaatan Beeswax sebagai *Phase Change Material* guna Meningkatkan Efisiensi Panel Surya” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Oktober 2023.

Palembang, Oktober 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

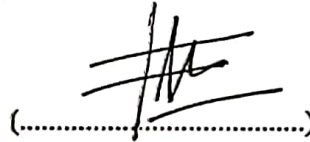
1. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001



(.....)

Sekretaris :

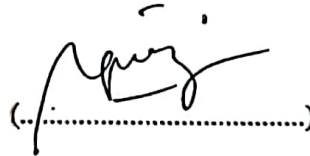
2. Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T.
NIP. 197207162006041002



(.....)

Anggota :

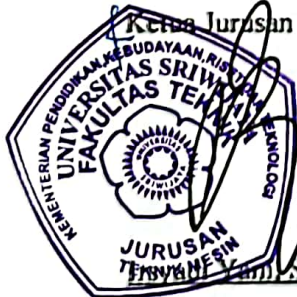
3. Ir. Hj. Marwani, M.T.
NIP. 196503221991022001



(.....)

Mengetahui,

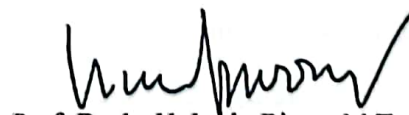
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Dr. Ir. H. Irvin Bizzy, M.T.
NIP. 197112251997021001

Palembang, Oktober 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT Yang Maha Esa, Sang Penguasa Langit dan Bumi 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 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Analisis Pemanfaatan *Beeswax* Sebagai *Phase Change Material* guna Meningkatkan Efisiensi Panel Surya”.

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 skripsi ini. Melalui kesempatan ini, dengan penuh rasa hormat dan ketulusan hati penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Wahyu dan almarhumah Ibu Aliyah, yang senantiasa selalu memberikan doa, kasih sayang dan dorongan baik secara moral maupun material demi keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan wawasan, motivasi serta arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Barlin, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D., IPM. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh dosen dan staf administrasi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
7. Muhammad Firdaus dan R. Finlanka Sandro Amando selaku rekan satu bimbingan yang selalu memeberikan dukungan dan informasi satu sama lain.

8. Keluarga besar mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, terutama teman seperjuangan angkatan 2019 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
9. Keluarga, sahabat, dan seluruh pihak yang telah membantu penulis sampai ke titik ini.

Penulis mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik. Penulis juga berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Indralaya, Oktober 2023

Penulis,



Muhammad Khoiri

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Khoiri

NIM : 03051281924125

Judul : Analisis Pemanfaatan *Beeswax* sebagai *Phase Change Material* guna Meningkatkan Efisiensi Panel Surya

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, Oktober 2023



Muhammad Khoiri

NIM. 03051281924125

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Khoiri

NIM : 03051281924125

Judul : Analisis Pemanfaatan *Beeswax* sebagai *Phase Change Material*
guna Meningkatkan Efisiensi Panel Surya

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.



Indralaya, Oktober 2023



Muhammad Khoiri

NIM. 03051281924125

RINGKASAN

ANALISIS PEMANFAATAN *BEE SWAX* SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL* GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI PANEL SURYA

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, 11 Oktober 2023

Muhammad Khoiri, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.

xxvi + 76 halaman, 21 tabel, 36 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Radiasi yang dipancarkan matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik bertegangan DC (*Direct Current*) melalui panel surya (*Photovoltaic*). Panel surya memiliki keterbatasan yaitu peningkatan temperatur permukaan panel surya yang diterima akan berdampak terhadap penurunan efisiensi daya keluaran yang dihasilkan. Temperatur optimal panel surya pada kondisi standar adalah sebesar 25°C, panel surya akan mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,4% - 0,65% untuk setiap 1°C kenaikan di atas temperatur optimalnya sehingga diperlukan media pendingin untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya. Penggunaan *Phase Change Material* (PCM) berupa *beeswax* sebagai metode pendinginan panel surya pasif yang dapat diimplementasikan guna menyerap kalor dari permukaan panel surya sehingga terjadi penurunan temperatur permukaan panel surya. Penggunaan *beeswax* ini juga diaplikasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan temperatur permukaan, tegangan, arus, daya keluaran, serta efisiensi yang dihasilkan panel surya pada kondisi lapangan. Pengujian dilaksanakan di kota Palembang pada musim kemarau, tepatnya ada tanggal 9-11 Juni 2023. Pengujian dilaksanakan dari pukul 09.00 WIB – 16.00 WIB, di mana di dalam range waktu tersebut kondisi matahari akan mencapai titik puncaknya. Kondisi

cuaca pada 3 hari pengujian menunjukkan kondisi yang berbeda-beda. Pada hari pertama, kondisi cuaca berawan dengan kondisi intensitas radiasi matahari di bawah 900 W/m^2 . Pada hari kedua, kondisi cuaca berawan dengan kondisi intensitas radiasi matahari mencapai 1000 W/m^2 . Pada hari ketiga, kondisi cuaca cerah dengan sedikit awan. Pada hari ketiga inilah kondisi cuaca paling bagus dan intensitas radiasi matahari dapat mencapai angka 1200 W/m^2 . Berdasarkan hasil analisis dari pengambilan data yang dilakukan selama 3 hari berturut-turut, temperatur permukaan panel surya yang tidak menggunakan PCM/*beeswax* memiliki temperatur rata-rata sebesar $57,03^\circ\text{C}$ sedangkan temperatur permukaan panel surya yang dipasangkan PCM/*beeswax* sebagai media pendingin memiliki temperatur rata-rata sebesar $55,22^\circ\text{C}$, terdapat penurunan temperatur sebesar $1,81^\circ\text{C}$ atau sekitar 3,32%. Hal ini menunjukkan bahwa PCM/*beeswax* mampu menyerap kalor dari permukaan panel surya meskipun beda temperatur antara panel surya yang menggunakan dan yang tidak menggunakan PCM/*beeswax* masih belum tinggi. Sementara, rata-rata daya keluaran yang dihasilkan panel surya tanpa PCM/*beeswax* adalah sebesar 6,61 W dan rata-rata daya keluaran yang dihasilkan panel surya yang menggunakan PCM/*beeswax* sebagai media pendingin adalah sebesar 6,85 W. Terdapat selisih daya sebesar 0,24 W atau sekitar 3,74%. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan penurunan temperatur permukaan yang dihasilkan panel surya, akan terjadi peningkatan efisiensi yang dihasilkan. Karena beda temperatur permukaan rata-rata panel surya hanya sebesar $1,81^\circ\text{C}$ atau mendekati 2°C , maka peningkatan rata-rata efisiensi panel suryanya juga tidak terlalu tinggi yakni hanya sebesar 0,24 W atau sekitar 3,74%. Hal ini sesuai dengan teori dimana setiap kenaikan temperatur permukaan panel surya sebesar 1°C akan menurunkan efisiensi panel surya sebesar 0,4% - 0,65%.

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

Kepustakaan : 26 (2004-2021)

SUMMARY

ANALYSIS OF BEESWAX UTILIZATION AS A PHASE CHANGE MATERIAL TO IMPROVE SOLAR PANEL EFFICIENCY

Scientific Writing in the Form of a Thesis, 11 October 2023

Muhammad Khoiri, supervised by Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.

xxvi + 76 pages, 21 tables, 36 figures, 4 attachments

SUMMARY

Solar energy is one of the renewable energy sources with significant potential, environmentally friendly, and sustainable. Solar radiation emitted by the sun can be converted into direct current (DC) electrical energy through solar panels (photovoltaic). Solar panels have a limitation, which is that an increase in the surface temperature of the solar panel received will result in a decrease in the efficiency of the generated power output. The optimal temperature for solar panels under standard conditions is 25°C. For every 1°C increase above this optimal temperature, solar panels will experience a decrease in efficiency of approximately 0.4% to 0.65%. Therefore, a cooling medium is needed to lower the surface temperature of the solar panel. 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 from the surface of the solar panel, resulting in a reduction in the surface temperature. The use of beeswax is also applied to assess its impact on the changes in surface temperature, voltage, current, power output, and efficiency of the solar panel under field conditions. Testing was conducted in Palembang from June 9 to June 11, 2023, during the dry season. The testing was carried out from 09:00 AM to 04:00 PM, during which time the sun's condition reached its peak. Weather conditions during the 3 days of testing varied. On the first day, it was overcast with solar radiation intensity below 900 W/m². On the second day, it was still overcast, but the solar radiation intensity

reached 1000 W/m². On the third day, the weather was clear with few clouds, and this day had the best weather conditions, with solar radiation intensity reaching 1200 W/m². Based on the analysis of data collected over the three consecutive days, the average surface temperature of solar panels without PCM/beeswax was 57.03°C, while the panels equipped with PCM/beeswax as a cooling medium had an average surface temperature of 55.22°C, resulting in a temperature reduction of 1.81°C or approximately 3.32%. This indicates that PCM/beeswax can absorb heat from the surface of the solar panel, even though the temperature difference between panels with and without PCM/beeswax is not very high. Meanwhile, the average power output of solar panels without PCM/beeswax was 6.61 W, and the average power output of panels with PCM/beeswax as a cooling medium was 6.85 W. There was a power difference of 0.24 W or about 3.74%. These results indicate that the reduction in surface temperature of the solar panel leads to an increase in efficiency. Due to the small average temperature difference of approximately 1.81°C, or close to 2°C, the increase in the average efficiency of the solar panel is also not very high, amounting to only 0.24 W or about 3.74%. This aligns with the theory that every 1°C increase in the surface temperature of the solar panel reduces its efficiency by 0.4% to 0.65%

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

Literature : 26 (2004-2021)

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	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Surya	5
2.2 Panel Surya	7
2.2.1 Prinsip Kerja Panel Surya	8
2.2.2 Jenis Jenis Panel Surya	14
2.2.3 Struktur Panel Surya	16
2.2.4 <i>Wattpeak</i>	17
2.2.5 Panas Permukaan Panel Surya	18
2.2.6 Efisiensi Panel Surya	19
2.3 <i>Phase Change Material</i>	20
2.3.1 Jenis-jenis <i>Phase Change Material</i>	21
2.3.2 <i>Beeswax</i>	23
2.4 Perpindahan Panas	25
2.4.1 Konduksi.....	25
2.4.2 Konveksi	26
2.4.3 Radiasi	28

2.5	Penelitian Terdahulu	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Metode Penelitian	31
3.2	Persiapan Penelitian	32
3.3	Prosedur Penelitian	32
3.3.1	Desain Pendingin Panel Surya	32
3.3.2	Persiapan Alat dan Bahan	33
3.3.3	Prosedur Pengujian	36
3.3.4	Pengolahan dan Analisis Data	39
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Data Kondisi Geografis.....	41
4.2	Data Hasil Pengukuran	41
4.3	Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya	50
4.4	Perhitungan Efisiensi Panel Surya	51
4.5	Perbedaan Karakteristik Panel Surya dengan dan tanpa Media Pendingin	52
4.6	Analisis Data	54
4.6.1	Temperatur	54
4.6.2	Kuat Arus	56
4.6.3	Tegangan.....	57
4.6.4	Daya Keluaran.....	58
4.6.5	Efisiensi.....	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rata-rata insolasi bulanan di Indonesia, Jepang dan Jerman	6
Gambar 2.2 Potensi energi terbarukan di Indonesia.....	6
Gambar 2.3 Estimasi penggunaan energi di Indonesia	7
Gambar 2.4 Panel surya.....	7
Gambar 2.5 Cara kerja sel surya	9
Gambar 2.6 Ilustrasi perpindahan muatan pada semikonduktor	10
Gambar 2.7 Semikonduktor tipe P dan tipe N.....	11
Gambar 2.8 Perpindahan elektron semikonduktor tipe P dan tipe N	11
Gambar 2.9 Daerah deplesi	12
Gambar 2.10 Medan listrik internal E	12
Gambar 2.11 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik	13
Gambar 2.12 Beban dihubungkan pada kedua bagian semikonduktor	13
Gambar 2.13 Panel <i>Mono-crystalline</i>	14
Gambar 2.14 Panel <i>Poly-Crystalline</i>	14
Gambar 2.15 <i>Thin film photovoltaic</i>	15
Gambar 2.16 Struktur panel surya.....	16
Gambar 2.17 Perbandingan temperatur ambient dan solar radiasi.....	18
Gambar 2.18 Karakteristik penurunan tegangan terhadap temperatur.....	18
Gambar 2.19 Kurva pemanasan standar.....	20
Gambar 2.20 Klasifikasi <i>phase change material</i>	21
Gambar 2.21 <i>Beeswax</i>	24
Gambar 2.22 Skema perpindahan kalor konduksi.....	25
Gambar 2.23 Skema perpindahan kalor konveksi.....	26
Gambar 2.24 Pendinginan telur rebus konveksi paksa dan alami	27
Gambar 2.25 Perpindahan panas permukaan ke daerah sekitarnya	28
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	34
Gambar 3.2 Rancangan desain pendinginan panel surya	32
Gambar 3.3 Panel surya model SGP-8W-5,5.....	33

Gambar 3.4 Rancangan wadah PCM dari aluminium	35
Gambar 3.5 Skema pengujian.....	36
Gambar 4.1 Temperatur PV1 dan PV2 terhadap Intensitas Matahari	56
Gambar 4.2 Kuat Arus PV1 dan PV2 terhadap Intensitas Matahari	56
Gambar 4.3 Tegangan PV1 dan PV2 terhadap Intensitas Matahari	57
Gambar 4.4 Daya Keluaran PV1 dan PV2 terhadap Intensitas Matahari.....	59
Gambar 4.5 Perbandingan Efisiensi PV1 dan PV2 dari tiap pengujian	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Beeswax properties</i>	24
Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya	34
Tabel 3. 2 Sifat <i>Beeswax</i>	34
Tabel 3. 3 Variabel Pengujian	37
Tabel 4. 1 Intensitas Matahari Data 1.....	42
Tabel 4. 2 Intensitas Matahari Data 2.....	42
Tabel 4. 3 Data Intensitas Matahari Data 3	42
Tabel 4. 4 Intensitas Matahari Data 4.....	43
Tabel 4. 5 Intensitas Matahari Data 5.....	43
Tabel 4. 6 Intensitas Matahari Data 6.....	44
Tabel 4. 7 Intensitas Matahari Data 7.....	44
Tabel 4. 8 Intensitas Matahari Data 8.....	45
Tabel 4. 9 Intensitas Matahari Data 9.....	45
Tabel 4. 10 Intensitas Matahari Data 10.....	46
Tabel 4. 11 Intensitas Matahari Data 11.....	47
Tabel 4. 12 Intensitas Matahari Data 12.....	47
Tabel 4. 13 Intensitas Matahari Data 13.....	47
Tabel 4. 14 Intensitas Matahari Data 14.....	48
Tabel 4. 15 Karakteristik panel surya.....	49
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan daya keluaran panel surya.....	50
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan efisiensi panel surya.....	52
Tabel 4. 18 Tabel perbandingan karakteristik panel surya.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya.....	67
Lampiran 2 Perhitungan Efisiensi Panel Surya.....	68
Lampiran 3 Gambar Pengambilan Data	71
Lampiran 4 Data <i>Real-time</i> Hasil Pengujian.....	72
Lampiran 5 Tabel nilai β	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik menjadi salah satu jenis energi yang paling banyak digunakan dalam keseharian, setiap warga di tiap negara memerlukan adanya energi listrik termasuk di Indonesia. Konsumsi listrik di Indonesia pada tahun 2020 diketahui mencapai angka 243.582,73 MWh, Badan Pusat Statistik mencatat konsumsi listrik per kapita yang merupakan perbandingan antara pemakaian tenaga listrik dengan jumlah penduduk nasional Indonesia hingga tahun 2020 adalah 1,08 GWh. Konsumsi ini terus mengalami peningkatan sejak tahun 2014 di mana Indonesia masih memiliki konsumsi listrik per kapita sekitar 0,88 GWh. Pada tahun 2020, daya mampu nasional paling tinggi dipegang oleh PLTU dengan presentasi sebesar 45,98% (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Keteragalistrikan, 2021).

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki beriklim tropis dan dilintasi garis khatulistiwa, inilah yang mengakibatkan berlimpahnya potensi sumber cahaya matahari di Indonesia. Indonesia memiliki rata-rata intensitas radiasi sinar matahari harian sebesar 4,8 kWh/m² dengan potensi energi listrik sebesar 207,9 GWp (GigaWatt-*peak*) (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2021). Data Rencana Strategis (Renstra) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa pada akhir tahun 2017 hanya terdapat 86 MWp (MW *peak*) total Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terpasang di Indonesia. Angka ini hanya 0,02% dari total potensi yang dimiliki Indonesia yakni sebesar 207.9 GWp (data Rencana Umum Energi Nasional /RUEN Peraturan Presiden/Perpres Nomor: 22 Tahun 2017). Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik bertenaga surya memiliki potensi yang besar agar dapat membantu pasokan energi listrik di Indonesia dan mengurangi terjadinya perubahan iklim.

Panel surya adalah perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik yang dikonversikan dari energi cahaya (Leszczynski dkk., 2021). Panel surya memiliki kelemahan yaitu terjadinya penurunan efisiensi apabila temperatur yang diterima panel surya melebihi temperatur optimalnya pada temperatur 25°C. Setiap 1°C kenaikan temperatur panel surya dapat menurunkan efisiensi panel surya sebesar 0,4% - 0,65% (Stropanik dan Stritih, 2016). Diperlukan media pendinginan agar masalah kenaikan pada temperatur panel surya dapat teratasi sehingga efisiensi panel surya dapat meningkat. *Beeswax* yang merupakan PCM (*Phase Change Material*) adalah material yang mampu mengalami perubahan fasa pada temperatur tertentu, material ini dapat digunakan sebagai pendingin pasif panel surya dengan cara menyerap kalor yang diterima oleh panel surya agar temperatur panel surya menurun. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Pemanfaatan *Beeswax* sebagai *Phase Change Material* guna Meningkatkan Efisiensi Panel Surya”.

1.2 Rumusan Masalah

Penurunan efisiensi panel surya diakibatkan oleh meningkatnya temperatur sehingga diperlukan adanya usaha dengan cara menerapkan PCM (*Phase Change Material*) dalam rangka menurunkan temperatur yang diterima panel surya agar efisiensi panel surya dapat lebih maksimal sehingga meningkatkan peluang penyimpanan energi baru-terbarukan di dalam media PCM.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat lebih fokus, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Panel surya yang digunakan bertipe *Polycrystalline* dengan kapasitas 8 WP (Watt Peak) dengan dimensi 185 mm x 380 mm.

2. Panel surya yang digunakan berjumlah 2 unit dengan spesifikasi yang sama, dengan tegangan maksimum saat P maksimum adalah 5,5 V dan arus saat P maksimum adalah 1,45 A.
3. Media pendinginan yang digunakan PCM (*Phase Change Material*) berupa beeswax yang dimasukkan ke dalam wadah aluminium berdimensi 380 mm x 171 mm x 17 mm dengan ketebalan 1 mm.
4. Sudut kemiringan panel surya adalah sebesar 15° menghadap ke arah utara mata angin.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Merancang peralatan pendingin panel surya dengan PCM.
2. Mempertahankan temperatur panel surya pada temperatur optimalnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penelitian ini, antara lain:

1. Menghasilkan perangkat pendinginan panel surya.
2. Memberikan solusi dalam menurunkan temperatur panel surya sehingga meningkatkan efisiensinya.
3. Sebagai salah satu referensi tambahan bagi mahasiswa Teknik Mesin dalam penelitian-penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 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, 2 . <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.085>
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2021). Outlook Energi Indonesia 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station. In Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Bizzy, I., Sipahutar, R., Puspitasari, D., Sofijan, A., & Fajri, M. A. (2020). The Cooling Effect of Polycrystalline Type PV Panels using Perforated Aluminum Plates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 909(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/909/1/012005>
- Buchori, L. (2004). Perpindahan Panas. In Jurusan Teknik Kimia Fak.Teknik Universitas Diponegoro.
- Cengel, Y. A. (2004). Heat Transference a Practical Approach. In MacGraw-Hill, (Vol. 4, Issue 9).
- Delgado, J. M. P. Q., Martinho, J. C., Vaz Sá, A., Guimarães, A. S., & Abrantes, V. (2019). Thermal Energy Storage with Phase Change Materials: A Literature Review of Applications for Buildings Materials. In Springer. <https://www.springer.com/us/book/9783319974989>
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N., & Seshadri, B. (2013). Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review. *Energy Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.072>
- Fleischer, A. S. (2015). Thermal Energy Storage using Phase Change Materials: Fundamentals and Applications. In SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology (Issue 9783319209210). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7>
- Hardianto, H. (2019). Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review. *International Journal of Environment, Engineering and Education*, 1(3), 1–

8. <https://doi.org/10.55151/ijeedu.v1i3.21>
- 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), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/88/1/012049>
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan. (2021). Statistik Kelistrikan 2020. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan, 13(April), 122.
- Kuznesof. (2005). Beeswax CTA. Chemical and Technical Assessment 65th JECFA 65th, June, 1–6.
- Leszczynski, J., Roy, J. K., & Kar, S. (2021). Development of Solar Cells- Theory and Experiment. <http://www.springer.com/series/6918>
- Manfaluthy, M., Pangestu, A., Arif, R., & Sanjaya, L. A. (2021). Watt Peak Meter of Solar Panel. Journal of Physics: Conference Series, 2019(1), 0–12. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2019/1/012097>
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 18(1), 10–14. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>
- 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). <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i2.2976>
- Ramadhani, B. (2018). Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts. 277.
- Ramnanan-Singh, R. (2012). Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient. 78.
- Rumbayan, M. (2020). Energi Surya Sebagai Energi Alternatif yang Terbarukan (Dr. Eng. Meita Rumbayan, S.T., M.Eng.) (z-lib.org). Ahlimedia Press.
- Safitri, N., Lhokseumawe, P. N., Rihayat, T., & Lhokseumawe, P. N. (2019). Teknologi Photovoltaic (Issue June 2020).

- Stropnik, R., & Stritih, U. (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM. <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. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.044>
- Tarigan, A. D., & Hamdani. (2020). Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK)*, 120–127.
- 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>
- Widodo, S. B., Arif, Z., & Royadi, S. (2015). Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Keluaran Daya. *Jurutera*, 2(02), 38–48. <http://jurnal.unsam.ac.id/index.php/jurutera/article/view/673>