

Studi Eksperimental Fraksi Volume Serat Sabut Kelapa dan Grafit terhadap Serapan dan Konduktivitas Termal Komposit *Phase Change Material* berbahan *Beeswax*

Tallida Engar, I Nyoman Suprpta Winaya, I Made Astika
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Bahan berubah fase (PCM) merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi dengan prospek cerah di masa depan. Teknologi alternatif ini sedang dikembangkan untuk menyimpan dan memenuhi kebutuhan energi umat manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat sabut kelapa dan grafit terhadap serapan dan konduktivitas termal PCM organik lilin lebah dengan menerapkan penggabungan bahan PCM sebagai komposit menggunakan metode pencelupan. Variasi fraksi volume yang digunakan adalah 10%, 15%, 25% serat sabut kelapa, 5% dan 10% grafit dengan resin polyester sebagai pengisi. Hasil pengujian serapan tertinggi sebesar 0,227 gram dan konduktivitas termal tertinggi sebesar 1169.2496 Watt/m.K didapat dari spesimen dengan variasi fraksi volume 25% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 65% polyester. Sementara spesimen dengan variasi fraksi volume 10% serat sabut kelapa, 5% grafit dan 85% polyester menunjukkan serapan sebesar 0,043 gram, spesimen dengan variasi fraksi volume 15% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 75% polyester menunjukkan serapan sebesar 0,203 gram dan keduanya menghasilkan nilai konduktivitas termal yang sama sebesar 985.868 Watt/m.K akibat perbedaan volume beeswax yang terserap.

Kata kunci: Bahan Berubah Fase, Komposit, Lilin Lebah, Pencelupan

Abstract

Phase Change Material (PCM) is one of the energy storage technology with great prospect for the future. This alternative technology is being developed for storing and fulfil the needs of human's energy consumption. This study aims to determine the effect of coconut fibre and graphite volume fraction on absorption and thermal conductivity of organic PCMs beeswax by applying form-stable composite PCM with immersion method. The variation used are 10%, 15%, 25% of coconut fibre, 5% and 10% of graphite with polyester as fillers. The highest absorption test result of 0.227 grams and the highest thermal conductivity of 1169.2496 Watt/m.K obtained from specimens with a variation of 25% coconut fibre, 10% graphite and 65% polyester. While specimens with 10% of coconut fibre, 5% graphite and 85% polyester showed 0.043 grams absorption, specimens with 15% volume fraction variation of coconut fibre, 10% graphite and 75% polyester showed 0.203 grams absorption and both produces the same thermal conductivity value of 985.868 Watt/m.K due to differences in the absorbed beeswax volume.

Keywords: Beeswax, Composite, Immersion, Phase Change Material

1. Pendahuluan

Saat ini, sumber energi yang digunakan manusia sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batubara. Ini berdampak terhadap lingkungan seperti perubahan iklim akibat pemanasan global [1]. Sebuah alternatif untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan adalah dengan meningkatkan penggunaan energi terbarukan yang ramah lingkungan [2]. Selain itu, menghemat dan menyimpan energi merupakan langkah lain yang dapat ditempuh. Salah satu teknologi penyimpanan energi yang memiliki prospek cerah di masa depan adalah Phase Change Material (PCM) [3].

PCM adalah material yang dapat menyerap dan menyimpan energi khususnya energi panas ketika ada surplus dan melepaskannya ketika ada defisit, menggunakan prinsip Latent Heat Thermal Energy Storage. PCM telah menunjukkan potensi yang besar sebagai pilihan yang berharga untuk sistem energi masa depan [4]. PCM dapat diaplikasikan pada

rentang suhu yang luas (dari bawah -30 °C hingga diatas 1000 °C) dan cocok diterapkan pada berbagai desain sistem penyimpanan panas [5]. Salah satu bahan dari PCM adalah Beeswax. Beeswax merupakan senyawa ester (-COO-) tersusun dari asam lemak dan rantai alkohol yang panjang. Rumus empiris dari beeswax adalah $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$. Senyawa ini terdiri dari palmitate, palmitoleate, hydroxypalmitate, ester oleat yang tersusun di dalam rantai panjang alkohol [6]. Namun, beeswax memiliki titik leleh yang rendah, yaitu 61.8 °C. Untuk itu, diperlukan penambahan bahan PCM dengan material yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi. Penggabungan bahan PCM dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satu metode yang digunakan adalah sebagai komposit PCM (form-stable composite PCM) [7].

Komposit biasanya terdiri dari dua bahan dasar yaitu serat dan matrik. Serat biasanya bersifat elastis, mempunyai kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi

sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang mempunyai sifat berbeda ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya [8]. Sabut kelapa mengandung serat yang merupakan material serat alami alternatif dalam pembuatan komposit. Serat alami merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi [9]. Serat kelapa ini mulai dilirik penggunaannya karena selain mudah didapat, murah, dapat mengurangi polusi lingkungan (*biodegradability*) sehingga penggunaan sabut kelapa sebagai serat dalam komposit akan mampu mengatasi permasalahan lingkungan yang mungkin timbul dari banyaknya sabut kelapa yang tidak dimanfaatkan. Komposit ini ramah lingkungan serta tidak membahayakan kesehatan sehingga pemanfaatannya terus dikembangkan agar dihasilkan komposit yang lebih sempurna dan lebih berguna [10]. Komposit serat sabut kelapa dapat dibuat dengan berbagai ukuran dan ketebalan sesuai dengan kebutuhan. Proses pembuatan menggunakan teknologi sederhana sehingga produk yang dihasilkan lebih murah, ramah lingkungan dan memiliki sifat mekanis yang baik sehingga bisa digunakan sebagai pengganti bahan lain yang lebih mahal [11].

Penerapan PCM pada komposit adalah suatu metode yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya, terutama untuk mengatasi terjadinya kebocoran pada bahan PCM dan meningkatkan konduktivitas termal dengan menambahkan material yang mempunyai konduktivitas termal tinggi [12]. Konduktivitas termal yang tinggi dari PCM akan meningkatkan kinetika pengisian dan pemakaian dari sistem penyimpanan panas [13]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas termal, diantaranya dengan penambahan bahan konduktivitas termal seperti grafit [14].

Kualitas dan karakteristik dari bahan PCM dapat diamati dengan melakukan pengujian untuk mendapatkan performansi terbaik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian penyerapan untuk mengamati seberapa banyak bahan PCM yang dapat terserap oleh komposit dan pengujian konduktivitas termal untuk mengamati sifat termal. Metode yang digunakan untuk membuat komposit PCM adalah metode pencelupan (*immersion*) dengan memvariasikan fraksi volume dari serat sabut kelapa dan grafit.

2. Dasar Teori

Bahan - bahan berubah fasa atau dikenal dengan *Phase Change Materials* (PCM) juga seringkali disebut sebagai bahan - bahan penyimpan panas laten (*Latent Heat Thermal Energy Storage*) merupakan bahan yang memiliki kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu [15]. Seperti namanya, ketika bahan - bahan ini mengalami perubahan fasa, terutama zat padat menjadi zat cair

atau zat cair menjadi zat gas, mereka menyerap sejumlah besar panas namun juga mempertahankan suhu tetap atau konstan [16].

Transfer panas yang besar selama proses peleburan serta proses kristalisasi tanpa perubahan suhu yang signifikan membuat PCM menarik sebagai sumber penyimpanan panas dalam aplikasi praktis. Ketika suhu meningkat, PCM menyerap panas dan menyimpan energi ini dalam bentuk fase cair. Ketika suhu turun, PCM melepaskan energi panas yang disimpan dan akibatnya PCM menjadi padat [4].



Gambar 1. Skematis proses perubahan fase pada PCM (Kalnaes, 2015)

Pada penelitian ini, penulis berfokus pada perubahan fasa zat padat ke zat cair menggunakan bahan organik ester yaitu *beeswax* atau lilin lebah.

Beeswax Property/characteristic	Description
Melting Point	61.8°C
Discoloration	85°C
Flash Point	204.4°C
Density	0.970 g/cm ³
Color	Yellow

Gambar 2. Karakteristik lilin lebah (hiveharvest.com)

Titik leleh *beeswax* yang rendah memerlukan penambahan material yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, salah satunya adalah grafit [14]. Konduktivitas termal yang tinggi dari PCM akan meningkatkan kinetika pengisian dan pemakaian dari sistem penyimpan panas [13]. Penerapan PCM pada komposit adalah suatu metode yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya, terutama untuk mengatasi terjadinya kebocoran pada bahan PCM [12]. Komposit adalah perpaduan dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat berbeda untuk mendapatkan satu bahan baru yang memiliki sifat berbeda dari sifat partikel penyusunnya, biasanya terdiri dari dua bahan dasar yaitu serat dan matrik [8].

Sabut kelapa mengandung serat yang merupakan material serat alami alternatif dalam pembuatan komposit. Serat alami merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi [9]. Untuk meningkatkan kinerja PCM dalam mentransfer panas, perlu untuk menentukan

konduktivitas termal dari PCM/komposit PCM. Konduktivitas termal dari sampel dapat diukur dengan metode stabil steady-state dan non-steady. Dalam metode steady state, pengukuran dilakukan ketika suhu material tidak berubah dengan waktu. Dalam metode non-steady state, pengukuran dilakukan selama proses pemanasan seiring dengan fungsi waktu. Secara umum, metode ini dapat dilakukan lebih cepat, namun analisis matematis dari data lebih sulit [13]. Benda uji memiliki tebal 20 mm dan diameter 30 mm. Energi yang terjadi pada heater diberikan oleh persamaan:

$$W = V \times I$$

Dimana:

W = Daya listrik (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

Perpindahan panas yang terjadi:

$$\dot{q} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Yang dimana:

$\dot{q}$ = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Koefisien perpindahan panas

konduksi (Watt/m.K)

A = Luas penampang benda uji

(logam) (m^2)

ΔT = Beda temperatur (K)

Δx = Jarak antar titik uji (T_1 dan T_2)

untuk kasus ini $W = q$

3. Metode Penelitian

Tahap awal dalam penelitian ini adalah pembuatan komposit dari serat sabut kelapa, polyester dan grafit. Metode produksi yang digunakan adalah *press hand lay-up* dengan orientasi serat acak. Variasi fraksi volume serat 10, 15 dan 25% dengan panjang dan diameter tiap serat diasumsikan sama. Variasi fraksi volume grafit 5% dan 10%. Selesai dicetak, komposit lalu ditimbang massanya. Pembuatan komposit dapat dijelaskan sebagai berikut:

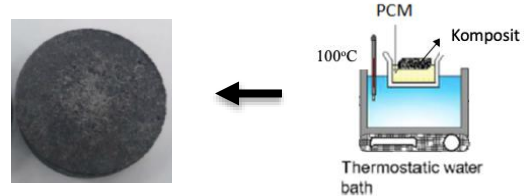
- Serat sabut kelapa dicampur secara acak dengan grafit serta polyester yang fraksi volumenya telah ditentukan sesuai dengan rancangan penelitian
- Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam
- Komposit yang terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan

Proses pembuatan komposit - PCM dengan menggunakan metode *immersion* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Air dipanaskan didalam *thermostatic waterbath* sampai mendidih
- Beeswax dimasukkan kedalam air yang mendidih dalam *Thermostatic waterbath* untuk dilelehkan (temperatur beeswax mencapai 65 °C)
- Rendam komposit serat sabut kelapa, polyester dan grafit kedalam beeswax. Pada langkah ini, temperatur air dikondisikan agar temperatur

beeswax tetap berada pada angka 65 °C (titik leleh beeswax)

- Semua bahan tersebut didiamkan dalam *thermostatic waterbath* selama 2 jam
- Angkat komposit PCM tersebut dari *thermostatic waterbath* dan keringkan dengan *tissue*
- Selanjutnya komposit PCM dilakukan pengujian.



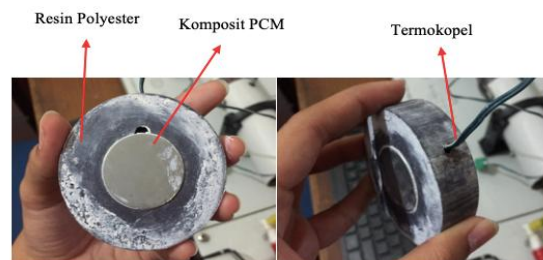
Gambar 3. Skema pembuatan komposit-PCM

Untuk mengetahui seberapa banyak bahan PCM dapat menyerap dan menyatu dengan komposit dilakukan pengujian serapan

- Spesimen ditimbang menggunakan timbangan digital
- Spesimen dipanaskan dalam *thermostatic waterbath* selama 2 jam
- Spesimen yang sudah tercampur tadi ditimbang kembali untuk diukur seberapa banyak PCM yang terserap

Konduktivitas termal dari PCM diperlukan untuk meningkatkan kinetika pengisian dan pemakaian dari sistem penyimpanan panas. Pembuatan spesimen untuk uji termal dijelaskan sebagai berikut:

- Komposit dicetak sesuai dengan ukuran cetakan dan komposisi bahan yang sudah dihitung lalu didiamkan selama 24 jam
- Spesimen dibor sedalam 1,5 cm menggunakan mata bor 3 mm
- Masukkan kabel termokopel kedalam lubang spesimen
- Isolator diluar spesimen dicetak menggunakan pipa PVC 2 inch dengan pengisi resin polyester



Gambar 4. Contoh spesimen pengujian konduktivitas termal

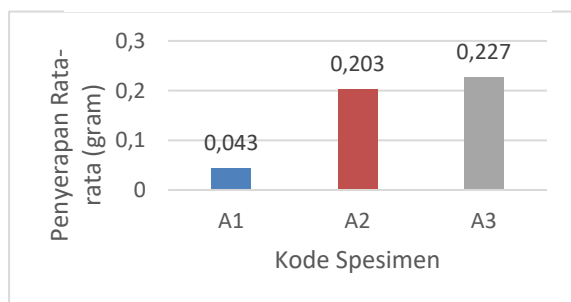
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Serapan

Uji serapan merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak bahan *phase change material* (PCM) yang pada penelitian ini adalah beeswax dapat diserap oleh komposit.

Kode Spesimen	Massa sebelum penyerapan (gram)	Massa setelah penyerapan (gram)
A11	29.77	29.86
A12	22.59	22.60
A13	20.57	20.60
A21	26.08	26.26
A22	16.53	16.67
A23	17.85	18.14
A31	20.81	20.95
A32	25.56	25.90
A33	19.88	20.08

Gambar 5. Hasil uji serapan



Gambar 6. Grafik hasil uji serapan PCM

Pada Gambar 5, data hasil pengujian serapan yang disajikan meliputi massa spesimen sebelum penyerapan dan sesudah penyerapan. Pengujian dilakukan pada masing-masing spesimen dengan variasi fraksi volume yang berbeda. Hasil pengujian kemudian dihitung rata-rata penyerapannya dan diplot dalam bentuk grafik pada Gambar 6.

Dari Gambar 6, penulis mengelompokkan 3 spesimen dengan variasi yang sama menjadi satu seri, untuk spesimen A11, A12 dan A13 dengan komposisi 10% serat sabut kelapa, 5% grafit dan 85% polyester selanjutnya disebut sebagai spesimen A1; untuk spesimen A21, A22 dan A23 dengan komposisi 15% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 75% polyester selanjutnya disebut sebagai spesimen A2; untuk spesimen A31, A32 dan A33 dengan komposisi 25% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 65% polyester selanjutnya disebut sebagai spesimen A3.

Dari Gambar 6, hasil uji serapan pada spesimen A1 menunjukkan penyerapan rata-rata sebesar 0,043 gram; spesimen A2 menunjukkan penyerapan rata-rata sebesar 0,203 gram; spesimen A3 menunjukkan penyerapan rata-rata sebesar 0,227 gram. Nilai serapan tertinggi terjadi pada spesimen A3, yaitu sebesar 0,227 gram. Hal ini dikarenakan semakin besar volume serat sabut kelapa yang digunakan maka akan semakin besar bahan PCM yang terserap, dan apabila semakin banyak polyester yang digunakan akan semakin sulit serat sabut kelapa menyerap bahan PCM dikarenakan polyester menutupi serat pada spesimen.

4.2. Pengujian Konduktivitas Termal

Pada Gambar 7 sampai Gambar 9, data hasil pengujian konduktivitas termal yang disajikan

meliputi waktu, deskripsi material, termokopel T1 - T7 dan jarak sensor pembaca dari tiap termokopel. Pengujian dilakukan pada masing-masing spesimen dengan variasi fraksi volume yang berbeda. Hasil pengujian kemudian dihitung nilai K dan diplot dalam bentuk grafik pada Gambar 10 sampai Gambar 12 Saat pengujian berlangsung, temperatur lingkungan berada pada suhu 19 °C dan daya pemanas sebesar 66 Watt.

Waktu (s)	Deskripsi Material	Termokopel T1 - T3			Termokopel T4 - T7			
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)
0	Grafit 5%	29.4	29.4	29.4	27.4	27.4	27.4	27.4
200	Grafit 5%	29.8	29.6	29.4	28.1	27.6	27.5	27.5
400	Grafit 5%	30.2	30.0	29.8	28.5	27.7	27.7	27.7
600	Grafit 5%	30.6	30.4	30.2	28.8	27.8	27.8	27.8
800	Grafit 5%	30.9	30.8	30.5	29.0	27.8	27.8	27.8
1000	Grafit 5%	31.2	31.1	30.9	29.3	27.9	27.9	27.9
1200	Grafit 5%	31.5	31.4	31.1	29.5	28.0	28.0	28.0
1400	Grafit 5%	31.8	31.6	31.4	29.6	28.0	28.0	28.0
1600	Grafit 5%	32.0	31.8	31.7	29.8	28.1	28.1	28.1
1800	Grafit 5%	32.2	32.0	31.9	29.9	28.1	28.1	28.1
Jarak dari T1 (m)		0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12

Gambar 7. Hasil uji konduktivitas termal spesimen A1

Waktu (s)	Deskripsi Material	Termokopel T1 - T3			Termokopel T4 - T7			
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)
0	Grafit 10%	29.8	29.8	29.9	28.4	27.8	27.8	27.8
200	Grafit 10%	30.2	30.1	29.9	28.8	28.0	27.9	27.9
400	Grafit 10%	30.6	30.4	30.2	29.0	28.1	28.0	28.0
600	Grafit 10%	31.0	30.9	30.6	29.3	28.2	28.1	28.1
800	Grafit 10%	31.4	31.2	31.0	29.6	28.3	28.2	28.2
1000	Grafit 10%	31.6	31.5	31.3	29.7	28.3	28.3	28.3
1200	Grafit 10%	31.9	31.8	31.6	29.9	28.3	28.4	28.4
1400	Grafit 10%	32.2	32.0	31.9	30.1	28.4	28.4	28.4
1600	Grafit 10%	32.4	32.3	32.1	30.2	28.4	28.4	28.5
1800	Grafit 10%	32.6	32.5	32.3	30.3	28.5	28.5	28.5
Jarak dari T1 (m)		0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12

Gambar 8. Hasil uji konduktivitas termal spesimen A2

Waktu (s)	Deskripsi Material	Termokopel T1 - T3			Termokopel T4 - T7			
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)
0	Grafit 10%	29.2	29.0	28.8	28.8	28.5	28.5	28.5
200	Grafit 10%	29.6	29.5	29.3	28.8	28.6	28.5	28.5
400	Grafit 10%	30.2	30.0	29.8	28.9	28.5	28.5	28.5
600	Grafit 10%	30.5	30.3	30.2	29.0	28.5	28.6	28.6
800	Grafit 10%	30.9	30.7	30.5	29.1	28.5	28.5	28.5
1000	Grafit 10%	31.2	31.1	30.8	29.2	28.5	28.5	28.5
1200	Grafit 10%	31.5	31.3	31.2	29.3	28.5	28.5	28.6
1400	Grafit 10%	31.7	31.6	31.4	29.5	28.5	28.5	28.5
1600	Grafit 10%	31.9	31.8	31.7	29.6	28.4	28.5	28.5
1800	Grafit 10%	32.2	32.1	31.9	29.7	28.5	28.5	28.5
Jarak dari T1 (m)		0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12

Gambar 9. Hasil uji konduktivitas termal spesimen A3

Pengujian konduktivitas termal dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

Jarak antar titik uji (T1 - T2) = 20 mm
Diameter spesimen (D) = 30 mm
Tebal spesimen (h) = 20 mm
Tegangan listrik (V) = 220 volt
Arus listrik (I) = 0.3 ampere
Waktu pengujian (t) = 30 menit
= 1800 detik

(pengambilan data tiap 2 detik = 900 data/spesimen)

Di bawah ini merupakan perhitungan pengujian konduktivitas termal berdasarkan data pengujian yang telah didapat dan selanjutnya akan disertakan pada lampiran:

• **Perhitungan Daya Listrik (W)**

Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan:

$$W = V \times I$$

dimana:

W = Daya listrik (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

W = 220 volt x 0.3 ampere

= 66 Watt

• **Perhitungan Luas Penampang Spesimen (A)**

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3.14 \times 0.015 \times 0.015$$

$$= 0.000706 \text{ m}^2$$

• **Perpindahan Panas yang Terjadi (q)**

Perpindahan panas dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2.2:

$$\dot{q} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

dimana:

$\dot{q}$ = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Koefisien perpindahan panas konduksi (Watt/m K)

A = Luas penampang benda uji (m^2)

ΔT = Beda temperatur (K)

Δx = Jarak antar titik uji (T1 dan T2) dalam pengujian ini $W = \dot{q} = 66 \text{ Watt}$

➤ **Spesimen A1**

Komposisi spesimen A1 10% serat sabut kelapa, 85% polyester dan 5% grafit, kondisi pengujian:

q = 66 watt

$$A = 7.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_3 - T_4 = 31.9 \text{ K} - 29.9 \text{ K} = 2 \text{ K}$$

$$= T_4 - T_5 = 29.9 \text{ K} - 28.1 \text{ K} = 1.8 \text{ K}$$

$$= T_3 - T_5 = 31.9 \text{ K} - 28.1 \text{ K} = 3.8 \text{ K}$$

$$\Delta x = T_3 - T_4 = 0.02 \text{ m}$$

$$= T_4 - T_5 = 0.02 \text{ m}$$

$$= T_3 - T_5 = 0.04 \text{ m}$$

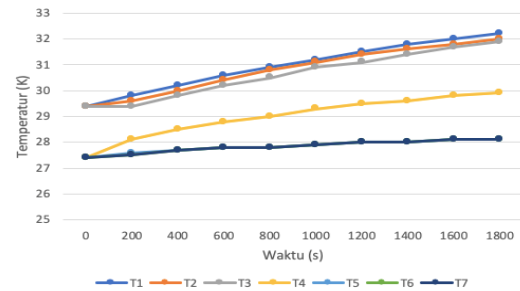
dengan menggunakan persamaan 2.2. didapat nilai konduktivitas termal pada spesimen A1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_{T3-T4} &= (q/A) \times (\Delta x/\Delta T) \\ &= (66/7.06 \times 10^{-4}) \times (0.02/2) \\ &= 93484.42 \times 0.01 \\ &= \mathbf{934.8442 \text{ Watt/m.K}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{T4-T5} &= (q/A) \times (\Delta x/\Delta T) \\ &= (66/7.06 \times 10^{-4}) \times (0.02/1.8) \\ &= 93484.42 \times 0.011 \\ &= \mathbf{1038.7158 \text{ Watt/m.K}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{T3-T5} &= (q/A) \times (\Delta x/\Delta T) \\ &= (66/7.06 \times 10^{-4}) \times (0.04/3.8) \\ &= 93484.42 \times 0.01053 \\ &= \mathbf{984.0465 \text{ Watt/m.K}} \end{aligned}$$

$$K \text{ Spesimen A1} = \frac{934.8442 + 1038.7158 + 984.0465}{3} = \mathbf{985.868 \text{ Watt/m.K}}$$



Gambar 10. Grafik Hasil uji konduktivitas termal spesimen A1

➤ **Spesimen A2**

Komposisi spesimen A2 15% serat sabut kelapa, 75% polyester dan 10% grafit, kondisi pengujian:

q = 66 watt

$$A = 7.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_3 - T_4 = 32.3 \text{ K} - 30.3 \text{ K} = 2 \text{ K}$$

$$= T_4 - T_5 = 30.3 \text{ K} - 28.5 \text{ K} = 1.8 \text{ K}$$

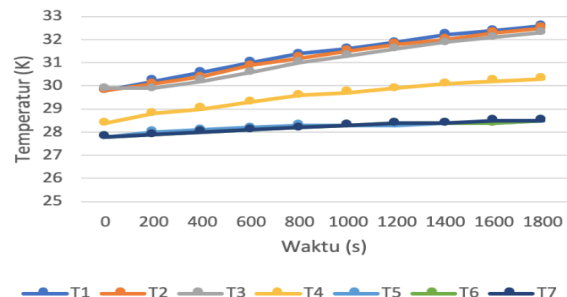
$$= T_3 - T_5 = 32.3 \text{ K} - 28.5 \text{ K} = 3.8 \text{ K}$$

$$\Delta x = T_3 - T_4 = 0.02 \text{ m}$$

$$= T_4 - T_5 = 0.02 \text{ m}$$

$$= T_3 - T_5 = 0.04 \text{ m}$$

dengan menggunakan persamaan 2.2. didapat K Spesimen A2 = **985.868 Watt/m.K**



Gambar 11. Grafik Hasil uji konduktivitas termal spesimen A2

➤ **Spesimen A3**

Komposisi spesimen A3 25% serat sabut kelapa, 65% polyester dan 10% grafit, kondisi pengujian:

q = 66 watt

$$A = 7.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_3 - T_4 = 31.9 - 29.7 = 2.2 \text{ K}$$

$$= T_4 - T_5 = 29.7 - 28.5 = 1.2 \text{ K}$$

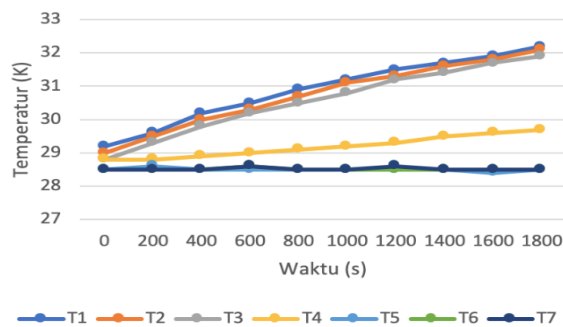
$$= T_3 - T_5 = 31.9 - 28.5 = 3.4 \text{ K}$$

$$\Delta x = T_3 - T_4 = 0.02 \text{ m}$$

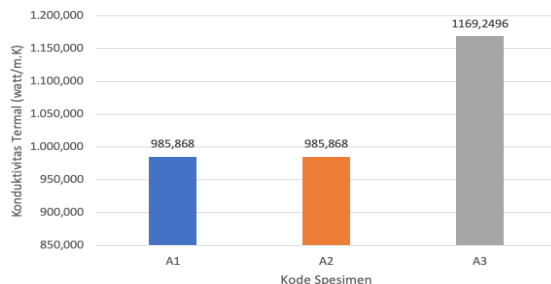
$$= T_4 - T_5 = 0.02 \text{ m}$$

$$= T_3 - T_5 = 0.04 \text{ m}$$

dengan menggunakan persamaan 2.2. didapat K Spesimen A3 = **1169.2496 Watt/m.K**



Gambar 12. Grafik Hasil uji konduktivitas termal spesimen A3



Gambar 13. Grafik hasil pengujian konduktivitas termal tiap spesimen

Dari Gambar 13, hasil pengujian konduktivitas termal pada spesimen A1 dengan komposisi 10% serat sabut kelapa, 5% grafit dan 85% polyester menunjukkan nilai K sebesar 985,868 Watt/m.K; spesimen A2 dengan komposisi 15% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 75% polyester menunjukkan nilai K sebesar 985,868 Watt/m.K; spesimen A3 dengan komposisi 25% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 65% polyester menunjukkan nilai K sebesar 1169,2496 Watt/m.K. Sehingga nilai K tertinggi terjadi pada spesimen A3, yaitu sebesar 1169,2496 Watt/m.K.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan dari pengaruh fraksi volume serat sabut kelapa dan grafit terhadap serapan dan konduktivitas termal komposit *phase change material* berbahan *beeswax* adalah sebagai berikut:

- Hubungan antara fraksi volume serat sabut kelapa dengan penyerapan bahan PCM adalah semakin tinggi fraksi volume yang digunakan maka semakin tinggi jumlah bahan PCM yang terserap. Nilai serapan tertinggi terjadi pada spesimen A3 dengan komposisi 25% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 65% polyester yaitu sebesar 0,227 gram. Pada spesimen A1 dengan komposisi 10% serat sabut kelapa, 5% grafit dan 85% polyester menunjukkan penyerapan rata-rata sebesar 0,043 gram; spesimen A2 dengan komposisi 15% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 75% polyester menunjukkan penyerapan rata-rata sebesar 0,203 gram;
- Hubungan antara fraksi volume grafit dengan konduktivitas termal komposit PCM adalah

semakin tinggi fraksi volume grafit yang diberikan maka semakin tinggi nilai konduktivitas termal komposit. Nilai K tertinggi terjadi pada spesimen A3 dengan komposisi 25% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 65% polyester, yaitu sebesar 1169,2496 Watt/m.K; spesimen A1 dengan komposisi 10% serat sabut kelapa, 5% grafit dan 85% polyester menunjukkan nilai K sebesar 985,868 Watt/m.K; spesimen A2 dengan komposisi 15% serat sabut kelapa, 10% grafit dan 75% polyester menunjukkan nilai K sebesar 985,868 Watt/m.K;

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen A1 dengan komposisi grafit 5% dan spesimen A2 dengan komposisi grafit 10% didapatkan sama yaitu sebesar 985,868 Watt/m.K, hal ini terjadi akibat perbedaan penyerapan bahan PCM pada spesimen A2 lebih banyak dibanding spesimen A1 sehingga PCM pada spesimen A2 dengan grafit lebih tinggi menahan panas yang diterima sehingga panas pada komposit spesimen A2 disimpan oleh PCM mengakibatkan temperatur cenderung konstan pada saat pengujian berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] Conti, John, Holtberg, Paul, Diefenderfer, Jim, LaRose, Angelina, Turnure, James T., & Westfall, Lynn. 2016. *International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040*. United States.
- [2] Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. 2016. *The Effect of Renewable Energy Consumption on Economic Growth: Evidence from Top 38 Countries*. Applied Energy, 162, 733-741.
- [3] A. Sharma, V. Tyagi, C. Chen, D. Buddhi. 2009. *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [4] Kalnæs, S. E., & Jelle, B. P. 2015. *Phase Change Materials and Products for Building Applications: A state-of-the-art Review and Future Research Opportunities*. Energy and Buildings. Elsevier Ltd.
- [5] Souayfane, F., Fardoun, F., & Biwole, P. H. 2016. *Different Mathematical Models of Convection During Phase Change*. In 2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries, REDEC 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- [6] R. Ramnanan-Singh. 2012. *Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient*.
- [7] Karaipekli, A., & Sari, A. 2009. *Capric-myristic acid/vermiculite Composite as Form-stable Phase Change Material for Thermal Energy Storage*. Solar Energy, 83(3), 323– 332.

- [8] Gibson, R. F. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. Mc Graw Hill Book Co.
- [9] Oksman, K., Skrifvars, M., Selin, J-F. 2003. *Natural Fiber as Reinforcement in Polylactic Acid (PLA) Composites, Composites Science and Technology*.
- [10] Dwiprasetyo, [http://www.dwiprasetyo87.co.cc/2010_03_01_archive.html], 2010 (Diakses tanggal 5-10-2019)
- [11] Astika, I.M., dkk. 2013. *Sifat Mekanis Komposit Polyester dengan Penguat Serat Sabut Kelapa*. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6 No.2.
- [12] Jie Yang, Li-Sheng Tang, dkk. 2018. *Hybrid Network Structure of Boron Nitride and Graphene Oxide in Shape-stabilized Composite Phase Change Materials with Enhanced Thermal Conductivity and Light-to-electric Energy Conversion Capability*. Solar Energy Materials and Solar Cells 174, 56-64.
- [13] Karaiepli, A., Bicer, A., Sari, A., & Tyagi, V. V. 2017. *Thermal Characteristics of Expanded Perlite/paraffin Composite Phase Change Material with Enhanced Thermal Conductivity using Carbon Nanotubes*. Energy Conversion and Management, 134, 373-381.
- [14] Tang, W., Xu, X., Cui, H., Memon, S. A., & Yang, H. 2017. *Development of Novel Composite PCM for Thermal Energy Storage Using CaCl₂·6H₂O with Graphene*
- [15] Meng, Q. and Jinlian Hu. 2008. *A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material*. Solar Energy Materials and Solar Cells 92: 1260-1268.
- [16] M. Ravikumar and Dr. Pss. Srinivasan. 2008. *Phase change material as a thermal energy storage material for cooling of building*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology.

	Tallida Engar, Sepanjang studinya menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2021. Ia menyelesaikan studinya dengan topik penelitian Analisa Pengaruh Fraksi Volume Serat Sabut Kelapa dan Grafit Terhadap Serapan dan Konduktivitas Termal Komposit Phase Change Material Berbahan Beeswax.
Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energi</i>, dan manufaktur.	