

Studi Eksperimental Pengaruh Serbuk Mikroalga Tropika Dan Grafit Pada Limbah Chitosan Terhadap Tegangan Bending Dan Konduktivitas Termal Komposit PCM

James Limantara, I Nyoman Suprapta Winaya, I Made Astika
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Perkembangan zaman di era globalisasi sekarang ini telah menjadikan jumlah kebutuhan energi semakin meningkat, terutama pada sektor komersial yaitu, energi listrik. Oleh sebab itu, dikembangkanlah teknologi yang dinamakan material berubah fase (PCM). Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menyerap energi panas melalui pengujian konduktivitas termal dan menghitung kekuatan pada material ketika diberikan beban melalui pengujian bending. Variasi pengujian yang digunakan adalah variasi fraksi volume polyester yaitu 30%, limbah chitosan 30%, mikroalga tropika 30%, 35%, 40%, dan grafit 0%, 5%, 10%. Metode yang digunakan dalam melakukan pengujian ialah dengan menggunakan penggabungan langsung. Untuk mempercepat proses pengeringan pada material dicampurkan bahan pengeras polyester sebagai katalisator 1% dari volume polyester. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian tegangan bending tertinggi pada mikroalga 35% yaitu 10.65 MPa, 30% sebesar 7.79 MPa, dan 40% sebesar 0.94 MPa. Untuk hasil yang diperoleh dari pengujian konduktivitas termal tertinggi pada grafit 10% yaitu 20.05 watt/m.K, grafit 5% sebesar 19.96 watt/m.K, dan pada grafit 0% sebesar 19.89 watt/m.K.

Kata Kunci: Material Berubah Fase, Polyester, Limbah Chitosan, Mikroalga Tropika, Grafit, Penggabungan Langsung

Abstract

Nowadays, in this current era of globalization have made amount of energy needs increasing more, especially in the commercial sector, that is electricity. Therefore, technology called phase change material (PCM) was developed. This research was conducted aiming to absorb heat energy through thermal conductivity testing and calculate the strength of the material when given a load through bending testing. The test variation used is variation of the polyester volume fraction that is 30%, chitosan waste 30%, tropical microalgae 30%, 35%, 40%, and graphite 0%, 5%, 10%. The method used in conducting the test is to use a direct incorporation composite. To speed up the drying process in the material, the material as a catalyst is mixed with 1% of the polyester volume. The results obtained from the highest bending stress testing on 35% microalgae are 10.65 MPa, 30% at 7.79 MPa, and 40% at 0.94 MPa. For the results obtained from the highest thermal conductivity testing on graphite 10%, are 20.05 watts / m.K, graphite 5% at 19.96 watts / m.K, and on graphite 0% at 19.89 watts / m.K.

Keywords: Phase Change Material, polyester, Chitosan Waste, Tropical Microalgae, Graphite, Direct Incorporation

1. Pendahuluan

Indonesia memegang peranan penting dalam pasar energi global yang terus diperkirakan akan mengalami peningkatan. Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan konsumen energi terbesar di Asia Tenggara yaitu sebesar 36% dari kebutuhan energi kawasan. Semakin tingginya pertumbuhan ekonomi di Indonesia, maka semakin tinggi pula energi yang dibutuhkan terutama konsumsi pada energi listrik hingga mencapai 491 *terawatt hours* (TWh) di tahun 2030. Diperkirakan, juga kapasitas pada pembangkit listrik perlu bertambah sebesar 4,1 *gigawatts* (GW) per tahun, dimana 50 % dari total kapasitas terpasang baru adalah PLTU Batubara [1].

Peningkatan kebutuhan *energy final* yang tinggi perlu ditangani dengan menerapkan upaya konservasi

energi oleh pemerintah maupun masyarakat setempat dengan penetapan langkah yang bijak dan tepat. Diperkirakan sampai pada tahun 2025, pengurangan intensitas energi sebanyak 1% per tahun menjadi target serius bagi pemerintah yaitu dengan cara melakukan penghematan energi khususnya pada sektor perekonomian, dan menghemat jumlah konsumsi *energy final* (*TFC-total final consumption*) sebesar 17 % di tahun 2025 [2].

Pada sektor komersial, total jumlah penggunaan energi listrik pada bangunan terutama untuk konsumsi pendinginan udara (AC), pencahayaan, dan penyediaan air merupakan salah satu penyokong terbesar dalam upaya penggunaan energi. Dimana, penyebab dari hal tersebut ialah semakin terjadinya

pertumbuhan ekonomi terutama pada sektor perdagangan, perindustrian, perbankan, perhotelan, dan bahkan pada badan pemerintahan yang menyebabkan semakin meningkatnya aktivitas atau kegiatan ekonomi terhadap konsumsi energi listrik.

Oleh sebab itu, diciptakanlah 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 (LHTES)* disebut bahan berubah fase (*Phase Change Material/PCM*). PCM telah menunjukkan potensi yang besar sebagai pilihan yang berharga untuk sistem energi masa depan [3].

Hal ini disebabkan karena PCM dapat diaplikasikan pada rentang suhu yang luas (dari di bawah $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga di atas $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan cocok diterapkan pada berbagai desain sistem penyimpanan panas. Penyimpanan panas laten menggunakan teknik material berubah fase telah menjadi salah satu pertimbangan bagi para peneliti dikarenakan kelebihanannya dalam proses penyimpanan energi yang berkapasitas besar dan skala perubahan suhu yang relatif kecil. Penyimpanan panas laten dapat dicapai melalui fase perubahan wujud padat-padat, padat-cair, padat-gas, dan gas-cair. Namun, sistem padat-cair lebih unggul secara ekonomi menarik untuk digunakan sebagai sistem penyimpanan energi panas [4].

Dari uraian di atas diketahui bahwa banyak peneliti telah mengeksplorasi penggunaan bahan organik sebagai PCM untuk berbagai aplikasi, namun hampir tidak dapat ditemukan penggunaan lipid dari mikroalga tropika sebagai bahan PCM untuk sistem penyimpanan panas (*TES*). Lipid dari mikroalga tropika memiliki potensi yang menjanjikan sebagai PCM disebabkan karena secara umum kandungan lemaknya yang cukup tinggi, yaitu sekitar 20%-50% dan pada beberapa spesies hingga mencapai 70% dari berat tubuhnya. Mikroalga tropika juga diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan bahan dalam pembuatan PCM, dikarenakan jumlah kandungan asam lemak yang cukup tinggi dan juga mudah ditemukan maupun dikembangkan tanpa membutuhkan lahan yang luas.

Dalam keadaan wujud cair, PCM diharuskan menggunakan metode enkapsulasi (menyalut inti) dengan ukuran yang sangat kecil. Perubahan fisik, panas, dan senyawa kimia sebagian besar mikrokapsul mempunyai resistensi terhadap perubahan tersebut. Secara biokimiawi maupun penggunaan larutan alkali merupakan *chitosan*, yaitu chitin yang terdestilasi melalui hidrolisis perubahan bentuk struktur. Karena tingginya biokompabilitas dan memiliki karakteristik

yang baik, salah satunya ialah sifat *biodegradable*, anti bakteri dan sejenisnya, maka mikroenkapsulasi *chitosan* menjadi banyak dipelajari dan dijadikan bahan PCM, khususnya pada keperluan bahan bangunan [5].

Adapun beberapa perumusan masalah yang akan ditetapkan, yaitu:

- Bagaimana pengaruh fraksi volume dari grafit dan mikroalga tropika terhadap sifat mekanis yaitu tegangan lentur dan konduktivitas termal dari komposit PCM.

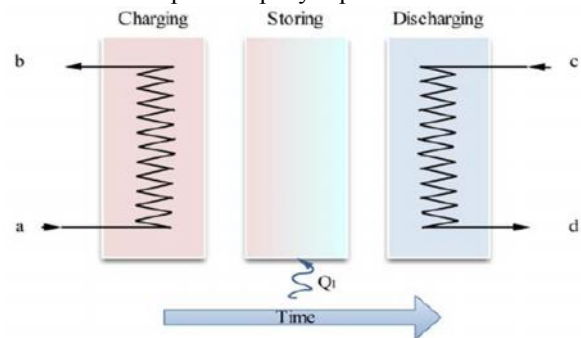
Adapun beberapa batasan masalah yang akan ditetapkan. Diantaranya adalah:

- Bentuk dan ukuran butir dari limbah chitosan, mikroalga tropika, dan grafit diasumsikan sama.
- Penelitian ini menggunakan bahan dan langkah cara yang sesuai dengan alat pengujian.
- Penelitian ini menggunakan kecepatan pengaduk pada saat pencetakan komposit sebesar 100 rpm dengan holding time selama ± 15 menit.

2. Dasar Teori

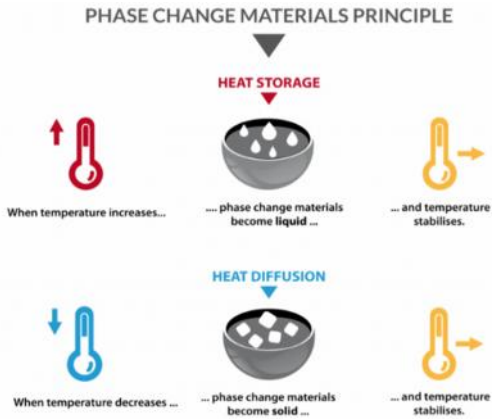
Para peneliti telah banyak mengeksplorasi penggunaan berbagai bahan PCM baik dengan cara organik, anorganik maupun eutektik sebagai bahan dalam sistem penyimpanan panas (*TES*) [6]. Penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage/TES*) didefinisikan sebagai suatu sistem untuk penyimpanan energi sementara dimana energi tersebut dapat dalam wujud panas atau dingin yang nantinya dapat dimanfaatkan kembali [7].

Setidaknya ada tiga langkah dalam sistem penyimpanan energi yaitu: pengisian, penyimpanan dan pemakaian. Dalam sistem, beberapa langkah dapat terjadi secara bersamaan (misalnya *charging* dan *storing*) dan setiap langkah dapat terjadi lebih dari satu kali dalam setiap siklus penyimpanan.



Gambar 1. Tiga proses dalam sistem *Thermal Energy Storage (TES)* (Ascione, 2014)

Sistem *LHTES (Latent Heat Thermal Energy Storage)* menyimpan energi dalam PCM, dengan energi panas yang disimpan saat perubahan fase, biasanya dari padat ke cair (misalnya: energi diperlukan untuk mengubah es menjadi air, mengubah air menjadi uap dan melelehkan lilin parafin) [8].



Gambar 2. Skematis Dari Proses Perubahan Fase Pada PCM (Kalmæs, 2015)

PCM organik memiliki sejumlah karakteristik yang menjadikannya berguna untuk penyimpanan panas laten pada elemen bangunan tertentu. Bahan ini lebih stabil secara kimia dari pada zat anorganik, tidak korosif, memiliki panas laten yang tinggi per satuan berat, dapat didaur ulang, dapat mencair dengan sendirinya dan menunjukkan sedikit atau tanpa sub cooling, tidak perlu didinginkan di bawah titik beku untuk memulai kristalisasi.

Pada penelitian ini material berubah fase yang digunakan adalah mikroalga tropika dan *chitosan*. Dikarenakan pada mikroalga mengandung lemak yang cukup tinggi sehingga memiliki potensi untuk dijadikan sumber asam lemak. Mikroalga tropika tersebut juga memiliki titik leleh dengan temperatur 53°C-75°C. Sedangkan *Chitosan* merupakan biopolimer polisakarida selulosa alami ditulang luar dari hewan laut, yang menarik karena memiliki karakteristik yang unik dan fungsi sifatnya yang beragam, dan juga sumbernya yang melimpah di alam, dapat selalu diperbaharui, dapat terurai secara alami, tidak menyebabkan racun, tidak terdapat efek alergi yang ditimbulkan, biokompatible khususnya sebagai material *reinforcement* (penguat).

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.

Benda uji terdiri brass, copper, aluminium dan stainless steel dengan tebal 20 mm dan diameter 30 mm.

Energi daya listrik yang terjadi pada heater di berikan oleh persamaan:

$$W = V \times I \quad (1)$$

W = Daya listrik (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

Dan persamaan untuk Perpindahan panas yang terjadi:

$$\dot{q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

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

A = Luas penampang benda uji (m²)

dT = Beda temperature (K)

dx = Jarak antar titik uji (T1 dan T2)

q = laju perpindahan panas (watt)

Untuk kasus ini W = q (watt)

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap bending atau pembengkokan. Pengujian bending ini didasarkan pada “*Standard Methods of Tension Testing of Metallic Materials*” dari ASTM Designation 790-03. Persamaan untuk Pengujian tegangan bending yang terjadi:

Panjang spesimen (p) = 120 mm

Lebar spesimen (l) = 15 mm

Tebal spesimen (t) = 7 mm

$$\sigma_L = \frac{3P.L}{2b.d^2} \quad (3)$$

σ_L = Tegangan lentur (MPa)

P = Beban (N)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

- Alat cetak komposit, Mixer,
- Thermokopel, Stopwatch,
- Data Acquisition (TD 1002A)
- Mesin uji lentur (Bending ASTM D790-03)
- Timbangan digital, Avometer
- Gelas ukur, Grafit
- Mikroalga Tropika

- Limbah serbuk chitosan
 - Polyester Yucalac 157 BQTN-EX & katalisator
Proses pembuatan komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:
 - Serbuk limbah Chitosan dengan fraksi volume yang telah ditentukan dicampur dengan grafit dan Mikroalga tropika serta polyester (1% hardener dari 30% polyester) yang fraksi volumenya juga telah ditentukan sesuai dengan rancangan penelitian berdasarkan perhitungan massa, dan massa jenis dari volume cetakan komposit tersebut.
 - Semua bahan tersebut diaduk dengan merata selama ± 15 menit menggunakan metode pencampuran langsung (*Direct Incorporation*) dengan mixer dengan kecepatan 100 rpm pada temperatur suhu ruang.
 - Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam.
 - Komposit yang terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dilakukan pengujian. Proses pengujian bending komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:
 - Melakukan pencatatan dimensi awal dari spesimen meliputi panjang awal (*L*), tebal (*t*), lebar (*l*), dan luas penampang awal (*A₀*).
 - Meletakkan spesimen pada bantalan, tempatkan spesimen sehingga posisikan pas tengah dari material pada alat bending. Jika perlu tandai tengah dari material dengan sepidol.
 - Menurunkan bending secara perlahan hingga ujung penekan mengenai material selanjutnya turunkan alat bending secara perlahan agar menekan spesimen ke bawah.
 - Pengujian dilakukan hingga material mengalami perubahan bentuk sesuai bentuk yang akan diinginkan dari pengujian spesimen tersebut dan amati permukaannya.
 - Menghentikan penambahan beban dan lepas spesimen dari mesin pengujian bending bila spesimen sudah mengalami perubahan bentuk.
 - Lakukan langkah yang sama pada pengujian spesimen berikutnya.
- Proses pengujian konduktivitas termal komposit *PCM* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Siapkan alat *Linier Heat Conduction Experiment* (TD1002A)
- Posisikan alat ukur temperatur
- Alirkan air melalui selang
- Pasang spesimen uji I pada alat

- Hidupkan power listrik
- Hidupkan komputer
- Input daya
- Tunggu sampai keadaan steady, baca temperatur T1, T2, T3 pada komputer.
- Catat hasil temperatur pada tabel.

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan massa bahan:

Tabel 1. Komposisi material Untuk Uji Bending

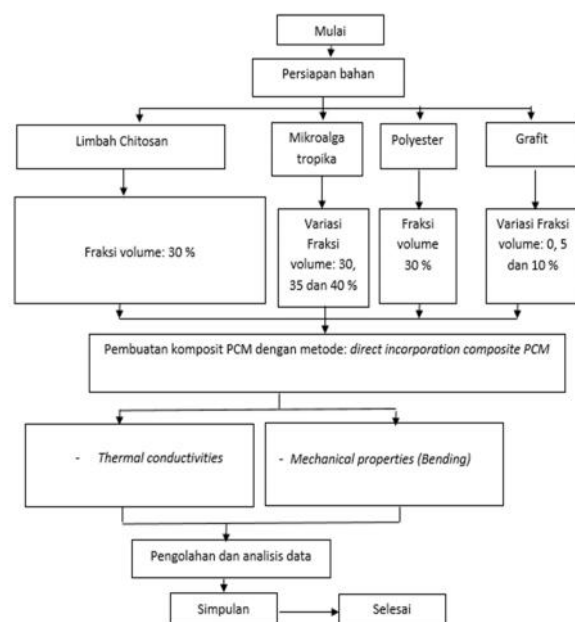
Variasi Fraksi Volume (%)	Limbah Chitosan (gr)	Mikroalga tropika (gr)	Polyester (gr)	Grafit (gr)
30 : 30 : 30 : 10	1,13	3,48	4,57	2,86
30 : 35 : 30 : 5	1,13	4,06	4,57	1,43
30 : 40 : 30 : 0	1,13	4,64	4,57	0

Tabel 2. Komposisi material Untuk Uji Konduktivitas Termal

Variasi Fraksi Volume (%)	Limbah Chitosan (gr)	Mikroalga tropika (gr)	Polyester (gr)	Grafit (gr)
30 : 30 : 30 : 10	1,27	3,90	5,13	3,21
30 : 35 : 30 : 5	1,27	4,55	5,13	1,61
30 : 40 : 30 : 0	1,27	5,20	5,13	0

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian eksperimental yang dirancang diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

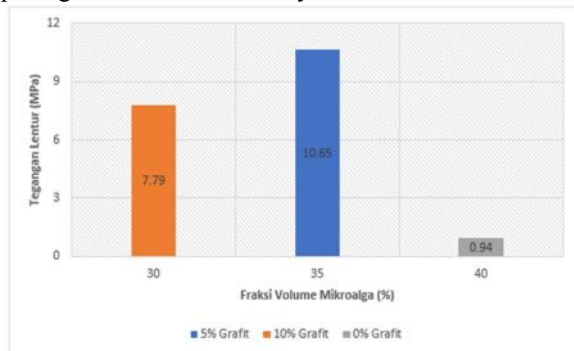
4.1 Pengujian Bending

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap *bending* atau pembengkokan pada suatu material ketika diberikan beban.

Tabel 3. Tabel hasil Uji Bending

No	Polyester (%)	Chitosan (%)	Mikroalga Tropika (%)	Grafit (%)	Hasil Uji Bending			Kode
					σ_L (MPa)	ϵ_L (mm/mm)	E_L (MPa)	
1	30	30	30	10	7.79	0.03	261.81	B
2			35	5	10.65	0.03	360.33	A
3			40	0	0.94	0.06	15.58	C

Pada tabel 3. Yang meliputi hasil dari pengujian bending, yaitu: tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending dengan masing-masing menggunakan variasi dari polyester, limbah chitosan, mikroalga tropika, dan grafit dimana persentase mikroalga yang selalu meningkat tetapi pada grafit berlaku sebaliknya.



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan Lentur, Fraksi Volume Mikroalga dan Grafit

Pada grafik 4. Menunjukkan bahwa seiring bertambahnya fraksi volume mikroalga nilai tegangan lentur yang didapatkan cenderung tidak stabil bahkan mengalami penurunan pada saat material spesimen C diberikan perlakuan. Nilai rata-rata tertinggi terhadap tegangan lentur sendiri terjadi pada fraksi volume 35% dimana yaitu sebesar 10,65 MPa, dan pada fraksi volume 30% didapatkan nilai dengan rata-rata tegangan lentur sebesar 7,79 MPa, dan untuk nilai rata-rata tegangan lentur pada fraksi volume 40% yaitu sebesar 0,94 MPa. Semakin bertambah banyaknya serat yang diberikan, maka menyebabkan dimensi komposit akan semakin besar pula, dan tegangan lenturnya akan ikut melemah karena hanya bertumpu pada serat saja tanpa ada pengikat yang kuat dan

menyebabkan ikut melemahnya material pengikat (*filler*) tersebut.

4.2 Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian Konduktivitas Termal dengan menggunakan alat *linier heat conduction experiment* (TD1002A) bertujuan untuk mencari dan meneliti nilai konduktivitas pada material maupun perpindahan panas khususnya pada spesimen material berubah fasa seperti campuran polyester, limbah chitosan, mikroalga, dan grafit.

Tabel 4. Tabel hasil uji Konduktivitas Termal

Waktu (s)	Kondisi Pengujian		Daya Pemanas (W)	Termokopel T1 - T3			Termokopel T4 - T7			
	Temperatur Lingkungan (°C)	Deskripsi Material		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)
900	20	Grafit 5%	33	40.9	40.6	40.3	36.6	33.3	33.3	33.3
900	20	Grafit 10%	33	34.3	34	33.7	29.1	28	28	27.9
900	20	Grafit 0%	33	37.4	37.1	36.7	30.9	28.8	28.7	28.7
Jarak dari T1 (m)				0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12

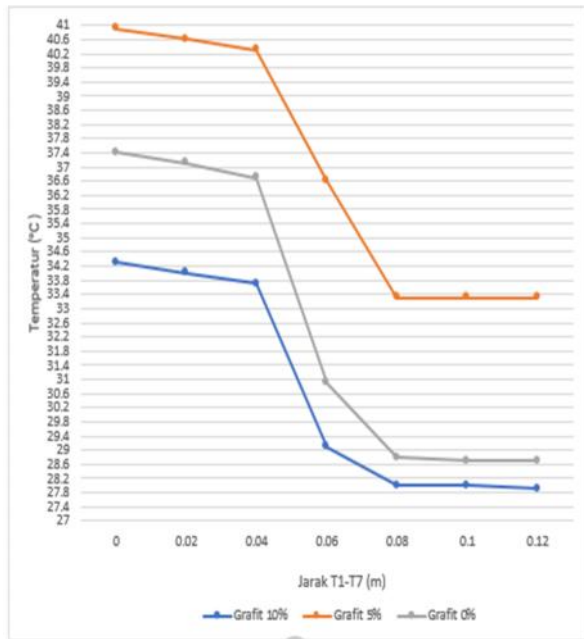
Data hasil penelitian pada tabel 4. Didapatkan setelah melakukan penelitian serta pengamatan sesuai dengan metodologi yang tertera dan disajikan pada tabel berikut yang meliputi hasil dari pengujian konduktivitas termal dari setiap spesimen. Data pengujian yang dilakukan nantinya terhadap spesimen dengan masing-masing variasi fraksi volume yang berbeda akan menghasilkan data pengujian yang berbeda.

Pengambilan data dapat dikontrol interval durasinya pada aplikasi yang digunakan di *software* komputer. Panas mengalir dari pangkal batang ke ujung batang dengan menggunakan tujuh buah termokopel yang dihubungkan ke batang untuk dilakukannya pembacaan nilai suhu pada jarak-jarak tertentu pada batang.

Sensor pertama terletak pada pangkal batang agar membaca data pada suhu T1, Sensor kedua terletak 20 mm dari T1 dan membaca nilai suhu T2, Sensor ketiga terletak 40 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T3, sensor keempat terletak 60 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T4, sensor kelima terletak 80 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T5, sensor keenam terletak 100 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T6, sensor ketujuh terletak 120 mm dari pangkal batang dan membaca nilai suhu T7.

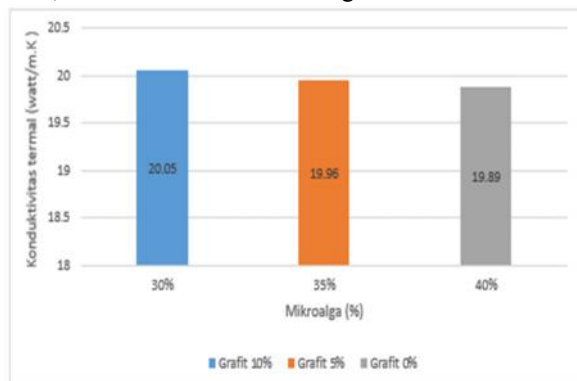
Pengambilan data juga menggunakan durasi waktu selama 15 menit per spesimen dengan pengambilan data setiap 2 detik sehingga data yang dapat diambil sebanyak 450 jumlah data. Dengan alasan, karena perpindahan panas khususnya pada suhu spesimen tidak dapat lagi mengalami fase

perubahan terhadap waktu yang signifikan (hampir konstan) sehingga kondisi dapat dikatakan *steady state* pada waktu menit ke-15. Sebelumnya, pengambilan data juga diukur pada kuat arusnya menggunakan alat avometer agar mendapatkan perhitungan pada daya input pemanas yang ingin diberikan.



Gambar 5. Grafik Perubahan Suhu Terhadap Jarak Konduktivitas Termal Menit 15

Pada gambar 5. Merupakan grafik perbandingan dari tiap-tiap sampel dengan grafik tertinggi dimiliki oleh spesimen mikroalga 35%, kemudian mikroalga 40%, dan terakhir ialah mikroalga 30%.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Tiap Spesimen

Pada grafik 6. Menyatakan bahwa data dari ketiga tabel dan setiap perhitungan yang telah disajikan dengan sampel yang masing-masing berbeda, maka dapat dikatakan bahwa material dengan nilai

konduktivitas termal yang terkecil ialah pada spesimen mikroalga 40%, yaitu dengan nilai 19.89 watt/m.K, dan untuk spesimen mikroalga 35%, yaitu dengan nilai 19.96 watt/m.K, dan yang dengan nilai konduktivitas tertinggi ialah pada spesimen mikroalga 30%, yaitu dengan nilai 20.05 watt/m.K.

5. Kesimpulan

Adapun simpulan yang dapat ditarik berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan dari pengaruh fraksi volume mikroalga dan grafit terhadap konduktivitas termal dan kekuatan bending *Phase change material* adalah sebagai berikut:


- Semakin bertambah banyaknya serat yang diberikan, maka menyebabkan densitas komposit akan semakin besar pula, dan menimbulkan void sehingga tegangan lenturnya akan ikut melemah karena tanpa ada material pengikat yang kuat menyebabkan ikut melemahnya material pengikat (*filler*) tersebut.
- Semakin tinggi persentase grafit pada material tersebut maka, semakin meningkatnya juga nilai konduktivitas termal material tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Agency for Natural Resources and Energy, 2017, *Key World Energy Statistic*, IEA International Energy Agency.
- [2] Almajali, M., Lafdi, K., & Prodhomme, P. H, 2013, *Effect Of Copper Coating On Infiltrated PCM/Foam*, Energy Conversion and Management, Vol. 66, pp. 336–342.
- [3] Xu, X., Cui, H., Memon, S. A., Yang, H., & Tang, W., 2017, *Development Of Novel Composite PCM For Thermal Energy Storage Using Cacl2·6H2O With Graphene Oxide And Srcl2·6H2O*, Energy and Buildings, Vol. 156, pp. 163–172.
- [4] Boussaba, L., Foufa, A., Makhlof, S., Lefebvre, G., & Royon, L., 2018, *Elaboration And Properties Of A Composite Bio-Based PCM For An Application In Building Envelopes*, Construction and Building Materials, Vol. 185, pp. 156–165.
- [5] Fachrirozi M., Priscilia V., Setyawan T. B., Abudzar R., Jenderal D., & Tinggi P, 2013, *Dengan Material Baru Perubah Fase*

Berbahan Dasar Lipid Dari Mikroalga Tropika.

- [6] Cascone Y., Perino M, 2015, ***Estimation Of The Thermal Properties Of Pcms Through Inverse Modelling***, Energy Procedia, 78, pp. 1714–1719.
- [7] Pudjiastuti W, 2011, ***Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya***, Jurnal Kimia Dan Kemasan, Vol. 33 No 1, pp. 118.
- [8] Nizetić S., Arıcı M., Bilgin F., Grubišić-Čabo F, 2018, ***Investigation Of Pork Fat As Potential Novel Phase Change Material For Passive Cooling Applications In Photovoltaics***, Journal of Cleaner Production, Vol. 170, pp. 1006–1016.

	<p>James Limantara, Menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studi dengan topik penelitian Pengaruh Fraksi Volume Mikroalga Tropika Dan Grafit Pada Limbah Chitosan Terhadap Konduktivitas Termal Dan Kekuatan Bending Komposit PCM.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik – topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energy</i>, dan manufaktur.</p>	