

Studi Analisa Komposisi Volume Grafit Terhadap Kekuatan Lentur Komposit PCM Kerak Lilin Dan Serat Sabut Kelapa

Gerhard Andreas, I Nyoman Suprpta Winaya, I Made Astika

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Sistem penyimpanan energi panas adalah salah satu teknologi PCM untuk menjadi cadangan energi panas yang aman dan terjangkau untuk sistem energi masa depan. Ini memunculkan inovasi dalam pembuatan komposit dengan menggunakan serat sabut kelapa sebagai penguatnya dan kerak lilin sebagai matriknya, serta grafit sebagai penghantar panasnya. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik mekanik yaitu kekuatan bending, regangan, dan modulus elastisitas komposit PCM tersebut. Metode yang digunakan ialah metode penggabungan langsung dengan mencampurkan bahan-bahan tersebut tetapi mengukur dan menghitung berat dan massa jenisnya terlebih dahulu. Variasi pengujian yaitu fraksi volume dengan 30% serat sabut kelapa, 50% polyester, 20%, 15%, 10% kerak lilin dan 0%, 5%, 10% grafit. Dari hasil penelitian kekuatan lentur yang dilakukan, hasil tertinggi sebesar 14,42 MPa pada spesimen B dan yang terendah 2,5 MPa pada spesimen C.. Jadi komposisi sangat mempengaruhi hasil kekuatan lentur suatu komposit.

Kata Kunci: PCM, Poliester, Serat Sabut Kelapa, Kerak Lilin, Grafit, Kekuatan Lentur, Konduktivitas Termal

Abstract

The thermal energy storage system is one of the PCM technologies to be a safe and affordable heat energy reserve for future energy systems. This gave rise to innovations to making composites using coconut fiber as reinforcement and wax crust as a matrix, and graphite as heat conductor. The purpose of this research is to obtain mechanical characteristics are bending strength, strain, and modulus of elasticity of the PCM composite. The method used is a direct combination method by mixing the ingredients but measuring and calculating the weight and density first. Variation of the test is the volume fraction with 30% coconut fiber, 50% polyester, 20%, 15%, 10% waxy crust and 0%, 5%, 10% graphite. From the results of the flexural strength research conducted, the highest yield is 14.42 MPa in specimen B and the lowest is 2.5 MPa in specimen C. For thermal conductivity results, the highest yield is 19.92 watt / m.K in specimen B and the lowest yield is 19.8 watt / m.K in specimen C. So the composition greatly influences the yield of the flexural strength of a composite.

Keywords: PCM, Polyester, Coconut Fiber, Wax Crust, Flexural Strength

1. Pendahuluan

Di tahun 2020 ini, masih banyak manusia menggunakan sumber daya yang berasal dari fosil yaitu minyak bumi dan batubara. Penggunaan yang berasal dari fosil akan berdampak pada lingkungan seperti air dan udara, dan perubahan iklim akibat pemanasan global. Pemakaian yang terus menerus dan kebutuhan yang besar akan membuat cadangan dari fosil mentah di bumi semakin menurun dan diperkirakan akan habis pada tahun 2030 nantinya) [1].

Sebuah cara atau alternatif yang dapat mengganti fosil yaitu adalah energi listrik. Energi listrik ialah energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik volt (V) dengan konsumsi daya listrik watt (W) untuk menggerakkan suatu peralatan mekanik dan menghasilkan energi lain. Energi ini bisa didapat dan diperoleh dari sistem

pembangkit seperti dari PLTU, PLTB, PLTS dan lain-lain. Langkah bijak lainnya adalah dengan mengembangkan dan menghemat penggunaan energi tersebut [2].

Sistem penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage/TES*) dapat memberikan fleksibilitas dan pemanfaatan yang baik untuk langkah kedepannya. Penggunaannya juga dapat menghemat energi dan bisa sebagai cadangan panas yang aman dan terjangkau dalam sistem energi masa depan. 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. Hal ini disebabkan karena PCM

dapat diaplikasikan pada rentang suhu yang luas (dari di bawah -30°C hingga di atas 1000°C) dan cocok diterapkan pada berbagai desain sistem penyimpanan panas. 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*) [3].

Penyimpanan kalor pada PCM sendiri mempunyai keunggulan pada kepadatan material, dikarenakan *heat of fusion* pada proses peleburan jauh lebih daripada kalor sensible atau panas spesifikasinya. PCM dapat dimanfaatkan salah satunya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energy listrik. PCM sendiri dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan komposisi kimia, yaitu senyawa organik, senyawa anorganik dan eutektik. PCM sendiri bisa digunakan sebagai penyimpanan panas untuk digunakan ketika matahari tidak tersedia, untuk aplikasi memanaskan air panas atau bangunan [4].

Penerapan PCM pada komposit adalah suatu metode yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya. Kemampuan komposit dalam menyerap dan menyimpan bahan PCM juga dipengaruhi oleh ukuran butir dari partikel penyusun komposit. Semakin kecil/halus ukuran butir, tingkat serapan semakin baik. Perbandingan berbagai unsur-unsur penyusun komposit terutama material yang berfungsi sebagai penyerap bahan PCM juga sangat berpengaruh terhadap kemampuan komposit tersebut dalam menyimpan bahan PCM. Semakin tinggi kandungan bahan tersebut dalam komposit, semakin besar kemampuannya dalam menyerap/menyimpan bahan PCM. Persyaratan yang lain adalah konduktivitas termal dari bahan PCM yang digunakan [5].

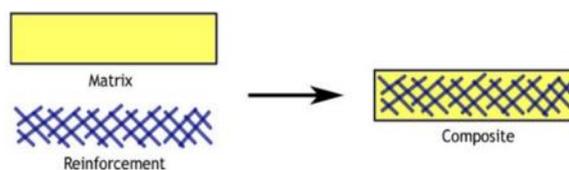
Diketahui belum ada yang penggunaannya menggunakan kerak lilin (*wax crust*) sebagai bahan PCM untuk penyimpanan panas (TES) tersebut. Penggunaan PCM kerak lilin sepertinya sangat menjanjikan dan sesuai sebagai bahan untuk kemampuan penyimpanan panas. Kerak lilin mempunyai temperatur leleh yang cukup tinggi yaitu sekitar $50-68^{\circ}\text{C}$. Untuk pemakaian kompositnya juga belum ada yang menggunakan serat sabuk kelapa, dan dapat digunakan sebagai penguat pembuatan komposit. Sabuk kelapa adalah material yang sangat bagus juga karena mempunyai serat yang tinggi yang bagus untuk memperkuat campuran PCM dan lainnya sehingga material baru tersebut tidak gampang retak atau getas.

Hal ini yang perlu untuk menguji karakteristik mekanik seperti bending dan konduktivitas termalnya [6].

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

Limbah sabut kelapa dipilih sebagai serat dan dipotong-potong dengan ukuran yang sudah ditentukan kemudian dicampur dengan grafit dan kerak lilin yang sudah dihaluskan berbentuk serbuk (diparut), polyester (1% hardener dari 50% polyester) dengan ukuran volume dan massa yang sudah ditentukan melalui fraksi volume sebelumnya sesuai dengan rancangan penelitian berdasarkan perhitungan massa, dan massa jenis dari volume cetakan komposit tersebut. Setelah dicampurkan dengan menggunakan metode langsung, kemudian semua bahan tersebut dipanaskan dengan *mesin magnetic stirrer* hingga mencapai suhu 60°C dengan *holding time* 10 menit dengan kecepatan pengaduk 600 rpm. Bahan yang sudah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam dengan suhu ruang. Komposit yang terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dilakukan pengujian.



Gambar 1. Ilustrasi Perpaduan Komposit

2.2 Uji Kekuatan Lentur

Untuk mengukur kekuatan lentur, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

Melakukan pencatatan dimensi awal dari spesimen meliputi panjang awal (L), tebal (t), lebar (l), dan luas penampang awal (A_0). Meletakkan spesimen pada bantalan, tempatkan spesimen sehingga ditengah dari material spesimen sejajar dengan alat bending. Jika perlu tandai tengah dari material dengan sepidol. Menurunkan bending secara perlahan sehingga ujung penekan mengenai material selanjutnya turunkan alat bending secara perlahan agar mendesak 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.

Melakukan perhitungan Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitasnya.

Perhitungan kekuatan lentur menggunakan persamaan pada standar ASTM D790-03

Panjang total (L) = 120 mm

Lebar total (b) = 15 mm

Tebal (d) = 7 mm

$$\sigma_L = \frac{3P.L}{2b.d^2} \quad (1)$$

σ_L = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Ketebalan benda uji (mm)

Persamaan untuk Pengujian regangan bending yang terjadi:

$$L = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} \quad (2)$$

L = Regangan Bending (mm/mm)

δ = Defleksi Benda Uji (mm)

L = Support Span (mm)

d = Tebal benda Uji (mm)

Persamaan untuk Pengujian modulus elastisitas bending yang terjadi:

$$E_L = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} \quad (3)$$

E_L = Modulus Elastisitas Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tebal benda uji (mm)

m = Tangen garis lurus pada Load Deflection Curve (N/mm)



Gambar 2. Uji Kekuatan Lentur

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kekuatan Lentur

Uji lentur merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan terhadap *bending* atau pembengkokan pada suatu material ketika diberikan beban. Hasil data yang diperoleh dari pengujian bending dimana meliputi dari tegangan (σ_L), regangan (ϵ_L), dan modulus elastisitasnya (E_L). Masing-masing spesimen menggunakan variasi campuran yang berbeda, seperti spesimen A yang terdiri dari

campuran serat sabut kelapa, polyester, grafit, kerak lilin secara berurut yaitu 30%, 50%, 0%, 20%. Spesimen B terdiri dari campuran 30%, 50%, 5%, dan 20%. Sedangkan spesimen C terdiri dari campuran 30%, 50%, 10%, dan 10%.

Tabel 1. Tabel hasil Uji Bending/Lentur

No	Serat Sabut Kelapa (%)	Poliester (%)	Grafit (%)	Kerak Lilin (%)	Hasil Uji Bending			Kode
					σ_L (MPa)	ϵ_L (MPa)	E_L (MPa)	
1	30	50	0	20	7,79	0,03	261,81	A
2			5	15	10,65	0,03	360,33	B
3			10	10	0,94	0,06	15,58	C

3.2 Tegangan Bending

- Spesimen A

Dimana: P (beban) = 46,387 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$\begin{aligned} \sigma_{LA} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 46,387 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{8349,66}{1470} = 5,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen B

Dimana: P (beban) = 116,14 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

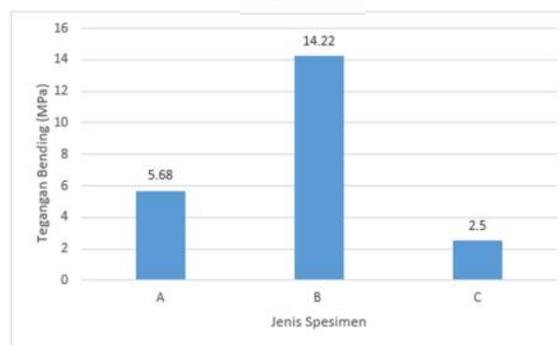
$$\begin{aligned} \sigma_{LB} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 116,14 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{20905,2}{1470} = 14,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen C

Dimana: P (beban) = 20,49 N

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$\begin{aligned} \sigma_{LC} &= \frac{3P.L}{2b.d^2} \\ &= \frac{3 \times 20,49 \times 60}{2 \times 15 \times 7^2} \\ &= \frac{20905,2}{1470} = 2,50 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan Lentur dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin. memiliki tegangan bending sebesar 5.68 MPa. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki tegangan bending 14.22 MPa,

sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya tegangan bending 2.5 MPa.

3.3 Regangan Bending

- Spesimen A

Dimana: δ (defleksi) = 0,6182 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$L_A = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 0,6182 \times 7}{60^2} = \frac{25,9644}{3600} = 0,00721 \sim 0,007$$

- Spesimen B

Dimana: δ (defleksi) = 1,1765 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

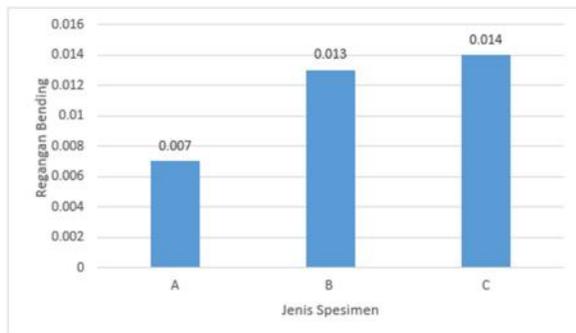
$$L_B = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 1,1765 \times 7}{60^2} = \frac{49,413}{3600} = 0,0132 \sim 0,013$$

- Spesimen C

Dimana: δ (defleksi) = 1,2363 mm

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$L_C = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} = \frac{6 \times 1,2363 \times 7}{60^2} = \frac{51,9246}{3600} = 0,0144 \sim 0,014$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Regangan Lentur dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin memiliki regangan bending sebesar 0.007. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki regangan bending 0.013, sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya regangan bending 0.014. Hasil ini dilihat berbeda dengan tegangan yang specimen B dan C akan meningkat.

3.4 Modulus Elastisitas

- Spesimen A

Dimana: $m = \frac{46,38}{0,618} = 75,04$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$E_{LA} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 75,04}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{16208640}{20580} = 787,59 \text{ MPa}$$

- Spesimen B

Dimana: $m = \frac{116,14}{1,1765} = 98,71$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

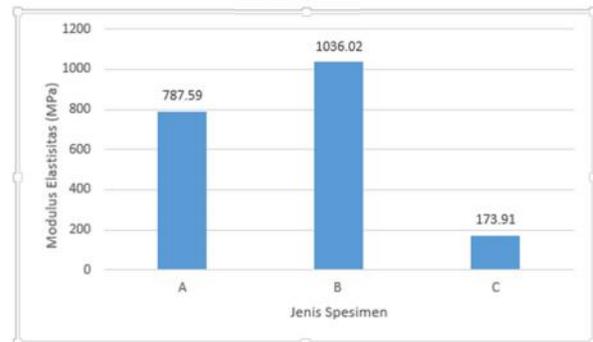
$$E_{LB} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 98,71}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{21321360}{20580} = 1036,02 \text{ MPa}$$

- Spesimen C

Dimana: $m = \frac{20,49}{1,2363} = 16,57$ MPa

L (panjang span) = 6 cm ~ 60 mm

$$E_{LC} = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} = \frac{60^3 \times 16,57}{4 \times 15 \times 7^3} = \frac{3579120}{20580} = 173,91 \text{ MPa}$$



Gambar 6. Grafik Hubungan Modulus Lentur, dengan Jenis Spesimen

Diketahui bahwa jenis komposit A adalah komposit campuran dari 0% grafit dan 20% kerak lilin. memiliki modulus elastisitas sebesar 787.59 MPa. Jenis komposit B campuran 5% grafit dan 15% kerak lilin memiliki modulus elastisitas sebesar 1036.02 MPa, sedangkan C adalah campuran 10% grafit dan 10% kerak lilin mempunya modulus elastisitas 173.91 MPa. Hasil ini dilihat bahwa dari komposit A ke B mengalami kenaikan, tetapi pada kondisi C mengalami penurunan yang sangat drastis.

4. Kesimpulan

Nilai tegangan bending tertinggi terjadi pada specimen B dimana spesimen tersebut gabungan dan campuran dari fraksi volume grafit sebesar 5% dan kerak lilin 15% yaitu sebesar 14,22 MPa dan terendah pada spesimen C yang fraksi volume grafitnya 10% dan paraffin 10% sebesar 2,50%. Tegangan bending

mengalami peningkatan dari spesimen A ke spesimen B, dan mengalami penurunan dari spesimen B ke spesimen C. Semakin kuat nilai tegangan bending pada suatu komposit PCM semakin baik juga ketahanan getas tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Almajalih M., Lafdi K., & Prodhome P. H., 2013, *Effect of infiltrated PCM/foam, Energy Conversion and Management*, vol. 66, pp. 336–342.
- [2] Karaipeklik A., & Sari A., 2009, *Capric-Myristic Vermiculite Composite As Form-Stable Phase Change Material For Thermal Energy Storage*. *Solar Energy*, vol. 83, No.3, pp. 323–332.
- [3] Naazir H., Batol M., Bolivar Osorio F. J., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Kannan A. M., 2019, *Recent Developments In Phase Change Materials For Energy Storage Applications*, A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 129, pp. 491–523.
- [4] Ramakrishan S., Sanjayan J., Wang X., Alam M., & Wilson J., 2015, *A Novel Paraffin/Expanded Perlite Composite Phase Change Material For Prevention Of PCM Leakage In Cementitious Composites*, *Applied Energy*, vol. 157, pp. 8594.
- [5] Thaib R., Fauzi H., Ong H. C., Rizal, S., Mahlia T. M. I., & Riza M., 2018, *Thermal Characteristic Investigation Of Eutectic Composite Fatty Acid As Heat Storage Material For Solar Heating And Cooling Application*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 334.
- [6] Umar M. M., Zhang Y., Iqbal K., Zhang S., & Tang B., 2019, *Novel Strategies And Supporting Materials Applied To Shape-Stabilize Organic Phase Change Materials For Thermal Energy Storage—A review*, *Applied Energy*, vol. 235.

	<p>Gerhard Andreas, Sepanjang menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2020. Ia menyelesaikan studinya dengan topik penelitian Analisa Pengaruh Variasi Fraksi volume Grafit Terhadap Kekuatan lentur Dan Konduktivitas Termal Komposit PCM Dengan Bahan Serat Sabut Kelapa Dan Kerak Lilin</p>
<p>Bidang-bidang penelitian yang diminati adalah topik – topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energy</i>, dan manufaktur.</p>	