

MANUFAKTUR DAN KARAKTERISTIK TERMAL KOMPOSIT HIBRIDA BERPENGUAT TULANG SAPI DAN SERAT *E-GLASS*

Rahmat Maulana¹, Indra Mawardi^{2*}, Edi Saputra²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Medan – Banda Aceh Km. 280 Buketrata

*Penulis Koresponden: indratm@pnl.ac.id

Abstrak

Seiring meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya keberlanjutan lingkungan, pemanfaatan limbah menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian material. Limbah tulang sangat melimpah di Indonesia, khususnya tulang hewan. Limbah tulang hewan seringkali dianggap sebagai limbah yang tidak memiliki nilai ekonomis dan hanya di buang. Karena dibuang, limbah tulang hewan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Namun, seiring meningkatnya kesadaran terhadap keberlanjutan dan pemanfaatan sumber daya alam, potensi pemanfaatan limbah ini mulai mendapatkan perhatian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik (kekerasan dan konduktivitas termal) komposit campuran resin *epoxy* dan tulang sapi. Penelitian ini dibuat dengan metode eksperimental dengan memvariasi partikel serbuk tulang hewan yaitu 5%, 10% dan 15%. Setelah dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui karakterisasi dari setiap variasi yang telah ditetapkan, maka didapatkan bahwa nilai hasil kekerasan tertinggi pada komposit hibrida partikel tulang sapi didapatkan pada fraksi *volume* 15% yaitu sebesar 64,94 HD. Sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada fraksi *volume* 5% dengan nilai 63,63 HD. Semakin meningkatnya *volume* partikel tulang sapi yang digunakan maka diikuti dengan menurunnya nilai konduktivitas termal. Nilai konduktivitas termal paling rendah dalam penelitian ini didapatkan dari fraksi *volume* partikel tulang sapi 15% dengan nilai rata-rata 0,1309 k(W/mC), dan nilai konduktivitas tertinggi didapat pada komposit hibrida partikel tulang sapi dengan fraksi *volume* 5% dengan nilai rata-rata 0,0785 k(W/mC).

Keywords: Tulang sapi, *Epoxy*, Kekerasan, Konduktivitas termal.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Seiring meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya keberlanjutan lingkungan, pemanfaatan limbah menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian material. Limbah tulang sangat melimpah di Indonesia, khususnya tulang hewan. Limbah tulang hewan seringkali dianggap sebagai limbah yang tidak memiliki nilai ekonomis dan hanya di buang. Karena dibuang, limbah tulang hewan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Namun, seiring meningkatnya kesadaran terhadap keberlanjutan dan pemanfaatan sumber daya alam, potensi pemanfaatan limbah ini mulai mendapatkan perhatian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik (kekerasan dan konduktivitas termal) komposit campuran resin *epoxy* dan tulang sapi. Penelitian ini dibuat dengan metode eksperimental dengan memvariasi partikel serbuk tulang hewan yaitu 5%, 10% dan 15%.

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti pemanfaatan limbah tulang hewan sebagai *filler*. Komposit dengan matriks campuran juga telah diteliti sebelumnya oleh [6], di sini limbah tulang kambing dan tulang sapi di olah menjadi produk arang aktif

menggunakan proses kimia dan fisika. Ada juga yang membuat kanvas rem berpenguat serbuk tulang sapi [7], di sini peneliti meneliti karakteristik kanvas rem dari komposit serbuk arang tempurung kelapa dan serbuk tulang sapi. Analisis kapasitas tarik belah beton dengan menggunakan agregat tulang sapi [8], penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tarik belah beton dengan bahan tambah tulang sapi sebagai pengganti *agregat* kasar dengan variasi tulang sapi sebesar 0%, 10%, 20 % dan 30 % dari volume *agregat* kasar beton tersebut. [9], menyajikan analisis sifat mekanik dan karakteristik fisik campuran hidrosiapatit dari tulang sapi dan silika dengan pengikat resin sebagai kandidat implant tulang.

Keunikan komposit tulang sapi tidak hanya terletak pada strukturnya, namun juga pada sifat mekaniknya. Pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian tentang manufaktur dan karakteristik termal tulang sapi. Manufaktur merupakan proses mengubah bahan baku menjadi produk-produk fisik melalui serangkaian proses kegiatan yang membutuhkan energi yang masing-masing menciptakan perubahan pada karakteristik fisik atau kimia dari bahan tersebut [10]. Dalam topik

penulisan skripsi ini penulis akan menguji kekuatan harness test, uji ketahanan bakar dan pengujian konduktivitas termal. Pengujian termal dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat termal, dimana sifat-sifat ini dibutuhkan untuk pembuatan material isolator kap mesin mobil.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Pembuatan *softboard* membutuhkan tulang sapi dan serat *e-glass* sebagai filer dari komposit. Tulang sapi didapat di pasar dan serat *e-glass* didapat di took bangunan. Resin *epoxy* yang digunakan sebagai matriks didapatkan dari toko online. Semua bahan didapatkan di sekitaran Kota Lhokseumawe.

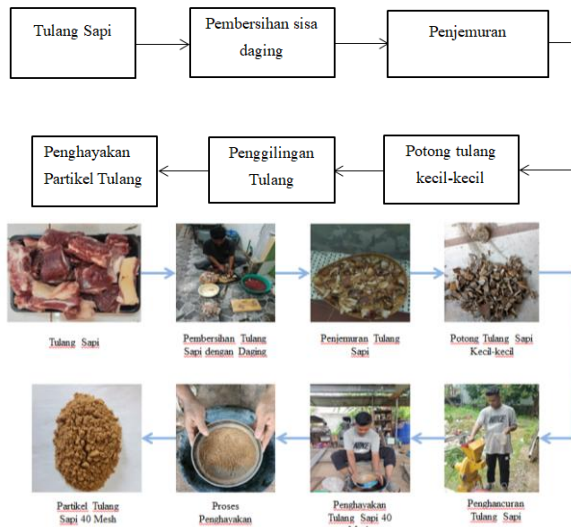
2.2. Pembuatan Spesimen

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dengan variasi yang telah ditetapkan seperti tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Kode	Partikel Tulang Sapi	Resin Epoxy
TS	5%	95%
TS	10%	90%
TS	15%	85%

Pertama-tama adalah penyiapan filer yaitu tulang sapi dan serat *e-glass*. Pengolahan dari ampas tebu seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Penyiapan Tulang Sapi menjadi partikel tulang sapi 40 mesh

Proses berikutnya adalah pembuatan spesimen yang di proses pembuatan komposit diawali dengan cetakan yang telah dibuat sebelumnya di oleskan dengan *mirror glass* untuk mempermudah pelepasan spesimen komposit setelah dicetak. Kemudian langkah selanjutnya dilakukan penuangan resin kedalam wadah sesuai dengan data perhitungan fraksi berat. Kemudian masukkan partikel tulang sapi yang sudah di hancurkan menggunakan mesin penghancur tulang. Kemudian langkah selanjutnya aduk dengan rata partikel tulang sapi dengan resin *epoxy* A, setelah

diaduk menggunakan blender dengan rata, kemudian masukkan resin *epoxy* B hardener sebagai pengerasnya. Setelah campuran resin dan partikel tulang sapi dirasa sudah dicampur dengan baik, maka campuran akan dituangkan kedalam cetakan untuk lapisan pertama, setelah itu letakkan serat *e-glass*, selanjutnya tuangkan lagi campuran tersebut di lapisan terakhir, jadi serat *e-glass* nya diletakkan di tengah-tengah cetakan spesimen. Setelah proses pencetakan selesai, komposit akan dibiarkan pada suhu kamar untuk proses pengerasannya.

Setelah 1x24 jam material komposit yang sudah dicetak dapat dikeluarkan dari cetakan untuk kemudian dilakukan proses permukaan dengan menggunakan bantuan gerinda. Berikut proses pembuatan spesimen dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Proses pembuatan spesimen

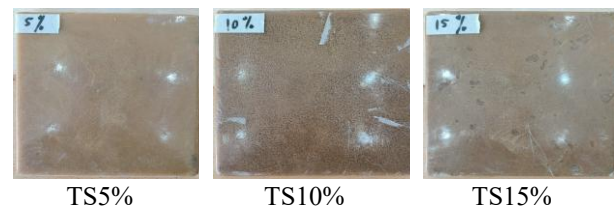
2.3. Pengujian Spesimen

Setelah spesimen kering dengan sempurna maka akan dilakukan 2 pengujian untuk mengetahui sifat kekerasan dan konduktivitas termal dari spesimen. Untuk menguji sifat mekanik maka digunakan pengujian durometer untuk mengetahui nilai kekerasan dari komposit partikel tulang sapi. Untuk pengujian kekerasan dari setiap variasi dicetak mengacu pada standar ASTM D 2240-02. Di butuhkan 3 spesimen untuk dilakukan pengujian lentur. Dimensi spesimen adalah 20 cm x 20 cm x 1,2 cm. Dan pengujian konduktivitas termal mengacu pada standar ASTM C177 untuk mengetahui nilai konduktivitas termal suatu material.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Spesimen

Hasil spesimen yang sudah dicetak dan dikeringkan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Kekerasan dan Konduktivitas Termal

3.2 Fraksi Volume Benda Uji

Adapun fraksi *volume* benda uji yang telah ditentukan untuk mengetahui sifat mekanik pada spesimen uji kekerasan dan konduktivitas termal, sehingga fraaksi *volume* tersebut dapat ditentukan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah ditentukan berdasarkan studi literatur tersebut. Berikut adalah hasil perhitungan fraksi *volume* yang telah digunakan dalam pembuatan spesimen uji tersebut. Tabel 2 dibawah ini merupakan fraksi *volume* dari spesimen komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*.

Tabel 2. Fraksi Volume Uji Kekerasan dan Uji Konduktivitas Termal

Spesimen	TS	Epoxy
TS 5%	46,8 gram	501,6 gram
TS 10%	93,6 gram	475,2 gram
TS 15%	140,4 gram	448,8 gram

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat berat bahan komposit yang dibutuhkan pada setiap spesimen uji kekerasan dan konduktivitas termal. Data yang diperoleh berat partikel tulang sapi dan berat resin *epoxy* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2).

Persamaan (3.1) merupakan perhitngan berat partikel tulang sapi dengan densitas tulang sapi 1,95 g/cm³.

$$\begin{aligned}
 \text{Fraksi } 5\% & \\
 &= V \times \text{variasi} \\
 &= 480 \text{ cm}^3 \times 5\% = 24 \\
 &= V \times \rho \text{ (tulang sapi)} \\
 &= 24 \times 1,95 \text{ g/cm}^3 \\
 (4.1) & \\
 &= 46,8 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Keterangan V = Volume Cetakan
 ρ = Densitas

Persamaan (3.2) merupakan perhitungan berat resin *epoxy* dengan densitas 1,19 g/cm³

$$\begin{aligned}
 \text{Fraksi } 95\% & \\
 &= V \times \text{variasi} \\
 &= 480 \text{ cm}^3 \times 95\% = 456 \\
 &= V \times \rho \text{ (resin epoxy)} \\
 &= 456 \times 1,19 \text{ g/cm}^3 \\
 (4.2) & \\
 &= 542,64 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Keterangan V = Volume Cetakan
 ρ = Densitas

3.1. Hasil Uji Kekerasan

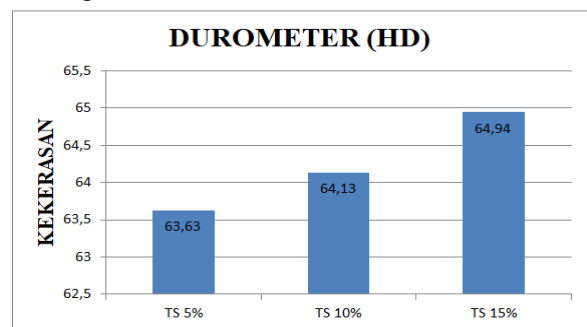
Setelah melakukan uji kekerasan pada material isolator komposit diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2, data yang diperoleh ditampilkan dalam tabel dan grafik. Hasil dari

pengujian kekerasan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi	Titik	Kekerasan (HD)	Rata-rata Kekerasan	Standar Deviasi
5%	1	64,5	63,63	4,30
	2	63,5		
	3	58,4		
	4	71,3		
	5	61,6		
	6	62,5		
10%	1	65,3	64,13	1,57
	2	63,2		
	3	64,6		
	4	62,4		
	5	60,5		
	6	65,6		
15%	1	67,2	64,94	1,98
	2	63,4		
	3	60,5		
	4	62,5		
	5	66,4		
	6	65,2		

Dari data hasil pengujian kekerasan pada Tabel 3 maka dapat disajikan data hasil pengujian pada penelitian ini dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam pembahasan hasil pengujian. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian kekerasan yang dialami setiap rata-rata spesimen uji kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kekerasan

Dan pada hasil nilai rata-rata resin *epoxy* dan tulang sapi menunjukkan bahwa nilai kekerasan tulang sapi lebih tinggi diandingkan nilai kekerasan resin *epoxy*. Dari kedua gambar grafik diatas dapat disimpulkan bahwa komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada variasi 15% dengan nilai kekerasannya dengan nilai 64,94 HD dan variasi terendah yaitu 5% dengan nilai 63,63 HD. Maka dari penjelasan diatas dengan pencampuran partikel tulang

sapi memiliki nilai kekerasan yang bagus dibandingkan campuran partikel tulang sapi yang lebih sedikit.

3.2. Konduktivitas Termal

Setelah melakukan uji konduktivitas termal pada spesimen komposit tulang sapi diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5 berikut.

Tabel 4. Pengukuran Setelah Holding 30 Menit

Spesimen	Tebal (m)	hc	t _{in} Dinding Dalam	t _{out} Dinding Luar	T _{in} Udara Dalam	T _{out} Udara Luar	q/A (W/m ²)	k (W/mC)
TS 5%	0,0116	8,1	69,8	55,7	68,7	36,7	153,900	0,1266128
TS 10%	0,013	8,1	74,1	56,2	70,2	35,3	169,290	0,122948
TS 15%	0,0123	8,1	67,5	49,3	67,5	34,9	116,640	0,0788281

Tabel 5. Pengukuran Setelah Holding 60 Menit

Spesimen	Tebal (m)	hc	t _{in} Dinding Dalam	t _{out} Dinding Luar	T _{in} Udara Dalam	T _{out} Udara Luar	q/A (W/m ²)	k (W/mC)
TS 5%	0,0116	8,1	69,9	56,5	69,1	37,2	156,330	0,1353304
TS 10%	0,013	8,1	76,6	58,2	70,9	35,4	184,680	0,1304804
TS 15%	0,0123	8,1	71,3	50,8	72,3	34,7	130,410	0,078246

Dari data yang diperoleh saat pengujian dapat dihitung nilai konduktivitas termal pada spesimen dengan menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4), dengan penjelasan seperti yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Untuk langkah awal harus diketahui nilai laju perpindahan panas ($q_{conv}'' = q/A$) untuk tiap-tiap spesimen menggunakan persamaan (3.3).

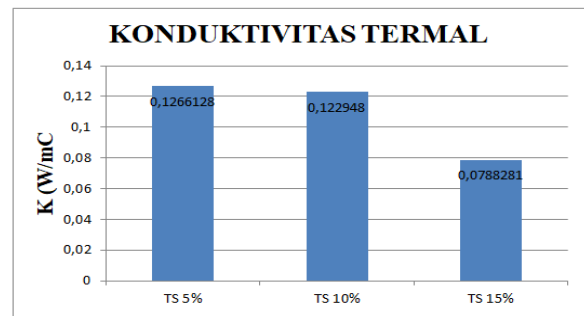
$$q_{conv}'' = hc (t_{out} - T_{out}) = hc (T_4 - T_3) \quad 8.1 \quad (55,7 - 36,7) = 153,900 \text{ W/m}^2 \quad (4.3)$$

Perhitungan diatas dilakukan untuk semua data yang ada pada Tabel 6 dan Tabel 7.

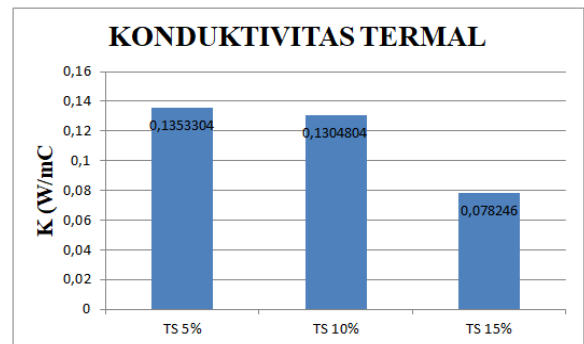
Selanjutnya menghitung nilai konduktivitas termal k (W/mC) dari masing-masing spesimen menggunakan persamaan (3.4).

$$K = \frac{q/A}{\frac{t_{in} - t_{out}}{Tebal (m)}} = K \frac{153,900}{\frac{69,8 - 55,7}{0,0116}} = 0,1266 \text{ W/mC} \quad (3.4)$$

Setelah menghitung seluruh data menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4), maka akan didapat nilai konduktivitas termal. Dari data hasil pengujian konduktivitas termal pada tabel diatas maka dapat disajikan data hasil pengujian pada penelitian ini dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam pembahasan hasil pengujian konduktivitas termal yang dialami setiap rata-rata spesimen uji konduktivitas termal yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Nilai Konduktivitas Termal Setelah 30 Menit



Gambar 6. Nilai Konduktivitas Termal Setelah 60 Menit

3.3. Hasil Pengujian Densitas

Berdasarkan hasil pengujian densitas yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan bahan komposit yang telah dibuat. Pengukuran densitas menggunakan metode manual (membagi nilai pengukuran massa dengan hasil pengukuran volume menggunakan dimensi). Adapun fraksi volume komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat e-glass dengan menggunakan matriks epoxy dan serat e-glass 5%, 10% dan 15%.

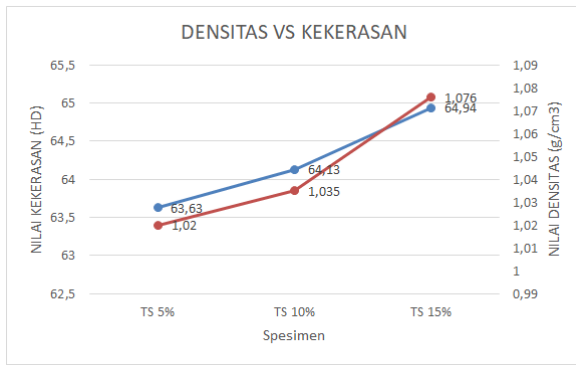
1. Densitas vs Kekerasan

Berikut data perbandingan pengujian spesimen komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat e-glass terhadap nilai kekerasan dengan nilai densitas komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat e-glass dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 6. Data Densitas terhadap Nilai Kekerasan komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat e-glass

Spesimen	Nilai Kekerasan (HD)	Densitas (g/cm ³)
TS 5%	63,63	1,02
TS 10%	64,13	1,035
TS 15%	64,94	1,076

Dari nilai tabel 3.5, maka dapat dibuat dalam sebuah grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan nilai kekerasan terhadap nilai densitas, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan nilai kekerasan terhadap densitas pada komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*

Dari Gambar 7 dapat dikatakan bahwa besarnya nilai densitas relatif naik pada setiap nilai kekerasan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai kekerasan, maka nilai densitas semakin berat, hal ini disebabkan pori-pori yang belum sepenuhnya hilang sehingga porositas relatif makin besar.

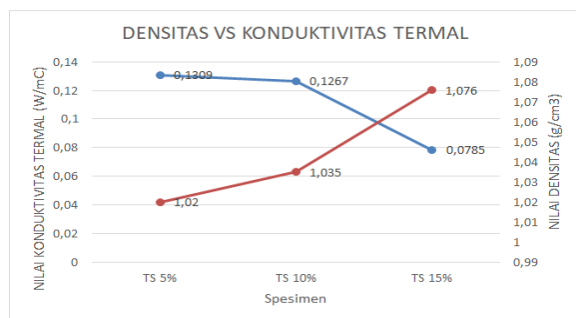
2. Densitas vs Konduktivitas Termal

Berikut data perbandingan pengujian spesimen komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* terhadap nilai konduktivitas termal dengan nilai densitas komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data densitas terhadap nilai konduktivitas termal komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*

Spesimen	Nilai Konduktivitas Termal k (W/mC)	Densitas (g/cm ³)
TS 5%	0,1309	1,02
TS 10%	0,1267	1,035
TS 15%	0,0785	1,076

Dari nilai tabel 7, maka dapat dibuat dalam sebuah grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan nilai konduktivitas termal terhadap nilai densitas, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan nilai konduktivitas termal terhadap densitas pada komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*

Dari gambar 4.7 dapat dikatakan bahwa besarnya nilai densitas relatif turun pada setiap nilai konduktivitas termal. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai konduktivitas termal, maka nilai densitas semakin berat, hal ini disebabkan pori-pori yang belum sepenuhnya hilang sehingga porositas relatif makin besar.

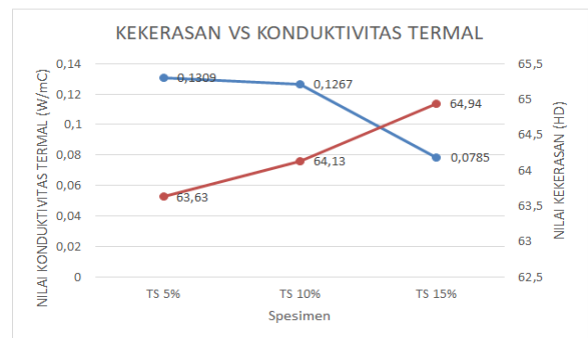
3. Kekerasan vs Konduktivitas Termal

Berikut data perbandingan pengujian spesimen komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* terhadap nilai konduktivitas termal dengan nilai kekerasan komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 8. Data kekerasan terhadap nilai konduktivitas termal komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*

Spesimen	Nilai Konduktivitas Termal k (W/mC)	Kekerasan (HD)
TS 5%	0,1309	63,63
TS 10%	0,1267	64,13
TS 15%	0,0785	64,94

Dari nilai tabel 8, maka dapat dibuat dalam sebuah grafik untuk mengetahui lebih jelas hubungan nilai kekerasan terhadap nilai konduktivitas termal, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan nilai kekerasan terhadap konduktivitas termal pada komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass*

4. Kesimpulan

Pembuatan komposit dengan penguat partikel tulang sapi dan serat *e-glass* berhasil dilakukan. Komposit yang dibuat memiliki beberapa variasi fraksi *volume* partikel tulang sapi yaitu 5%, 10% dan 15%.

Pada pengujian kekerasan variasi 5%, 10% dan 15%, menghasilkan nilai kekerasan 63,63 HD pada

spesimen pertama variasi 5%, 64,13 HD pada spesimen kedua variasi 10% dan pada spesimen ketiga variasi 15% menghasilkan nilai 64,94 HD. Pada spesimen ketiga merupakan variasi 15% campuran tulang sapi dan memiliki nilai 64,94 HD, nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan variasi 5% dan 10%. Dapat dikatakan apabila campuran partikel tulang sapi lebih banyak, maka memiliki nilai kekerasan yang bagus.

Dari hasil pengujian konduktivitas termal komposit hibrida berpenguat tulang sapi dan serat *e-glass* dengan variasi 5%, 10% dan 15%, menghasilkan nilai konduktivitas termal dengan *holding time* 30 menit 0,1266 k(W/mC) untuk spesimen pertama variasi 5%, 0,1229 k(W/mC) untuk spesimen kedua variasi 10% dan 0,0788 k(W/mC) untuk spesimen ketiga variasi 15%. Pada pengujian dengan *holding time* 60 menit menghasilkan nilai konduktivitas termal 0,1353 k(W/mC) untuk spesimen pertama dengan variasi 5%, 0,1304 k(W/mC) untuk spesimen kedua dengan variasi 10% dan spesimen ketiga variasi 15% menghasilkan nilai 0,0782 k(W/mC). Dari hasil nilai konduktivitas termal diatas dapat disimpulkan pada variasi 15% dengan nilai rata-rata 0,0785 k(W/mC) adalah campuran yang bagus, dan dapat digunakan untuk isolator termal dengan menggunakan komposit partikel tulang sapi.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. K. R. Pawestri, W. Hasanah, and A. Murphy, "Studi Karakteristik Komposit Sabut Kelapa dan Serat Daun Nanas sebagai Peredam Bunyi," *J. Teknol. Bahan Alam*, vol. 2, no. 2, pp. 112–117, 2018.
- [2] M. F. Sidiq and R. Miftah, "Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Tulang Pada Pembuatan Komposit," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, p. 391, 2016, doi: 10.24176/simet.v7i1.530.
- [3] L. Analisis, K. Serbuk, S. Risqi, A. Rani, and A. Putri, "JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya Potensi Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan Sunu (*Plectropomus*)," vol. 11, pp. 159–167, 2024, doi: 10.24252/jft.v11i2.52274.
- [4] M. F. Lubis, W. Hadinata, and G. Syahputra, "Analisis Perkembangan Populasi Dan Produktivitas Ternak Sapi Di Indonesia," no. 1, 2025.
- [5] A. Heatubun and M. J. Matatula, "Manajemen Produksi Daging Sapi Di Indonesia Dan Skenario Peningkatan: Sebuah Analisis Dampak Untuk Pengambilan Kebijakan," *Agrinimal J. Ilmu Ternak dan Tanam.*, vol. 11, no. 2, pp. 92–100, 2023, doi: 10.30598/ajitt.2023.11.2.92-100.
- [6] S. Wardani, E. Rosa, and R. Mirdayanti, "Pengolahan Limbah Tulang Kambing Sebagai Produk Arang Aktif Menggunakan Proses Aktivasi Kimia dan Fisika," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 18, no. 1, pp. 67–72, 2020, doi: 10.14710/jil.18.1.67-72.
- [7] A. Novianto, R. Ismail, and B. A. Saputra, "Karakteristik Kampas Rem Dari Komposit Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Serbuk Tulang Sapi," *J. Rotasi*, vol. 25, no. 3, pp. 52–58, 2023.
- [8] A. Mukhlis, "Analisis Kapasitas Tarik Belah Beton Dengan Menggunakan Agregat Tulang Sapi," *J. Ilm. Tek. Unida*, vol. 2, no. 1, pp. 33–42, 2021.
- [9] P. Sustainability *et al.*, "J urnal P engabdian M asyarakat Teknik," vol. 5, no. 1, pp. 27–30, 2022.
- [10] H. L. Indra Mawardi, *Proses Manufaktur Plastik & Komposit*. Penerbit ANDI, 2018.