



## Pengaruh Penambahan Cangkang Kemiri Terhadap Karakteristik Komposit Poliuretan

### *The Effect of Addition of Candlenut Shells to the Characteristics of Polyurethane Composites*

Silvia\*, Rochmi Widjajanti, Ida Nur Apriani

Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta

Jl. Letjen Suprpto No. 26, Jakarta, Indonesia 10510

\*Corresponding Author: [silvia@stmi.ac.id](mailto:silvia@stmi.ac.id)

Received: 23<sup>rd</sup> January 2023; Revised: 4<sup>th</sup> July 2023; Accepted: 24<sup>th</sup> July 2023

#### ABSTRAK

Pembuatan komposit berguna untuk meningkatkan daya tahan suatu material. Pada penelitian ini dilakukan 5 variasi pada serbuk cangkang kemiri yakni: 18, 22, 26, 30, 34 gram. Tujuan penelitian mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang kemiri terhadap komposit poliuretan. Karakterisasi material yang dilakukan diantaranya pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Universal Testing Machine* (UTM), dan pengujian sifat termal dengan menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Penambahan cangkang kemiri berpengaruh pada karakteristik komposit. Komposit yang dihasilkan terlihat seragam bentuk permukaannya. Komposit memiliki gugus fungsi yang sama dengan poliuretan murni, gugus fungsi N-H, C-H alkana dan C=O. Hasil pengujian kekuatan tarik diperoleh PU-26 memiliki kekuatan tarik terbaik sebesar 10.531 MPa. Berdasarkan hasil pengujian stabilitas termal PU-30 memiliki temperatur leleh tertinggi sebesar 276.4°C dengan entalpi/ $\Delta H$  sebesar 8.058 (J/g).

**Kata kunci:** Komposit, Poliuretan, Cangkang Kemiri, Kekuatan Tarik, Stabilitas Termal

#### ABSTRACT

Composite was made to increase the durability of the material. In this study, 5 variations were carried out on candlenut shell powder, 18, 22, 26, 30, 34 grams. The study aims to know the effect of adding candlenut shell powder in polyurethane composite. The material characterization carried out using *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Universal Testing Machine* (UTM), and thermal properties testing using *Thermogravimetric Analysis* (TGA) and *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). The addition of candlenut shells affects the characteristics of the polyurethane composite. Composite looks uniform on the surface and it has the same functional groups as pure polyurethane like N-H, C-H alkanes and C=O. For tensile strength test, it was found that PU-26 had the best tensile strength of 10,531 MPa. Based on the DSC test results, it was found that PU-30 had the highest melting temperature of 276.4°C with an enthalpy/ $\Delta H$  of 8.058 (J/g).

**Keywords:** Composite, Polyurethane, Candlenut Shell, Tensile Strength, Thermal Stability

Copyright © 2023 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Bani, G. (2023). Silvia, S., Widjajanti, R., & Apriani, I. (2023). Pengaruh Penambahan Cangkang Kemiri Terhadap Karakteristik Komposit Poliuretan. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 7(2), 64-71.

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v7i2.28257



## PENDAHULUAN

Dewasa ini, perkembangan material selalu terus berkembang. Pengembangan ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan material tertentu (Warman dkk, 2019; Zamri dkk., 2019; Silvia dkk., 2022). Kebutuhan tersebut diantaranya: material yang kuat akan tekanan, memiliki ketahanan panas yang baik, tahan terhadap gesekan, tahan terhadap air dan sebagainya. Kebutuhan material ini banyak dibutuhkan di berbagai sektor industri, salah satunya industri otomotif. Pembuatan komposit merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan dalam meningkatkan daya tahan material. Komposit merupakan material yang terdiri dari fasa matriks serta bahan penguat (*reinforcement*). Menurut Akovali (2001) fasa matriks berfungsi sebagai fasa kontinu yang bertujuan untuk memberikan distribusi terhadap beban yang seragam. Biasanya dalam fasa matriks ini terdapat bahan penguat untuk menambah kekuatan dari material komposit.

Pada penelitian ini digunakan jenis polimer termoseting yakni: poliuretan. Poliuretan dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang baik, nilai kekuatan tarik hingga 18 MPa dan tensile modulus hingga 0,8-1,1 GPa dan tidak meleleh ketika dipanaskan (Zamri dkk., 2019). Dalam penelitian yang dilakukan Warman dkk (2019) yang melakukan penelitian terkait kampas rem teromol sepeda motor dari komposit dengan komposisi 30% poliuretan sebagai matriks dan 70% campuran cangkang buah dan serat kelapa sawit dengan penambahan 10% serbuk aluminium diperoleh hasil yang optimum, dari hasil penelitiannya diperoleh nilai kekuatan lentur 16,753 MPa, nilai kekerasan 69,3333 HRB dan stabilitas termal yang baik pada kenaikan temperatur 335°C hingga 395°C. Jenis polimer termoseting lainnya yang digunakan oleh para peneliti diantaranya: resin 208 B, poliester dan epoksi (Aminur dkk, 2015; Dwiyantri dkk, 2017; Yovial dkk, 2007 ; Rahmatul dkk, 2015)

Penggunaan filler dalam pembuatan material komposit merupakan hal yang

menentukan produk akhir material komposit yang dihasilkan. Cangkang kemiri dapat digunakan sebagai filler (bahan pengisi) yang berguna untuk menambah volume dan menambah kekuatan dari material komposit (Silvia dkk, 2022; Yovial dkk, 2007). Seperti yang kita ketahui masyarakat pada umumnya hanya menggunakan biji kemiri yang digunakan sebagai tambahan bumbu masak. Sehingga pemanfaatan limbah cangkang kemiri ini dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah tersebut. Cangkang kemiri memiliki komposisi kimia yang cukup baik sebagai bahan pengisi pada material komposit, komposisi kimia tersebut terdiri dari CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, H<sub>2</sub>O dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Nugraha, 2007). Yovial dkk (2007) melakukan penelitian dengan menambahkan cangkang kemiri dengan resin epoksi, pada penelitiannya diperoleh penambahan 30% berat cangkang kemiri menghasilkan tegangan tarik yang optimum dengan kekuatan tarik sebesar 43,68 N/mm<sup>2</sup>, kekerasan 98,57 SHN dan kekuatan impak sebesar 0,074 x 10<sup>6</sup> J/mm<sup>2</sup>. Selain penambahan cangkang kemiri, penambahan serat alam juga dapat menambah kekuatan material komposit. Saat ini pemanfaatan serat alam dinilai dapat menyaingi serat sintesis. Beberapa serat alam yang digunakan sebagai filler diantaranya: serat daun nanas, serat kulit buah pinang, serbuk kayu dan serat buah kelapa sawit (Daulay & Wirathama, 2014; Aminur dkk, 2015; Dwiyantri dkk, 2017; Warman dkk, 2019). Umumnya untuk menambah ketahanan panas dari suatu material maka diperlukan penambahan bahan yang baik dalam penyerapan panas. Dengan penambahan logam sebesar 10% sampai dengan 20% maka kekerasan material meningkat dan porositasnya meningkat (ISO 15484, 2008). Ketahanan panas yang baik ini dapat mendukung material sebagai bahan penyusun kampas rem.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi pada serbuk cangkang kemiri. Tujuannya untuk dapat mengetahui pengaruh cangkang kemiri terhadap karakteristik komposit poliuretan. Karakterisasi material yang dilakukan adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk struktur mikro material, analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared*



(FTIR), *Universal Testing Machine* (UTM), untuk kekuatan tarik dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA), *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk sifat termal.

## BAHAN DAN METODE

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cetakan, manual forming, neraca analitik AND GR-200, *Universal Testing Machine* (UTM) Ibertest 5 kN, *pneumatic specimen punch*, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Hitachi SU3500, *Thermogravimetric Analysis* (TGA) TA Instrument, *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) 214 Polyma, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Thermoscientific. Bahan yang digunakan adalah *polyisocyanate*, *polyol* dari Justus Kimiaraya, serbuk cangkang kemiri dari daerah Jawa Timur berukuran 100 mesh, serat nanas dari daerah Jawa Timur berukuran 1-2 mm dan serbuk aluminium Pudak Scientific.

### Persiapan Campuran Komposit

Untuk proses pencetakan komposit terdapat 2 hal yang harus dipersiapkan yakni: bahan pengikat (*matrix*) dan bahan penguat (*reinforcements*). Bahan penguat yang digunakan adalah cangkang kemiri, serat nanas dan serbuk aluminium. Bahan pengikat yang digunakan adalah poliuretan yang terdiri dari: *polyisocyanate* dan *polyol*. Variasi massa cangkang kemiri yang digunakan adalah 18 gram, 22 gram, 26 gram, 30 gram dan 34 gram. Untuk serat nanas yang digunakan sebesar 18 gram. Serbuk aluminium yang digunakan sebesar 4 gram. Untuk *polyisocyanate* dan *polyol* yang digunakan perbandingan 2:1.

### Proses Pencetakan Komposit

Bahan pengisi yang digunakan semuanya ditimbang lalu diaduk sampai homogen lalu ditambahkan *polyisocyanate*. Kemudian ditambahkan *polyol* lalu siap dicetak dan ditekan dengan *manual forming* dengan tekanan sebesar 3 ton yang ditahan 30

menit. Komposit yang sudah dicetak maka didinginkan 1 hari pada suhu ruang.

## Pengujian Komposit

Pengujian SEM dilakukan dengan sampel komposit dengan hasil terbaik (kode: PU 26). Lalu dilakukan pengujian menggunakan FTIR, sampel yang diuji adalah poliuretan murni (kode: PU 0) dan komposit dengan hasil terbaik (PU 26).

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menggunakan UTM. Bahan uji/sampel harus dicetak dengan menggunakan *pneumatic specimen punch* sehingga bentuk spesimen menjadi bentuk *dumbbell* atau *dogbone* sesuai dengan panjang dan lebar pada standar pengujian ASTM D638 Tipe IV. Kemudian spesimen siap dilakukan pengujian kekuatan tarik. Pengujian sifat termal dengan menggunakan TGA dan DSC. Pengujian TGA dilakukan hingga suhu 800°C sedangkan pengujian DSC dilakukan hingga suhu 500°C.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pencetakan Komposit

Dalam proses pencetakan komposit digunakan tekanan sebesar 3 ton. Tekanan ini diberikan agar komposit yang dihasilkan tersebar secara merata dan untuk memastikan agar udara tidak terperangkap pada komposit. Hasil cetak komposit dengan 5 variasi massa cangkang kemiri (18 gram, 22 gram, 26 gram, 30 gram dan 34 gram) dapat dilihat pada Gambar 1. Komposit yang dihasilkan lalu siap untuk dilakukan karakterisasi.



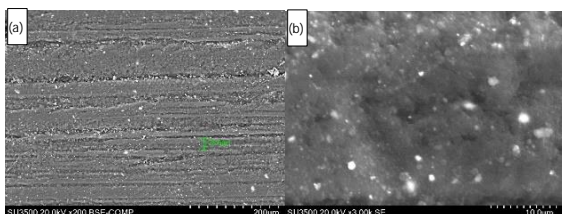
Gambar 1. Hasil Cetak Komposit dengan 5 Variasi

### Karakterisasi Komposit

Karakterisasi komposit yang pertama dilakukan adalah analisis struktur mikro dan gugus fungsi material. Sebelum dilakukan analisis maka dalam tahap preparasi sampel



dilakukan pelapisan dengan emas. Hal ini perlu dilakukan karena sampel yang dihasilkan adalah sampel dengan bahan dasar organik, pelapisan emas pada sampel dapat membantu dalam pengambilan gambar menggunakan alat SEM sehingga akan terlihat jelas gambar yang dihasilkan. Untuk dapat melihat struktur mikro material maka dilakukan perbesaran sampai dengan 3000 kali perbesaran. Gambar yang dihasilkan ada 2 (dua) Gambar diantaranya: 200 kali perbesaran, 3000 kali perbesaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil Uji SEM (a) perbesaran 200 kali (b) perbesaran 3000 kali

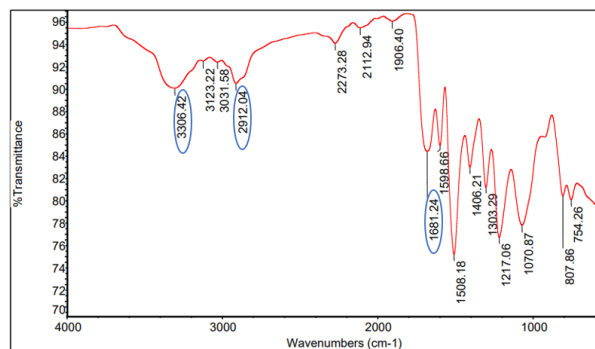
Berdasarkan hasil uji SEM dapat terlihat bahwa komposit sudah terbentuk. Komposit poliuretan terlihat seragam bentuk permukaannya yang menandakan komposit terbentuk dengan baik. Oleh karena itu diperlukan pengujian lanjutan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada material yang terbentuk. Untuk analisis gugus fungsi komposit maka dilakukan pengujian sampel PU 0 yakni poliuretan murni dan sampel PU 26 hasil terbaik komposit dari pengujian kekuatan tarik. Tabel 1 menunjukkan hasil uji FTIR poliuretan murni (PU 0) dan komposit poliuretan (PU 26).

**Tabel 1.** Hasil Uji FTIR Poliuretan Murni (PU 0) dan komposit poliuretan (PU 26)

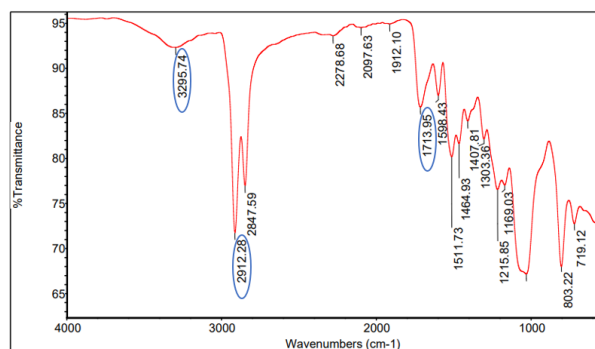
Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	
	Poliuretan Murni (PU 0)	Komposit Poliuretan (PU 26)
N - H	3306.42	3295.74
C - H (alkana)	2912.04	2912.28
C = O	1681.24	1713.95

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan terdapat puncak serapan pada daerah 3306,42

cm<sup>-1</sup> untuk poliuretan murni dan 3295,74 cm<sup>-1</sup> untuk komposit poliuretan yang mengindikasikan gugus N-H. Puncak serapan pada daerah 2912,04 cm<sup>-1</sup> untuk poliuretan murni dan 2912,28 cm<sup>-1</sup> untuk komposit poliuretan yang mengindikasikan gugus C-H (alkana). Puncak serapan pada daerah 1681,24 cm<sup>-1</sup> untuk poliuretan murni dan 1713,95 cm<sup>-1</sup> untuk komposit poliuretan yang mengindikasikan gugus C=O dari senyawa isosianat. Berdasarkan analisis dari reaktivitas gugus hidroksil, maka diperkirakan terbentuk ikatan hidrogen dengan gugus N-H yang terdapat pada rantai poliuretan (Gultom & Hernawaty, 2020). Gambar 3 menunjukkan gambar pengujian poliuretan murni atau PU-0 dan Gambar 4 menunjukkan gambar hasil pengujian komposit PU-26.



**Gambar 3.** Hasil Uji FTIR Poliuretan Murni (PU 0)



**Gambar 4.** Hasil Uji FTIR Komposit Poliuretan (PU 26)

Hasil spektrum FTIR dari poliuretan murni (PU 0) pada Gambar 3 menunjukkan terdapat gugus N-H stretching sebagai vibrasi pada 3100-3300 cm<sup>-1</sup> yang merupakan interaksi intermolekuler yang terjadi dalam uretan. Interaksi hidrogen dengan gugus C=O dari uretan dengan gugus N-H dari molekul uretan lainnya (Gultom & Hernawaty, 2020). Hasil spektrum FTIR dari komposit poliuretan (PU

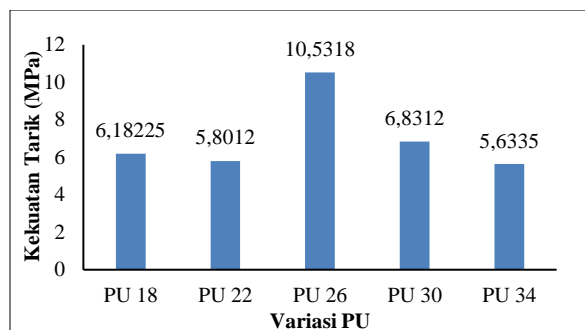




26) pada Gambar 4, tidak mengalami perubahan yang signifikan, ini menandakan penambahan cangkang kemiri masih dalam daerah serapan gugus fungsi pada poliuretan murni. Menurut Dachriyanus (2004) persen transmittan merupakan ukuran banyaknya frekuensi yang tidak diserap senyawa. Sehingga nilai persen transmittan yang tinggi menandakan bahwa sedikit frekuensi yang diserap oleh senyawa. Dari hasil pengujian FTIR pada sampel PU 26 pada bilangan gelombang 2912.04  $\text{cm}^{-1}$  diperoleh persen transmittan  $\pm 71.5\%$  yang menandakan bahwa gugus fungsi C-H (alkana) dalam PU 26 lebih banyak dibandingkan PU 0.

### Pengujian Kekuatan Tarik

Karakterisasi komposit yang dilakukan selanjutnya adalah pengujian kekuatan tarik. Berdasarkan Gambar 5 diperoleh hasil kekuatan tarik PU 18, PU 22, PU 26, PU 30, dan PU 34 berturut-turut sebesar 6.182 MPa, 5.801 MPa, 10.531 MPa, 6.831 MPa, dan 5.633 MPa.

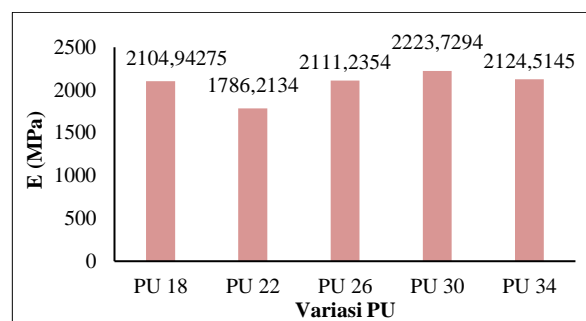


Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang kemiri meningkatkan kekuatan tarik komposit namun penambahan setelah titik optimum menurunkan nilai kekuatan tarik komposit. Komposit dengan kode PU 26 merupakan komposit dengan penambahan cangkang kemiri sebanyak 26 gram dan komposit ini menghasilkan kekuatan tarik tertinggi yakni 10.531 MPa. Bertambahnya cangkang kemiri seterusnya menyebabkan nilai kekuatan tarik makin mengalami penurunan. Bertambahnya bahan pengisi (*filler*) menyebabkan kekuatan tarik

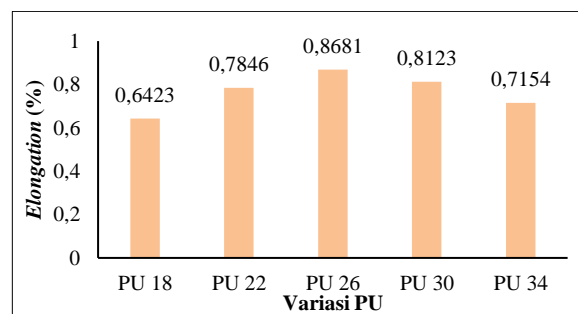
setelah titik optimum akan menurun. Menurut Sudirman dkk (2018) bertambahnya bahan pengisi akan mengurangi kekuatan tarik pada komposit karena bahan pengisi yang tidak mampu mendukung transfer tegangan yang merata pada matriks polimer.

Selain data kekuatan tarik, diperoleh juga nilai modulus elastisitas (E) komposit disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 diperoleh nilai E komposit PU 18, PU 22, PU 26, PU 30, dan PU 34 berturut-turut sebesar 2104.942 MPa, 1786.213 MPa, 2111.235 MPa, 2223.729 MPa, dan 2124.514 MPa.



Gambar 6. Grafik Modulus Elastisitas Komposit

Nilai E menunjukkan nilai kekakuan komposit. Gambar 6 menunjukkan bahwa komposit PU 30 memiliki nilai modulus elastisitas (E) tinggi dibandingkan variasi lain. Menurut Sudirman dkk (2018) saat pengujian kekuatan tarik maka akan terjadi pemusatan tegangan dengan bertambah panjangnya bahan uji sehingga distribusi partikel makin jarang dan saat dilanjutkan tarikan akan terjadi patahan maka daerah matriks yang mengalami deformasi plastis atau retak, akibatnya komposit bersifat getas dan mudah patah dengan bertambahnya *filler*.



Gambar 7. Grafik Regangan (*elongation at break*) Komposit

Gambar 7 menunjukkan grafik regangan komposit PU 18, PU 22, PU 26, PU 30, dan PU



34 berturut-turut sebesar 0.6423 %, 0.7846 %, 0.8681 %, 0.8123 %, dan 0.7154 %. Nilai regangan ini menunjukkan keuletan material komposit (Silvia dkk., 2022). Ini menunjukkan bahwa makin bertambahnya komposisi bahan penguat mengakibatkan nilai keuletan material makin besar, namun dengan bertambahnya serbuk cangkang kemiri sebesar 30 gram hingga 34 gram menyebabkan menurunnya nilai keuletan material. Hal ini dapat terjadi karena penambahan bahan pengisi diatas titik optimum dapat menurunkan keuletan material sehingga material lebih mudah mengalami deformasi.

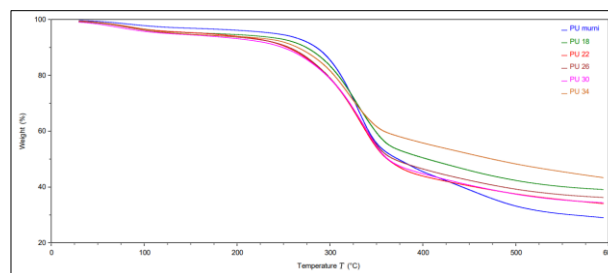
### Pengujian Sifat Termal

Karakterikasi komposit yang dilakukan selanjutnya adalah pengujian sifat termal menggunakan alat DSC.

**Tabel 2.** Temperatur Leleh dan Entalpi Komposit PU

Variasi	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH (J/g)
PU murni	251.90	-4.978
PU 18	255.80	2.808
PU 22	250.30	0.07818
PU 26	256.00	4.98
PU 30	276.40	8.058
PU 34	256.20	1.512

Tabel 2 menyajikan temperatur leleh komposit yang dibandingkan dengan PU murni. Ketahanan termal komposit PU 18, PU 22, PU 26, PU 30, dan PU 34 sesuai dengan standar kampas rem SAE J661 (2012) mengenai perubahan material kampas rem dengan laju temperatur sebesar 250°C. Apabila dibandingkan dengan PU murni maka secara keseluruhan nilai temperatur leleh komposit di atas temperatur leleh PU murni, kecuali PU 22 sebesar 250.3°C. Komposit PU 30 memiliki temperatur leleh tertinggi dibanding komposit lainnya yakni sebesar 276.4°C. Ini menandakan bahwa komposit PU 30 memiliki sifat termal yang paling baik.



**Gambar 8.** Hasil Pengujian TGA Komposit

Kemudian dilakukan pengujian terhadap PU murni, PU 18, PU 22, PU 26, PU 30, dan PU 34 menggunakan TGA dan hasil pengujian disajikan pada Gambar 8 dan Tabel 3. Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat dengan makin banyak bahan penguat dalam komposit maka berat residu akhir makin banyak. Hal ini disebabkan komposisi dari komposit itu sendiri, makin banyak serbuk cangkang kemiri yang digunakan maka makin banyak residu yang dihasilkan.

**Tabel 3.** Stabilitas Termal Komposit

Variasi	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>end</sub> (°C)
PU murni	295.84	358.74	328.9
PU 18	289.47	356.71	326.97
PU 22	284.98	358.47	331.95
PU 26	282.10	356.71	333.54
PU 30	289.09	358.65	334.52
PU 34	279.56	348.38	319.96

Dari Tabel 3 penurunan nilai T<sub>max</sub> diikuti dengan menurunnya berat molekul komposit. Nilai T<sub>max</sub> yang mengalami penurunan disebabkan pada berat molekul yang lebih rendah maka polimer akan lebih mudah terdegradasi (Rizkiansyah & Mardiyati, 2017). Makin sedikit matriks yang digunakan maka makin rendah berat molekul dari komposit yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian nilai T<sub>max</sub> PU 30 memiliki temperatur maksimal sebesar 358.65°C hampir sama dengan nilai T<sub>max</sub> PU murni sebesar 358.74°C.



## KESIMPULAN

Penambahan cangkang kemiri berpengaruh pada karakteristik komposit poliuretan yakni: kekuatan tarik dan stabilitas termal komposit Berdasarkan hasil uji SEM untuk struktur mikro material komposit, komposit yang dihasilkan terlihat seragam bentuk permukaannya yang menandakan komposit terbentuk dengan baik. Hasil analisis gugus fungsi, komposit poliuretan memiliki gugus fungsi N-H, C-H alkana dan C=O ini menandakan komposit mengandung gugus sama dengan poliuretan murni. Hasil pengujian kekuatan tarik diperoleh PU-26 memiliki kekuatan tarik terbaik sebesar 10.531 MPa. Berdasarkan hasil pengujian DSC diperoleh PU-30 memiliki temperatur leleh tertinggi sebesar 276.4°C dengan entalpi/ $\Delta H$  sebesar 8.058 (J/g) sedangkan hasil pengujian TGA diperoleh nilai  $T_{max}$  PU 30 sebesar 358.65°C. Dari keseluruhan pengujian, komposit PU 30 merupakan hasil optimum pada penelitian ini karena akan digunakan sebagai material kampas rem ramah lingkungan yang dapat mendukung perkembangan industri otomotif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Unit P2M Politeknik STMI Jakarta yang telah mendanai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akovali, G. (2001). *Handbook of composite fabrication*. iSmithers Rapra Publishing.
- Aminur, A., Hasbi, M., & Gunawan, Y. (2015). Proses Pembuatan Biokomposit Polimer Serat Untuk Aplikasi Kampas Rem. *Prosiding Semnastek*.
- Dachriyanus, D. (2004). Analisis struktur senyawa organik secara spektroskopi. *LPTIK Universitas Andalas*.
- Daulay, SA, Wirathama, F. (2014). Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Terhadap Sifat Kekuatan Bentur Komposit Epoksi Berpengisi Serat Daun Nanas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(3), 13–17.
- Dwiyati, S., Kholil, A., & Dan, F. W. (2017). Pengaruh penambahan karbon pada karakteristik kampas rem komposit serbuk kayu. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 4(2), 108–114.
- Gultom, F., & Hernawaty, H. (2020). The Effect Of Sarulla Natural Nanozeolite Addition In The Preparation Of Nanocomposite Foam Polyurethantsviewed From FTIR Characterization. *Jurnal Darma Agung*, 28(3), 507–524.
- ISO 15484. (2008). *Road vehicles — Brake lining friction materials — Product definition and quality assurance*.
- Nugraha, P. (2007). *Teknologi Beton; Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*.
- Rahmatul'Ula, I., Masturi, M., & Yulianti, I. (2015). Analisis Keausan Kampas Rem Non Asbes Berbahan Limbah Organik Kulit Tempurung Kemiri. *Jurnal Fisika Unnes*, 5(1), 79482.
- Rizkiansyah, R. R., & Mardiyati, S. (2017). Pengaruh Berat Molekul Terhadap Ketahanan Termal, Absorpsi Air dan Kemampuan Biodegradasi Plastik Selulosa Teregenerasi dari Kapas Limbah Industri Tekstil. *Prosiding Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM)*, 16–28.
- SAE-J661. (2012). *Brake Lining Quality Test Procedure*.
- Silvia, S., Widjajanti, R., & Apriani, I. N. (2022). Analisis Sifat Mekanik dan Sifat Termal Komposit Poliuretan Berpenguat Serat Nanas Dan Cangkang Kemiri. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(2), 1–7.
- Sudirman, S., Karo, A. K., Ari, H., Sugeng, B., Rukihati, R., & Mashuri, M. (2018). Analisis Sifat Kekuatan Tarik, Derajat Kristalinitas dan Strukturmikro Komposit Polimer Polipropilena-pasir. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 6(1), 1–6.
- Warman, W., Darmadi, H., Abdillah, A., & Safitri, S. (2019). Pengembangan Bahan Kampas Rem Tromol (Drum Brake Pad)



- Sepeda Motor Berbahan Dasar Komposit Cangkang dan Serat Buah Kelapa Sawit Dengan Poliuretan Sebagai Pengikat. *Ready Star*, 2(1), 122–129.
- Yovial, Y., Marthiana, W., & Duskiardi, D. (2007). Pemanfaatan Cangkang Kemiri Dengan Ukuran Serbuk  $D < 250 \mu\text{m}$  Sebagai Bahan Penguat Pada Komposit Resin Epoksi. *Jurnal Agroindustri*, 7(1).
- Zamri, F. A., Primus, W. C., Shaari, A. H., Sinin, A. E., & others. (2019). Effects of Polyurethane Resin on the Physical and Mechanical Properties of Wood Fiber/Palm Kernel Shell Composite Boards. *Wood and Fiber Science*, 51(4), 448–454.