

# Pengaruh Penambahan Serbuk Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) Terhadap Kuat Tarik dan Sifat Termal Komposit HDPE/Serbuk Kayu Mahoni

Fathan Hasfi<sup>a</sup>, Fitria Ika Aryanti<sup>b\*</sup>

<sup>a,b</sup> Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Jakarta, Indonesia, 10510

\*Corresponding author: [fitriaika@stmi.ac.id](mailto:fitriaika@stmi.ac.id)

Diterima : 29 Desember 2023, Direvisi : 05 Februari 2024, Diterbitkan : 07 Februari 2024

## Abstrak

*High Density Poly Ethylene (HDPE)* banyak digunakan mulai dari aplikasi bahan kemasan sampai dengan komponen otomotif. Di lain hal, pemanfaatan serat alami untuk menggantikan serat sintesis merupakan upaya dalam mengurangi dampak lingkungan. Limbah Serbuk Kayu Mahoni (SKM) hasil penggergajian merupakan salah satu bahan alami yang dapat dimanfaatkan sebagai *reinforcement* dalam komposit, sedangkan alumina berfungsi sebagai *filler*. Penambahan *filler* dalam komposit diharapkan dapat meningkatkan sifat dari komposit dan mengurangi biaya produksi. Alumina sebagai *filler* memiliki sifat kekerasan dan stabilitas termal yang baik. Limbah serbuk kayu mahoni terlebih dahulu melakukan proses delignifikasi untuk menghilangkan kandungan lignin yang dapat mempengaruhi sifat fisik dari komposit polimer. Kompon dibuat dengan proses ekstrusi selanjutnya dilakukan pengujian. Variabel penelitian ini dengan komposisi HDPE:serbuk kayu mahoni:alumina sebesar 80:20:0; 80:18:2; 80:16:4; dan 80:14:6. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai tertinggi kuat tarik atau *tensile strength* sebesar 14,453 MPa dengan komposisi 80:16:4. Derajat kristalinitas pada penelitian ini didapatkan nilai sebesar 58,54% dengan komposisi 80:20:0. Nilai temperatur leleh menunjukkan peningkatan dari suhu 131,0°C pada komposisi 80:20:0 menjadi 139,1°C dengan komposisi 80:16:4. Dari hasil tersebut, penambahan alumina dapat meningkatkan kuat tarik dan temperatur leleh komposit.

**Kata kunci:** komposit, HDPE, serbuk kayu mahoni, alumina

## Abstract

*High Density Poly Ethylene (HDPE)* is widely used in applications ranging from packaging materials to automotive components. On the other hand, using natural fibers to replace synthetic fibers is an effort to reduce environmental impacts. Sawdust waste mahogany (SKM) from sawmills is a natural material that can be used as reinforcement in composites, while alumina functions as a filler. The addition of filler in composites is expected to improve the properties of the composite and reduce production costs. Alumina as a filler has good hardness and thermal stability properties. Mahogany wood powder waste first undergoes a delignification process to remove lignin content which can affect the physical properties of the polymer composite. The compound is made using an extrusion process and then tested. The variables in this research were the composition HDPE: mahogany powder: alumina of 80:20:0; 80:18:2; 80:16:4; and 80:14:6. The results of this research show the highest tensile strength value of 14.453 MPa with a composition of 80:16:4. The degree of crystallinity in this study obtained a value of 58.54% with a composition of 80:20:0. The melting temperature value shows an increase from 131.0°C with a composition of 80:20:0 to 139.1°C with a composition of 80:16:4. From these results, the addition of alumina can increase the tensile strength and melting temperature of the composite.

**Keywords:** composite, HDPE, mahogany sawdust, alumina

## 1. PENDAHULUAN

Komposit adalah gabungan dua atau lebih bahan yang memiliki sifat yang berbeda dalam hal bentuk fisik dan struktur kimia, yang menghasilkan bentuk baru dengan sifat yang lebih baik (Santoso dkk., 2023). Dua komponen utama komposit sering kali adalah matrik (bahan pengikat) dan *filler*

(bahan pengisi). *High density polyethylene* (HDPE) sebagai salah satu matriks polimer merupakan komoditas termoplastik yang dapat didaur ulang serta dapat berfungsi baik sebagai matrik komposit karena memiliki nilai kekuatan tarik dan *modulus young* kekuatan tarik tinggi akan tetapi nilai dari kekuatan impak, kekerasan, regangan

patah dan kekerasannya lebih rendah jika dibandingkan dengan polimer *low density polyethylene* (LDPE). Nilai kuat tarik HDPE sebesar 27,93 MPa lebih tinggi jika dibandingkan dengan LDPE yang memiliki nilai kuat tarik 9,93 MPa (Shebani dkk., 2018). Serbuk kayu mahoni merupakan salah satu jenis serbuk gergaji yang banyak digunakan dalam industri perkayuan Indonesia. Total produksi kayu Indonesia adalah 2,6 juta ton m<sup>3</sup> per tahun. Dengan asumsi jumlah limbah yang dihasilkan sebesar 54,24% dari total produksi, maka akan dihasilkan 1,4 juta ton serbuk kayu m<sup>3</sup> per tahun. Hal ini turut mendorong untuk meningkatkan nilai tambah dari produksi kayu olahan dari sisi limbah serbuk gergaji yang dihasilkan menjadi sumber energi (Qiram dkk., 2015). Bahan penguat, atau *reinforcement*, berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Penguat tidak hanya dapat meningkatkan sifat mekanis komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga dapat mengubah sifat fisik seperti koefisien friksi, viskositas, atau konduktivitas listrik (Aryanti, 2021).

Penelitian yang dilakukan Atuanya dkk., 2013 mengenai pengaruh penambahan *filler* mahoni terhadap sifat mekanik bermatriks LDPE dengan variasi 10%, 20%, 25%, 30% dan 35%. Penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa kuat tarik maksimum sebesar 38 MPa diperoleh dengan penambahan *filler* 30%, sedangkan nilai terendah sebesar 30,33 MPa diperoleh tanpa penambahan *filler*. Penambahan bahan aditif dalam komposit menjadi salah satu pertimbangan dalam membuat produk komponen otomotif. Aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) digunakan sebagai *filler* komposit karena memiliki sifat kekuatan tinggi, kekakuan tinggi, konduktivitas termal yang baik, dan ketahanan aus yang baik (Kandpal dkk., 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ju dkk., (2012) mengenai pengaruh penambahan *filler* serbuk alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada komposit LDPE terhadap

stabilitas termal dan sifat mekanik. Berdasarkan penelitian tersebut, serbuk alumina berperan dalam peningkatan stabilitas termal dan *tensile modulus* komposit. Penelitian lain menunjukkan bahwa dengan penambahan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat mengurangi persentase kehilangan massa (Tadayyon dkk., 2011).

Penelitian yang dilakukan Costa el al. (2021) mengenai stabilitas termal dan sifat mekanik HDPE berpenguat alumina dengan variasi alumina 0,5%, 1%, 2%, 3%, dan 4% didapatkan hasil terbaik nilai kuat tarik pada penambahan alumina 1% sebesar 25,8 MPa. Sifat termal HDPE/CaCO<sub>3</sub> komposit dengan variasi 0%, 5%, dan 10% penambahan CaCO<sub>3</sub> menghasilkan peningkatan temperatur leleh dengan nilai terbaik tanpa penambahan *filler* sebesar 130,2°C dan nilai terendah pada penambahan CaCO<sub>3</sub> 10% sebesar 129,9°C (Mosavian dkk., 2012). Penelitian lainnya mengenai karakterisasi HDPE/alumina komposit dengan variasi 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10% menghasilkan nilai terbaik pada penambahan alumina 7% sebesar 131,7°C dan nilai terendah pada penambahan alumina 3% sebesar 130°C (Saleh dkk., 2020).

Terdapat rumusan masalah pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan komposisi serbuk alumina terhadap kuat tarik komposit HDPE/serbuk kayu mahoni dan mengetahui pengaruh penambahan komposisi serbuk alumina terhadap stabilitas termal komposit HDPE/serbuk kayu mahoni.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelet HDPE dari PT. Lotte Chemical Titan, serbuk mahoni berukuran 60 mesh, serbuk alumina merek Purfequ, larutan KOH 10% Merck, dan *aquadest*.

## 2.2 Alat

Peralatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain *Teach-Line Compounder ZK 25X24 D* merek Collin, *manual forming machine*, *pneumatic specimen punch*, *Differential Scanning Calorimetry (DSC) Netzsch 214 Polyma*, *Universal Testing Machine (UTM)* dan *ibertest eurotest*.

## 2.3 Metode

Terdapat beberapa tahapan penelitian antara lain tahapan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan. Serbuk kayu mahoni direndam di dalam larutan KOH selama 4 jam, setiap 1 jam sekali dilakukan pengadukan menggunakan batang pengaduk. Setelah dilakukan perendaman selama 4 jam, serbuk kayu mahoni dicuci dengan *aquadest* hingga pH kembali normal untuk menghilangkan sisa dari perendaman larutan KOH dan mengukur pH dengan kertas universal pH meter. Serbuk kayu mahoni dikeringkan menggunakan *oven* dengan suhu 80°C dan ditimbang hingga mendapatkan berat konstan. Adapun variasi komposisi komposit yang akan diuji tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi Komposit HDPE/SKM/Alumina

Variasi	HDPE (%wt)	Serbuk Kayu Mahoni (SKM) (%wt)	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%wt)
1	80	20	0
2	80	18	2
3	80	16	4
4	80	14	6

Bahan HDPE, serbuk kayu mahoni (SKM), dan alumina seperti pada Tabel 1 selanjutnya dicampur dimasukkan ke dalam mesin *compounder* dengan temperatur 160°C dan kecepatan 20 rpm. Bahan yang keluar dari *die* dimasukkan ke dalam *pelletizer* melalui *waterbath* untuk dipotong, selanjutnya kompon dituang ke

dalam plat logam cetakan ukuran 20 x 20 x 0,2 cm dalam alat *manual forming machine*. Cetakan dipanaskan dengan temperatur mencapai 160°C dalam waktu 20 menit. Cetakan diberikan tekanan operasi 380 kg/cm<sup>2</sup>, selanjutnya dilakukan proses pembuatan *dogbone* sampel untuk pengujian kuat tarik menggunakan alat *pneumatic specimen punch*.

Tahap akhir dilakukan pengujian sifat termal, dengan berat sampel yang dibutuhkan sekitar 5-20 mg sesuai ASTM D3418 menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*, *Netzsch 214 Polyma*. Sifat-sifat termal yang dianalisis yaitu temperatur leleh, derajat kristalinitas, dan entalpi pelelehan. Perhitungan derajat kristalinitas dihitung menggunakan persamaan berikut ini (Soy dkk., 2017):

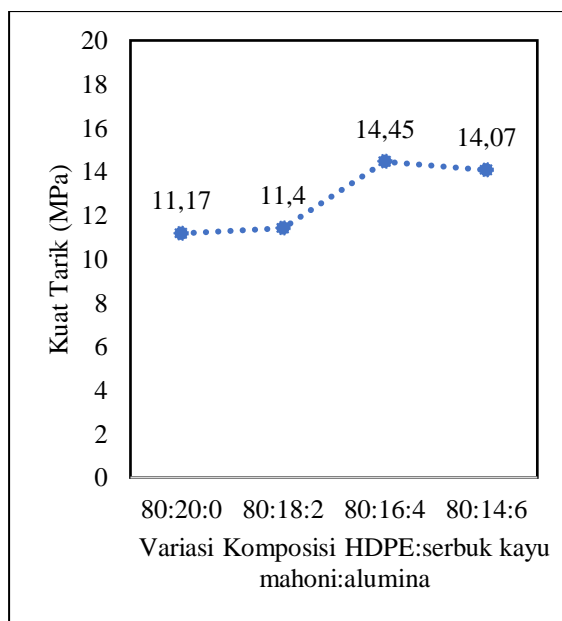
$$X_c = \frac{\Delta H_m}{W_{polymer} \times \Delta H^0_m} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan diatas diketahui bahwa  $\Delta H_m$  merupakan entalpi pelelehan (J/g),  $\Delta H^0_m$  merupakan entalpi pelelehan 100% HDPE (292,6 J/g), dan  $W_{polymer}$  adalah rasio berat polimer. Sedangkan pengujian kuat tarik mengikuti standar ASTM D638 menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*, *Ibertest Eurotest* 5 kN. Pengujian kuat tarik ASTM D638 tipe IV dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine Ibertest Eurotest* pada beban gaya sebesar 5 kN dan temperatur proses sebesar suhu ruangan sebesar 25°C serta kecepatan tarik sebesar 5 mm/min.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik

Dalam pengujian sifat kuat tarik ditampilkan data yang didapat saat proses uji kuat tarik pada variasi campuran 20% SKM tanpa penambahan alumina didapatkan nilai 11,170 MPa; untuk campuran 18% SKM dengan penambahan 2% alumina didapatkan nilai 11,402 MPa; untuk campuran 16% SKM dengan penambahan 4% alumina didapatkan nilai 14,453 MPa dan untuk campuran 14% SKM dengan penambahan 6% alumina mendapatkan nilai 14,071 MPa. Data tertinggi yang didapatkan untuk pengujian sifat kuat tarik pada sampel campuran dari 16% SKM dengan penambahan 4% alumina dengan nilai 14,453 MPa. Gambar 1 menjelaskan hasil pengujian kuat tarik.



**Gambar 1.** Hasil Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Shahrajabian & Sadeghian, 2019) mengenai pengaruh penambahan alumina pada komposit HDPE dengan variasi 0%, 1%, 3%, dan 5% yang menunjukkan bahwa alumina dapat membentuk interaksi antarmuka yang baik dengan matriks polimer, sehingga partikel dapat

meningkatkan nilai kuat tarik terbaik pada variasi 3%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa serbuk alumina merupakan bahan *filler* yang efektif dalam penguatan matriks. Hasil penelitian dengan penambahan alumina terbukti dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit sedangkan penambahan lebih dari 4% berat alumina menjadi 6% berat menyebabkan penurunan modulus tarik karena aglomerasi. Kandungan partikel yang tidak sesuai dalam komposit dapat mengurangi kuat tarik.

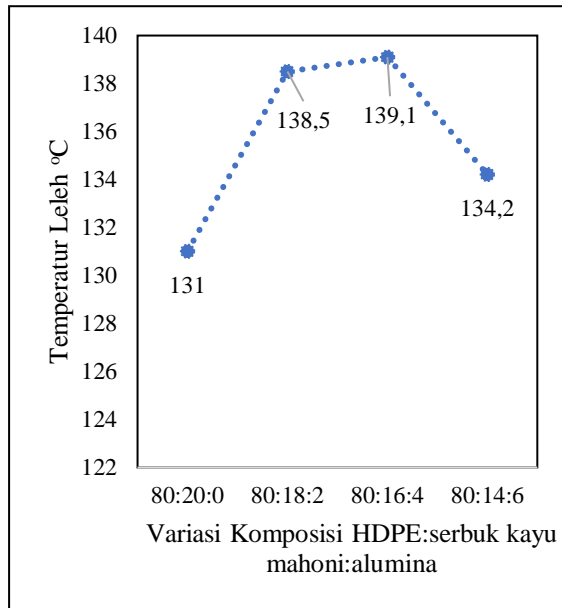
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mysukiewicz dkk., (2020) mengenai penelitian sifat mekanik, termal dan reologi komposit polietilena dengan *filler* alumina dengan variasi 1%, 2%, 5%, 10%, dan 20% menggunakan metode *compounding* suhu 190°C dan *compression molding* suhu 170°C. Pada penambahan alumina sebesar 6% mengalami penurunan kekuatan tarik disebabkan inklusi udara atau delaminasi yang disebabkan oleh interaksi antar muka yang tidak cukup kuat antara matriks dan pengisi, serta sering dikaitkan dengan penggabungan bahan pengisi ke dalam matriks polimer, yang menghasilkan struktur berpori dan menyebabkan kerusakan adhesi antar muka. Pemanasan dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit polimer. Pada komposisi 80:14:6 mengalami penurunan kuat tarik yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya dapat disebabkan pada saat pencampuran serbuk kayu mahoni dengan pelet HDPE dan alumina saat proses *mixing* dengan mesin *compounder* kurang homogen, sehingga saat proses pencetakan pelat plastik terdapat gelembung udara dan berongga.

#### 3.2 Hasil Pengujian Sifat Termal

Pengujian stabilitas termal sesuai ASTM 3418 menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* Netzsch 214 Polyma dengan *heating rate* dan *cooling rate*



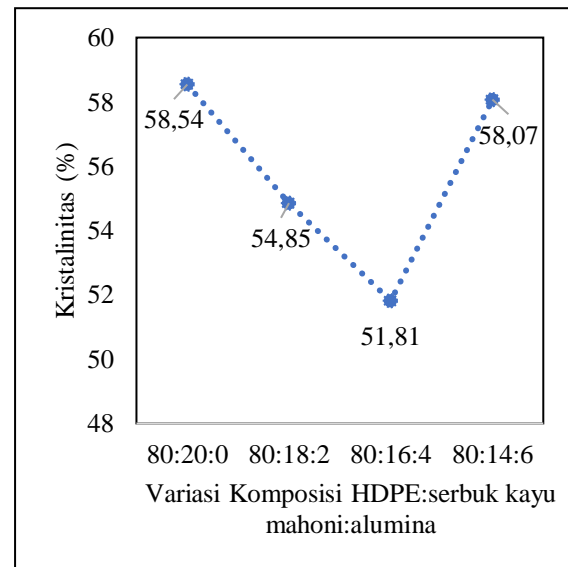
20°C/min dan laju nitrogen sebesar 20 ml/min pada rentang suhu 20-200°C. Adapun hasil stabilitas termal tersebut ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil Uji Temperatur Meleh

Nilai temperatur leleh ( $T_m$ ) sampel campuran 20% SKM tanpa penambahan alumina didapatkan nilai sebesar 131,0°C; untuk campuran 18% SKM dengan penambahan 2% alumina didapatkan nilai sebesar 138,5°C; untuk campuran 16% SKM dengan penambahan 4% alumina didapatkan nilai sebesar 139,1°C dan untuk campuran 14% SKM dengan penambahan 6% alumina didapatkan nilai sebesar 134,2°C. Sehingga dari data tersebut dihasilkan nilai tertinggi pada campuran 16% SKM dengan penambahan 4% alumina didapatkan nilai sebesar 139,1°C. Penurunan temperatur leleh pada komposisi 80:14:6 disebabkan karena penggabungan partikel ke dalam sistem polimer dapat meningkatkan stabilitas termal polimer. Hasil ini juga terjadi karena *specific heat* yaitu satuan yang mengukur jumlah energi panas yang diperlukan untuk mengubah suhu material yang didapatkan nilai alumina sebesar 775 J/kg.K lebih rendah dari HDPE yang nilainya 1.850 J/kg.K dan konduktivitas termal alumina lebih besar

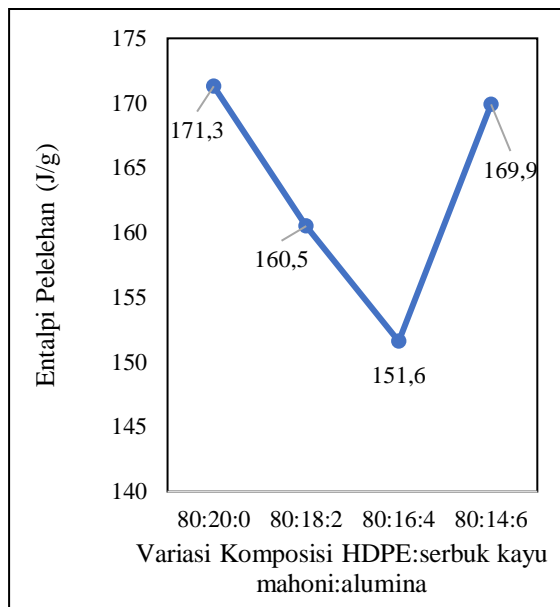
yang nilainya 39 W/m.K dari HDPE yang nilainya (0,46 – 0,50 W/m.K). Hasil ini sesuai dengan penelitian bahwa energi panas diserap oleh komposit dan sebagai hasilnya, rantai polietilena terdegradasi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan HDPE untuk campuran SKM 20% tanpa penambahan alumina (Costa dkk., 2021).



**Gambar 3** Kristalinitas Komposit HDPE/SKM/ $Al_2O_3$

Berdasarkan Gambar 3, adapun persentase kristalinitas komposit HDPE/SKM/ $Al_2O_3$  ditampilkan pada Gambar 2. Kristalinitas sampel dengan campuran 20% SKM tanpa penambahan alumina sebesar 58,54%; campuran 18% SKM dan penambahan 2% alumina sebesar 54,85%; dengan campuran 16% SKM dan penambahan 4% alumina sebesar 51,81% dan campuran 14% SKM dan penambahan 6% alumina sebesar 58,07%. Sehingga dari data tersebut dihasilkan nilai tertinggi pada sampel campuran 20% SKM tanpa penambahan alumina sebesar 58,54%. Hal ini terjadi karena kandungan polimer yang lebih rendah dapat menjelaskan penurunan hasil pengujian sampel komposit, yang didukung oleh hasil derajat kristalinitas (Mysiukiewicz dkk., 2020).

Nilai entalpi pelelehan komposit HDPE/SKM/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditampilkan pada Gambar 4. Pada campuran 20% SKM tanpa penambahan alumina didapatkan nilai 171,3 J/g; campuran 18% SKM dan 2% alumina didapatkan nilai 160,5 J/g; campuran 16% SKM dan alumina 4% didapatkan nilai 151,6 J/g; campuran 14% SKM dan alumina 6% didapatkan nilai 169,9 J/g.



**Gambar 4** Entalpi Pelelehan Komposit HDPE/SKM/ $\text{Al}_2\text{O}_3$

Berdasarkan penelitian dari Zhou, (2011) yang menyatakan bahwa sifat termal dan *dielectric* komposit alumina berpenguat LLDPE dengan variasi alumina 0%, 10%, 20%, 40%, dan 70% menggunakan metode *compounding* dan *hot press* serta pengujian DSC dengan laju pemanasan  $15^\circ\text{C}$  mulai dari  $20^\circ\text{C}$  sampai dengan suhu  $200^\circ\text{C}$ . Penurunan kristalinitas terjadi karena adanya pergerakan makromolekul yang terbatas akibat adanya partikel pengisi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dalam senyawa alumina tidak menahan pergerakan rantai polimer mungkin karena kurangnya kompatibilitas antara matriks dan bahan pengisi yang tidak diberi perlakuan dengan *coupling agent*. Di sisi lain, polietilena adalah polimer yang

memiliki laju kristalisasi yang relatif tinggi sedangkan serbuk alumina memiliki afinitas rendah terhadap polimer, sehingga tidak akan mengubah perilaku kristalisasinya secara signifikan (Zhou, 2011). Hal ini terjadi karena makromolekul yang ada dalam komposit polimer sudah dapat bergerak secara bebas seperti terlihat pada hasil pada penambahan komposisi alumina sebesar 6%.

#### 4. KESIMPULAN

Penambahan alumina dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit HDPE/SKM/alumina dari 2% hingga 4% yang memiliki nilai tertinggi 14,453 MPa, akan tetapi pada penambahan alumina 6% nilai komposit menurun menjadi 14,071 MPa. Penambahan alumina dapat mempengaruhi sifat temperatur leleh komposit dengan nilai tertinggi pada penambahan alumina 4% sebesar  $139,1^\circ\text{C}$  sedangkan nilai terendah komposit pada 20% SKM tanpa penambahan alumina sebesar  $131^\circ\text{C}$ . Penambahan alumina tidak mempengaruhi sifat kristalinitas komposit secara signifikan. Saran yang dapat penulis sampaikan yaitu perlu dilakukan penelitian berkelanjutan mengenai penambahan aditif seperti PPgMA yang dapat meningkatkan interaksi dengan matriks polimer dan dilakukan pengujian morfologi untuk mengetahui kompatibilitas matriks dan aditif maupun serat yang digunakan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Politeknik STMI Jakarta dan semua pihak terkait atas fasilitas yang luar biasa dalam pelaksanaan penelitian penulis.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Aryanti, F. I. (2021). *Pembuatan Komposit Polimer Polipropilena/Talk/Masterbatch Hitam Pada Cover Tail*. Jurnal Teknologi dan Manajemen, 19(1), 1–6.  
<https://doi.org/10.52330/jtm.v19i1.8>
- Atuanya, C. U., Olaitan, S. A., Akagu, C. C., Onukwuli, O. D., & Menkiti, M. C. (2013). *Effect of rice husk filler on mechanical properties of polyethylene matrix composite*. International Journal of current research and review, 5(15), 111.  
<http://dx.doi.org/10.15282/jmes.2.2012.5.0016>
- Costa, I. L. M., Zanini, N. C., & Mulinari, D. R. (2021). *Thermal and Mechanical Properties of HDPE Reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles Processed by Thermokinetic Mixer*. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 31, 220–228.  
<https://doi.org/10.1007/s10904-020-01709-0>
- Mosavian, M. T. H., Bakhtiari, A., & Sahebani, S. (2012). *Influence of alumina particles on thermal behavior of high density polyethylene (HDPE)*. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 51(2), 214–219.  
<https://doi.org/10.1080/03602559.2011.557820>
- Mysiukiewicz, O., Kosmela, P., Barczewski, M., & Hejna, A. (2020). *Mechanical, thermal and rheological properties of polyethylene-based composites filled with micrometric aluminum powder*. Materials, 13(5), 1242.  
<https://doi.org/10.3390/ma13051242>
- Qiram, I., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2015). *Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Kuantitas Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) Pada Rotary 39 Kiln*. Jurnal Rekayasa Mesin, 6(1), 39–44.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.6>
- Saleh, M., Al-Hajri, Z., Popelka, A., & Javaid Zaidi, S. (2020). *Preparation and characterization of alumina HDPE composites*. Materials, 13(1), 250.  
<https://doi.org/10.3390/ma13010250>
- Santoso, T. B., Aryanti, F. I., & Sitanggang, T. D. A. (2023). *Characterization Of Mechanical, Thermal, And Physical Properties Of Polypropylene Composites With Rice Husk Filler Using Coupling Agent Maleic Anhydride*. Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 12(2), 216–230.  
<https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13223>
- Shahrajabian, H., & Sadeghian, F. (2019). *The investigation of alumina nanoparticles' effects on the mechanical and thermal properties of HDPE/rPET/MAPE blends*. International Nano Letters, 9(3), 213–219.  
<https://doi.org/10.1007/s40089-019-0273-7>
- Shebani, A., Klash, A., Elhabishi, R., Abdsalam, S., Elbreki, H., & Elhrari, W. (2018). *The influence of LDPE content on the mechanical properties of HDPE/LDPE blends*. Res. Dev. Mater. Sci, 7(5), 791–797.  
<https://doi.org/10.31031/RDMS.2018.07.000672>
- Soy, U., Findik, F., Yetgin, S. H., Gokkurt, T., (2017). *Fabrication and Mechanical Properties of Glass Fiber/Talc/CaCO<sub>3</sub> Filled Recycled PP Composites*. American Journal of Applied Sciences, 14(9), 878–885.  
<https://doi.org/10.3844/ajassp.2017.878.885>
- Tadayyon, G., Zebarjad, S. M., & Sajjadi, S. A. (2011). *Effect of mechanical milling on the thermal behavior of polyethylene reinforced with nano-sized alumina*. International Polymer

Processing, 26(4), 354–360.

<https://doi.org/10.3139/217.2338>

Zhou, W. (2011). *Thermal and dielectric properties of the aluminum particle reinforced linear low-density polyethylene composites*. *Polymer Engineering & Science*, 51(5), 917–924.

<https://doi.org/10.1002/pen.21913>