

Pengaruh Penambahan Serat Kulit Jagung Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polipropilena (PP) dengan Penambahan Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Maleat Anhidrida (MAH) sebagai *Coupling Agent*

Herlin Arina^{a*}, Nuranisatul Faizah^b

^{a,b}Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Jakarta, Indonesia, 10510

*Corresponding author: herlinarina@stmi.ac.id

Diterima : 17 Januari 2024, Direvisi : 24 Januari 2024, Diterbitkan : 30 Januari 2024

Abstrak

Pemanfaatan komposit polimer di bidang otomotif semakin luas karena karakteristiknya seperti kekuatan, kekakuan, dan ringan. Polipropilena (PP) adalah salah satu polimer termoplastik yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan dapat didaur ulang. Namun, untuk meningkatkan sifat mekaniknya, terus dilakukan modifikasi menggunakan penguat alami dan *coupling agent*. Serat kulit jagung merupakan sumber daya alam yang berpotensi sebagai penguat alami dalam komposit polimer karena memiliki keunggulan berupa kekuatan tarik yang baik, ringan, dan bersifat biodegradable. Penambahan Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan *Maleic Anhydride* (MAH) sebagai *coupling agent* dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks polimer, mendukung distribusi beban yang lebih merata, dan mengoptimalkan sifat mekanik komposit Al_2O_3 dan MAH pada sifat mekanik komposit PP. Komposisi yang digunakan perbandingan polipropilena: serat kulit jagung: Al_2O_3 : MAH yaitu 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, dan 85:5:5:5 %berat. Pengujian kuat tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dan uji kristalinitas menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dilakukan untuk mengevaluasi performa material. Nilai kekuatan tarik dan kristalinitas tertinggi pada komposisi dengan %berat MAH 0. Hasil pengujian tersebut, menunjukkan bahwa semakin besar komposisi serat kulit jagung memberikan pengaruh terhadap penurunan kuat tarik dan kristalinitas komposit, dilakukan juga pengujian menggunakan SEM untuk mengetahui bagaimana bentuk morfologi komposit. **Kata kunci:** komposit, polipropilena, serat kulit jagung, aluminium oksida, maleat anhidrida.

Abstract

The utilization of polymer composites in the automotive field is expanding due to their characteristics such as strength, stiffness, and light weight. Polypropylene (PP) is one of the thermoplastic polymers widely used in composite manufacturing due to its lightweight, corrosion-resistant, and recyclable properties. However, to improve its mechanical properties, modifications using natural reinforcements and coupling agents continue to be made. Corn husk fiber is a natural resource that has potential as a natural reinforcement in polymer composites, it has the advantages of good tensile strength, light weight, and is biodegradable. The addition of Aluminium Oxide (Al_2O_3) and *Maleic Anhydride* (MAH) as coupling agent can improve the adhesion between fiber and polymer matrix, support more even load distribution, and optimize the mechanical properties of the composite Al_2O_3 and MAH on the mechanical properties of PP composites. The composition used was polypropylene: corn husk fiber ratio : Al_2O_3 : MAH, namely 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, and 85:5:5:5% by weight. Tensile strength test using *Universal Testing Machine* (UTM) and crystallinity test using *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) were conducted to evaluate the material performance. The highest value of tensile strength and crystallinity in the composition with 0 %weight MAH. The results of these tests, showing that the greater the composition of corn husk fiber has an influence on the decrease in tensile strength and crystallinity of the composite. **Keywords:** composite, polypropylene, corn husk fiber, aluminium oxide, maleic anhydride.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan komposit polimer semakin berkembang pesat dalam berbagai aplikasi industri karena kombinasi kekuatan dan ringan yang ditawarkan oleh material ini. Komposit merupakan suatu material yang terbuat dari dua atau lebih material penyusun dimana material tersebut akan memiliki sifat dari masing-masing bahan pada hasil akhirnya (Aryanti, 2021). Salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam pembuatan komposit adalah polipropilena (PP) (Manggo & Nurdin, 2022). Meskipun PP memiliki keunggulan dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap korosi, namun untuk meningkatkan sifat mekaniknya, penambahan bahan penguat dan perekat (*coupling agent*) perlu dipertimbangkan (Sidik, 2018).

Salah satu sumber potensial untuk menjadi penguat dalam komposit polipropilena adalah serat kulit jagung. Serat kulit jagung adalah limbah pertanian yang dapat diambil dari industri jagung, memiliki potensi mekanik yang baik serta dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penggunaan serat limbah kulit jagung diharapkan dapat mengurangi limbah pada lingkungan serta meningkatkan sifat mekanik komposit (Habibie dkk., 2021). Selain itu, untuk meningkatkan interaksi antara serat dan matriks polimer, akan ditambahkan aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai bahan penguat tambahan, dan maleat anhidrida (MAH) sebagai *coupling agent*.

Penambahan *coupling agent* MAH pada komposit untuk meningkatkan ikatan antar serat dengan matriks (Franco-Marquès dkk., 2011). Senyawa MAH dapat meningkatkan kuat tarik komposit dan nilai entalpi pelelehan dengan persentase sebesar 5%. Selain itu, penambahan 5% MAH pada komposit polipropilena menunjukkan nilai kekuatan tarik dan derajat kristalinitas yang lebih tinggi (Hassan dkk., 2011).

Penambahan aditif saat pembuatan komposit dalam aplikasi komponen otomotif menjadi suatu pertimbangan saat ini (Melyna dkk., 2023). Senyawa Al_2O_3 dikenal sebagai penguat yang efektif dalam komposit polimer (Prabowo, 2017). Penambahan Al_2O_3 sebesar 5%, 10%, dan 15%, menunjukkan bahwa komposisi 5% Al_2O_3 menunjukkan entalpi pelelehan sampel tertinggi dibandingkan komposisi 10% dan 15% Al_2O_3 (Mosavian dkk., 2012). Penambahan Al_2O_3 dan MAH diharapkan dapat meningkatkan ikatan antara serat kulit jagung dan matriks polipropilena, sehingga sifat mekanik komposit dapat ditingkatkan secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki peran serat kulit jagung serta efek penambahan Al_2O_3 dan MAH sebagai *coupling agent* terhadap sifat mekanik komposit polipropilena. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material komposit yang lebih kuat, ringan, dan berkelanjutan untuk aplikasi industri berbagai bidang.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti melakukan penelitian dengan membuat komposit polipropilena (PP)/serat kulit jagung (SKJ) dengan penambahan serbuk alumina (Al_2O_3) sebagai *filler* dan MAH sebagai *coupling agent*. Variasi komposisi yang digunakan perbandingan polipropilena: serat kulit jagung: Al_2O_3 : MAH yaitu 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, dan 85:5:5:5 %berat. Pengujian terhadap komposit dilakukan dengan menganalisis pengaruh variasi komposisi serat kulit jagung pada komposit PP terhadap kekuatan tarik dan kristalinitas untuk aplikasi komponen otomotif. Pengujian menggunakan NIR untuk mengetahui interaksi kimia antar material penyusun komposit. Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi komposit agar analisa distribusi serat dalam matriks PP diketahui.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca analitik digital, gelas kimia, labu ukur, kertas saring, *blender*, *oven*, *compounder*, *manual forming machine*, *pneumatic specimen punch*, *specimen ejector*, pisau kape, dan kertas universal pH meter.

Alat bantu lain meliputi gunting, penggaris, jangka sorong, wadah, sisir, cutter, batang pengaduk, aluminium foil, dan spidol. Alat pengujian meliputi alat uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), *Near-Infra Red* (NIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan alat uji kristalinitas menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelet PP dengan merek dagang Titanvene HD5218EA, serat kulit jagung dari pasar Lembang, Tangerang Selatan, serbuk alumina (Al_2O_3) pro analisis dengan merek dagang *Merck*, *maleic anhydride* (MAH) dengan merek dagang *Sigma-Aldrich*, senyawa KOH dengan merek dagang *Merck* dan *aquadest*.

2.2 Proses Delignifikasi Serat Kulit Jagung

Proses delignifikasi menggunakan larutan KOH konsentrasi 10%wt diawali dengan menimbang KOH sebanyak 100 gram, kemudian KOH yang sudah ditimbang dilarutkan dengan *aquadest* sebanyak 1000 ml di dalam gelas kimia. Serat kulit jagung yang telah dipisahkan dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi larutan KOH, dan direndam selama 4 jam, setiap 1 jam sekali dilakukan pengadukan dan mengukur pH dengan kertas universal pH meter.

2.3 Proses Pembuatan Kompon Plastik

Pembuatan kompon plastik membutuhkan bahan seperti polimer PP, serbuk kulit jagung, serbuk aluminium oksida, dan *maleic anhydride*. Kompon plastik dibuat

menggunakan mesin *compounder* dengan variasi komposisi yang digunakan perbandingan polipropilena: serat kulit jagung: Al_2O_3 : MAH yaitu 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, dan 85:5:5:5 %berat. Bahan-bahan yang telah disiapkan ditimbang sesuai dengan perbandingan. Homogenisasi dilakukan dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan batang pengaduk. Bahan yang sudah dicampur akan diumpankan ke dalam *compounder* dengan laju putar 5 rpm. Ekstrudat yang keluar dari *strand pelletizer* ditampung menggunakan gelas kimia, hingga ekstrudat habis yang ditandai menimpisnya ekstrudat yang keluar dari *die*.

2.4 Pembuatan Komposit

Pembuatan lembaran komposit menggunakan material hasil pembuatan kompon plastik menggunakan *compounder*. Pelet ekstrudat dituang ke dalam cetakan pelat logam dan diratakan sampai memenuhi seluruh sisi pelat logam. Proses pembuatan lembaran komposit dilakukan dengan metode *hot press* yaitu bahan ditekan dengan mesin *manual forming*.

2.5 Karakterisasi Komposit

Komposit yang telah dibuat spesimen uji akan digunakan untuk proses pengujian. Pengujian yang dilakukan untuk komposit yaitu uji kekuatan tarik dengan UTM di Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta dan uji kristalinitas dengan DSC di Laboratorium Instrumentasi Politeknik STMI Jakarta. Pengujian dengan NIR dilakukan di Universitas Indonesia. Uji morfologi menggunakan SEM dilakukan di BRIN.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

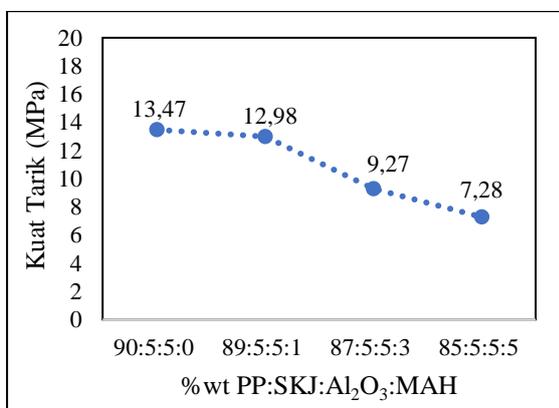
Pengujian kuat tarik pada variasi sampel memiliki peran penting guna meninjau bagaimana pengaruh penambahan serat kulit jagung, Al_2O_3 , dan MAH terhadap kekuatan tarik komposit polimer PP. Tabel

1 menunjukkan data yang didapat saat pengujian kuat tarik dengan variasi komposisi yang digunakan perbandingan polipropilena: serat kulit jagung: Al_2O_3 : MAH yaitu 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, dan 85:5:5:5 %berat. Hasil dari pengujian kekuatan tarik komposit dengan variasi komposisi MAH 0% wt sebesar 13,47 MPa; komposisi 1% wt sebesar 12,98 MPa; komposisi 3% wt sebesar 9,27 MPa; dan komposisi 5% wt sebesar 7,28 MPa. Berdasarkan nilai kuat tarik tersebut dapat dilihat bahwa variasi komposisi MAH 0% wt memberikan nilai kuat tarik tertinggi yaitu sebesar 13,47 MPa.

Tabel 1. Variasi serat kulit jagung terhadap kekuatan tarik komposit PP

Sampel	Rata-rata
PP:SKJ: Al_2O_3 :MAH	Kuat Tarik (Mpa)
90:5:5:0 %wt	13,47
89:5:5:1 %wt	12,98
87:5:5:3 %wt	9,27
85:5:5:5 %wt	7,28

Gambar 1 menunjukkan hasil nilai kuat tarik komposit dengan variasi komposisi serat kulit jagung 0% wt memberikan nilai kuat tarik tertinggi yaitu sebesar 17,67 MPa.



Gambar 1. Diagram nilai kuat Tarik terhadap variasi komposisi sampel

Peningkatan konsentrasi *coupling agent* MAH dalam komposit polipropilena dapat mempengaruhi sifat mekanik, termasuk nilai kuat tarik (Prasetyawan, 2017). Hal ini

terkait dengan peran MAH sebagai bahan pengikat antara serat dan matriks polipropilena dalam komposit (Fauzi & HS, 2016.). Meskipun MAH bertindak sebagai *coupling agent* yang dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks, namun peningkatan konsentrasinya di atas tingkat tertentu dapat memberikan dampak negatif terhadap sifat mekanik (Franco-Marquès dkk., 2011).

Pada awalnya, penambahan MAH dapat meningkatkan adhesi antara serat kulit jagung dan matriks polipropilena karena kelarutan dan reaktivitas yang lebih baik. Namun, jika konsentrasi MAH terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan efek negatif seperti:

1. *Over-crosslinking*: Peningkatan konsentrasi MAH yang berlebihan dapat menyebabkan terlalu banyak ikatan silang (*crosslinking*) di antara rantai polipropilena (Nikham, 2019). Hal ini dapat mengurangi *ductility* material dan membuatnya lebih rapuh.
2. Penurunan Mobilitas Molekul: Adhesi yang berlebihan antara serat dan matriks dapat menghambat mobilitas molekul dalam matriks polipropilena (Sari & Suteja, 2021). Ini dapat mengakibatkan penurunan elastisitas dan kekuatan tarik.
3. Peningkatan Ketebalan Lapisan *Interface*: Konsentrasi MAH yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan lapisan *interface* yang lebih tebal di antara serat dan matriks (Yunus, 2018). Ini dapat mengganggu transmisi gaya antara serat dan matriks, menyebabkan penurunan nilai kuat tarik.

Dengan demikian, meskipun *coupling agent* seperti MAH diperlukan untuk meningkatkan interaksi antara serat dan matriks, penentuan konsentrasi yang optimal sangat penting. Pada beberapa titik, peningkatan konsentrasi MAH mungkin tidak lagi memberikan peningkatan positif

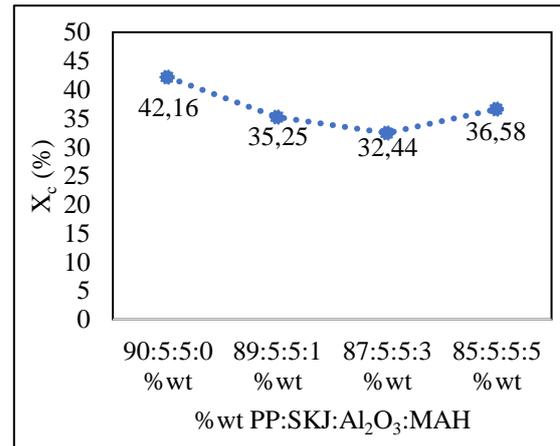
dan malah dapat mengurangi nilai kuat tarik karena efek negatif yang disebutkan di atas. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian eksperimental untuk menentukan konsentrasi MAH yang memberikan keseimbangan terbaik antara adhesi dan sifat mekanik komposit polipropilena.

3.2 Hasil Pengujian Kistanilitas

Hasil uji kristalinitas komposit polimer memiliki relevansi yang besar dalam memahami struktur dan sifat mekanik dari material tersebut. Kristalinitas mengacu pada derajat kekristalan dalam suatu material polimer, yang dapat mempengaruhi sifat mekanik, termal, dan optik dari komposit. Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian sifat termal menggunakan DSC untuk mengetahui nilai derajat kristalinitas dari nilai entalpi dengan menggunakan komposisi polipropilena: serat kulit jagung: Al_2O_3 : MAH yaitu 90:5:5:0, 89:5:5:1, 87:5:5:3, dan 85:5:5:5 %berat. Pada pemanasan kedua termogram terdeteksi nilai entalpi pelelehan sampel (ΔH_m). Nilai entalpi pelelehan dari pengujian kristalinitas komposit dengan variasi komposisi MAH 0%wt didapatkan sebesar 88,12 J/g; komposisi 1%wt sebesar 73,68 J/g; komposisi 3%wt sebesar 67,81 J/g; dan komposisi 5%wt sebesar 76,68 J/g. Berdasarkan nilai entalpi pelelehan sampel (ΔH_m) tersebut didapatkan nilai tertinggi pada variasi komposisi MAH 0%wt yaitu sebesar 42,16 J/g.

Tabel 2. Variasi komposisi komposit terhadap nilai kristalinitas

Sampel PP:SKJ: Al_2O_3 :MAH	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
90:5:5:0 %wt	88,12	42,16
89:5:5:1 %wt	73,68	35,25
87:5:5:3 %wt	67,81	32,44
85:5:5:5 %wt	76,68	36,58



Gambar 2. Variasi komposisi komposit terhadap nilai kristalinitas

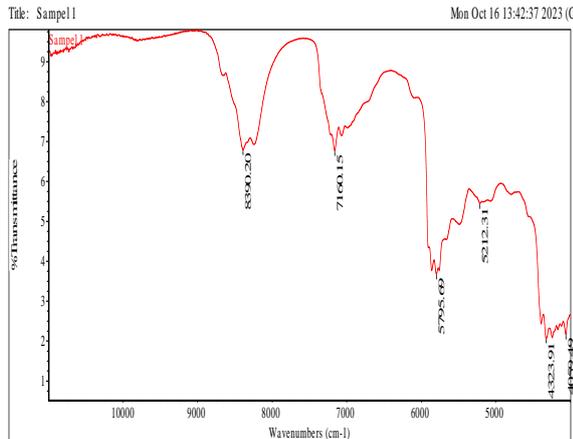
Pengujian ketahanan terhadap keausan (kistanilitas) pada komposit PP yang diperkuat dengan penambahan aluminium oksida (Al_2O_3) dan MAH sebagai *coupling agent* memiliki peran penting dalam menilai kualitas dan performa material. Pengujian kistanilitas dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana komposit polipropilena dengan penambahan Al_2O_3 dan MAH dapat mempertahankan ketahanan terhadap keausan selama pemakaian dalam kondisi yang mengakibatkan gesekan atau abrasi. Sampel uji yang digunakan dalam pengujian kistanilitas merupakan potongan kecil dari komposit polipropilena yang telah diperkuat dengan serat kulit jagung, penambahan Al_2O_3 , dan MAH sebagai *coupling agent*.

Penambahan Al_2O_3 dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap keausan, sementara MAH dapat mempengaruhi adhesi antara serat dan matriks, yang juga dapat memengaruhi kistanilitas.

3.3 Hasil Pengujian Gugus Fungsi

Pengujian gugus fungsi menggunakan NIR untuk mengetahui informasi tentang komposisi kimia, struktur molekuler, dan interaksi antara komponen-komponen dalam komposit polimer. Hasil analisis NIR dapat memberikan gambaran tentang

seberapa baik komponen-komponen ini berinteraksi dan tercampur secara homogen dalam matriks polimer. Komposisi yang merata dapat menghasilkan sifat mekanik yang unggul. Interaksi ini dapat mempengaruhi kualitas ikatan antarpartikel, memengaruhi kekuatan struktur komposit dan mengoptimalkan sifat mekaniknya.



Gambar 3. Grafik NIR Komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH

Tabel 3 menunjukkan beberapa peak gugus fungsi dari komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH di bawah.

Tabel 3. Gugus fungsi NIR Komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH

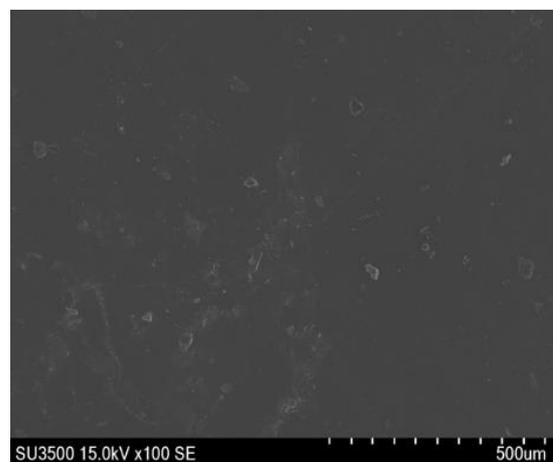
Panjang Gelombang	Intensitas	Gugus Fungsi
4.323,91	2.057	-CH ₂ -/-CH-/ C=C-
5.212,31	5.443	-OH-
5.795,69	3.671	-CH- dan -CH ₂ -
7.160,15	6.770	-CH-
8.390,20	6.784	-CO-

Berdasarkan data Tabel 3 pada komposit terdapat beberapa gugus fungsi, diantaranya -CH₂=CH₂- pada panjang gelombang 4.323,91 cm⁻¹ (Kucheryavskiy & Lomborg, 2015), yang menunjukkan keberadaan PP. Pada 5.212,31 cm⁻¹ menunjukkan -OH-, pada 5.663,54 dan 5.795,69 cm⁻¹ menunjukkan gugus -CH- dan -CH₂- (Pereira dkk., 2020) merupakan gugus

fungsi yang ada pada serat kulit jagung. Gugus -C-O- juga menunjukkan gugus fungsi pada MAH. Gugus fungsi di atas menunjukkan ada interaksi antar komponen penyusun komposit. Informasi ini dapat membantu peneliti dan industri dalam merancang dan mengoptimalkan formulasi komposit polimer yang memenuhi persyaratan mekanik dan performa yang diinginkan.

3.4 Hasil Pengujian Morfologi

Uji SEM dilakukan untuk mengetahui distribusi serat kulit jagung dan partikel Al₂O₃ dalam matriks PP. Distribusi serat yang merata dan partikel *filler* yang terikat dengan baik pada matriks dapat menghasilkan komposit yang homogen. Distribusi yang merata juga mendukung peningkatan sifat mekanik komposit, karena setiap bagian dari material menghadapi beban dengan cara yang seragam. Analisis SEM memungkinkan evaluasi adhesi antara serat kulit jagung, matriks PP, dan partikel Al₂O₃. Adhesi yang baik antara serat, matriks, dan *filler* adalah kunci untuk mencapai kekuatan tarik dan kekakuan yang tinggi dalam komposit. Permukaan serat yang terlihat terikat dengan kuat pada matriks dan *filler* menunjukkan efektivitas dari penambahan MAH sebagai agen penghubung.



Gambar 4. Morfologi komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH dengan pembesaran 10.000x

Gambar 4 menunjukkan hasil morfologi komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH dengan pembesaran 10.000x. Pengujian kondisi permukaan (morfologi) komposit PP/SKJ/Al₂O₃/MAH dengan pembesaran 10.000x dilakukan untuk mengetahui homogenitas distribusi limbah ampas kopi sebagai *filler* serta peran MAH sebagai *coupling agent*. Hasil uji morfologi menunjukkan ada beberapa rongga dalam komposit yang memperlihatkan bahwa komponen penyusun komposit kurang homogen, hal ini dapat disebabkan saat proses pencampuran. Pencampuran yang kurang homogen ini menjadi salah satu penyebab sifat mekanik mengalami penurunan dengan penambahan serat jagung, Al₂O₃, serta MAH.

Uji SEM merupakan teknik mikroskopi yang digunakan untuk mengeksplorasi struktur permukaan sampel dengan resolusi tinggi. Dalam penelitian ini distribusi serat kulit jagung dan partikel Al₂O₃ dalam matriks polipropilena (PP), uji SEM sangat relevan untuk memberikan pemahaman visual yang mendalam.

Dengan demikian, uji SEM memberikan pandangan yang mendalam dan terperinci tentang distribusi serat dan partikel dalam komposit polipropilena, yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan material yang lebih unggul secara mekanik dan struktural.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data hasil pengujian, maka diperoleh kesimpulan bahwa penambahan *maleic anhydride* (MAH) pada komposit polipropilena: serat kulit jagung: Al₂O₃: MAH menurunkan nilai kuat tarik. Komposisi terbaik untuk nilai kuat tarik dengan penambahan MAH 0% berat diperoleh hasil tertinggi sebesar 13,47 MPa. Pengaruh penambahan *maleic anhydride* (MAH) pada komposit polipropilena: serat kulit jagung: Al₂O₃: MAH menurunkan

nilai derajat kristalinitas. Komposisi terbaik untuk nilai derajat kristalinitas dengan penambahan MAH 0% berat diperoleh hasil tertinggi sebesar 42,16%.

5 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>
- Fauzi, I., & HS, I. (2016). Pengaruh Komposisi Pelepah Sawit Terhadap Sifat Dan Morfologi *Wood Plastic Composite*. *Jurnal Online Mahasiswa* 3(2), 1-7.
- Franco-Marquès, E., Méndez, J. A., Pèlach, M. A., Vilaseca, F., Bayer, J., & Mutjé, P. (2011). Influence of coupling agents in the preparation of polypropylene composites reinforced with recycled fibers. *Chemical engineering journal*, 166(3), 1170–1178. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.031>
- Habibie, S., Suhendra, N., Roseno, S., Setyawan, B. A., Anggaravidya, M., Rohman, S., Tasomara, R., & Muntarto, A. (2021). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Material*, 2(2), 1–13. <https://doi.org/10.29122/jitm.v2i2.4339>
- Hassan, A., Rahman, N. A., & Yahya, R. (2011). Extrusion and injection-molding of glass fiber/MAPP/polypropylene: Effect of coupling agent on DSC, DMA, and mechanical properties. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(14), 1223–1232. <https://doi.org/10.1177/0731684411417916>
- Kucheryavskiy, S., & Lomborg, C. J. (2015). Monitoring of whey quality with NIR spectroscopy - A feasibility study. *Food Chemistry*, 176, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.20>

- 14.12.086
- Manggo, M. R., & Nurdin, Y. A. (2022). Korelasi Berat Jenis Penguat pada Kekuatan Komposit Polipropilen (*Correlation of The Specific Gravity of The Reinforcer on The Strength of Polypropylene Composites*). *Skripsi Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya*.
- Melyna, E., Nisa, K. S., & Fitri, A. A. L. (2023). Pengaruh Penambahan Serbuk Alumina (Al_2O_3) pada Komposit Serat Kayu Jati Bermatriks Polipropilena. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(2), 62–70. <https://doi.org/10.36706/jtk.v29i2.1529>
- Mosavian, M. T. H., Bakhtiari, A., & Sahebian, 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>
- Nikham, N. (2019). Karakterisasi Film Paduan Polipropilen-Ko-Etilen/Polibutilen Suksinat Iradiasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 106–112. <https://doi.org/10.17146/jusami.2006.0.0.5065>
- Pereira, C., Luiz, L. C., Bell, M. J. V., & Anjos, V. (2020). Near and mid infrared spectroscopy to assess milk products quality: a review of recent applications. *Journal of Dairy Research & Technology*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.24966/DRT-9315/100014>
- Prabowo, T. A. (2017). Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Al_2O_3 Terhadap Kekuatan Tarik Pada Aluminium Matrix Composite. *Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Prasetiawan, E. (2017). Analisa Perbandingan Kekuatan Mekanik Pada Material Komposit Papan Partikel (*Particle Board*) dari Campuran Pelepah Kelapa Sawit dengan Matriks Damar dan Matriks Plastik Daur Ulang (*Polypropylene*). *Skripsi Universitas Islam Riau*.
- Sari, N. H., & Suteja, S. T. (2021). *Polimer Termoset*. Deepublish Publisher. Yogyakarta.
- Sidik, R. (2018). Studi Pengaruh Penambahan *Polypropylene* dan *Low Density Polyethylene* Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik *Wood Plastic Composite* Untuk Aplikasi Genteng Ramah Lingkungan. *Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Yunus, A. (2018). Kekuatan Dan Durabilitas Bahan Komposit Sandwich Plywood Polimer Serat Gelas. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2(1). 86-90.