

Pengaruh Penambahan *Zinc Oxide* (ZnO) terhadap Kuat Tarik, Kuat Impak, dan Kristalinitas Komposit PP Daur Ulang/Serat Rami

Zagad Fauziyah Evita Sari^a, Ella Melyna^{b*}, Isma Wulansari^c

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

*Corresponding author: ellamelyna@stmi.ac.id

Diterima: 15 Agustus 2024, Direvisi: 30 Agustus 2024, Disetujui: 19 September 2024

Abstrak

Industri polimer di Indonesia terus berkembang, dengan polipropilena (PP) banyak digunakan karena biaya produksi rendah dan sifat mekanis yang baik. Namun, PP daur ulang memiliki kekurangan, terutama pada sifat mekanisnya yang lebih lemah dibandingkan PP virgin, sehingga diperlukan bahan penguat dan pengisi. Serat rami dapat digunakan sebagai penguat, sementara Zinc Oxide (ZnO) sebagai pengisi memiliki kestabilan kimia yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ZnO terhadap kuat tarik, kuat impak, dan kristalinitas. Variabel dalam penelitian ini adalah % berat ZnO, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan mesin *manual forming*. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan standar pengujian *American Standard Testing and Material* (ASTM) D638, pengujian kuat impak dilakukan menggunakan *Impact Testing Machine* menggunakan metode *charpy* dengan standar pengujian *International Organization for Standardization* (ISO) 179, dan pengujian stabilitas termal dilakukan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dengan standar pengujian ASTM D3418. Hasil pengujian kuat tarik komposit tertinggi pada penambahan 0% berat ZnO sebesar $22,6 \pm 3,89$ MPa, kuat impak komposit tertinggi pada penambahan 5% berat ZnO sebesar 7,42 kJ/m², dan derajat kristalinitas tertinggi diperoleh pada penambahan 15% berat ZnO sebesar 57,09%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan penambahan ZnO 5% memiliki peningkatan kekuatan impak dibandingkan komposit tanpa ZnO, sedangkan kekuatan tarik cenderung menurun seiring peningkatan konsentrasi ZnO. Selain itu, kristalinitas tertinggi dicapai pada komposit dengan penambahan 15% ZnO. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan ZnO dapat meningkatkan beberapa sifat mekanis dan termal komposit, meskipun efeknya bergantung pada konsentrasi ZnO yang digunakan.

Kata kunci: komposit, polipropilena, serat rami, *zinc oxide*, mesin *manual forming*.

Abstract

The polymer industry in Indonesia continues to grow, with polypropylene (PP) widely used due to its low production costs and good mechanical properties. However, recycled PP has disadvantages, especially in its mechanical properties which are weaker than virgin PP, so reinforcement and filler materials are needed. Hemp fiber can be used as a reinforcement, while Zinc Oxide (ZnO) as a filler has high chemical stability. This research aims to determine the effect of adding ZnO on tensile strength, impact strength and crystallinity. The variable in this research is the weight % of ZnO, namely 0%, 5%, 10%, and 15%. Composite manufacture is carried out using a manual forming machine. The tests carried out were tensile strength testing using a Universal Testing Machine (UTM) with the American Standard Testing and Material (ASTM) D638 testing standard, impact strength testing was carried out using an Impact Testing Machine using the charpy method with the International Organization for Standardization (ISO) 179 testing standard, and thermal stability testing was carried out using Differential Scanning Calorimetry (DSC) with ASTM D3418 testing standards. The highest composite tensile strength test results when adding 0% ZnO by weight were 22.6 ± 3.89 MPa, the highest composite impact strength when adding 5% by weight ZnO was 7.42 kJ/m², and the highest degree of crystallinity was obtained when adding 15% by weight ZnO was 57.09%. The results showed that composites with the addition of 5% ZnO had increased impact strength compared to composites without ZnO, while tensile strength tended to decrease as the ZnO concentration increased. In addition, the highest crystallinity was achieved in the composite with the addition of 15% ZnO. These findings indicate that the addition of ZnO can improve some mechanical and thermal properties of composites, although the effect depends on the concentration of ZnO used.

Keywords: composites, polypropylene, ramie fiber, zinc oxide, manual forming machine.

1. PENDAHULUAN

Saat ini industri polimer di Indonesia sedang berkembang untuk menghasilkan suatu produk guna memenuhi kebutuhan masyarakat. Polimer banyak digunakan di berbagai bidang karena keunggulan yang ada yaitu mudah dibentuk, memiliki bobot yang ringan, kuat, dan biaya yang relatif rendah (Dwinahari Putri, 2023). Penggunaan polimer yang bervariasi membuat polimer menjadi salah satu penyumbang limbah dengan urutan tertinggi di Indonesia.

Berdasarkan data SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), limbah polimer plastik berada di urutan ke-2 komposisi sampah terbanyak pada tahun 2023 di Indonesia dengan persentase sebesar 18,7%. Pengolahan dan pemanfaatan kembali limbah plastik menjadi salah satu upaya yang bertujuan untuk mengurangi limbah plastik (Sulbi, 2017).

Polipropilena (PP) merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan untuk menghasilkan suatu produk. PP adalah jenis polimer termoplastik. Polimer termoplastik merupakan jenis polimer yang dapat berulang kali dilunakkan dengan memanfaatkan panas dan menjadi keras setelah didinginkan (Sari & Suteja, 2023).

Keunggulan penggunaan PP yaitu biaya produksi yang relatif rendah, mudah dalam proses daur ulang, dan memiliki sifat mekanis yang cukup tinggi dibandingkan dengan polimer termoplastik lainnya. Dengan begitu, keuntungan ini dapat memberi dampak baik pada penggunaan PP yang dimanfaatkan sebagai matriks dalam pembuatan komposit polimer (Deglas, 2023).

PP adalah jenis plastik yang dapat melalui proses daur ulang. Namun, penggunaan PP

daur ulang memiliki kekurangan yaitu sifat mekanis PP daur ulang tidak sekuat PP virgin. Hal itu menjadi penyebab bahwa komposit PP daur ulang membutuhkan bahan penguat seperti serat alam yang dapat berperan untuk meningkatkan sifat mekanis (Viani & Prayudie, 2024).

Serat alam sebagai pengganti serat yang direkayasa telah menjadi salah satu topik yang paling banyak diteliti selama beberapa tahun terakhir karena sifat-sifat yang melekat, seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah jika dibandingkan dengan serat sintesis (Habibie dkk., 2021). Serat alam yang berpotensi sebagai penguat dalam komposit polimer, salah satunya adalah serat rami. Rami adalah salah satu tanaman yang perkembangbiakkannya mudah, berumur panjang, tumbuh baik di daerah yang memiliki cuaca hangat dan lembab dengan curah hujan yang hampir merata di sepanjang tahun (Ilham & Istiqlalayah, 2019).

Penambahan pengisi (*filler*) pada komposit bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis dan sifat termal. *Zinc Oxide* (ZnO) merupakan salah satu zat aditif yang berpotensi menjadi *filler* pada komposit polimer. Dalam penelitian Viani & Prayudie (2024), perlakuan alkali dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat dan matriks PP, yang bertujuan mengurangi perbedaan polaritas antara keduanya dan memperbaiki ikatan antar material. Sementara itu, dalam penelitian ini, perlakuan tersebut tidak dilakukan, meskipun ada perbedaan polaritas yang signifikan antara matriks PP dan serat rami, yang dapat mempengaruhi distribusi tegangan dan performa mekanis, seperti kuat tarik dan kuat impact.

Oleh karena itu, untuk mendapatkan peningkatan yang lebih baik pada sifat mekanis seperti kuat tarik dan kuat impact,

diperlukan perlakuan lebih lanjut, seperti perlakuan alkali atau penggunaan agen pengikat (compatibilizer). Hal yang sama berlaku untuk Zinc Oxide (ZnO), yang memiliki perbedaan polaritas dengan matriks PP, sehingga penggunaan compatibilizer juga diperlukan untuk meningkatkan interaksi antara filler ZnO dan matriks, serta mencegah agregasi yang mengurangi sifat mekanis material.

Keuntungan penggunaan ZnO sebagai *filler* pada komposit polimer diantaranya seperti harganya murah, persediaan di alam dalam jumlah yang melimpah, mudah dalam pengelolaan, dan tidak beracun (Hamzah Arifin Sinambela & Maulida, 2018).

Hal itu menjadi penyebab bahwa komposit PP daur ulang membutuhkan bahan penguat seperti serat alam, yang dapat berperan dalam meningkatkan sifat mekanis tertentu seperti kuat impact. Namun, perlu diperhatikan bahwa penambahan serat alam tidak selalu meningkatkan semua sifat mekanis. Sebagai contoh, penambahan serat dapat menyebabkan penurunan kuat tarik, seperti yang dilaporkan oleh Viani & Prayudie (2024), di mana peningkatan kuat impact terjadi, sementara sifat kuat tarik justru mengalami penurunan akibat ketidakmampuan serat untuk mendistribusikan beban tarik secara merata.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vidakis dkk., (2022) komposit *High Density Polyethylene* dengan penambahan ZnO sebanyak 5, 10, dan 20% memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan ZnO. Nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada penambahan komposisi ZnO sebanyak 10% yaitu 39 MPa.

Oleh karena itu, penelitian ini akan menggabungkan serat rami sebagai penguat alami dengan Zinc Oxide (ZnO) sebagai filler dalam polipropilena (PP) daur ulang.

Penelitian ini secara spesifik meneliti sifat mekanis dan kristalinitas dari komposit yang terbuat dari PP daur ulang, yang biasanya memiliki performa lebih rendah dibandingkan PP virgin.

Investigasi pengaruh ZnO sebagai agen pengisi pada komposit PP daur ulang terhadap kristalinitas material juga merupakan poin penting. Penelitian ini menunjukkan bagaimana penambahan ZnO mempengaruhi derajat kristalinitas, dengan ZnO bertindak sebagai agen nukleasi pada konsentrasi tinggi. Efek ini menawarkan perspektif baru dalam pengembangan komposit polimer daur ulang. Komposit tersebut dibuat menggunakan mesin *manual forming* dan dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh penambahan ZnO terhadap kuat tarik, kuat impact, dan kristalinitas komposit PP daur ulang/serat rami.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cacahan polipropilena daur ulang yang berasal dari kemasan gelas air mineral bekas dengan merek ZERA, serat rami berukuran ± 1 cm, dan *Zinc Oxide* (ZnO) dengan merek CREST.

2.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitik, timbangan, blender, oven dengan merek MEMMERT, cetakan komposit 20 cm \times 20 cm \times 0,2 cm, cetakan komposit 20 cm \times 20 cm \times 0,4 cm, jangka sorong, mesin *granulator* dengan merek KAWATA, mesin *manual forming* dengan merek COMETECH, mesin *pneumatic specimen punch* dengan merek MARTO, *Universal Testing Machine (UTM)* IBERTEST 5 kN, *Impact testing machine* dengan merek ZWICKROELL, Mesin *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* dengan merek POLYMA 214 NETZSCH.

2.3 Metode

Variasi komposisi bahan komposit PP daur ulang/serat rami dengan penambahan ZnO dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan Komposit PP Daur Ulang/Serat Rami/ZnO

| PP daur ulang (% berat) | Serat rami (% berat) | ZnO (% berat) |
|----------------------------|-------------------------|------------------|
| 85 | 15 | 0 |
| 80 | 15 | 5 |
| 75 | 15 | 10 |
| 70 | 15 | 15 |

Tahapan dalam penelitian ini adalah persiapan alat dan bahan, pengolahan serat rami, pembuatan komposit, pembuatan spesimen untuk pengujian, pengujian komposit, dan analisa kekuatan tarik, kekuatan impak, serta kristalinitas komposit.

PP daur ulang dicuci sebanyak 2 kali, kemudian gelas air mineral bekas akan dibentuk menjadi lembaran menggunakan gunting dan dicacah menggunakan mesin *granulator* sampai berukuran kecil. Serat rami dikeringkan di bawah sinar matahari, kemudian dicacah menggunakan gunting dan dihaluskan menggunakan blender sampai memiliki tekstur yang halus. Serat rami dilakukan proses pengeringan menggunakan oven pada suhu 105°C hingga berat serat rami konstan.

Pembuatan komposit dilakukan menggunakan mesin *manual forming*. PP daur ulang, serat rami, dan ZnO dimasukkan ke dalam wadah dan diaduk agar bahan tercampur. Bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit akan ditekan sampai pelat bawah cetakan menjepit secara sempurna antara pelat bawah dan pelat atas hingga tidak ada rongga ruang dilakukan dengan pemanasan 180°C selama 25 menit, kemudian setelah mencapai 20 menit diberikan tekanan optimum sebesar 300 kgf/cm² pada suhu mesin 180°C selama 5 menit.

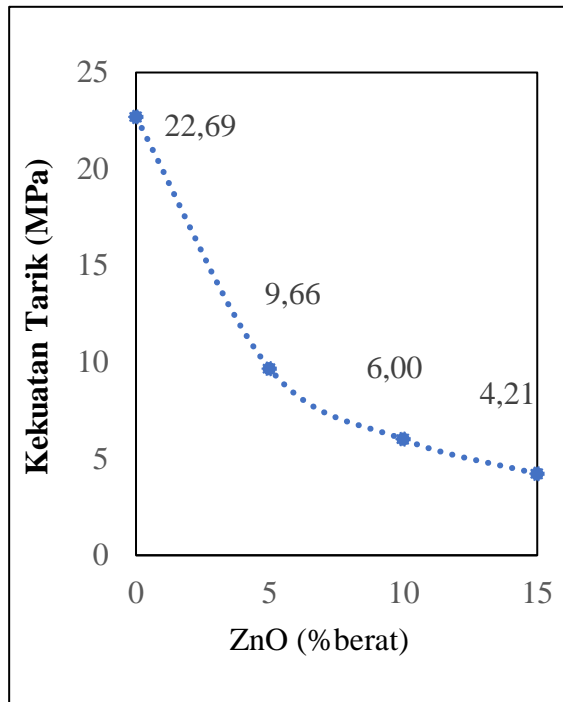
Dalam penelitian ini, pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dilakukan untuk mengukur stabilitas termal dan kristalinitas komposit. Pengujian DSC bertujuan untuk menentukan perubahan energi yang terkait dengan transisi termal pada sampel, seperti titik leleh (*melting point*) dan entalpi peleburan (*enthalpy of fusion*), yang berhubungan dengan derajat kristalinitas material. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM D3418, dengan rentang suhu tertentu untuk memastikan akurasi hasil.

Serat rami digunakan sebagai bahan penguat dengan komposisi sebesar 15% dari total berat komposit, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan serat alami pada konsentrasi ini dapat meningkatkan sifat mekanis komposit secara signifikan (Ilham & Istiqlaliyah, 2019). Penambahan serat rami dilakukan untuk meningkatkan interaksi antara matriks PP daur ulang dan serat alami, sehingga diharapkan dapat memperbaiki performa mekanis komposit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Penambahan ZnO terhadap

Kuat Tarik PP Daur Ulang/Serat Rami



Gambar 1. Pengaruh penambahan ZnO terhadap nilai kuat tarik komposit PP daur ulang/serat rami

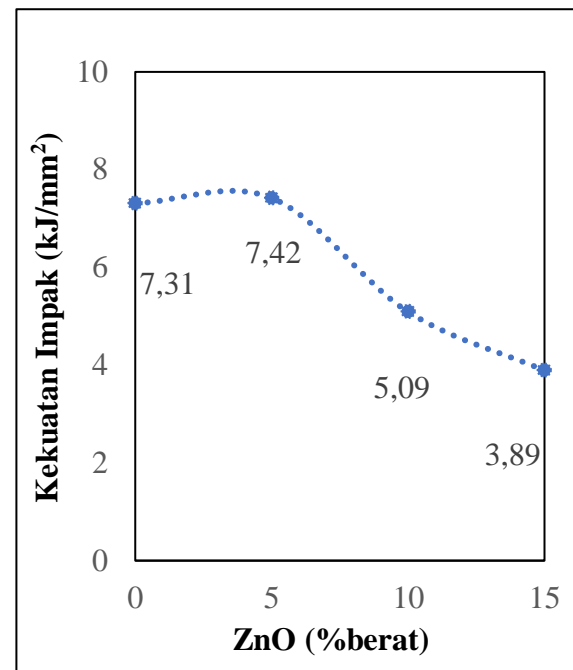
Berdasarkan Gambar 1, nilai kuat tarik tertinggi untuk komposit PP daur ulang/serat rami didapatkan pada variasi tanpa penambahan ZnO, yaitu sebesar 22,69 MPa. Sebaliknya, komposit PP daur ulang/serat rami dengan penambahan 15% ZnO memiliki nilai kuat tarik terendah, yaitu 4,21 MPa.

Terjadinya penurunan nilai kuat tarik disebabkan oleh ikatan yang kurang kuat antara matriks polimer dan ZnO. Ikatan yang kurang kuat disebabkan oleh penyebaran material yang tidak merata sehingga distribusi tidak homogen. Ikatan yang kurang kuat mengakibatkan partikel ZnO sebagai pengisi tidak dapat memikul atau menahan beban tarik yang diterapkan pada komposit, sehingga tidak berkontribusi pada peningkatan nilai kuat tarik komposit.

Penurunan nilai kuat tarik sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh

Thipperudrappa dkk. (2020), hal ini disebabkan oleh penyebaran material yang tidak merata, sehingga mengakibatkan adanya penggumpalan yang dapat mengurangi efektivitas dalam peningkatan kuat tarik.

3.2 Pengaruh Penambahan ZnO terhadap Kuat Impak PP Daur Ulang/Serat Rami



Gambar 2. Pengaruh penambahan ZnO terhadap nilai kuat impak komposit PP daur ulang/serat rami

Berdasarkan Gambar 2, nilai kuat impak tertinggi untuk komposit PP daur ulang/serat rami didapatkan pada penambahan 5% ZnO, yaitu sebesar 7,42 kJ/mm². Sebaliknya, komposit PP daur ulang/serat rami dengan penambahan 15% ZnO memiliki nilai kuat impak terendah, yaitu 3,89 kJ/mm².

Penambahan ZnO dalam jumlah kecil efektif meningkatkan ketahanan impak material komposit karena distribusi yang homogen dan peningkatan adhesi antarmuka. Namun, pada konsentrasi tinggi, ZnO dapat menurunkan sifat mekanis material dengan memicu retakan. Hal ini disebabkan oleh rongga pada sampel dengan penambahan 10% dan 15% ZnO,

yang diakibatkan oleh penyebaran material yang tidak merata sehingga udara terjebak saat proses pelelehan.

Pengaruh penambahan ZnO terhadap kekuatan impact sejalan dengan penelitian Díez-Pascual & Díez-Vicente (2014), penambahan ZnO dalam jumlah kecil efektif untuk meningkatkan ketahanan impact material komposit karena distribusi yang homogen dan peningkatan adhesi antarmuka. Namun, pada konsentrasi yang terlalu tinggi, penambahan ZnO dapat menurunkan sifat mekanis material dengan memicu retakan

Penurunan nilai kuat impact sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pamungkas dkk. (2021), di mana penambahan ZnO dalam jumlah yang tinggi mengakibatkan partikel-partikel bisa saling bertumpuk dalam matriks, menghambat proses pencampuran dan penyatuan yang efektif dengan material lainnya. Hal ini menyebabkan adanya rongga karena ZnO tidak dapat terdistribusi secara merata di seluruh matriks komposit, sehingga terbentuk zona lemah yang meningkatkan kerentanan terhadap keretakan. Selain itu, distribusi ZnO yang tidak merata juga dapat menyebabkan ketidakeragaman sifat mekanis dalam komposit, yang selanjutnya berkontribusi pada penurunan performa material secara keseluruhan. Akibatnya, komposit menjadi lebih rentan terhadap kegagalan saat mengalami beban impact.

Peningkatan nilai kuat impact sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan Wacharawichanant & Phutphongsai (2007), yang menunjukkan bahwa penambahan ZnO meningkatkan kuat impact pada konsentrasi rendah (1%) tetapi menurunkannya pada konsentrasi yang lebih tinggi (2% dan 4%). Pada konsentrasi rendah, ZnO tersebar merata, sementara pada konsentrasi yang lebih tinggi, ZnO

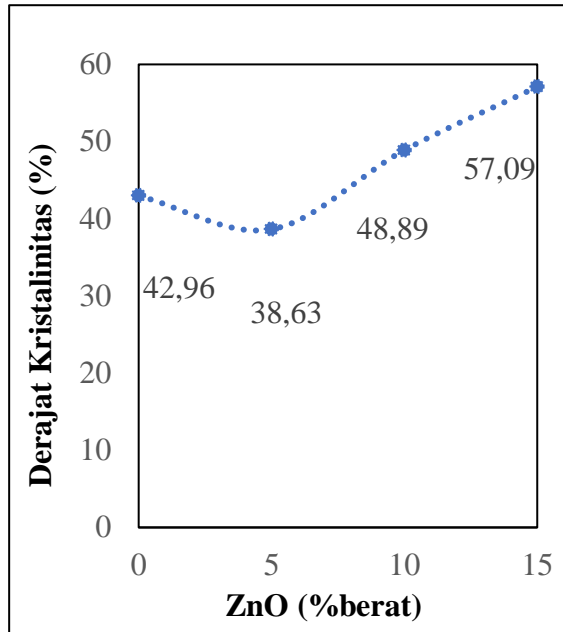
membentuk agregat yang dapat menurunkan kekuatan impact komposit.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada komposit PP daur ulang/serat rami menyebabkan penurunan kuat tarik, terutama pada konsentrasi ZnO yang lebih tinggi (10% dan 15%). Penurunan ini dapat dijelaskan oleh distribusi ZnO yang tidak homogen dalam matriks komposit. Ketidakhomogenan distribusi ini mengakibatkan terbentuknya zona-zona lemah di dalam material, yang tidak mampu menahan beban tarik secara merata. ZnO yang menggumpal pada area tertentu tidak dapat berfungsi secara optimal sebagai pengisi, sehingga tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kuat tarik.

Fenomena serupa terlihat pada hasil pengujian kuat impact. Meskipun penambahan ZnO sebesar 5% mampu meningkatkan kuat impact, nilai ini justru menurun pada konsentrasi ZnO yang lebih tinggi (10% dan 15%). Ketidakteraturan distribusi ZnO diyakini menciptakan rongga-rongga mikro di dalam komposit, yang membuat material lebih rentan terhadap keretakan saat terkena beban impact. Adanya rongga-rongga ini menciptakan titik-titik lemah dalam struktur komposit, sehingga mengurangi kemampuan material untuk menahan energi impact.

Dengan demikian, distribusi ZnO yang tidak merata pada konsentrasi tinggi berkontribusi terhadap penurunan kuat tarik dan kuat impact komposit, yang konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa agregasi partikel ZnO dapat mengurangi sifat mekanis material (Thipperudrappa et al., 2020).

3.3 Pengaruh Penambahan ZnO terhadap Kristalinitas PP Daur Ulang/Serat Rami



Gambar 3. Pengaruh penambahan ZnO terhadap nilai derajat kristalinitas komposit PP daur ulang/serat rami

Berdasarkan Gambar 3, nilai derajat kristalinitas terendah untuk komposit PP daur ulang/serat rami didapatkan pada penambahan 5% ZnO, yaitu sebesar 38,63%. Sebaliknya, komposit PP daur ulang/serat rami dengan penambahan 15% ZnO memiliki nilai derajat kristalinitas, yaitu 57,09%.

Penambahan 5% ZnO menurunkan kristalinitas karena interaksi permukaan ZnO dengan rantai polimer menghambat pembentukan kristal. Pada konsentrasi ini, partikel ZnO tersebar merata dan berinteraksi dengan rantai polimer, mengganggu mobilitas dan mengurangi kristalinitas.

Penurunan kristalinitas komposit sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Uysal (2014), hal ini disebabkan karena interaksi permukaan ZnO dengan rantai polimer, yang dapat menghambat pembentukan kristal. Pada konsentrasi

rendah seperti 5%, partikel ZnO tersebar lebih merata dan memiliki luas permukaan yang cukup untuk berinteraksi dengan rantai polimer PP. Interaksi ini menghasilkan hambatan fisik yang mengganggu mobilitas rantai polimer dan menghambat proses pembentukan kristal, sehingga mengurangi derajat kristalinitas

Kenaikan derajat kristalinitas disebabkan oleh efek nukleasi ZnO. Pada konsentrasi tinggi, ZnO bertindak sebagai agen nukleasi, memberikan lebih banyak titik awal untuk kristal, meskipun ada risiko penggumpalan yang mengurangi distribusi merata. Efek nukleasi total tetap meningkat, sehingga lebih banyak kristal terbentuk dan meningkatkan derajat kristalinitas.

Peningkatan kristalinitas komposit sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Shojaeiarani dkk. (2019), hal ini disebabkan oleh efek nukleasi ZnO. Pada konsentrasi tinggi, partikel ZnO berfungsi sebagai agen nukleasi yang memberikan lebih banyak titik awal untuk pembentukan kristal dalam matriks polimer. Meskipun terdapat risiko penggumpalan dalam penambahan ZnO dengan konsentrasi yang lebih tinggi, yang menyebabkan distribusi ZnO menjadi tidak merata, efek negatif ini tidak sepenuhnya menghalangi peningkatan jumlah titik nukleasi secara keseluruhan.

Sifat termal berkorelasi dengan kristalinitas; semakin tinggi kristalinitas, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk melelehkan material. Namun, hubungan antara ΔH_m dan T_m tidak selalu linier karena distribusi yang tidak homogen, yang menyebabkan beberapa bagian meleleh pada suhu lebih rendah meskipun total energi pelelehan tetap tinggi (Giat dkk., 2015).

4. KESIMPULAN

Penambahan ZnO pada komposit PP daur ulang/serat rami tidak meningkatkan nilai

kuat tarik. Nilai kuat tarik tertinggi, $22,69 \pm 3,89$ MPa, didapatkan dari komposit tanpa ZnO, sedangkan nilai terendah, $4,21 \pm 1,11$ MPa, dari komposit dengan 15% ZnO. Penambahan ZnO mempengaruhi nilai kuat impact, dengan peningkatan hingga $7,42 \text{ kJ/m}^2$ pada penambahan 5% ZnO, namun menurun pada penambahan di atas 5%. ZnO juga meningkatkan derajat kristalinitas, dengan nilai tertinggi 57,09% pada komposit dengan penambahan 15% ZnO.

Penambahan ZnO tidak hanya mempengaruhi kuat impact tetapi juga derajat kristalinitas komposit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan ZnO sebesar 5% menghasilkan peningkatan kuat impact tertinggi, sementara penambahan ZnO yang lebih tinggi (10% dan 15%) menurunkan nilai kuat impact. Di sisi lain, derajat kristalinitas justru meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi ZnO, dengan nilai tertinggi pada penambahan ZnO sebesar 15%.

Korelasi antara kedua parameter ini dapat dijelaskan melalui perubahan struktur internal komposit. Pada konsentrasi ZnO yang rendah (5%), peningkatan kuat impact disebabkan oleh distribusi yang lebih merata dari ZnO, yang memperkuat adhesi antarmuka antara matriks polimer dan serat rami. Hal ini memungkinkan material menyerap lebih banyak energi sebelum mengalami retakan. Namun, pada konsentrasi ZnO yang lebih tinggi (10% dan 15%), meskipun derajat kristalinitas meningkat, kuat impact justru menurun. Hal ini dapat terjadi karena meningkatnya kristalinitas membuat material menjadi lebih kaku dan rapuh, sehingga lebih rentan terhadap keretakan saat terkena beban impact.

Dengan demikian, peningkatan kristalinitas pada konsentrasi ZnO yang tinggi meningkatkan kekakuan material, namun

mengurangi fleksibilitasnya, yang berakibat pada penurunan kuat impact. Kondisi ini menunjukkan adanya keseimbangan antara tingkat kristalinitas dan ketahanan impact komposit; peningkatan kristalinitas cenderung meningkatkan kekakuan, tetapi pada saat yang sama menurunkan kemampuan material dalam menyerap energi impact.

Untuk mengatasi masalah ketidakmerataan distribusi ZnO dan meningkatkan adhesi antara matriks polimer dengan filler, disarankan untuk menggunakan agen pengikat (coupling agent) seperti silane atau maleic anhydride. Agen pengikat ini dapat membantu meningkatkan ikatan antara ZnO dan matriks polimer, yang diharapkan akan meningkatkan kuat tarik dan kuat impact komposit.

Studi pengaruh ukuran partikel ZnO dapat dilakukan dengan mengeksplorasi pengaruh ukuran partikel ZnO terhadap sifat mekanis dan termal komposit. Ukuran partikel yang lebih kecil dapat memberikan distribusi yang lebih merata dan meningkatkan interaksi antara filler dan matriks, yang mungkin memberikan hasil yang berbeda dari segi kuat tarik, kuat impact, dan kristalinitas.

Selain ZnO, penggunaan filler lain seperti nano-clay, serat karbon, atau kombinasi filler (hybrid composites) dapat dieksplorasi untuk melihat bagaimana kombinasi berbagai material ini mempengaruhi sifat mekanis dan termal komposit. Penggunaan kombinasi filler mungkin dapat meningkatkan performa komposit tanpa menurunkan sifat mekanis tertentu.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini. Selain itu, dukungan dalam bentuk fasilitas

riset dan ilmiah serta teknis dari Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Laboratorium Instrumentasi, dan Laboratorium Polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Deglas, W. (2023). Pengaruh Jenis Plastik Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), High Density Polyethylene (HDPE), dan Overheated Polypropylene (OPP) terhadap Kualitas Buah Pisang Mas. *Jurnal Pertanian Dan Pangan*, 5(1), 33–42.
- Díez-Pascual, A. M., & Díez-Vicente, A. L. (2014). Poly(3-hydroxybutyrate)/ZnO bionanocomposites with improved mechanical, barrier and antibacterial properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(6), 10950–10973.
<https://doi.org/10.3390/ijms150610950>
- Dwinahari Putri, A. (2023). Review: Pemanfaatan Polimer Alami Dalam Pembuatan Plastik Biodegradable. *Jurnal Al'Ilmi*, 12(1), 2023.
<http://jurnal.radenfatah.ac.id/index.php/alilmi>
- Giat, S. S., Indah Anwar, D., & Basril Abbas, D. (2015). *Sifat Fisis dan Mekanis Komposit High Density Polyethylene (HDPE)-Hydroxyapatite (HAP) dengan Teknik Iradiasi Gamma (Physico and Mechanical Properties of High Density Polyethylene (HDPE)-Hydroxyapatite (HAP) Composites Using Gamma Irradiation Techniques)*. 53–60.
- Habibie, S., Suhendra, N., Roseno, S., Adi, B., Material, P. T., Riset, B., & Gedung, P. (2021). *Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka*. 2, 1–13.
- Hamzah Arifin Sinambela, & Maulida. (2018). Tekanan Hot Press terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Partikel Zinc Oxide (ZnO). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(2), 40–44.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v7i2.1649>
- Ilham, M., & Istiqlaliyah, H. (2019). Pemanfaatan Serat Rami (Boehmeria Nivea) Sebagai Bahan Komposit Bermatrik Polimer. *Jurnal Mesin Nusantara*, 2(1), 34–41.
<https://doi.org/10.29407/jmn.v2i1.13125>
- Pamungkas, D., Sujana, I. W., & Widodo, B. S. (2021). *Analisis Pengaruh Variasi Penambahan Zinc (ZnO) Dan Alumina (Al₂O₃) Terhadap Kekuatan Mekanik Dan Struktur Makro Pada Komposit Resin Epoxy Berpenguat Serat Ampas Tebu*. 12(1).
- Sari, N. H., & Suteja. (2023). *Biokomposit Berbasis Serat Sembukan (Paederia Foetida L.) - Pati Colocasia Esculenta Bahan Baku, Ekstraksi, Manufaktur, Karakterisasi Dan Sifat*. Deepublish.
https://www.google.co.id/books/editio n/Biokomposit_Berbasis_Serat_Sembukan_Paed/YcrIEAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=polimer&pg=PA3&printsec=frontcover
- Shojaeiarani, J., Bajwa, D., Jiang, L., Liaw, J., & Hartman, K. (2019). Insight on the influence of nano zinc oxide on the thermal, dynamic mechanical, and flow characteristics of Poly(lactic acid)–zinc oxide composites. *Polymer Engineering and Science*, 59(6), 1242–1249.
<https://doi.org/10.1002/pen.25107>
- Sulbi, A. H. &. (2017). Pemanfaatan Limbah Gelas Plastik Air Mineral. *Universitas Negri Surabaya*, 05, 19–26.
- Thipperudrappa, S., Ullal Kini, A., & Hiremath, A. (2020). Influence of zinc oxide nanoparticles on the mechanical and thermal responses of glass fiber-reinforced epoxy nanocomposites. *Polymer Composites*, 41(1), 174–181.
<https://doi.org/10.1002/pc.25357>

- Uysal, A. (2014). *Tensile Properties of Polypropylene / Metal Oxide Nano Tensile Properties of Polypropylene / Metal Oxide Nano Composites*. 1(January 2011), 25–30.
- Viani, V., & Prayudie, U. (2024). *Pengaruh Penambahan Serat Biduri (Calotropis Gigantea) Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polipropilena Daur Ulang / Serat Biduri*. 1(1), 17–22. <https://doi.org/10.52330/jpcet.v1i1.237>
- Vidakis, N., Petousis, M., Maniadi, A., Papadakis, V., & Moutsopoulou, A. (2022). The Impact of Zinc Oxide Micro-Powder Filler on the Physical and Mechanical Response of High-Density Polyethylene Composites in Material Extrusion 3D Printing. *Journal of Composites Science*, 6(10). <https://doi.org/10.3390/jcs6100315>
- Wacharawichanant, S., & Phutphongsai, A. (2007). The Study of Morphology and Mechanical Properties of Compatibilized Polypropylene/Zinc Oxide Composites. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 1(10), 1231–1237. <https://doi.org/10.1299/jmmp.1.1231>