

Analisis Kekuatan Tarik Polimer Komposit Polyethylene Terephthalate Berpengisi Karbon Aktif Pada Aplikasi Fuel Cell

Tensile Strength Analysis of Polyethene Terephthalate Polymer Composites Filled with Activated Carbon for Fuel Cell Applications

Iswandi^{1,2*}, Djoko Setyanto¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Raya Cisauk Lapan, Cisauk, Tangerang, Banten 15345, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Sumatera Utara 2023, Indonesia

*Corresponding author: iswandi@staff.uma.ac.id

Diterima: 01-09-2025

Disetujui: 21-12-2025

Dipublikasikan: 30-12-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Plat dwikutub berbahan komposit polimer–karbon aktif menawarkan alternatif yang ringan dan ekonomis, namun memerlukan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan jumlah pengisi karbon. Hal ini dikarenakan fraksi pengisi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aglomerasi dan terbentuknya void, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan tarik serta kinerja keseluruhan plat tersebut. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kekuatan tarik komposit PET (Polyethylene Terephthalate) dengan variasi komposisi karbon aktif. Komposisi yang diuji adalah 90/10, 80/20, dan 70/30 (% berat) berdasarkan persen berat. Pembuatan spesimen dilakukan menggunakan hot press (compression molding). Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638. Nilai kekuatan tarik dihitung dari beban maksimum terhadap luas penampang spesimen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan 10% karbon aktif menghasilkan 2,84 MPa. Penambahan karbon aktif hingga 30% menurunkan kekuatan tarik menjadi 1,05 MPa. Tren ini menunjukkan peningkatan komposisi karbon aktif menurunkan kekuatan tarik komposit PET untuk aplikasi plat dwikutub.

Kata kunci: Plat dwikutub, Komposit PET/karbon aktif, Kekuatan tarik, Hot press.

Abstract

Bipolar plates made from polymer–activated carbon composites offer a lightweight, economical alternative but require a balance between mechanical strength and the amount of carbon filler. This is because a filler fraction that is too high can cause agglomeration and void formation, ultimately reducing the tensile strength and overall performance of the plate. This study aims to evaluate the tensile strength of PET (Polyethene Terephthalate) composites with varying levels of activated carbon. The compositions tested were 90/10, 80/20, and 70/30 (wt%). Specimens were fabricated using a hot press (compression moulding). Tensile testing was conducted in accordance with ASTM D638. The tensile strength value was calculated from the maximum load to the cross-sectional area of the specimen. The test results showed that the composite with 10% activated carbon produced 2.84 MPa. The addition of activated carbon up to 30% decreased the tensile strength to 1.05 MPa. This trend indicates that increasing the activated carbon composition decreases the tensile strength of PET composites for bipolar plate applications.

Keywords: Bipolar plate, PET/activated carbon composite, Tensile properties, Compression moulding.

1. Pendahuluan

Fuel cell tipe PEM membutuhkan plat dwikutub untuk operasi stabil. Plat ini mengatur distribusi gas reaktan pada kanal alir. Plat ini juga menghantarkan arus antar sel secara seri. Plat

ini turut membantu pelepasan panas selama pembangkitan daya. Karena itu, plat dwikutub sangat menentukan efisiensi dan umur pakai stack (Irshad and Shahgaldi 2025). Material plat dwikutub konvensional memakai grafit atau logam. Grafit memiliki konduktivitas baik, namun rapuh saat dibentuk. Komposit polimer–karbon menjadi alternatif karena ringan (Iswandi et al. 2022). Komposit ini juga mendukung manufaktur massal melalui proses cetak suntikan (injection molding) dan tekan panas (compression molding) (Iswandi et al. 2016). Akan tetapi, komposit membutuhkan kompromi antara konduktivitas dan kekuatan. Tantangan ini sering muncul pada desain plat dwikutub komposit (Gomez-Sanchez et al. 2024). Pengisi karbon seperti grafit, serat karbon, CNT, dan karbon hitam umum digunakan. Namun, biaya dan ketersediaan pengisi tertentu bisa menjadi kendala. Karbon aktif berpotensi sebagai pengisi alternatif karena murah. Karbon aktif juga mudah diperoleh dari berbagai sumber biomassa. Luas permukaan karbon aktif cenderung besar dan reaktif. Kondisi ini dapat meningkatkan interaksi antarmuka dengan matriks polimer. Akan tetapi, fraksi pengisi tinggi dapat memicu aglomerasi partikel. Aglomerasi dapat membentuk void dan menurunkan transfer tegangan. Akibatnya, kekuatan tarik komposit dapat menurun pada kadar pengisi tinggi (Husri Zarmawan et al., 2025). Penurunan aglomerasi dapat dihindari melalui proses pencampuran yang tepat. Proses pencampuran polimer komposit memberikan distribusi partikel secara merata dan memberikan pengaruh kepada sifat mekanik dan konduktivitas listrik yang baik (Muhammad Rizky Maulana et al. 2025).

Polietilena tereftalat (PET) menarik sebagai matriks karena tersedia luas. PET juga memiliki sifat mekanik yang baik untuk polimer umum. Namun, penambahan pengisi karbon tetap perlu dioptimasi. Optimasi diperlukan agar kekuatan mekanik tidak turun drastis. Hal ini relevan untuk plat dwikutub yang mengalami beban penjepitan. Studi terkini juga menekankan pentingnya optimasi dispersi pengisi. Proses pencampuran dan metode dispersi sangat memengaruhi performa komposit (Seon Ho Lee et al. 2025). Studi ini mengevaluasi sifat mekanik tarik komposit berbasis PET. Komposit diformulasikan dengan variasi fraksi massa karbon aktif sebagai penguat. Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan perubahan kekuatan tarik. Hasilnya diharapkan menjelaskan pengaruh komposisi terhadap performa material dan aplikasi rekayasa pada skala laboratorium, sebagai dasar optimasi parameter pemrosesan.

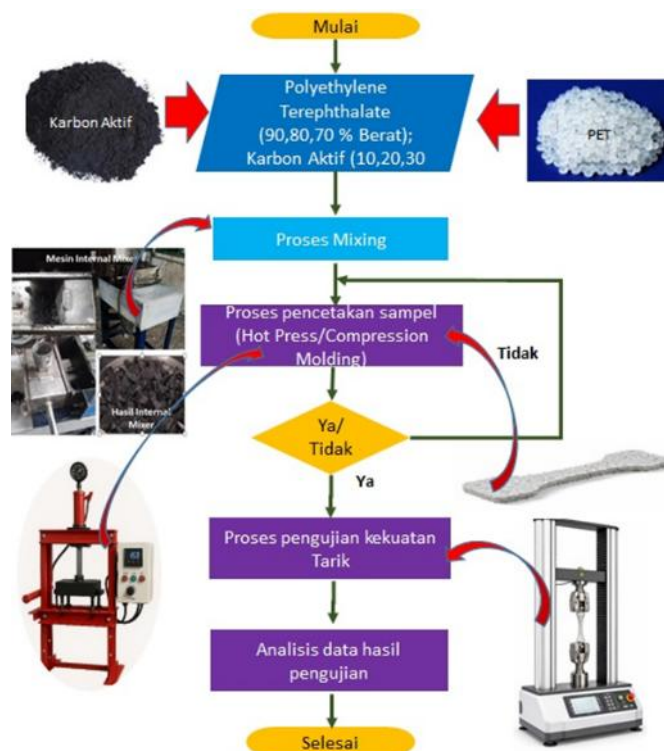
Peran plat dwikutub sebagai salah satu komponen utama pada teknologi fuel cell yaitu menahan gaya jepit saat perakitan tumpukan sel. Plat dwikutub juga menghadapi getaran, siklus termal, dan tekanan reaktan. Karena itu, plat memerlukan kekuatan tarik dan ketangguhan memadai. Komposit polimer–karbon menawarkan bobot ringan dan ketahanan korosi tinggi. Komposit ini juga mendukung pembentukan pelat melalui proses cetak panas (S.J. Narasimharaju et al. 2025). Pemilihan matriks PET memberi kekakuan dan stabilitas dimensi yang baik. PET juga memiliki ketahanan kimia terhadap lingkungan kerja sel dan mempertahankan bentuk saat beban jangka panjang meningkat.

Bahan pengisi berbasis karbon berperan sebagai fase penguat komposit. Partikel karbon menahan deformasi dan meningkatkan modulus tarik material (Iswandi et al. 2019). Karbon juga membantu menahan perambatan retak melalui mekanisme penghalang. Ketika partikel tersebar merata, tegangan berpindah lebih efektif. Transfer tegangan yang baik meningkatkan kekuatan tarik komposit secara konsisten. Pengisi karbon juga dapat mengurangi creep pada suhu operasi menengah (Yoon-Ji Yim and Byung-Joo Kim 2023). Karbon aktif memiliki porositas dan luas permukaan tinggi. Pori karbon aktif memungkinkan penguncian mekanik dengan matriks PET. Area kontak besar memperkuat adhesi antarmuka dan menekan delaminasi. Antarmuka yang kuat mengurangi konsentrasi tegangan pada zona lemah. Struktur berpori juga dapat meningkatkan disipasi energi saat retak tumbuh. Hal ini meningkatkan ketangguhan tarik pada pembebanan dinamis (Rzeczowski et al. 2019). Keunggulan ini bergantung pada kontrol dispersi

pengisi, dimana distribusi homogen mencegah aglomerasi yang memicu retak awal. Fraksi pengisi optimum menjaga matriks cukup untuk mengikat partikel. Pencampuran intensif dan pengeringan mencegah void serta pori terperangkap. Modifikasi permukaan pengisi dapat meningkatkan kompatibilitas terhadap PET. Dengan optimasi tersebut, komposit PET–karbon cocok untuk plat dwikutub. Material ini dapat memenuhi kebutuhan kekuatan tarik dan keandalan operasi.

2. Metode

Penelitian ini Penelitian dimulai dengan persiapan bahan yang terdiri dari Matriks Polyethylene terephthalate (PET) merupakan polimer termoplastik yang banyak digunakan dalam aplikasi teknik dan industri karena memiliki sifat fisik, mekanik, dan termal yang baik. PET memiliki densitas rata-rata sekitar $\pm 1,4 \text{ g/cm}^3$, dengan densitas $1,370 \text{ g/cm}^3$ pada fase amorf dan $1,455 \text{ g/cm}^3$ pada fase kristalin, yang menunjukkan pengaruh tingkat kristalinitas terhadap struktur material. Dari sisi mekanik, PET memiliki modulus Young sebesar 2800–3100 MPa, yang menandakan kekakuan relatif tinggi, serta kekuatan tarik pada kisaran 55–75 MPa. Batas elastisitas PET yang mencapai 50–150% menunjukkan sifat keuletan yang memadai sebelum terjadinya kegagalan material. Secara termal, PET memiliki temperatur transisi gelas (T_g) sekitar $75 \text{ }^\circ\text{C}$ dan titik leleh sekitar $260 \text{ }^\circ\text{C}$, sehingga dapat digunakan pada suhu menengah hingga tinggi. Nilai konduktivitas termal yang rendah, yaitu $0,24 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, menunjukkan bahwa PET bersifat sebagai isolator panas yang baik. Selain itu, penyerapan air PET yang rendah, sekitar 0,16% berdasarkan standar ASTM, menunjukkan stabilitas dimensi yang baik pada lingkungan lembap. Kombinasi sifat tersebut menjadikan PET material yang potensial untuk berbagai aplikasi teknik dan komposit polimer.

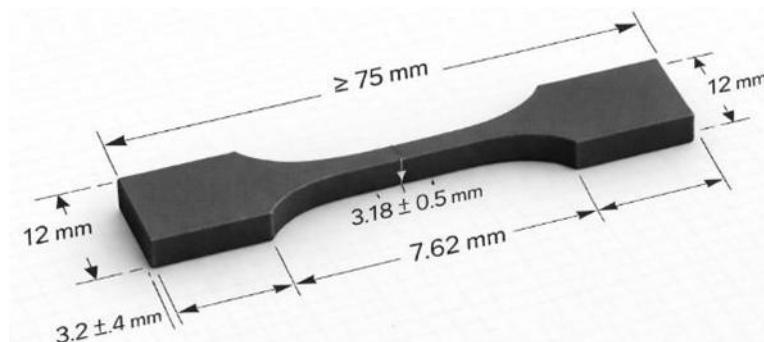


Gambar 1. Skema proses penelitian polimer komposit PET/KA

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% senyawa karbon bebas, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Penggunaan karbon aktif sebagai suatu bahan padat yang berpori yang diperoleh dari hasil pembakaran dimana bahan ini mengandung karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori –

porinya masih tertutup hidrokarbon, tar dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (fixed carbon), abu, air, nitrogen dan sulfur. Karbon aktif tempurung kelapa dengan merek Borneo digunakan dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 1 skema penelitian, mempunyai luas area permukaan 300 sampai 2000 m²/gram, ukuran karbon aktif bubuk 325 mesh dengan kandungan air sekitar 5-15 %, kandungan abu 2-3 % dan sisanya karbon dengan bentuk amorf terdiri dari pla-plat datar dan tersusun secara bertindih, yang disusun dengan satu atom "c" disetiap sudutnya. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini berupa serbuk.

Selanjutnya dilakukan pencampuran PET (polyethylene terephthalate) (100, 90, 80, 70% berat) dan karbon aktif (0, 10, 20, 30% berat). Bahan dicampur melalui proses mixing dengan parameter putaran, waktu pencampuran, suhu pencampuran. Selanjutnya dilakukan proses pencacahan hingga menjadi butiran halus. Kemudian dicetak menjadi sampel berbentuk kepingan plat dengan dimensi akhir mengikuti standar ASTM D638. Setelah pencetakan dengan dimensi menurut standar ASTM D638 dilihat pada Gambar 2. Skema proses penelitian polimer komposit dengan pengisi karbon aktif. Pencampuran serbuk secara merata atau homogen antara serbuk karbon aktif tempurung kelapa dan bahan pengikat PET (polyethylene terephthalate) dilakukan dengan metode pencampuran dalam (internal mixer), menggunakan mesin pencampur internal mixer jenis Roller blade dengan pengaturan manual. Proses pencampuran dijalankan dalam keadaan PP dileburkan di dalam barel atau bejana dengan kapasitas 100 gram pada variasi komposisi pengisi karbon aktif dengan PET. Pencampuran pada suhu 300 °C, putaran (n) 50 rpm, waktu pencampuran pencampuran 30 menit. Selanjutnya proses pencetakan sampel dilakukan dengan metode tekan panas (hot press/ compression moulding) dengan tekanan 49.8 kN pada suhu proses sebesar 300 °C dan waktu tahan sebesar 20 menit. Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan spesimen uji tipe V sesuai dengan standar ASTM D638, yang diperuntukkan bagi spesimen berukuran kecil yang diambil dari komponen atau produk jadi. Spesimen tipe V memiliki panjang total minimum 75 mm. Lebar bagian pengujian (gage width) adalah sebesar $3,18 \pm 0,5$ mm, sedangkan lebar bagian pegangan sebesar 12 mm. Panjang daerah ukur (gage length) ditetapkan sebesar 7,62 mm. Ketebalan spesimen uji berada pada kisaran $3,2 \pm 0,4$ mm, sedangkan radius fillet transisi antara bagian pegangan dan daerah ukur adalah $25,4 \pm 5$ mm. Dimensi-dimensi tersebut dirancang untuk memastikan distribusi tegangan yang seragam pada daerah ukur selama pengujian tarik berlangsung seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi sampel uji tarik

3. Hasil dan Pembahasan

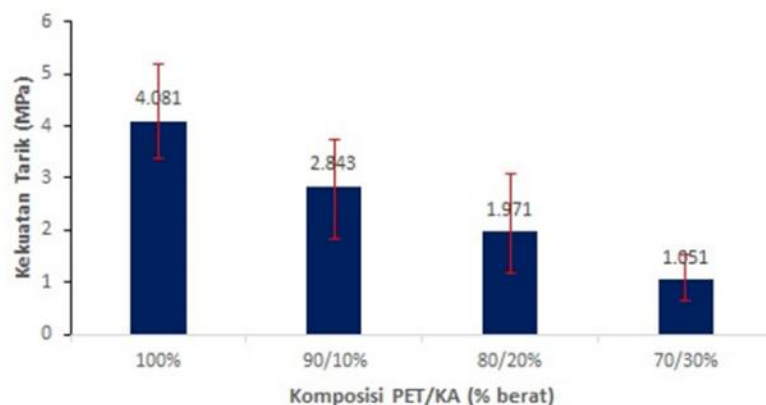
3.1. Pengaruh komposisi Karbon Aktif terhadap Kekuatan Tarik

Hasil uji tarik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa peningkatan fraksi karbon aktif dalam matriks PET cenderung menurunkan kekuatan tarik komposit. PET murni menghasilkan tegangan tarik tertinggi sebesar 4,081 MPa. Nilai ini menggambarkan kemampuan matriks PET menahan

beban tarik tanpa gangguan dari fase pengisi. Setelah karbon aktif ditambahkan 10% berat, kekuatan tarik turun menjadi 2,844 MPa pada komposisi 90/10 % berat. Penurunan ini menandakan bahwa keberadaan partikel pengisi mulai mengubah jalur distribusi tegangan di dalam matriks. Partikel karbon aktif dapat bertindak sebagai titik awal retak ketika ikatan antarmuka belum kuat atau ketika distribusi partikel belum merata.

Pada komposisi 80/20 % berat, tegangan tarik kembali menurun menjadi 1,971 MPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa kenaikan fraksi pengisi memperbesar kemungkinan terjadinya kontak antarpartikel, sehingga terbentuk aglomerasi. Aglomerasi menciptakan daerah yang lebih rapuh karena tegangan tidak tersalurkan secara merata dari matriks ke pengisi. Selain itu, fraksi pengisi yang lebih tinggi dapat meningkatkan peluang terbentuknya rongga mikro selama proses pencampuran dan pencetakan. Rongga tersebut menurunkan luas penampang efektif yang menahan beban tarik, sehingga spesimen lebih cepat mengalami patah.

Penurunan paling besar terjadi pada komposisi 70/30 % berat dengan nilai tegangan tarik 1,051 MPa. Pada kadar pengisi ini, matriks PET semakin sulit membasahi seluruh permukaan karbon aktif secara optimal. Akibatnya, antarmuka menjadi lebih lemah dan mekanisme transfer tegangan semakin tidak efektif. Hubungan antara komposisi dan kekuatan tarik dapat dijelaskan sebagai hubungan negatif, yaitu semakin besar persentase karbon aktif maka kekuatan tarik semakin rendah. Secara praktis, hasil ini menunjukkan adanya batas fraksi pengisi yang masih dapat diterima jika fokus utama adalah kekuatan mekanik. Komposisi 90/10 % berat masih mempertahankan kekuatan yang lebih baik dibandingkan komposisi lain, sedangkan 80/20 % berat dan 70/30 % berat menunjukkan degradasi kekuatan yang lebih signifikan.



Gambar 3. Hasil pengujian kekuatan Tarik terhadap komposisi PET / Karbon Aktif

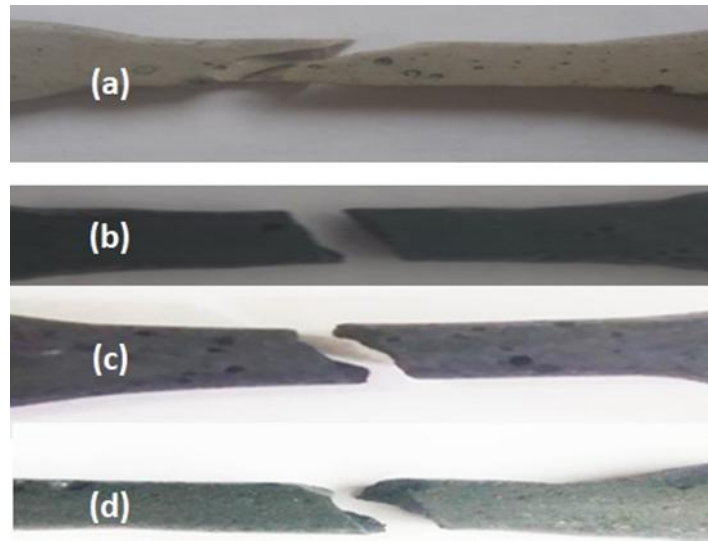
Fenomena penurunan sifat tarik pada komposit berpengisi karbon berpori (biochar/karbon aktif) kerap dikaitkan dengan interaksi antarmuka yang buruk serta kehadiran void di dalam matriks; pada loading lebih tinggi, penurunan semakin nyata karena agregasi partikel yang mengganggu kontinuitas matriks dan memicu retak awal (Tengku Arisyah Tengku Yasi et al. 2022). Selanjutnya kecenderungan peningkatan bahan pengisi berdasarkan karbon dengan matriks PET menimbulkan peningkatan aglomerasi sehingga menurunkan ikatan partikel dalam komposit (Basheer A. Alshammari et al. 2022).

3.2. Pengaruh komposisi Karbon Aktif terhadap Kekuatan Tarik

Gambar 4 menunjukkan fenomena patahan spesimen komposit PET/KA pada beberapa fraksi pengisi, dimana pada spesimen PET murni 100/0 (a) memperlihatkan leheran (necking) dan bidang patah miring. Pola ini mengindikasikan deformasi plastis yang relatif besar sebelum putus. Kondisi tersebut konsisten dengan perilaku ulet PET, karena rantai polimer masih mampu meregang dan menyalurkan tegangan secara bertahap. Penambahan karbon aktif 10% (b)

menghasilkan bidang patah yang lebih rata dan penurunan zona necking. Perubahan ini menandakan peningkatan kekakuan dan pembatasan mobilitas rantai. Pada kadar rendah, partikel karbon aktif berperan sebagai penguat dan titik jangkar tegangan, sehingga kekuatan tarik berpotensi meningkat bila dispersi baik dan ikatan antarmuka cukup.

Kemudian pada komposisi 80/20 (% berat) (c), permukaan patah tampak lebih bergerigi dengan celah putus yang jelas. Karakter ini menunjukkan perambatan retak yang lebih cepat dan dominasi patahan getas. Peningkatan fraksi pengisi dapat memicu aglomerasi, terbentuknya void, serta keterbatasan pembasahan matriks. Akibatnya, transfer tegangan dari PET ke partikel menjadi tidak optimal dan retak cenderung berawal dari konsentrasi tegangan di sekitar cacat.



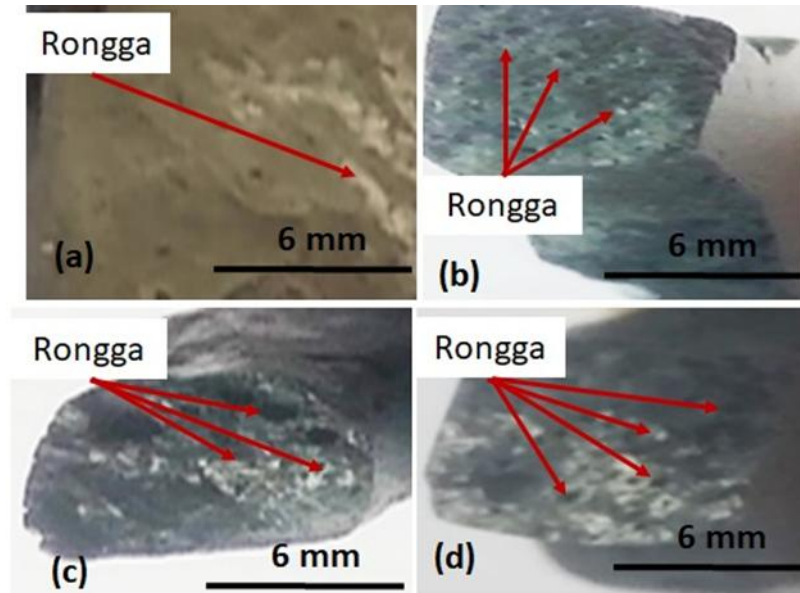
Gambar 4. Fenomena patahan komposit PET/KA (a).100/0, (b).90/10, (c). 80/20, (d). 70/30 (% berat)

Selanjutnya pada komposisi 70/30 (% berat) (d), patahan tampak paling kasar dan tidak beraturan. Fenomena ini menguatkan indikasi adanya jaringan partikel yang rapat tetapi tidak homogen. Pada kondisi tersebut, kenaikan kandungan karbon aktif lebih dominan meningkatkan kerapuhan dibandingkan efek penguatan. Secara keseluruhan, citra patahan memperlihatkan transisi dari ulet menuju getas seiring bertambahnya karbon aktif, yang menjelaskan penurunan kemampuan deformasi dan potensi penurunan kekuatan pada kadar pengisi tinggi. Temuan ini mengisyaratkan adanya komposisi optimum pada kadar menengah.

3.3. Pengaruh distribusi rongga komposit PET/KA terhadap Kekuatan Tarik

Hasil pengamatan pada Gambar 5 memperlihatkan distribusi rongga pada penampang patahan komposit PET/KA. Rongga berperan sebagai cacat internal yang menurunkan luas penampang efektif. Rongga juga menjadi titik awal retak saat pembebanan tarik. Akibatnya, kekuatan tarik dan regangan putus cenderung menurun. Pada Gambar 5 (a) PET murni 100/0 (% berat), rongga tampak jarang dan relatif besar. Kondisi ini dapat berasal dari udara terjebak saat pencetakan. Namun, matriks PET masih mampu mengalami deformasi plastis. Transfer tegangan tetap berlangsung melalui rantai polimer. Gambar 5.(b) komposisi 90/10 (% berat), rongga mulai muncul pada beberapa lokasi. Jumlahnya bertambah, tetapi sebarannya masih lokal. Pada kadar ini, partikel karbon aktif dapat meningkatkan kekakuan. Namun, rongga yang terbentuk mengurangi efek penguatan. Kekuatan tarik hanya meningkat bila dispersi karbon aktif dalam komposit mengisi seluruh ruang dengan baik. Kemudian Gambar 5.(c) 80/20 (% berat), rongga tampak lebih banyak dan menyebar. Pola ini mengindikasikan distribusi partikel yang kurang sempurna. Viskositas campuran juga meningkat saat pengisi bertambah. Kondisi tersebut

mempersulit aliran dan pepadatan. Aglomerasi partikel dapat menahan udara dan membentuk void (Tengku Arisyah Tengku Yasi et al. 2022). Gambar 5. (d) komposisi PET/KA 70/30 (% berat), rongga terlihat paling intens dan dominan. Cacat ini memicu konsentrasi tegangan yang tinggi. Selanjutnya kondisi ini menimbulkan rambatan retak yang mudah merambat mengikuti jaringan rongga (void). Mekanisme putus menjadi lebih getas dan cepat. Oleh karena itu, kekuatan tarik paling berpotensi turun pada fraksi tinggi. Secara keseluruhan, peningkatan karbon aktif meningkatkan peluang terbentuknya rongga. Peningkatan rongga melemahkan transfer tegangan antarfasa. Temuan ini menunjukkan perlunya optimasi pencampuran dan pepadatan.



Gambar 5. Distribusi rongga pada komposit PET/KA (a).100/0, (b).90/10, (c). 80/20, (d). 70/30 (% berat)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan sebagaimana telah diuraikan dalam hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa secara praktis, komposisi 90/10% berat masih paling layak bila target utama adalah kekuatan mekanik tarik. Komposisi ini masih mempertahankan integritas matriks PET dan mengurangi risiko cacat. Pada komposisi 80/20% dan 70/30%, degradasi kekuatan meningkat karena aglomerasi partikel dan bertambahnya rongga. Kondisi tersebut memicu konsentrasi tegangan dan mempercepat inisiasi retak. Hasil ini menegaskan bahwa kualitas dispersi karbon aktif harus dijaga selama pencampuran. Proses pepadatan juga perlu dioptimalkan untuk menekan rongga. Berdasarkan pengamatan patahan dan rongga menunjukkan perubahan mekanisme kerusakan PET/KA akibat penambahan karbon aktif. PET murni bersifat ulet dengan necking jelas. Penambahan 10% karbon aktif meningkatkan kekakuan, tetapi mulai meratakan bidang patah dan memunculkan rongga lokal. Pada 20–30%, aglomerasi dan void meningkat, pembasahan matriks menurun, serta transfer tegangan melemah. Kondisi ini mempercepat inisiasi dan perambatan retak sehingga patahan lebih getas dan kekuatan tarik turun.

Daftar Pustaka

Alshammari, Basheer A., Arthur N. Wilkinson, Bandar M. AlOtaibi, and Mohammed F. Alotibi. 2022. "Influence of Carbon Micro- and Nano-Fillers on the Viscoelastic Properties of Polyethylene Terephthalate." *Polymers* 14 (12): 2440. <https://doi.org/10.3390/polym14122440>.

- Gomez-Sanchez, Alejandro, Víctor A. Franco-Luján, Hilda M. Alfaro-López, Laura Hernández-Sánchez, Heriberto Cruz-Martínez, and Dora I. Medina. 2024. "Carbon Material-Reinforced Polymer Composites for Bipolar Plates in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells." *Polymers* 16 (5): 671. <https://doi.org/10.3390/polym16050671>.
- Irshad, Hafiz Muzammil, and Samaneh Shahgaldi. 2025. "Comprehensive Review of Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel Cells with a Focus on Materials, Processing Methods and Characteristics." *International Journal of Hydrogen Energy* 111 (March): 462–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.300>.
- Iswandi, Abu Bakar Sulong, and Jaafar Sahari. 2019. "Effect Of Graphite /Polipropilene On The Electrical Conductivity Of Manufactured Bipolar Plate." *Malaysian Journal of Analytical Science* 23 (2): 238–45. <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2302-19>.
- Iswandi, Indra Hermawan, Yopan AlQodari, and Muhammad Idris. 2022. "Analisis Komposisi Komposit Polipropilen/Karbon Aktif Terhadap Kekuatan Bending Untuk Aplikasi Plat Dwikutup Fuel Cell." *Prosiding Seminar Nasional* 9.
- Iswandi, Iswandi, Teuku Husaini, Abu Bakar Sulong, and Jaafar Sahari. 2016. "Critical Powder Loading And Rheological Properties Of Polypropilene /Graphite Composite Feedstock For Bipolar Plate Application." *Malaysian Journal of Analytical Science* 20 (3): 687–96. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2003-30>.
- Lee, Seon Ho, Song Mi Lee, Seungjoo Park, Doo-Hwan Jung, Woo-Jin Song, and Young-Seak Le. 2025. "Enhanced Mechanical and Electrical Properties of Carbon Composite Bipolar Plates in PEMFCs via Wet Mixing and CNT Optimization." *Advances in Industrial and Engineering Chemistry* 1 (27). <https://doi.org/10.1007/s44405-025-00020-1>.
- Maulana, Muhammad Rizky, Ahmad Fauji, Iswandi Iswandi, and Bobby Umroh. 2025. "Design of a Polymer Composite Shredding Machine for Fuel Cell Component Applications." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 4 (2): 238–44. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i2.285>.
- Narasimharaju, S. J., PV Elumalai, Paul James Thadhani Joshua, Mamdooh Alwetaishi, and Xu Yong. 2025. "Advances in Materials and Surface Engineering for Fuel Cell Bipolar Plates: Materials, Coatings." *Energy Reports* 14 (November): 3812–41. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.11.002>.
- Rzeczowski, Piotr, Beate Krause, and Petra Pötschke. 2019. "Characterization of Highly Filled PP/Graphite Composites for Adhesive Joining in Fuel Cell Applications." *Polymers* 11 (3): 462. <https://doi.org/10.3390/polym11030462>.
- Tengku Yasi, Tengku Arisyah, Lawrence Ng Yee-Foong, Abubakar Abdullahi Lawal, Mohammed Abdillan Ahmad Farid, Mohd Zulkhairi Mohd Yusuf, and Mohd Ali Hassan. 2022. "Emerging Application of Biochar as a Renewable and Superior Filler in Polymer Composites." *RSC Advances* 12 (November): 13938–49. <https://doi.org/10.1039/d2ra01897g>.
- Yim, Yoon-Ji, and Byung-Joo Kim. 2023. "Preparation and Characterization of Activated Carbon/Polymer Composites: A Review." *Polymers* 15 (16): 3472. <https://doi.org/10.3390/polym15163472>.
- Zarmawan, Husri, Iswandi, Tino Hermanto, and Darianto. 2025. "Analysis of Bending Strength of Composite Materials in Bipolar Plates for Fuel Cell Technology." *Journal of Electrical and System Control Engineering* 2 (8): 262–70. <https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.14227>.