



Analisis Kekuatan Bending Material Komposit Plat Dwikutub Pada Teknologi Fuel Cell

Analysis of Bending Strength of Composite Materials in Bipolar Plates for Fuel Cell Technology

Husri Zarmawan, Iswandi^{*}, Tino Hermanto, Darianto, Indra Hermawan, Muhammad Idris, Jufrizal & Yopan Rahmad Aldori

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

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

Abstrak

Pengujian ini bertujuan untuk mengkajian pengaruh komposisi plastic polipropilen (PP) dan karbon aktif (KA) berupa bahan komposit plastik. Bahan komposit plastik dicampur menggunakan internal mixer pada suhu proses 220 dengan putara 50 rpm. Selanjutnya dicetak dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 15 mm dan tebal 2,5 mm. Proses pencetakan sampel dilakukan dengan metode pengacuan mampatan (hot press/ compression moulding) dengan tekanan 1500 MPa pada suhu 200°C dan waktu tahan 30 menit. Selanjutnya sampel dipotong mengikuti dimensi pengujian bending dengan standart ASTM D D790-03 dengan ukuran 100 mm x 12.7 mm x 2.5 mm. Berdasarkan hasil pengujian komposit karbon aktif polipropilen komposisi pertama nilai dari maximum point stress 36.95 MPa dan modulus elastisitas 4.3096 Mpa, komposisi kedua nilai dari maximum point stress 34.58 MPa dan modulus elastisitas 3.371 MPa. Kondisi ini menunjukkan peningkatan komposisi karbon aktif terhadap polimer polipropilen memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai kekuatan bending.

Kata kunci: komposit, polipropilena, karbon aktif, kekuatan bending.

Abstract

This study aims to this study was to examine the effect of polypropylene (PP) plastic and activated carbon (AC) composition in a plastic composite material. The composite material was mixed using an internal mixer at a processing temperature of 220°C and a speed of 50 rpm. The mixture was then molded with dimensions of 100 mm in length, 15 mm in width, and 2,5 mm in thickness. The sample molding was performed using a compression molding method with a pressure of 1500 MPa at 250°C and a holding time of 300 minutes. Subsequently, the samples were cut according to the bending test dimensions following ASTM D790-03 standards, with dimensions of 100 mm x 12.7 mm x 2.5 mm. The test results for the polypropylene-activated carbon composite in the first composition showed a maximum stress point of 36.95 MPa and an elastic modulus of 4.3096 MPa, while the second composition showed a maximum stress point of 34.58 MPa and an elastic modulus of 3.371 MPa. These findings indicate that increasing the activated carbon composition in polypropylene polymer results in a reduction in bending strength.

Keywords: *Polypropylene composite, activated carbon, bending strength*



PENDAHULUAN

Teknologi fuel cell merupakan sumber energi bersih dan ramah lingkungan di masa depan. Teknologi *fuel cell* sudah diakui sebagai solusi yang menjanjikan dalam menghasilkan listrik dengan efisiensi tinggi dan tanpa emisi berbahaya. Dalam pembuatan komponen plat dwikutub sebagai salah satu komponen penting dari teknologi fuel cell ini. Maka dari itu suhu mesin hot presses ini sangat berpengaruh pada bahan yang akan tekan.

Komposit polimer konduktif (KPP) berbasis karbon, yang dibuat melalui pencampuran berbagai jenis karbon dalam komposisi yang berbeda, membantu mencapai target DOE dengan meningkatkan konduktivitas listrik pada pelat bipolar. Dilaporkan bahwa grafit adalah bahan pengisi berbasis karbon terbaik dari berbagai bahan, seperti CNT, CB, dan CF. Grafit juga ringan, memiliki konduktivitas listrik tertinggi, dan tahan korosi (Iswandi, Sahari, dan Sulong 2019). Konduktivitas listrik dan kekuatan lentur adalah sifat-sifat KPP yang paling penting dalam berbagai penelitian yang dilakukan untuk aplikasi pelat bipolar (Iswandi, Sahari, dan Sulong 2011).

Salah satu komponen utama teknologi fuel cell adalah pelat dwikutub. Untuk menghasilkan pelat dwikutub yang berkualitas tinggi dan memenuhi standar DOE (Department of Energy) Amerika Serikat, kekuatan mekanis lentur (bending) sebesar 25 MPa diperlukan. Ini akan mendukung ketahanan selama proses penyusunan (stack) dan memenuhi persyaratan tambahan seperti stabilitas kimia dan bobot yang lebih ringan. Oleh karena itu, proses produksi

yang tepat serta bahan yang tepat harus dipilih (Planes, Flandin, dan Alberola 2012).

Dibutuhkan material baru untuk pelat dwikutub yang dapat mengurangi bobot fuel cell. Karena komposit polimer-karbon lebih ringan dan lebih murah daripada bahan seperti logam dan non-logam, komposit bermatriks polimer saat ini menjadi subjek banyak penelitian untuk digunakan sebagai bahan untuk pelat dwikutub. Kemampuan proses produksi juga penting untuk produksi massal pelat dwikutub. Akibatnya, komposit polimer-karbon, selain grafit, yang murah, menjadi opsi yang menarik untuk pelat dwikutub (Minke et al. 2016). Salah satu bahan karbon yang murah dan tersedia di Indonesia adalah bahan pengisi berbasis karbon aktif.

Metode pembuatan pelat dwikutub juga meningkatkan konduktivitas listrik. Industri pemrosesan polimer menggunakan injection molding dan compression molding (Antunes et al. 2011). Kedua metode ini juga diterapkan dalam pembuatan pelat dwikutub, namun masing-masing memiliki tantangan tersendiri. Compression moulding merupakan proses yang relatif lambat karena cetakan perlu didinginkan sebelum produk dikeluarkan. Meskipun demikian, metode compression moulding sering digunakan untuk pembuatan pelat dwikutub karena dianggap lebih sederhana (Iswandi, Husaini, Teuku, dan Jaafar, Sahari 2016).

METODE PENELITIAN

Polypropylene (PP) memiliki banyak

kemiripan dengan polietilen, terutama dalam sifat fisik, mekanik dan tahan terhadap panas pada waktu yang digunakan, sedangkan ketahanan terhadap kimia lebih rendah. Sifat-sifat PP sangat tergantung pada berat molekul, kristalin, jenis dan proporsi komonomer dan isotacticity. Densitas PP adalah 0,895-0,92 (g/cm³). Dengan demikian PP merupakan plastik standar yang memiliki idensitas terendah, artinya apa bila sebuah cetakan yang sama digunakan untuk memproduksi plastik maka PP hasilnya akan lebih ringan dibanding dengan polietilen, karena kepadatan polietilen sangat signifikan dalam mengisi ruang cetak dengan bentuk butiran seperti ditunjukkan pada gambar 1. Besarnya suhu proses maksimum adalah pada 230 °C. Bahan PP dibeli dari perusahaan Polypropylene Malaysia Sdn. Bhd.



Gambar 1. Polipropilen (PP) SM240 Titan Pro.

Karbon aktif dibuat sebagai bahan berpori dari pembakaran, di mana proses pirolisis menyebabkan pembentukan struktur karbon. Ini memiliki sekitar 85-95 persen karbon bebas dan dibuat dari bahan berkarbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Beberapa pori-porinya masih tertutup oleh hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lainnya. Karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur membentuk

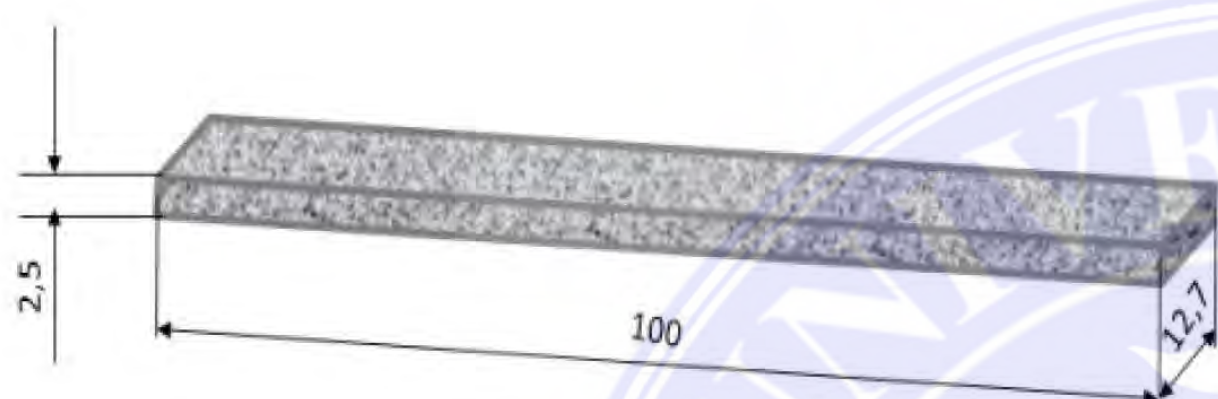
komposisi karbon aktif. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, karbon aktif dari tempurung kelapa merek Borneo digunakan dalam penelitian ini. Tempurung kelapa ini memiliki luas permukaan antara 300 dan 2000 m²/gram, ukuran partikel 325 mesh, kadar air sekitar 5-15%, dan kandungan abu 2-3%. Karbon amorf terdiri dari lapisan datar yang memiliki atom karbon di setiap sisi.



Gambar 2. Karbon Aktif Jenis Serbuk (<https://viscochemical.com/karbon-aktif-tempurung-kelapa/>)

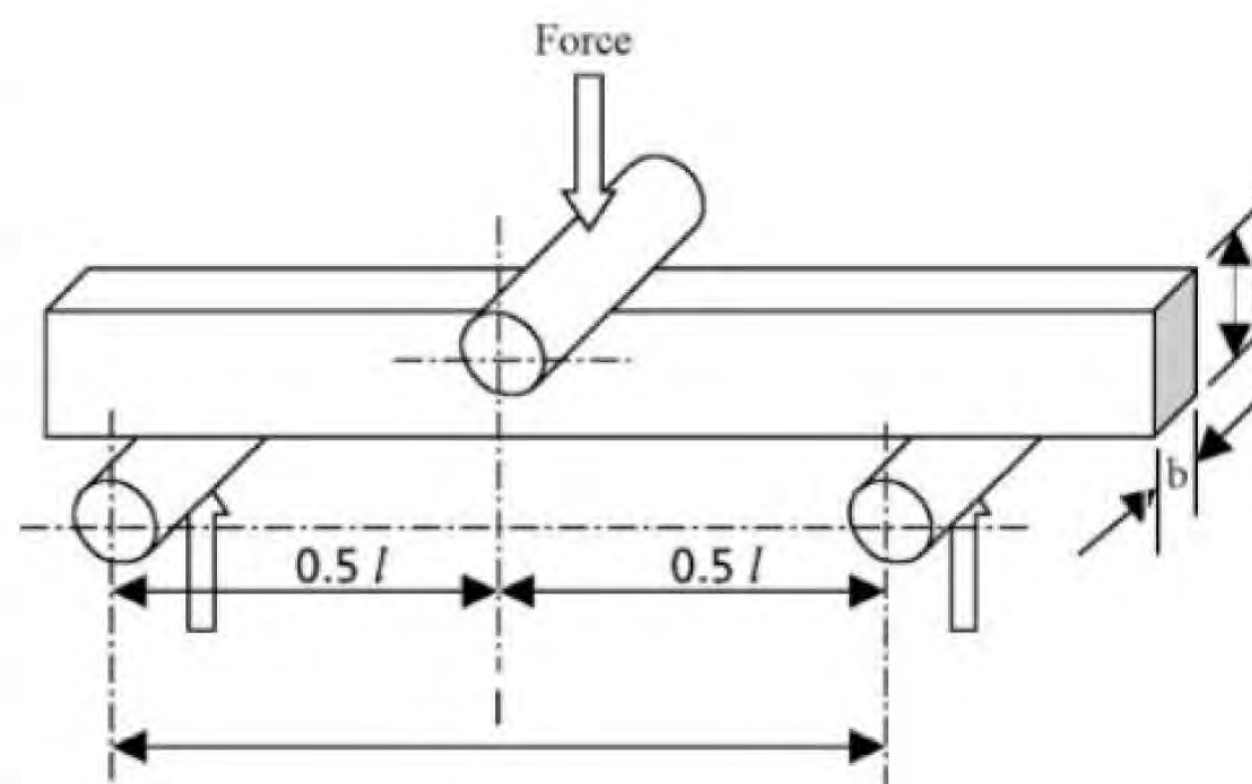
Metode pencampuran serbuk secara merata atau homogen antara serbuk karbon aktif tempurung kelapa dan bahan pengikat PP (polipropilen) dilakukan dengan metode pencampuran dalam (*internal mixer*), menggunakan mesin pencampur internal mixer jenis *Roller blade* dengan pengaturan manual. Pencampuran dijalankan dalam keadaan PP dileburkan di dalam barel atau bejana dengan kapasitas 100 gram pada komposisi pengisi karbon aktif 5 % berat dan polipropilen 95% berat. Adapun parameter pencampuran pada suhu 200 °C, putaran (n) 50 rpm, waktu pencampuran pencampuran 30 menit (Iswandi, Sulong, and Jaafar Sahari 2019). Selanjutnya proses pencetakan sampel dilakukan dengan metode pengacuan

mampatan (*hot press/ compression moulding*) dengan tekanan 1500 MPa pada suhu proses sebesar 220 °C dan waktu tahan sebesar 20 menit. Pencetakan sampel *compression moulding* dengan dimensi cetakan panjang 140 mm, lebar 65 mm tebal 2.5 mm dan selanjutnya dipotong mengikuti dimensi pengujian bending dengan standart ASTM D D790-03 dengan ukuran 100 mm x 12.7 mm x 2.5 mm dengan dimensi sampel ditunjukkan pada gambar3.



Gambar 3. Dimensi sampel pengujian bending dengan standart ASTM D D790-03

Kekuatan lentur bahan komposit polimer pengalir (KPP) yang digunakan sebagai pelat dwikutub pada fuel cell PEM harus memiliki kekuatan lentur lebih dari 25 MPa. Kekuatan lentur yang memenuhi syarat ini diperlukan untuk mendukung dan menahan susunan MEA yang bersifat lembut, serta sebagai penahan terhadap tekanan dalam susunan pelat dwikutub. Pengujian lentur dilakukan sesuai dengan standar ASTM D790-03 (Iswandi, Sulong, dan Jaafar Sahari 2019). Pengujian kekuatan lentur (*bending test*) dilaksanakan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) Model Instron 5567 di Universitas Sumatera Utara. Dimensi spesimen uji memiliki panjang, lebar, dan tebal masing-masing 100 mm x 12,7 mm x 2,5 mm, mengikuti standar pengujian three-point bending test ASTM D790-03, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Skema pengujian lentur beserta rumus pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar.4. Skema analisis kekuatan lentur

Penggunaan persamaan (1) untuk menghitung kekuatan lenturan berdasarkan data pengukuran. (M. Jawaid and P. Firoozian1 2014)

$$\sigma_{UF} = \frac{3P_{maks} L}{2bh^2} \quad (1)$$

Di mana, P_{maks} = pembebanan muktamad (kN)

b = lebar spesimen (mm)

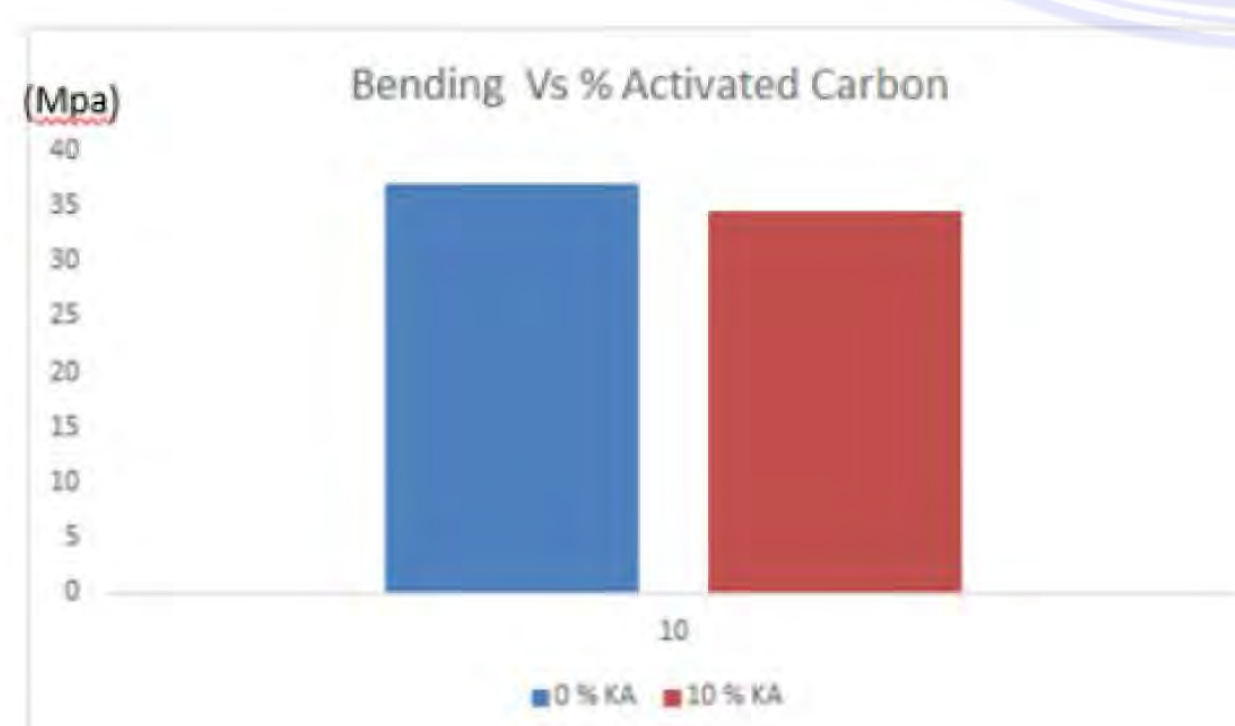
h = tebal spesimen (mm)

L = jarak antara dua titik penyokong (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekuatan bending bahan komposit polimer polipropilen dengan karbon aktif tempurung kelapa menunjukkan terjadi fenomena penurunan nilai kekuatan bending seiring dengan peningkatan komposisi karbon aktif seperti dilihat pada Gambar 5. Nilai kekuatan bending tertinggi ditunjukkan pada komposisi karbon sebesar 100 % berat polipropilen dan 0 % berat karbon

aktif tempurung kelapa yaitu sebesar 36.9 MPa. Selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan penambahan komposisi karbon aktif 10 % berat dan penurunan polipropilene menjadi 90 % berat dalam polimer komposit sebesar 34.5 MPa. Peningkatan nilai kekuatan bending mengindikasikan adanya pengaruh distribusi partikel karbon aktif dalam polimer polipropilene sebagai matriks. Untuk komposisi 10 % berat karbon aktif dengan 90 % berat polipropilene menunjukkan distribusi serakan partikel karbon yang merata sehingga mempengaruhi kekuatan bahan komposit. Keadaan ini disebabkan karena terjadinya peristiwa pengikatan matriks polipropilene terhadap partikel karbon aktif yang membentuk ikatan pada seluruh permukaan partikel untuk komposisi polimer yang mencapai 90 % berat untuk komposisi karbon aktif yang sangat sedikit yaitu 10 % berat. Kemampuan polimer melapisi partikel menyebabkan peningkatan ikatan antara partikel karbon aktif dan polimer dan antara permukaan partikel karbon aktif sehingga memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kekuatan bending komposit.



Gambar 5. Grafik hubungan kekuatan lentur terhadap komposisi komposit karbon aktif

Selanjutnya keadaan sebaliknya dimana penurunan komposisi polimer matriks komposit memberikan pengaruh terhadap kemampuan pengikatan polimer terhadap partikel karbon aktif terutama seiring dengan peningkatan komposisi karbon aktif dalam komposit sehingga mencapai 40 % berat. Secara signifikan peningkatan komposisi karbon aktif mempengaruhi penurunan kemampuan polimer untuk mengikat partikel karbon aktif. Keadaan ini menyebabkan terjadinya penggumpalan atau aglomerasi partikel karbon aktif dalam polimer, sehingga menurunkan sifat kekuatan bending. Keadaan ini dibuktikan dengan terjadinya pori-pori yang terbentuk akibat adanya penggumpalan pada polimer komposit ditandai pada lingkaran merah yang terbentuk lebih banyak dengan jarak berdekatan seperti dilihat pada gambar 6. Jarak pori-pori yang berdekatan dapat memberikan pengaruh terhadap ketahanan tekan atau bending dimana akan mudah membentuk jaringan retak berdekatan dan akhirnya mempercepat perpatahan komposit.



Gambar 6. Fenomena permukaan patah terhadap komposisi komposit karbon aktif pada 10 % berat.

Sampel ini juga menghasilkan nilai bending tertinggi dari *polypropylene* 90 % berat / karbon aktif 10 % berat, terdapat pada spesimen dengan nilai *stress* yang didapat yaitu sebesar 34.58 MPa. Seperti yang terlihat pada Gambar .6

spesimen mengalami retakan akibat pembebanan yang terjadi pada area yang dilingkari merah, karena pada area tersebut terdapat pori-pori yang berada pada sisi samping dan dipermukaan spesimen yang menyebabkan awal mula dari retakan terjadi. Pori-pori tersebut diakibatkan karena proses mengadukan *polypropylene* dan karbon aktif yang terlalu cepat, atau bisa juga karena pada saat proses pencetakan dan pengepresan terdapat rongga udara yang terperangkap didalam spesimen.



Gambar 7. Fenomena permukaan sampel terhadap komposisi komposit karbon aktif pada 10 % berat.

Kondisi permukaan patah pada sampel pada Gambar 7. menunjukkan adanya kumpulan pori-pori pada permukaan yang dihasilkan dari pengujian bending yang sedikit pada area yang ditandai dengan lingkaran merah. Keadaan ini memberikan pengaruh terhadap kekuatan bending yang dihasilkan. Pengaruh jumlah pori-pori yang terdapat pada komposit dengan jumlah banyak akan menurunkan nilai kekuatan bending. Dimana keadaan ini akan memudahkan dalam memberikan jalur aliran retakan yang menghubungkan antara pori-pori

yang terbentuk sehingga akan melemahkan kekuatan dan ketahanan terhadap beban bending.

SIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil pengujian bending dengan variasi komposisi karbon aktif 0 dan 10 (% berat) Karbon Aktif menunjukkan bahwa penambahan komposisi karbon aktif dan pengurangan komposisi polimer polipropilen sebagai matrik memberikan pengaruh kepada penurunan nilai kekuatan bending secara signifikan dimana polimer polipropilen tanpa komposisi karbon aktif mempunyai nilai bending sebesar 36.9 MPa. Keadaan menunjukkan penurunan nilai bending setelah ditambahkan karbon aktif. Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan matrik polimer dalam jumlah banyak memberikan ikatan yang homogen sesama polimer polipropilen yang diperoleh dengan metode pencampuran panas dan pencetakan panas sehingga memberikan ikatan yang lebih merata atau homogeny. Penggunaan matrik polipropilen berperan penting bagi membangun ikatan partikel karbon aktif terutama untuk jenis karbon aktif tempurung kelapa untuk sifat kekuatan bending dengan nilai sebesar 34.5 MPa pada 10 % berat karbon aktif yang melebihi standar DOE USA (*Department of Energy, United State Of America*) yaitu sebesar 25 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

Antunes, Renato A., Mara C.L. de Oliveira, Gerhard Ett, and Volkmar Ett. 2011.

- "Carbon Materials in Composite Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: A Review of the Main Challenges to Improve Electrical Performance." *Journal of Power Sources* 196 (6): 2945–61. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.12.041>.
- H.P.S. Abdul Khalil, M. Jawaid, and P. Firoozian. 2014. "flexural properties of activated carbon filled epoxy nanocomposites." *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18 (2): 391–97.
- Iswandi, Sulong Husaini, Teuku Abu Bakar, 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>.
- Iswandi, Jaafar Sahari, and Abu Bakar Sulong. 2011. "Effects of Different Particles Sizes of Graphite on the Engineering Properties of Graphites/Polypropylene Composites on Injection Molding Aplication." *Key Engineering Materials* 471–472 (February): 109–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109>.
- 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*, no. 2 (April). <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2302-19>.
- "KA5- Activated Carbon Properties (AbdulKhalil, 2019).Pdf." n.d.
- Minke, Christine, Thorsten Hickmann, Antonio R. dos Santos, Ulrich Kunz, and Thomas Turek. 2016. "Cost and Performance Prospects for Composite Bipolar Plates in Fuel Cells and Redox Flow Batteries." *Journal of Power Sources* 305 (February): 182–90. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.11.052>.
- Planes, E., L. Flandin, and N. Alberola. 2012. "Polymer Composites Bipolar Plates for PEMFCs." *Energy Procedia* 20: 311–23. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.031>.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, Muhammad Yusuf R Siahaan, and Ruli Bay Syahputra. 2021. "Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi" 4: 8.



JESCE

Journal Of Electrical And System Control Engineering

Sekretariat : Universitas Medan Area, Gedung Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro

Alamat : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/ Jalan PBSI Nomor 1

E-mail : jesce@uma.ac.id

Nomor : 26/UMA/JESCE/X/2024

Medan, 8 Oktober 2024

Lamp :-

Hal : Surat Penerimaan Naskah Publikasi Jurnal

Kepada Yth :

Bapak Husri Zarmawan

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Kami mengucapkan terima kasih banyak atas partisipasi Bapak/Ibu yang telah submit paper di Journal of Electrical and System Control Engineering (JESCE) Volume 8 Nomor 2 tahun 2025.

Dengan ini kami sampaikan bahwa, paper yang bertanda dibawah ini :

Judul : Analisis Kekuatan Bending Material Komposit Plat Dwikutub Pada Teknologi Fuel Cell

Penulis : Husri Zarmawan, Iswandi , Tino Hermanto, Darianto, Indra Hermawan, Muhammad Idris & Jufrizal

Berdasarkan hasil review, paper yang Bapak/Ibu kirimkan **dinyatakan DITERIMA** dan akan diterbitkan pada Jurnal JESCE Volume 8 No 1, Februari 2025 ISSN:2549 - 628X (Print) ISSN: 2549-6298 (Online). Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya yang baik dari Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih Wassalamu'alaikum, Wr.Wb.

Hormat Kami,



Ir. Habib Satria, M.T, IPM, ASEAN Eng

Koordinator