



Analisis Karakteristik Karbon Aktif Hasil Pirolisis Kulitkopi Robusta sebagai Karbon Pendukung Katalis PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*)

Muhammad Taufiqurahman^{1*}, Pebi Riyanto², Rany Puspita D³, Raka Mahendra S⁴, Arif Rahman S⁵, M. Fendy Kussuma H. S⁶

¹⁻⁶Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar, Indonesia

*Penulis Korespondensi: muhammادتaufiqurahman206@gmail.com

Abstract. *Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) are increasingly developed due to their high efficiency, power density, durability, and environmental friendliness. However, the high cost of platinum catalysts limits their widespread application. Reducing platinum usage through the development of low-cost catalyst support materials is a promising approach. Activated carbon derived from biomass offers a sustainable and economical alternative, particularly when utilizing agricultural waste such as coffee husks, which are often discarded. This study aims to evaluate the characteristics of activated carbon produced from coffee husk waste through pyrolysis as a catalyst support for PEMFCs. Pyrolysis was conducted at 400 °C, followed by chemical activation using 1 M H₃PO₄ and 1 M KOH with a residence time of 90 minutes. The resulting activated carbon was analyzed through proximate analysis to determine moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon content. The results showed that activation with 1 M H₃PO₄ produced the lowest moisture content (3.4%), the lowest ash content (3.8%), and the highest fixed carbon content (60.5%), while 1 M KOH yielded the lowest volatile matter content (27.7%). Based on these results, activated carbon produced using H₃PO₄ meets the requirements of SNI No. 01/6235/2000 and demonstrates strong potential as a catalyst support material for PEMFC applications.*

Keywords: *Activated Carbon; Coffee Husk; Fuel Cell Catalyst; Proximate Analysis; Pyrolysis.*

Abstrak. Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) semakin banyak dikembangkan karena memiliki efisiensi tinggi, densitas daya yang besar, daya tahan yang baik, serta bersifat ramah lingkungan. Namun, tingginya biaya katalis berbasis platinum masih menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi ini secara luas. Salah satu upaya yang menjanjikan untuk mengatasi masalah tersebut adalah mengurangi penggunaan platinum melalui pengembangan material pendukung katalis berbiaya rendah. Karbon aktif yang berasal dari biomassa menawarkan alternatif yang berkelanjutan dan ekonomis, terutama apabila memanfaatkan limbah pertanian seperti kulit kopi yang selama ini sering terbuang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dari limbah kulit kopi melalui proses pirolisis sebagai material pendukung katalis pada PEMFC. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 400 °C, kemudian diikuti dengan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ 1 M dan KOH 1 M dengan waktu tinggal selama 90 menit. Karbon aktif yang dihasilkan dianalisis menggunakan analisis proksimat untuk menentukan kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan H₃PO₄ 1 M menghasilkan kadar air terendah sebesar 3,4%, kadar abu terendah sebesar 3,8%, serta kadar karbon tetap tertinggi sebesar 60,5%, sedangkan aktivasi menggunakan KOH 1 M menghasilkan kadar zat terbang terendah sebesar 27,7%. Berdasarkan hasil tersebut, karbon aktif yang dihasilkan dengan aktivator H₃PO₄ memenuhi persyaratan SNI No. 01/6235/2000 dan memiliki potensi yang baik sebagai material pendukung katalis untuk aplikasi PEMFC.

Kata Kunci: Karbon Aktif; Katalis *Fuel Cell*; Kulit Kopi; Pirolisis; Proksimat.

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) berbahan bakar hidrogen telah luas karena keunggulan efisiensi konversi energi yang tinggi, jumlah daya yang tinggi, memiliki durabilitas yang lebih lama dan ramah lingkungan. PEMFC merupakan *fuel cell* yang bekerja pada suhu rendah antara 60°C-80°C. PEMFC bekerja dengan reaksi elektrokimia hidrogen dan oksigen. PEMFC telah diterapkan di berbagai bidang seperti pembangkit listrik, *portable power supply* dan otomotif. Hal ini disebabkan PEMFC memiliki kemurnian oksigen

yang tinggi sehingga dapat dikatakan sebagai salah satu sumber energi ramah lingkungan yang menjanjikan. PEMFC digunakan sebagai sumber daya yang rendah akan kekuatan sinyal inframerah dan kebisingan, serta memiliki nilai pemanfaatan yang sangat tinggi untuk penggunaan jangka panjang. Seperti memiliki efisiensi yang tinggi dan memiliki densitas daya (*power density*) yang tinggi pula (Pourrahmani & Van herle, 2022).

Komponen inti dari *fuel cell* yang jelas adanya adalah katoda, anoda dan elektrolit. Reaksi elektrokimia di anoda dan katoda dipengaruhi oleh platina elektrokatalis yang didukung pada karbon. Lapisan anoda dan lapisan katoda juga berpori untuk memungkinkan perpindahan reaktan juga mengandung sejumlah ionomer yang mana berguna untuk pengangkutan proton yang dihasilkan dalam reaksi elektrokimia. Elektron yang dihasilkan dalam lapisan katalis anoda/katoda dilakukan melalui lapisan transport berpori yang berdekatan atau *Gas Diffusion Layer* (GDL) (Vanbruijssen, 2009).

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) menggunakan membran polimer tipis, transparan dan fleksibel. Membran ini dilapisi dengan katalis berbasis platinum dan material penyangga katalis berbasis karbon berpori di kedua sisinya. Komponen gabungan GDL, lapisan katalis, dan membran secara umum disebut sebagai *Membrane-Electrode Assembly* (MEA). *Gas Diffusion Layer* (GDL) ditempatkan diantara lapisan katalis dan plat bipolar. Plat bipolar memiliki saluran aliran yang berfungsi untuk mengantarkan elektron ke sel yang berdekatan secara konvektif mengangkut reaktan hidrogen dan oksigen (Vanbruijssen, 2009).

Platina adalah bahan katalis yang paling umum digunakan untuk reaksi yang terjadi di PEMFC, tetapi biaya yang tinggi mulai menghalangi dari teknologi ini. Untuk mengurangi jumlah platinum, berbagai bahan pendukung yang telah diteliti seperti katalis berbasis oksida logam dan katalis berbasis karbon yang digunakan dalam PEMFC. Hal itu dilakukan, karena ingin memperoleh aktivitas katalitik dan pemanfaatan katalis yang tinggi. Selain itu, dispersi partikel katalis yang seragam pada bahan pendukung berpori merupakan persyaratan penting untuk peningkatan aktivitas katalitik. Bahan pendukung katalis yang ideal harus memenuhi persyaratan penting dari luas permukaan yang besar, struktur mesopori, konduktivitas elektronik, stabilitas elektrokimia yang tinggi, dan pemulihan katalis elektro yang mudah untuk meningkatkan katalitik (Karuppanan et al., 2018).

Untuk mengurangi biaya produksi PEMFC dilakukan dengan cara mengurangi penggunaan platina (katalis) dan mengganti karbon pendukung yang digunakan dengan mempertahankan kinerja *fuel cell* yang tinggi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengganti karbon pendukung dengan karbon aktif yang lebih ekonomis dari pada karbon pendukung lainnya.

Saat ini PEMFC secara umum menggunakan karbon pendukung dari *Carbon Nanotubes* (CNT) yang mana memiliki konduktivitas listrik, konduktivitas termal, durabilitas, dan luas permukaan yang tinggi. Namun karena harga CNT yang masih mahal menyebabkan harga *fuel cell* yang tinggi (Gupta et al., 2016). Oleh karena itu, perlunya alternatif untuk menyediakan kemampuan tersebut dengan harga yang lebih murah. Diantara karbon pendukung, karbon aktif memiliki harga yang lebih terjangkau.

Karbon aktif merupakan bahan karbon berpori dengan aplikasi yang terus berkembang, karena memiliki porositas dan luas permukaan yang tinggi. Karbon aktif memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, kekuatan termal yang tinggi dan diameter pori kecil, yang mana menghasilkan peningkatan permukaan dan demikian meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pori-pori yang terbentuk pada permukaan karbon aktif dikategorikan sebagai pori makro > 25 nm, 1 nm $<$ mesopori < 25 nm, pori mikro < 1 nm. (Heidarinejad et al., 2020). Karbon Aktif memiliki sifat yang *amorf* jika dibandingkan dengan karbon yang lain di mana memiliki kristanilitas yang lebih baik (Pulidindi, 2016).

Untuk menghasilkan karbon aktif diperlukan proses aktivasi terhadap sebuah karbon. Proses pengaktifan karbon aktif dapat dibuat dengan dua cara yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan dua langkah yang melibatkan proses karbonisasi di atmosfer netral dan kemudian aktivasi dalam gas inert dengan peningkatan suhu di kisaran 800°C - 1100°C . Metode ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan karbon aktif dengan struktur berpori dan kekuatan fisik yang baik, yang mana merupakan metode pembuatan karbon aktif yang bebas bahan kimia. Namun, proses aktivasi ini memiliki kekurangan yaitu waktu aktivasi yang lama dan kapasitas adsorpsi karbon aktif yang rendah serta konsumsi energi yang tinggi (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006c).

Dalam aktivasi kimia untuk pembuatan karbon aktif, prekursor organik diaktifkan dengan adanya bahan kimia pada suhu tinggi. Untuk aktivasi kimia bahan baku dijenuhkan dengan bahan kimia pengoksidasi dan sangat dehidrasi. Bahan kimia yang digunakan biasanya adalah KOH, NaOH, H_3PO_4 , K_2CO_3 dan bahan kimia aktivasi lainnya. Setelah impregnasi, sampel dikeringkan dan campuran yang tersisa dipanaskan selama waktu tertentu. Tergantung dengan bahan pengaktif, aktivasi dapat berlangsung pada suhu antara 400°C - 900°C , dimana selulosa terdegradasi. Karbon aktif dapat diperoleh dari pencucian berulang dari campuran yang dihasilkan (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006b).

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan melalui proses karbonisasi biomassa dan dilanjutkan dengan proses aktivasi. Kulit kopi merupakan biomassa yang dapat dijadikan bahan dasar pembuatan karbon aktif. Kabupaten Temanggung merupakan salah satu daerah

penghasil kopi utama di Jawa Tengah. Menurut Badan Pusat Statistik (2023), produksi kopi di Kabupaten Temanggung mencapai 1993,46 ton untuk kopi arabika dan 18353,15 ton untuk kopi robusta. Pada umumnya pemanfaatan limbah kulit kopi digunakan sebagai pakan ternak atau dibuang begitu saja. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi yang produksinya cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Saat ini sisa-sisa pengolahan buah kopi seperti kulit dan sekam kopi masih banyak ditemukan dibuang begitu saja tanpa ada manfaatnya dan sisa biomassa ini mengandung beberapa bahan kimia beracun seperti seperti alkaloid, tanin, dan polifenol. Pengolahan kopi menghasilkan hasil yang signifikan jumlah limbah pertanian, tergantung pada jenis pengolahannya berkisar antara 30%-50% dari total berat kopi yang dihasilkan, (Oliveira & Franca, 2014).

Untuk menemukan karbon aktif yang dapat dijadikan sebagai karbon pendukung katalis PEMFC perlu dilakukan pengujian terhadap karbon aktif dari biomassa. Berdasarkan uraian – uraian tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik karbon aktif dari kulit kopi sebagai karbon pendukung katalis PEMFC dengan variasi suhu dan penggunaan aktivator yang berbeda, kemudian dilakukan pengujian *proximate* untuk mengetahui karakteristik dan kualitas karbon aktif.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian dengan membuat karbon aktif dari kulit dalam biji kopi (*endocarp*) dengan suhu karbonisasi 500°C selama 60 menit, kemudian dilakukan pengaktifan dengan aktivator KOH dan H₃PO₄ dengan konsentrasi 1N, 2N, 3N, dan 4N. Penelitian ini menghasilkan karbon aktif dengan kadar air terendah 1,4% dengan H₃PO₄ sebagai aktivatornya, kadar abu terendah 3,3% dengan H₃PO₄ sebagai aktivator; kadar karbon terikat tertinggi 73,0% dengan aktivator H₃PO₄, dan daya serap terhadap I₂ tertinggi 1699,2 % dengan H₃PO₄ sebagai aktivatornya (Rizki et al., 2022a).

Penelitian pembuatan karbon aktif dari kulit kopi dengan suhu karbonisasi 400°C selama 5 jam. Kulit kopi sebelumnya dikeringkan dengan suhu 105°C selama 24 jam. Kemudian dilakukan pengaktifan dengan activator NaOH 1 M dengan perbandingan 1:3 yaitu 100 g karbon : 300 ml aktivator. Hasil penelitian diperoleh nilai kadar abu dan dar air sebesar 2,3% dan 3,43% (Novita, E. et al.,2021).

Penelitian pembuatan karbon aktif yang berasal dari kulit kopi dengan menggunakan berbagai konsentrasi kalium hidroksida (KOH) sebagai aktivator. Karbon aktif yang dihasilkan dari kulit kopi menunjukkan kadar air berkisar antara 0,15 sampai 0,19%, kadar abu antara 2,98% sampai 4,98%, kadar zat volatil berkisar antara 8,28 sampai 11,49%, dan kadar karbon

terikat berkisar antara 83,63 sampai 88,74%. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi KOH, kadar air dan karbon terikat meningkat. Namun, kadar abu dan zat volatil karbon aktif dari kulit kopi menurun. Temuan ini menunjukkan bahwa konsentrasi KOH secara signifikan mempengaruhi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dari kulit kopi (Putra et al., 2025).

Penelitian pembuatan karbon aktif berbahan dasar eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan penggunaan aktivator H_3PO_4 , KOH, dan $ZnCl_2$ dengan konsentrasi masing-masing 5%, 10, dan 15%. Penelitian dilakukan untuk memperoleh karakteristik dari karbon aktif meliputi kadar air, abu, zat volatil, dan karbon terikat. Karakteristik terbaik di analisis dengan FTIR. Hasil karakterisasi dibandingkan dengan SNI 06–3730–1995 tentang karbon aktif sebagai standarnya. Proses aktivasi dari ketiga aktivator tersebut dilakukan masing-masing dengan cara triplo. Hasil penelitian menunjukkan pirolisis eceng gondok menghasilkan arang dengan rendemen 58,22%. Karakteristik terbaik diperoleh pada sampel dengan aktivator H_3PO_4 15% dengan kadar air ($6,41 \pm 0,21\%$), kadar abu ($8,23 \pm 0,12\%$), zat volatil ($15,36 \pm 0,03\%$), dan karbon terikat (78,28%). Hasil identifikasi dengan pengujian FTIR menunjukkan karbon aktif pada semua aktivator memiliki gugus C=O. Pada aktivator KOH dan $ZnCl_2$ memiliki gugus –OH dan pada aktivator H_3PO_4 menunjukkan adanya gugus P=O (Yunus et al., 2021).

Penelitian untuk mengetahui pengaruh jenis aktivator dan ukuran partikel terhadap karakteristik karbon aktif berbahan dasar serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) telah dilakukan. Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas adsorben, pengujian tersebut meliputi uji kadar air, kadar abu, daya serap terhadap iodin, dan *Braunear, Emmelt, dan Teller* (BET). Serbuk kayu sengon yang telah dihaluskan kemudian diayak menggunakan variasi -20,+40, -40,+60, -60,+80, -80,+100 mesh. Kemudian dilakukan proses karbonisasi dengan suhu $500^\circ C$ selama 30 menit. Karbon aktif diaktivasi menggunakan aktivator H_3PO_4 , NaOH, dan NaCl dengan konsentrasi masing-masing 0,1 M dalam 100 ml. Karbon aktif direndam dalam larutan aktivator selama 24 jam, disaring, dan residunya dibilas dengan aquades hingga pH netral kemudian dikeringkan pada suhu $150^\circ C$ selama 3 jam. Uji kualitas hasil Karbon aktif disesuaikan dengan SNI 06-3730-1995. Hasil penelitian menunjukkan pembuatan karbon aktif berbahan dasar serbuk kayu sengon dengan aktivator H_3PO_4 merupakan hasil terbaik pada ukuran partikel -80,+100 mesh, menghasilkan kadar air 3,69%, kadar abu 2,89%, dan daya serap iodin 710,64 mg/g (Erawati et al., 2018).

3. METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini menggunakan eksperimental dengan menggunakan alat pirolisis tipe *fixed bed* kemudian dilakukan pengujian proximate di laboratorium Universitas Tidar yang nantinya diharapkan dapat menghasilkan hasil pengujian yang sesuai dengan yang telah direncanakan. Serta untuk mengetahui karakteristik karbon dari limbah kulit kopi robusta.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian yaitu suhu pirolisis dengan variasi aktivator dengan variasi H₃PO₄ dan KOH dengan perbandingan 1:3 yaitu 100 g karbon: 300 mL larutan selama 24 jam. Untuk variabel terikat yaitu kadar karbon terikat, kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Variabel kontrol penelitian adalah suhu pirolisis sebesar 400°C, bahan penelitian berupa kulit kopi robusta dan pirolisis dengan tipe *fixed bed*.

Prosedur Penelitian

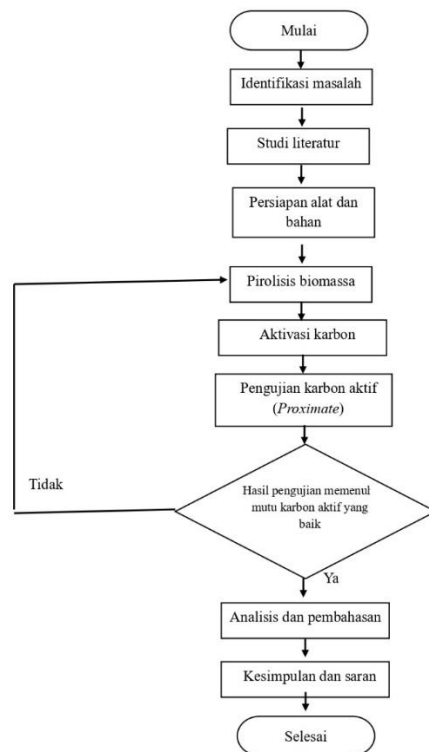
Dalam penelitian ini hal yang pertama dilakukan adalah persiapan alat dan bahan. Alat yang disiapkan yaitu alat pirolisis tipe *fixed bed*, mesin *furnace*, timbangan digital, plastik *ziplock*, mesin *suction*, kunci L ukuran 5 mm, kunci inggris, dan taspen. Sementara untuk bahan yang disiapkan adalah kulit kopi robusta dan gas nitrogen.



Gambar 1. Kulit kopi.

Proses selanjutnya yaitu pengeringan biomassa kulit kopi dengan mesin *furnace* pada suhu 120°C selama 120 menit. Tahapan kedua adalah melakukan pirolisis dengan memasukkan material biomassa kulit kopi robusta ke dalam reaktor, mengalirkan gas N₂ dengan tekanan 1 psi ke dalam reaktor sebagai gas inert, dan mengoperasikan alat pirolisis dengan suhu 400°C dengan waktu tinggal 90 menit. Setelah proses pirolisis selesai, hasil *char*/arang dikeluarkan dari reaktor dan dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* dan divakum agar menjadi hampa udara. Tahap selanjutnya adalah melakukan aktivasi dengan merendam karbon hasil pirolisis di larutan KOH 1 M dan H₃PO₄ 1M dengan perbandingan 1:3 yaitu 100 g karbon : 300 mL larutan selama 24 jam. Karbon aktif dicuci dengan akuades sampai pH 7 netral. Karbon aktif kulit kopi dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 6 jam. Tahap selanjutnya adalah melakukan

pengujian proksimat untuk mengetahui kadar air/*moisture content*, zat volatil/*volatile matter*, kadar abu/*ash content*, dan karbon terikat/*fixed carbon*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Tidar. Diagram alir tahapan penelitian ini disajikan pada Gambar



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *proximate* kulit kopi robusta setelah dilakukan pirolisis menggunakan reaktor pirolisis *tipe fixed bed* dalam waktu penahanan 90 menit dengan temperatur 400°C, dengan variasi aktivator H₃PO₄ dan KOH ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proksimat.

Aktivator	Suhu (°C)	Moisture (%)	Ash (%)	Volatille (%)	Fixed Carbon (%)
H ₃ PO ₄	400	3,4	3,8	32,3	60,5
KOH	400	8,16	9,2	27,7	54,94

Pengaruh Aktivator terhadap Kadar Air Karbon Aktif Kulit Kopi Robusta

kadar air yang dihasilkan oleh karbon aktif dengan aktivator KOH lebih tinggi dibanding karbon aktif dengan aktivator H₃PO₄. Hal ini berlaku pada karbon aktif dengan suhu pirolisis 400°C maupun 500°C. Kadar air karbon aktif yang rendah menunjukkan keberhasilan agen

aktivator kimia dalam mengikat molekul air yang terkandung dalam bahan serta lepasnya kandungan air bebas dan air terikat yang terdapat dalam bahan baku selama proses karbonasi.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa pada penelitian kali ini agen pendehidrasi yang paling cocok untuk sampel karbon aktif berbahan dasar kulit kopi merupakan H_3PO_4 . Pernyataan ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh (Hsu dan Teng, 2000) dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, aktivator yang lebih baik digunakan untuk material lignoselulosa, seperti pelepah aren, ialah aktivator yang bersifat asam, seperti $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 , dibandingkan dengan aktivator yang bersifat basa, seperti KOH. Aktivator yang memiliki sifat asam menimbulkan kerusakan kompleks pada oksigen saat proses aktivasi H_3PO_4 sehingga kandungan air dalam karbon aktif lebih sedikit dibandingkan penggunaan aktivator bersifat basa. Dengan demikian aktivator KOH memberikan sifat higroskopik terbaik.

Pengaruh Aktivator terhadap Kadar Abu Karbon Aktif Kulit Kopi Robusta

Nilai kadar abu untuk sampel karbon aktif kulit kopi dengan aktivator H_3PO_4 lebih rendah dibandingkan dengan karbon aktif kulit kopi yang telah diaktivasi kimia menggunakan KOH. Tingginya kadar abu karena adanya proses oksidasi. Tingginya kadar abu berpengaruh terhadap daya serap karbon aktif terhadap gas ataupun larutan, karena kandungan mineral dalam abu seperti kalsium, kalium, magnesium, dan natrium akan menyebar dalam kisi kisi arang aktif. Kadar abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori pori yang mengakibatkan luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang (Mujizah, 2010).

Pengaruh Aktivator terhadap Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Kulit Kopi Robusta

Perhitungan kadar zat terbang bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang mudah menguap yang terkandung dalam arang aktif. Jumlah kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dikandung setiap biomassa berbeda-beda, sehingga jenis biomassa sangat berpengaruh terhadap kadar zat volatil. kadar zat terbang sampel karbon aktif dengan aktivator H_3PO_4 lebih tinggi dibanding karbon aktif dengan aktivator KOH. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi antara aktivator KOH dengan mineral yang terikat pada karbon semakin reaktif. Pari (2006) Penurunan kadar zat terbang ini menunjukkan adanya reaksi antara atom karbon dengan uap air membentuk senyawa non karbon yang menguap seperti CO , CH_4 dan H_2 pada proses aktivasi.

Pengaruh Aktivator terhadap Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Kulit Kopi Robusta

Hasil akhir dari karbon terikat menunjukkan bahwa untuk karbon aktif dengan aktivator H_3PO_4 memiliki nilai karbon terikat lebih tinggi dibanding karbon aktif dengan aktivator KOH untuk suhu pirolisis $400^\circ C$. Sedangkan untuk suhu pirolisis $500^\circ C$, karbon aktif dengan

aktivator H₃PO₄ memiliki nilai karbon terikat lebih rendah dibanding karbon aktif dengan aktivator KOH. Besar kecilnya kadar karbon ini dipengaruhi oleh jumlah kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap pada bahan. Nilai karbon aktif tertinggi dihasilkan dari karbon aktif dengan aktivator H₃PO₄ dengan suhu pirolisis 400°C dengan presentase 60,5%. Hal ini menunjukkan asam pospat lebih efektif melarutkan mineral dan unsur lainnya seperti, C, H, O, dan N yang terikat pada molekul karbon dengan membentuk gugus fungsi baru.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian karbon aktif hasil pirolisis kulit kopi dengan suhu 400°C serta perlakuan aktivasi menggunakan variasi aktivator H₃PO₄ dan KOH dapat diambil kesimpulan yaitu karbon terikat paling tinggi diperoleh dari suhu pirolisis 400°C dengan aktivator H₃PO₄. Karbon terikat yang dihasilkan dengan aktivator H₃PO₄ lebih banyak dibandingkan dengan aktivator KOH. Berdasarkan tabel hasil *proximate* dapat dilihat untuk kadar air, dan karbon terikat, sampel yang memenuhi untuk dijadikan karbon pendukung katalis *fuel cell* merupakan karbon aktif dengan suhu pirolisis 400°C dengan aktivator H₃PO₄.

Dalam penelitian ini masih ada beberapa kekurangan yang dapat dievaluasi untuk penelitian berikutnya seperti Memastikan kesiapan alat pirolisis sebelum digunakan untuk menghindari kegagalan saat pirolisis. Memperhatikan APD seperti sarung tangan dan masker ketika melakukan pirolisis dan pengujian. Untuk bahan biomassa yang memiliki kadar air yang tinggi, sebaiknya dilakukan pengeringan dalam waktu yang cukup sehingga biomassa dalam keadaan benar-benar kering sebelum dilakukan proses pirolisis. Saat pembilasan karbon aktif setelah diaktivasi, pastikan karbon aktif benar benar bersih dari zat aktivator atau pH netra untuk mengurangi kadar volatil. Setelah melakukan pengeringan menggunakan oven atau tanur pada karbon, pemindahan sampel ke dalam desikator dilakukan sesegera mungkin untuk menghindari karbon aktif menyerap uap air dari udara.

DAFTAR REFERENSI

- Ermawati, E., Fernando, A., & Yani, J. A. (2018). Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorben dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Gupta, C., Maheshwari, P. H., & Dhakate, S. R. (2016). Development of multiwalled carbon nanotubes–platinum nanocomposite as efficient PEM fuel cell catalyst. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40243-015-0066-5>
- Karuppanan, K. K., Panthalingal, M. K., & Biji, P. (2018). Nanoscale catalyst support materials for proton-exchange membrane fuel cells. In *Handbook of nanomaterials for industrial*

- applications* (pp. 468–495). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00027-4>
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activation processes (chemical). In *Activated carbon* (pp. 322–365). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044463-5/50020-0>
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activation processes (thermal or physical). In *Activated carbon* (pp. 243–321). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044463-5/50019-4>
- Mujizah, S. (2010). *Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari biji kelor (Moringa oleifera Lamk.) dengan NaCl sebagai bahan pengaktif* (Skripsi sarjana). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Kamil, N. S., & Pradana, H. A. (2021). Model adsorpsi isoterm arang aktif kulit kopi pada penurunan warna air limbah pengolahan kopi. *Agrin*, 25(1), 22–35.
- Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2014). An overview of the potential uses for coffee husks. In *Coffee in health and disease prevention* (pp. 283–291). Elsevier.
- Pari, G., Tohir, D., Mahpudin, & Ferry, J. (2006). Arang aktif serbuk gergaji sebagai bahan adsorben pada pemurnian minyak goreng bekas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(4), 309–322.
- Pourrahmani, H., & Van Herle, J. (2022). Evaluation criterion of proton exchange membrane (ECPEM) fuel cells considering inserted porous media inside the gas flow channel. *Applied Thermal Engineering*, 203, 117952. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117952>
- Pulidindi, I. (2016). *Development and exploitation of carbon materials from plant sources* (Doctoral dissertation). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2470.8240>
- Putra, T. A. R., Yunari, E. N., Pratama, B. S., Witoyo, J. E., Pangestu, M. B., Putra, E. P. D., Nugraha, A. W., & Devita, W. H. (2025). Characterization of activated carbon from coffee husk using potassium hydroxide (KOH) as an activator. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2025.013.01.01>
- Rizki, R. G., Bahri, S., & Ginting, Z. (2022). Pembuatan karbon aktif dari kulit dalam biji kopi (endocarp) menggunakan aktivator KOH dan H₃PO₄. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(2).
- Vanbruinessen, A. (2009). *Development of Pt/CNT catalyst and transport kinetic characterization of PEMFC catalyst layer* (Doctoral dissertation).
- Yunus, R., Mikrianto, E., Abdurrahman, H., & Jaya, A. K. (2021). *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 6).