

PENGARUH SUHU AKTIVASI DAN KONSENTRASI H_3PO_4 PADA KARAKTERISTIK KARBON AKTIF BUAH MANGROVE: STUDI KADAR AIR DAN DAYA SERAP IOD

Novia Ramadhanti^{1*}, Rita Dwi Ratnani², Laeli Kurniasari³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Raya Manyaran-Gunungpati KM.15, Nongkosawit, Semarang 50224

*Email: noviaramadhanti209@gmail.com

Abstrak

Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) merupakan biomassa lignoselulosa yang jarang dimanfaatkan namun memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku karbon aktif karena kandungan selulosa, hemiselulosa, dan ligninnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu aktivasi dan konsentrasi aktivator H_3PO_4 buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) terhadap kualitas karbon aktif. Kualitas karbon aktif dianalisis berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 dan SII No. 0258-79 meliputi kadar air dan daya serap terhadap iodium. Penelitian ini dilakukan pada variabel bebas suhu aktivasi (60, 70, 80, 90, 100, 110°C) dan konsentrasi aktivator H_3PO_4 (10, 20, 30, 40, 50, 60%). Buah Mangrove (*Sonneratia Caseolaris*) dikarbonisasi menggunakan pirolisator dengan suhu pirolisis 300°C selama 6 jam dan didapatkan nilai rendemen karbon buah Mangrove sebesar 11,22%. Penelitian menunjukkan bahwa kualitas karbon aktif terbaik pada variasi suhu aktivasi diperoleh pada suhu 90°C dengan kadar air terendah sebesar 4,79% dan suhu 70°C dengan daya serap iodine tertinggi sebesar 233,723 mg/g. Sementara itu, pada variasi konsentrasi H_3PO_4 , kadar air terendah pada konsentrasi H_3PO_4 60% sebesar 0,29%, sedangkan daya serap iodine tertinggi sebesar 418,895 mg/g dicapai pada konsentrasi H_3PO_4 20%. Kadar air karbon aktif telah memenuhi standar SNI dan SII. Meskipun daya serap iod belum memenuhi standar SNI hasilnya telah sesuai dengan standar SII.

Kata kunci: karbon aktif, mangrove, pirolisis, asam phospat (H_3PO_4)

1. PENDAHULUAN

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorph, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas (Dewi dkk. 2021). Karbon aktif dibuat melalui dua tahapan yakni karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi adalah proses pembentukan karbon dari bahan baku yang berlangsung secara optimal pada suhu 400-600°C (Rahmadani dan Kurniawati 2017). Sedangkan aktivasi adalah proses pengubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Paryanto dkk. 2019).

Permintaan karbon aktif di Indonesia semakin hari semakin meningkat. Faktor utama yang mendorong meningkatnya karbon aktif adalah meningkatnya penggunaan karbon aktif dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kehidupan sehari-hari, karbon aktif digunakan sebagai penghilang warna dan bau. Dalam industri, karbon aktif digunakan untuk pengambilan pelarut, pemurnian minyak, penghilangan warna dan bau dalam pengolahan air, penghilangan surfur, dan penghilang bau dalam pemurnian gas (Faiz dkk. 2022).

Tanaman yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif di antaranya adalah enceng gondok (Henry Kurniawan dkk. 2020), bambu ori (Huda dkk. 2020), limbah batang pisang (Prasetyo dkk. 2024), dan sereh (Salsabila dkk. 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa berbagai jenis tanaman memiliki potensi untuk diolah menjadi karbon aktif melalui proses tertentu, seperti karbonisasi dan aktivasi. Pemanfaatannya dapat membantu mengurangi limbah organik, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya dikarenakan menggunakan tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*), khususnya bagian buah yang jarang dimanfaatkan, sebagai bahan baku untuk pembuatan karbon aktif.

Karbon aktif dapat dibuat melalui proses pirolisis, yaitu proses penguraian suatu bahan baku pada suhu yang relatif tinggi dengan udara terbatas atau tanpa adanya oksigen. Pirolisis merupakan salah satu teknik konversi termal yang potensial untuk mengolah biomassa, dengan hasil berupa biochar padat, bio-oil cair, serta gas yang mudah terbakar (Ratnani dkk. 2024). Untuk meningkatkan kemampuan daya serap karbon aktif, salah satu metode yang digunakan adalah aktivasi kimia.

Proses aktivasi bertujuan untuk memperluas permukaan partikel dan memperbesar ukuran pori-pori, sehingga dapat meningkatkan daya serap (adsorpsi) karbon (Fahnur dkk. 2024). Aktivasi secara kimia dapat menggunakan bahan kimia bersifat asam, basa, atau garam seperti HCl, H₃PO₄, KOH, K₂CO₃, dan ZnCl₂. Dalam penelitian ini, asam fosfat (H₃PO₄) digunakan sebagai bahan aktivator. Asam fosfat dipilih sebagai aktivator karena sifatnya yang ramah lingkungan dan proses penetrasi produk karbon aktif yang sederhana, cukup dengan dicuci menggunakan aquadest (Husnah dan Lubis 2022).

Penelitian ini akan dilakukan pembuatan karbon aktif dari buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) secara pirolisis menggunakan aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu aktivasi terbaik dan pengaruh konsentrasi Asam Fosfat (H₃PO₄) terhadap kualitas karbon aktif buah mangrove yang meliputi kadar air dan daya serap iodium berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 maupun SII No. 0258-79.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: reaktor pirolisis, timbangan digital, awan porselin, beaker glass, oven, kertas saring, erlenmeyer, mortal, ayakan 100 mesh, botol semprot, gelas ukur, magnetic stirrer, desikator, labu ukur, dan pipet volume. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Buah Mangrove (*Sonneratia Caseolaris*), Asam Fosfat (H₃PO₄), aquadest, larutan Iodine 0,1 N, larutan KIO₃, dan indikator amyum 1%.

2.2 Prosedur Percobaan

Buah mangrove dibersihkan untuk menghilangkan kotoran, kemudian dipotong secara seragam dan ditimbang sebelum dilakukan proses pirolisis. Buah mangrove yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam tungku pirolisator, dan proses karbonisasi dilakukan pada suhu 300°C selama 6 jam. Hasil karbonisasi diambil dan ditimbang untuk menentukan massa karbon yang dihasilkan, lalu karbon dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Selanjutnya, karbon buah mangrove diaktifasi secara kimia menggunakan larutan H₃PO₄ sebagai aktivator. Proses aktivasi dilakukan pada suhu 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, dan 110°C, dengan konsentrasi H₃PO₄ sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% selama 4 jam menggunakan magnetic stirrer. Setelah aktivasi, karbon dicuci menggunakan aquadest hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam.

2.3 Prosedur Analisa

2.3.1 Penetapan Rendemen Karbon

Buah mangrove sebelum proses pirolisis ditimbang terlebih dahulu. Setelah itu di pirolisis pada suhu 300°C selama 6 jam. Kemudian buah mangrove yang telah menjadi karbon ditimbang lagi. Rendemen karbon dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{berat karbon}}{\text{berat bahan awal}} \times 100\%$$

2.3.2 Analisa Kadar Air

Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 gram dan dikeringkan dalam oven pada suhu 115°C ± 5°C selama 3 jam. Proses pengeringan dilakukan hingga bobotnya konstan dan kadar air ditentukan dalam persen (%).

2.3.3 Analisa Daya Serap terhadap Iodium

Karbon aktif ditimbang sebanyak 5 gram kemudian di oven pada suhu $115^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam, setelah itu di dinginkan pada desikator. Timbang 0,5 gram sampel karbon aktif dan masukkan kedalam beaker glass yang telah dilapisi alumunium foil kemudian tambahkan 50 ml larutan iod. Selanjutnya stirrer selama 15 menit kemudian pipet 10 ml larutan dan titrasi dengan larutan $\text{N}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga warna larutan menjadi kuning muda, lalu tambahkan indikator amilum 1% dan titrasi sampai warna biru tua berubah menjadi warna bening.

2.3.4 Analisa Morfologi Karbon Aktif sebelum dan sesudah Aktivasi

Sampel karbon sebelum dan sesudah aktivasi ditimbang sebanyak 5 gram. Kemudian sampel karbon sebelum dan sesudah aktivasi dianalisa menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karbon Aktif dari Buah Mangrove menggunakan Pirolisis Konvensional



Gambar 1. Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)
(a) sebelum; (b) sesudah proses karbonisasi

Buah Mangrove (*Sonneratia Caseolaris*) dikarbonisasi menggunakan pirolisator dengan suhu pirolisis 300°C selama 6 jam. Massa awal buah Mangrove sebelum dipirolisis sebesar 2156gram dan didapatkan karbon buah Mangrove setelah pirolisis sebesar 242 gram. Sehingga didapatkan nilai rendemen karbon buah Mangrove sebesar 11,22%.

Penelitian (Imani dkk. 2021) dilakukan pembuatan karbon aktif dari ampas tebu yang dikarbonisasi pada suhu $600 - 900^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Dengan massa awal ampas tebu sebelum dikarbonisasi sebesar 1002,0935gram dan didapatkan karbon ampas tebu setelah karbonisasi sebesar 58,1319 gram. Rendemen karbon ampas tebu yang dihasilkan hanya sebesar 5,80%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, rendemen karbon aktif dari buah Mangrove dengan suhu pirolisis 300°C selama 6 jam didapatkan rendemen karbon lebih besar daripada ampas tebu yang dipirolisis pada suhu 600°C selama 30 menit. Buah Mangrove dan ampas tebu memiliki beberapa kesamaan dalam hal tekstur, yaitu berserat, kering, dan berpori. Rendemen yang dihasilkan dari karbon buah Mangrove sebesar 11,22% sedangkan rendemen yang dihasilkan dari ampas tebu hanya sebesar 5,80%.

Penelitian yang dilakukan oleh Satriawan dkk. (2021) menghasilkan karbon dari sekam padi melalui proses karbonisasi pada suhu 300°C selama 60 menit. Proses tersebut menghasilkan rendemen karbon sebesar 62%. Rendemen ini lebih tinggi dibandingkan dengan rendemen karbon yang dihasilkan dari buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*). Perbedaan ini disebabkan oleh kadar air sekam padi yang lebih rendah, yaitu 9,02%, dibandingkan dengan buah mangrove yang mencapai 84,76% (Dari dkk. 2020; Lamasrin dkk. 2023). Kadar air yang tinggi dalam bahan baku dapat menyebabkan pembentukan uap air yang lebih banyak di dalam reaktor pirolisis, sehingga proses pemanasan memerlukan waktu lebih lama (Ramadhani dkk. 2020).

3.2 Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif

3.2.1 Analisis Kadar Air Variabel Suhu Aktivasi

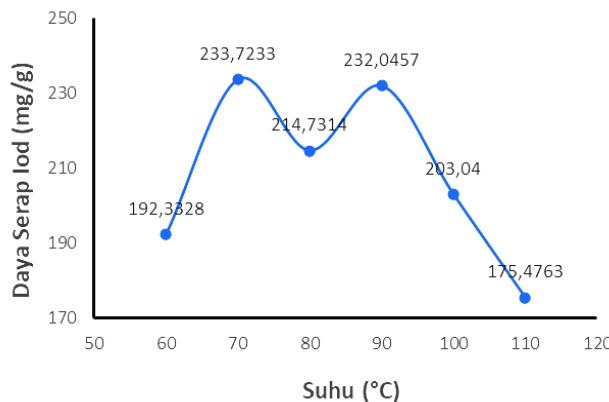
Tabel 1. Pengukuran Kadar Air Variabel Suhu Aktivasi

Variasi Suhu (°C)	Nilai Kadar Air (%)	SNI No. 06-37730-1995	SII No. 0258-79
60	8,23		
70	7,96		
80	5,79	Maks.15%	Maks.10%
90	4,79		
100	5,46		
110	6,30		

Penentuan kadar air dilakukan untuk mengidentifikasi sifat higroskopis karbon aktif serta mengukur jumlah air yang terdapat di dalam rongga atau menutupi pori-pori pada karbon aktif. Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air pada variabel suhu 60, 70, 80, 90, 100, dan 110°C telah memenuhi SNI No. 06-37730-1995 dengan kadar maksimal 15% dan SII No. 0258-79 dengan kadar air maksimal 10%. Adapun nilai yang paling rendah untuk kadar air berada pada variabel suhu 90°C yaitu 4,79%.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Ganing dkk. (2023) dengan menggunakan bahan dasar tongkol jagung, proses aktivasi karbon aktif dengan suhu aktivasi 60°C selama 150 menit diperoleh kadar air sebesar 14,28%. Kadar air pada penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memperoleh kadar air lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena tinggi rendahnya kadar air karbon aktif banyak dipengaruhi oleh sifat higroskopis dan porositas dari karbon tersebut, selain itu lama penempatan arang pada tempat terbuka pada proses pendinginan juga dapat mempengaruhi kadar air karbon aktif (Adawi dkk. 2021).

3.2.2 Analisis Daya Serap Iodium Variabel Suhu Aktivasi



Gambar 2. Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Daya Serap Iodium

Hasil analisa daya serap iod karbon aktif buah mangrove (*Sonneratia Caseolaris*) menunjukkan bahwa bilangan iodin pada karbon aktif buah mangrove mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya suhu aktivasi. Dari gambar 2 menunjukkan bahwa nilai yang paling tinggi untuk daya serap iod berada pada suhu aktivasi 70°C yaitu 233,723mg/g. Nilai daya serap iod karbon aktif secara keseluruhan belum memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995 yaitu minimal 750 mg/g. Bilangan iodine yang diperoleh meskipun tidak terlalu tinggi, namun hasil tersebut telah memenuhi standar SII No. 0258-88 dimana minimal bilangan iodine yang dihasilkan sebesar 200 mg/g.

Menurut penelitian sebelumnya menggunakan bahan dasar dari kulit durian, proses aktivasi karbon aktif dengan suhu aktivasi 80°C selama 3 jam dan menggunakan konsentrasi H₃PO₄ sebesar 30% diperoleh daya serap terhadap iodine yaitu 201,63 mg/g (Husin dan Hasibuan 2020). Secara keseluruhan, bilangan iodin karbon aktif dari hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, mengingat bahwa daya serap iod yang tinggi menunjukkan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap iod memiliki korelasi dengan luas permukaan dari karbon aktif. Semakin besar angka iod maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut (Rahman dkk. 2020).

3.3 Pengaruh Konsentrasi H₃PO₄ terhadap Kualitas Karbon Aktif

3.3.1 Analisis Kadar Air Variabel Konsentrasi H₃PO₄

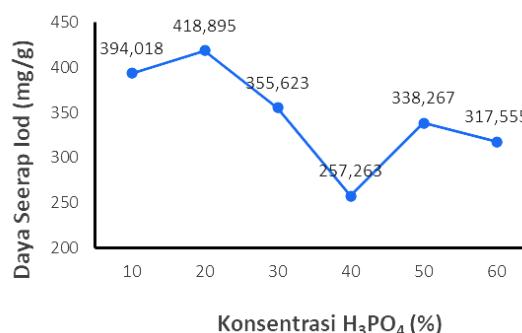
Tabel 2. Pengukuran Kadar Air Variabel Konsentrasi H₃PO₄

Variasi Konsentrasi H ₃ PO ₄ (%)	Nilai Kadar Air (%)	SNI No. 06-37730-1995	SII No. 0258-79
10	6,17		
20	7,54		
30	4,09	Maks.15%	Maks.10%
40	4,41		
50	0,39		
60	0,29		

Kadar air yang rendah menunjukkan keberhasilan aktivasi dalam mengikat molekul air yang terkandung. Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan aktivator H₃PO₄ akan cenderung menurunkan nilai kadar air dari karbon aktif buah mangrove tersebut. Hasil yang diperoleh dari variabel konsentrasi H₃PO₄ 10, 20, 30, 40, 50 dan 60% telah memenuhi SNI No.06-37730-1995 dengan kadar air maksimal 15% dan SII No. 0258-79 dengan kadar air maksimal 10%. Adapun nilai yang paling rendah untuk kadar air berada pada variabel konsentrasi H₃PO₄ 60% yaitu 0,29 %.

Penelitian sebelumnya dengan menggunakan bahan baku limbah batang pisang (*Musa Paradisiaca L.*) yang diaktifasi menggunakan asam phospat 30% diperoleh kadar air terendah sebesar 3,11% (Prasetyo dkk. 2024). Kadar air pada penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil kadar air terendah lebih kecil dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memperoleh nilai yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi aktivator, kemampuan untuk mengikat molekul air dalam bahan baku meningkat. Hal ini menyebabkan terbentuknya poropori yang lebih besar pada karbon aktif, sehingga luas permukaan penyerapan bertambah dan kapasitas adsorpsi karbon aktif meningkat (Meilanti 2018).

3.3.2 Analisis Daya Serap Iodium Variabel Konsentrasi H₃PO₄

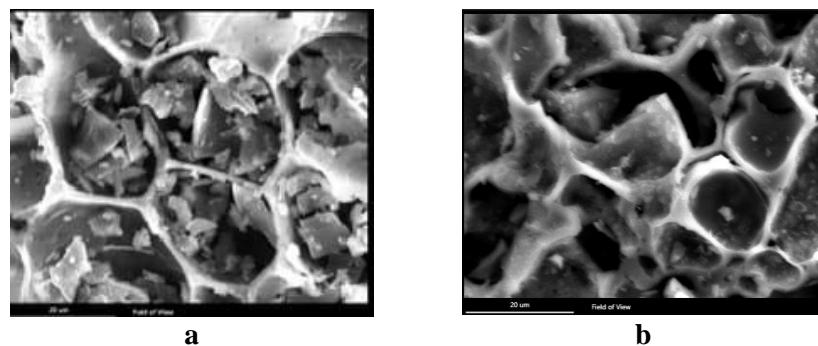


Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi H₃PO₄ terhadap Daya Serap Iodium

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai yang paling tinggi untuk daya serap iod berada pada variabel konsentrasi H_3PO_4 20% yaitu 418,895 mg/g. Dalam gambar tersebut juga menunjukkan bahwa bilangan iodin pada karbon aktif buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penuruan seiring bertambahnya konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4). Nilai daya serap iod karbon aktif secara keseluruhan belum memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995 yaitu minimal 750 mg/g. Namun hasil tersebut telah memenuhi standar SII No. 0258-79 dimana minimal bilangan iodine yang dihasilkan sebesar 200 mg/g.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Ashari dkk. (2020) dengan menggunakan bahan dasar limbah batang pisang (*Musa Paradisiaca L.*) yang diaktivasi menggunakan asam fosfat 20% diperoleh daya serap iod tertinggi sebesar 347,73 mg/g. Daya serap iod pada penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil daya serap iod tertinggi lebih besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memperoleh nilai yang lebih kecil, meskipun nilai daya serap iod yang diperoleh mengalami fluktuatif. Hal ini dikarenakan bahwa naik turunnya nilai bilangan iodin disebabkan oleh banyaknya aktuator yang terjebak dalam pori karbon dan pori karbon aktif mengalami kerusakan dengan adanya aktuator yang lebih besar, sehingga volume pori semakin kecil (Husin dan Hasibuan 2020).

3.4 Analisa Perbandingan Karbon Aktif sebelum dan sesudah Aktivasi



Gambar 4. Karbon Aktif. (a) sebelum ; (b) sesudah Aktivasi

Gambar 4 merupakan mikrograf dari karbon aktif buah Mangrove (*Sonneratia Caseolaris*) hasil aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa karbon aktif sebelum diaktivasi menunjukkan permukaan arang kasar dan pori tidak terlihat. Hal ini dikarenakan permukaan karbon yang belum diaktifkan terdapat kotoran dalam bentuk hidrokarbon, tar dan senyawa lainnya yang terbentuk pada saat karbonisasi sehingga permukaan karbon menjadi kasar dan menyebabkan pori-pori karbon tertutup (Husin dan Hasibuan 2020). Karbon aktif setelah diaktivasi menunjukkan permukaan arang lebih halus dan pori-pori terlihat. Hal ini dikarenakan kotoran yang terdapat pada karbon telah hilang selama proses aktivasi. Pembentukan pori ataupun perluasan pori menjadi pori yang lebih besar diakibatkan oleh berkurangnya pengotor-pengotor pada permukaan karbon (Khan dkk. 2018).

Hasil morfologi pori karbon aktif juga terlihat bahwa pori masih tertutupi oleh pengotor ataupun senyawa aktuator yang belum sepenuhnya hilang sehingga ketidakteraturan pori dan tertutupnya pori tersebut menyebabkan daya jerap karbon aktif tidak maksimal. Secara teoritis, adsorpsi dapat terjadi jika diameter pori lebih besar daripada diameter dinamik adsorbat. Namun, jika diameter pori terlalu besar hingga berkali-kali lipat, fungsi pori sebagai tempat menahan atau mengikat adsorbat menjadi kurang efektif. Akibatnya, kapasitas adsorpsi menurun karena pori tidak lagi menyediakan ruang yang cukup kondusif untuk terjadinya interaksi yang kuat antara permukaan pori dan adsorbat (Efiyanti dkk. 2020).

4. KESIMPULAN

Karbonisasi buah mangrove *Sonneratia caseolaris* menggunakan pirolisis pada suhu 300°C selama 6 jam menghasilkan rendemen karbon sebesar 11,12%. Aktivasi karbon dengan suhu dan konsentrasi H_3PO_4 menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif telah memenuhi standar SNI dan SII, dengan kadar air terendah pada suhu 90°C sebesar 4,79% dan konsentrasi H_3PO_4 60% sebesar 0,29%. Namun, daya serap iod karbon aktif hanya memenuhi standar SII, dengan daya serap tertinggi pada suhu 70°C sebesar 233,723 mg/g dan konsentrasi H_3PO_4 20% sebesar 418,895 mg/g. Aktivasi kimia dengan H_3PO_4 juga mengubah struktur pori karbon aktif, membersihkan kotoran seperti hidrokarbon dan tar, sehingga meningkatkan keterbukaan pori-pori.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Wahid Hasyim melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Unwahas atas dana DIPA Penelitian kolaborasi riset dengan dosen ibu Dr. Rita Dwi Ratnani, ST., M.Eng pada Tahun 2024 dengan nomor kontrak: 033/LPPM-UWH/PENELITIAN/INTERDISI PLINER/DIPA-UWH/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawi, Turmiya Fathal, Irwan Mahakam Lesmono Aji, dan Dwi Sukma Rini. 2021. "Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) Terhadap Kualitas Arang Aktif Cabang Bambu Duri (*Bambusa blumeana* BI. Ex. Schult. F.)." *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak* 5(1):62–73.
- Ashari, Ayu Wanti, Alimuddin, dan Saibun Sitorus. 2020. "Pengaruh Variasi Waktu terhadap Xilena Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Batang Pisang (*Musa paradisiaca L.*)."*J. Atom* 5(2):62–66.
- Dari, Dini Wulan, Mutia Ananda, dan Dini Junita. 2020. "Karakteristik Kimia Sari Buah Pedada (*Sonneratia caseolaris*) Selama Penyimpanan." *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas* 24(2):189. doi: 10.25077/jtpa.24.2.189-195.2020.
- Dewi, Rozanna, Azhari Azhari, dan Indra Nofriadi. 2021. "Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH." *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 9(2):12. doi: 10.29103/jtku.v9i2.3351.
- Efiyanti, Lisna, Suci Apriyanti Wati, dan Mamay Maslahat. 2020. "Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika." *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14(1):94. doi: 10.22146/jik.57479.
- Fahnur, Hermansyah, Rifqi Mawardi, M. Ilham Nurdin, dan Erna Widiyanti. 2024. "Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) pada Proses Filtrasi Pengolahan Air." 17(02).
- Faiz, Apridio dkk. 2022. "Mass Balance Analysis of Carbon Black Production from Waste Polyethylene Terephthalate (PET)." 2022:311–17. doi: 10.11594/nstp.2022.2746.
- Ganing, Melani dkk. 2023. "Pemanfaatan Arang Aktif dari Tongkol Jagung sebagai Adsorben Ion Pb^{2+} ." 2:65–70.
- Henry Kurniawan, Arief, Rita Dwi Ratnani, dan Imam Syafa, dan JI X. Menoreh Tengah. 2020. "Pengaruh Waktu Dan Suhu Pembuatan Karbon Aktif Dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah Dengan Suhu Tinggi Secara Pirolisis." *Inovasi Teknik Kimia* 5(2):73–80.
- Huda, Saiful, Rita Dwi Ratnani, dan Indah Hartanti. 2020. "Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Ori (*Bambusa Arundinacea*) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl)." *Jurnal Inovasi Teknik Kimia* 5(1). doi: 10.31942/inteka.v5i1.3397.
- Husin, Amir, dan Asmiah Hasibuan. 2020. "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian." *Jurnal Teknik Kimia USU* 9(2):80–86. doi: 10.32734/jtk.v9i2.3728.
- Husnah, Miftahul, dan Ridwan Yusuf Lubis. 2022. "Asam Fosfat sebagai Aktivator Karbon Aktif Tempurung Buah Nipah." *Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan* 3(4):47–53.
- Imani, Azwardi, Tatan Sukwika, dan Laila Febrina. 2021. "Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang." *Jurnal*

- Teknologi* 13(1):33–42.
- Khan, Equbal Ahmad, Shahjahan, dan Tabrez Alam Khan. 2018. “Adsorption of Methyl Red on Activated Carbon Derived from Custard Apple (*Annona squamosa*) Fruit Shell: Equilibrium Isotherm and Kinetic Studies.” *Journal of Molecular Liquids* 249:1195–1211. doi: 10.1016/j.molliq.2017.11.125.
- Lamasrin, Sriwani, Diane Pioh, dan Tommy Ogie. 2023. “The Effect of The Application of Media for Burnt Husks on the Growth of Mustard Plants (*Brassica juncea* L.).” *Jurnal Agroekoteknologi Terapan* 4(2):329–37. doi: 10.35791/jat.v4i2.47115.
- Meilanti, Meilanti. 2018. “Karakteristik Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H_3PO_4 .” *Jurnal Distilasi* 2(2):1. doi: 10.32502/jd.v2i2.1146.
- Paryanto, Paryanto, Muhamad Eko Saputro, dan Restu Ari Nugroho. 2019. “Produksi Karbon Aktif dari Buah Mangrove Menggunakan Aktivator Kalium Hidroksida.” *Jurnal Inovasi Teknik Kimia* 4(1):2012–14. doi: 10.31942/inteka.v4i1.2684.
- Prasetyo, Andi, Rita Dwi Ratnani, dan Indah Riwayati. 2024. “Pemanfaatan Limbah Batang Pisang (*Musa Paradisiaca* L.) sebagai Sumber Karbon Aktif Teraktivasi dengan Penerapan Metode Pirolisis dan Asam Fosfat (H_3PO_4).” 14(1):198–208.
- Rahmadani, Noor, dan Puji Kurniawati. 2017. “Sintesis dan Karakterisasi Karbon Teraktivasi Asam dan Basa Berbasis Mahkota Nanas.” *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya 2017* (November):154–61.
- Rahman, Abdul, Rizal Aziz, Asmah Indrawati, dan Muhammad Usman. 2020. “Pemanfaatan Beberapa Jenis Arang Aktif sebagai Bahan Absorben Logam Berat Cadmium (Cd) pada Tanah Sedimen Drainase Kota Medan sebagai Media Tanam.” *Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian* 1(1):42–54.
- Ramadhani, Lia F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, dan Erwan A. Saputro. 2020. “Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa.” *Jurnal Teknik Kimia* 26(2):42–53. doi: 10.36706/jtk.v26i2.518.
- Ratnani, Rita Dwi, Forita Dyah Arianti, dan Nugroho Adi Sasongko. 2024. “Exploring the Potential of Water Hyacinth Weed (*Pontederia crassipes*) as an Environmentally Friendly Antifungal to Realize Sustainable Development in Lakes: A Review.” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 9(March):100702. doi: 10.1016/j.cscee.2024.100702.
- Salsabila, Annida Nur, Rita Dwi Ratnani, dan Farikha Maharani. 2024. “Modifikasi Pirolisis Limbah Sereh Dapur sebagai Material Maju (Karbon Aktif) Bernilai Jual Tinggi.” 14(1):314–23.