

PENGARUH VARIASI SUHU KARBONISASI TERHADAP MORFOLOGI KARBON AKTIF TULANG AYAM

Reza Eka Putra^{a,1,*}, Zaid Sulaiman^{a,2}, Lazuardi Akmal Islami^{a,3}, M. Yunus^b

^a Universitas Nusa Putra Sukabumi Indonesia

^b Badan Riset dan Inovasi Nasional. Tangerang Selatan, Indonesia

¹ reza_eka_tm21@nusaputra.ac.id; ² zaidsulaiman@nusaputra.ac.id; ³ lazuardiakmalislami@nusaputra.ac.id

* Corresponding Author

ABSTRACT

Permintaan terhadap daging ayam yang terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan bertambahnya limbah tulang ayam sebagai hasil sampingan dari industri pangan. Tulang ayam, yang kaya akan material berpori seperti hidroksiapatit, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif. Karbon aktif adalah material berpori dengan luas permukaan yang besar dan kemampuan selektif dalam mengadsorpsi berbagai zat, sehingga sering digunakan dalam aplikasi pengolahan air, penyerapan gas, dan pemurnian udara. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah tulang ayam sebagai karbon aktif melalui variasi suhu karbonisasi pada 400°C, 500°C, dan 600°C. Karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan akan dilakukan dengan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk menganalisis morfologi permukaan dan struktur pori, serta uji *Energy Dispersive X-ray* (EDX) untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mendalam mengenai pengaruh variasi suhu terhadap sifat morfologi karbon aktif dari tulang ayam, serta berkontribusi dalam pengelolaan limbah organik secara berkelanjutan.

KEYWORDS

Karbon Aktif
Tulang Ayam
Suhu Karbonisasi
Morfologi
SEM-EDX

1. Pendahuluan

Karbon aktif merupakan material berpori dengan luas permukaan yang sangat besar dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon dengan proses khusus sehingga memiliki permukaan yang aktif dan bersifat selektif pada penggunaannya. Secara umum karbon aktif digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengolahan air, penyerapan gas, dan pemurnian udara[1][2][3]. Sumber bahan baku karbon aktif bisa berasal dari berbagai macam material organik seperti hewan, tumbuh-tumbuhan, serta limbah ataupun mineral yang mengandung karbon. Salah satu limbah yang dapat menjadi sumber bahan baku karbon aktif adalah tulang hewan[4]. Penggunaan tulang hewan sebagai bahan baku karbon aktif menawarkan inovasi dalam penanggulangan limbah organik, khususnya tulang ayam yang sering kali diabaikan sebagai limbah padat di industri pangan[5].

Ayam termasuk golongan ternak unggas yang banyak ditenakan dikalangan peternak. Hal ini didasari oleh permintaan akan olahan daging ayam yang semakin meningkat setiap harinya. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat pada tahun 2023 melaporkan bahwa jumlah populasi ayam ras pedaging di Kabupaten Sukabumi mengalami peningkatan sebesar 72.812.982 ekor, sedangkan di Tahun 2022 populasinya sebesar 48.434.340 ekor. Dampak yang diakibatkan dari peningkatan jumlah populasi ternak adalah terjadinya peningkatan terhadap jumlah limbah yang dihasilkan, salah satunya yaitu limbah tulang.

Tulang ayam mengandung material berpori hidroksiapatit yang berpotensi untuk dijadikan adsorben yang mana erat kaitannya dengan karbon aktif. Hal ini tentu berdampak baik terhadap penanggulangan limbah tulang ayam mengingat konsumsi daging ayam cukup besar dan terus mengalami peningkatan. Secara kimiawi, komposisi tulang utamanya mengandung sekitar 85% mineral, kalsium fosfat, 14% kalsium karbonat dan 1% magnesium [6].

Dalam penelitian ini, karbon aktif dari tulang ayam akan dibuat dengan variasi suhu karbonisasi pada 400°C, 500°C, dan 600°C. Variasi suhu ini berfungsi untuk melihat pengaruhnya terhadap struktur pori dan luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan[2]. Fungsi lain dari proses pemanasan pada suhu tersebut adalah untuk mendorong pengotor dan hidrokarbon hasil karbonisasi terdorong keluar dari pori arang sehingga volume pori arang semakin banyak[7].

Untuk mengkarakterisasi karbon aktif yang dihasilkan dari tulang ayam, penelitian ini akan melakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Uji SEM

akan digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan serta struktur pori dari karbon aktif yang dihasilkan, sementara uji EDX akan memberikan informasi mengenai komposisi unsur kimia yang ada dalam karbon aktif tersebut [8][9][10]. Dengan menggunakan uji SEM-EDX, diharapkan dapat diperoleh gambaran mendetail mengenai struktur mikro dan kandungan elemen yang berkontribusi pada sifat adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan.

2. Metode

2.1. Preparasi Tulang Ayam

Pada penelitian ini digunakan tulang ayam bagian paha. Pertama-tama, tulang ayam dibersihkan dari sisa daging yang masih melekat dan sum-sum pada bagian dalam tulang. Selanjutnya, tulang ayam dicuci hingga bersih lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam. Proses ini umumnya disebut sebagai proses dehidrasi yang bertujuan untuk mengurangi sisa kandungan air yang masih terdapat pada tulang ayam [11].

2.2. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi bertujuan untuk memperoleh karbon serta menghilangkan senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam bentuk unsur-unsur non karbon, hidrogen, dan oksigen sehingga pada tahap ini sebagian besar unsur non-karbon akan hilang [11]. Suhu yang terlalu tinggi (1000°C) akan mengakibatkan banyaknya abu yang terbentuk, dimana abu tersebut dapat menutupi pori-pori dan membuat luas permukaan berkurang serta daya adsorpsinya menurun. Maka dari itu, dalam proses ini tulang ayam akan di karbonisasi pada suhu 400°C, 500°C dan 600°C. Tujuan dari variasi suhu ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh suhu terhadap karakteristik dan kualitas karbon aktif yang dihasilkan [12].

Tulang ayam seberat 180 gram dikarbonisasi masing masing dengan variasi suhu 400°C, 500°C dan 600°C menggunakan *furnace* selama satu jam. *Furnace* yang digunakan yaitu merk *SH Scientific Laboratory Muffle Furnace SH-FU-7MGE*. Setelah dikarbonisasi, massa tulang ayam berkurang menjadi 55 gram. Hal ini disebabkan karena unsur non karbon yang terkandung pada tulang ayam telah habis terbakar pada proses karbonisasi. Setelah menjadi arang, tulang ayam dihaluskan menggunakan mortar supaya menjadi serbuk atau *Powdered Activated Carbon (PAC)*.



Gambar 2.1. Serbuk Karbon Tulang Ayam

2.3. Uji SEM-EDX

Karbon aktif yang telah melalui proses aktivasi dan yang belum diaktivasi kemudian dikarakterisasi. Karbon yang belum diaktivasi turut diuji dengan tujuan untuk menjadi pembandingan dengan karbon yang sudah diaktivasi serta untuk membuktikan apakah sesudah diaktivasi terdapat beberapa komposisi unsur yang hilang atau terikat dengan aktivator. Karakterisasi ini mencakup analisis struktur pori menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* merk *JEOL JSM-IT200* dan perbandingan komposisi unsur dalam karbon aktif melalui uji *Energy Dispersive X-ray (EDX)* merk *JEOL JED-2300*. Sebelum pengujian, sampel akan dilapisi dengan logam konduktor, yaitu menggunakan logam platina. Karena karbon merupakan material non-logam, pelapisan ini diperlukan agar elektron dapat dihantarkan dengan baik ke seluruh bagian serbuk karbon aktif selama pengujian berlangsung, sehingga menghasilkan data yang optimal [13]. Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati morfologi dan struktur pori dengan perbesaran 1000x. Setiap spesimen akan diambil 3 gambar dan pada setiap gambar akan dilakukan 3 kali pengujian EDX untuk memastikan akurasi hasil analisis komposisi unsur.

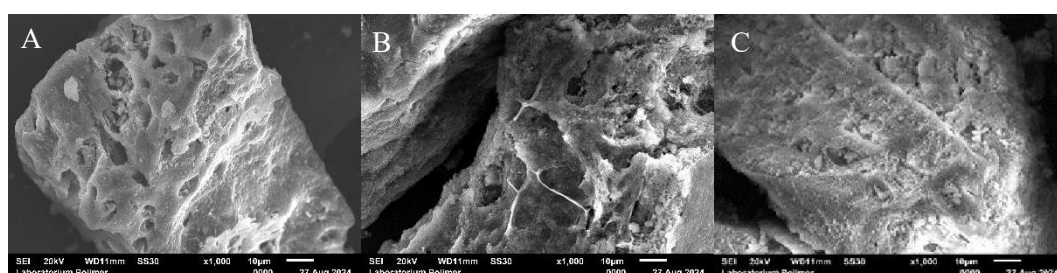
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji SEM-EDX

Hasil pengujian SEM-EDX dari tulang ayam yang baru melewati proses karbonisasi saja dan belum dilakukan aktivasi adalah sebagai berikut.

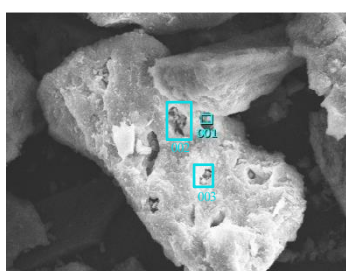
3.1.1. Hasil Uji SEM

Hasil uji SEM serbuk arang tulang ayam diperoleh data yang menunjukkan morfologi permukaan yang masih relatif kasar dan tidak teratur. Pada perbesaran 1000x, terlihat bahwa struktur pori belum terbentuk secara sempurna, dan banyak bagian permukaan yang masih tertutup oleh residu hasil karbonisasi. Hal ini mengindikasikan bahwa proses karbonisasi saja belum cukup untuk membuka pori-pori secara maksimal, yang merupakan salah satu karakteristik penting dari karbon aktif [14] [15].



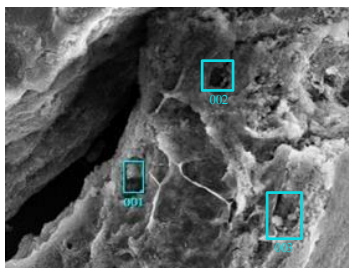
Gambar 3.1. Morfologi Karbon Tulang Ayam Variasi Suhu (A) 400°C, (B) 500°C, dan (C) 600°C

Berdasarkan gambar 3.1, terlihat bahwa pori-pori telah terbentuk pada ketiga variasi suhu yang digunakan. Pada spesimen yang dikarbonisasi pada suhu 600°C, tampak lebih banyak residu atau pengotor, yang umumnya terdiri dari unsur non-karbon, menutupi celah pori pada permukaan karbon. Hal ini mengonfirmasi bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi, bahan organik akan terurai lebih cepat, meninggalkan residu dalam bentuk abu atau debu. Selain itu, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi struktur karbon, sehingga partikel pengotor dan abu yang terbentuk dapat menutupi pori-pori karbon. Sementara itu, spesimen dengan suhu 400°C pori yang dihasilkan terlihat lebih banyak dan pori yang ada cukup bersih dari pengotor [16].



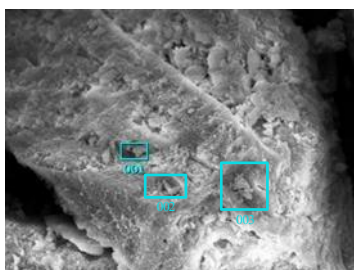
Gambar 3.2. Titik Pengotor Pori Karbon Variasi Suhu 400°C

Pada gambar 3.2 terlihat bahwa permukaan karbon masih memiliki pori-pori yang relatif terbuka dengan sedikit pengotor. Pori-pori yang terbuka menunjukkan bahwa proses karbonisasi pada suhu ini belum menyebabkan dekomposisi bahan organik secara berlebihan, sehingga pembentukan abu atau residu yang menutupi pori-pori masih terbatas. Karbon yang dihasilkan pada suhu ini berpotensi memiliki luas permukaan yang lebih besar karena lebih sedikit pengotor yang menutupi pori-pori.



Gambar 3.3. Titik Pengotor Pori Karbon Variasi Suhu 500°C

Pengotor yang menutupi permukaan karbon mulai terlihat lebih jelas pada gambar 3.3. Peningkatan suhu karbonisasi menyebabkan dekomposisi bahan organik yang lebih intensif, sehingga lebih banyak residu dalam bentuk abu mulai terbentuk dan menempel pada permukaan karbon [17]. Pori-pori pada suhu ini mulai mengalami penyumbatan oleh lapisan residu, meskipun masih terdapat beberapa area di mana pori-pori terlihat terbuka. Hal ini mengindikasikan bahwa karbon aktif pada suhu ini memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan suhu 400°C karena sebagian pori telah tertutup.



Gambar 3.4. Titik Pengotor Pori Karbon Variasi Suhu 600°C

Pada suhu 600°C terlihat adanya peningkatan signifikan pada jumlah residu atau pengotor yang menutupi hampir seluruh permukaan pori. Pada suhu ini, proses dekomposisi bahan organik telah meningkat pesat, menyebabkan pembentukan abu yang lebih banyak. Pengotor ini berupa unsur non-karbon, seperti oksida atau mineral dari tulang ayam yang belum sepenuhnya hilang selama proses karbonisasi. Akibatnya, pori-pori tertutupi oleh lapisan pengotor yang cukup tebal, mengurangi luas permukaan aktif karbon secara signifikan. Karbon yang dihasilkan pada suhu 600°C cenderung memiliki daya adsorpsi yang lebih rendah karena jumlah pori yang dapat berinteraksi dengan zat terlarut berkurang akibat penyumbatan oleh residu.

Pernyataan di atas akan didukung oleh hasil pengujian EDX di titik yang sudah ditandai pada gambar 3.2 sampai 3.4. Dilakukannya uji EDX pada beberapa titik tersebut bertujuan untuk memperkuat asumsi sementara yang dimana objek yang berada di dalam pori karbon itu adalah sebuah pengotor atau residu yang unsurnya adalah kalsium, fosfor dan lain sebagainya. Untuk detail tentang hasil uji EDX pada gambar tersebut ada pada tabel 3.2 sampai 3.4.

3.1.2. Hasil Uji EDX

Dari analisis EDX, komposisi unsur yang terdeteksi sebagian besar terdiri dari karbon, oksigen, serta sejumlah kecil unsur lain seperti kalsium dan fosfor, yang merupakan komponen utama dari hidroksiapatit dalam tulang ayam. Kandungan karbon yang cukup signifikan menunjukkan bahwa proses karbonisasi telah berhasil menghilangkan sebagian besar senyawa volatil, meskipun masih ada unsur-unsur non-karbon yang tersisa. Lebih jelasnya ada pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. *Average* Hasil Uji EDX Pada Karbon Tulang Ayam Sebelum Aktifasi

ELEMENT	400°C		500°C		600°C	
	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %
Carbon (C)	30,83	45,55	21,21	33,17	17,02	19,52
Oxygen (O)	37,78	43,90	34,85	44,59	42,07	55,81
Natrium (N)	-	-	0,72	0,61	0,68	0,61
Magnesium (Mg)	0,51	0,40	0,56	0,45	0,70	0,59
Phosphorus (P)	12,76	7,71	16,07	10,73	17,19	11,83
Clorin (Cl)	-	-	0,40	0,24	-	-
Kalium (K)	-	-	1,04	0,55	0,83	0,45
Calcium (Ca)	24,98	11,66	31,28	16,23	31,21	16,67
Copper (Cu)	1,81	0,51	-	-	-	-

Tabel 3.1 menunjukkan komposisi unsur yang didapatkan dari tulang ayam yang sudah dikarbonisasi pada variasi, yaitu 400°C, 500°C, dan 600°C. Terlihat bahwa karbon mengalami penurunan signifikan seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Pada suhu 400°C, komposisi karbon sebesar 30,83% massa dengan 45,55% atom. Namun, ketika suhu ditingkatkan menjadi 500°C, komposisi karbon menurun menjadi 21,21% massa dan 33,17% atom. Pada suhu tertinggi, yaitu 600°C, karbon turun lebih lanjut menjadi 17,02% massa dan 19,52% atom. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi, semakin banyak unsur karbon yang terbakar atau terdegradasi menjadi gas yang mudah menguap, seperti karbon dioksida (CO₂), sehingga mengurangi kandungan karbon pada spesimen.

Unsur-unsur non-karbon lainnya, seperti oksigen, fosfor, kalsium, dan lainnya, menunjukkan variasi yang berbeda. Oksigen cenderung meningkat seiring dengan kenaikan suhu karbonisasi, dari 37,78% massa pada 400°C menjadi 42,07% pada 600°C, yang disebabkan oleh peningkatan oksidasi pada suhu yang lebih tinggi [18]. Fosfor juga mengalami peningkatan, dari 12,76% massa pada 400°C menjadi 17,19% pada 600°C. Kalsium, yang dominan pada tulang, juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, terutama pada suhu yang lebih tinggi, dengan komposisi mencapai 31,21% massa pada suhu 600°C. Hal ini menunjukkan bahwa unsur-unsur non-karbon, terutama mineral, tetap ada dalam bentuk padat dan terkonsentrasi lebih tinggi ketika bahan karbon terdegradasi.

Tabel 3.2 Uji EDX Pada Titik Pengotor Gambar 3.2

ELEMENT	TITIK 1		TITIK 2		TITIK 3	
	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %
Carbon (C)	-	-	4.18	10.14	-	-
Oxygen (O)	17.49	43.90	16.37	29.84	-	-
Magnesium (Mg)	-	-	-	-	-	-
Phosphorus (P)	7.17	7.22	10.27	9.67	14.44	17.93
Clorin (Cl)	-	-	-	-	-	-
Kalium (K)	-	-	-	-	-	-
Calcium (Ca)	75.34	58.66	69.19	50.35	85.56	82.07

Pada tabel 3.2, titik 1 tidak memiliki unsur karbon, yang menunjukkan bahwa pengotor didominasi oleh unsur non-karbon. Dengan fosfor sebesar 7,17% massa dan 7,22% atom dan oksigen sebesar 17,49% massa dan 43,90% atom, masing-masing menunjukkan kemungkinan adanya senyawa oksida yang terjadi akibat karbon terkena kontak dengan udara atau teroksidasi [17], sedangkan kadar kalsium yang terdeteksi pada titik 1 sebesar 75.34% massa dan 58.66% atom. Unsur kalsium mendominasi menunjukkan keberadaan senyawa kalsium seperti kalsium fosfat atau kalsium oksida, sisa dari proses karbonisasi. Pada titik 2, karbon terdeteksi sebesar 4,18% massa dan 10.14% atom, tetapi oksigen, fosfor dan kalsium tetap mendominasi sampai ke titik 3 dan karbon pada titik ini tidak terdeteksi.

Tabel 3.3 Uji EDX Pada Titik Pengotor Gambar 3.3

ELEMENT	TITIK 1		TITIK 2		TITIK 3	
	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %
Carbon (C)	11.90	22.65	16.41	29.76	17.01	27.91
Oxygen (O)	28.00	40.03	26.92	36.65	39.00	48.02
Magnesium (Mg)	-	-	-	-	0.63	0.51
Phosphorus (P)	17.89	13.21	17.20	12.09	15.30	9.73
Clorin (Cl)	-	-	0.48	0.30	0.34	0.19
Kalium (K)	1.15	0.67	1.00	0.56	0.80	0.40
Calcium (Ca)	41.07	23.44	37.99	20.65	26.92	13.23

Dalam Tabel 3.3, unsur klorin, magnesium dan kalium terdeteksi sebagai bagian dari hasil uji EDX pada beberapa titik di suhu karbonisasi 500°C. Keduanya merupakan unsur yang sering ditemukan dalam berbagai senyawa, baik alami maupun yang dihasilkan melalui proses karbonisasi. Klorin hadir sebagai hasil dari kontaminasi lingkungan atau interaksi selama proses karbonisasi. Klorin bisa berasal dari sumber eksternal seperti bahan kimia yang digunakan dalam pengolahan atau penyimpanan bahan, serta dari polutan di sekitar lingkungan [19]. Kehadirannya bisa menunjukkan bahwa ada reaksi kimia atau pengotor yang berasal dari luar proses pembuatan karbon. Sedangkan kalium dan magnesium biasanya terdapat dalam bentuk senyawa mineral, seperti kalium fosfat, yang dapat berasal dari mineral yang ada dalam tulang ayam itu sendiri [20]. Kalium menunjukkan bahwa meskipun proses karbonisasi berlangsung, sisa-sisa mineral dari tulang tetap ada dan dapat terdeteksi.

Tabel 3.4 Uji EDX Pada Titik Pengotor Gambar 3.4

ELEMENT	TITIK 1		TITIK 2		TITIK 3	
	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %	MASS %	ATOM %
Carbon (C)	7.35	13.74	7.25	12.58	10.33	17.63
Oxygen (O)	36.97	51.86	46.45	60.49	43.86	56.19
Magnesium (Mg)	-	-	0.71	0.61	0.62	0.52
Phosphorus (P)	19.59	14.20	17.11	11.51	16.84	11.14
Clorin (Cl)	-	-	-	-	-	-
Kalium (K)	-	-	0.78	0.41	0.80	0.37
Calcium (Ca)	36.09	20.21	27.71	14.40	27.65	14.14

Hasil yang didapatkan pada tabel 3.4, tidak terlalu berbeda dengan tabel sebelumnya yang mana kandungan unsur-unsur tetap didominasi oleh unsur non-karbon. Kalsium dan oksigen masih jadi yang tertinggi dengan nilai rata-rata sekitar 45% untuk keduanya, disusul oleh fosfor, kalium dan magnesium untuk pengotor yang terdeteksi pada variasi suhu 600°C ini. Sedangkan karbon masih tetap ada dinilai rata-rata sekitar 12% keseluruhan.

Tren yang terjadi menunjukkan variasi konsentrasi unsur yang terdeteksi di setiap titik analisis. Secara umum, unsur karbon mengalami peningkatan yang mengindikasikan bahwa proses karbonisasi semakin berhasil dalam mengubah komponen organik menjadi karbon[21]. Dan kembali menurun pada variasi suhu 600°C yang disebabkan oleh tingginya suhu berpengaruh terhadap hasil pembakaran. Secara keseluruhan, tabel ini mencerminkan perubahan komposisi kimia yang signifikan selama proses karbonisasi, yang dapat mempengaruhi karakteristik dan sifat dari karbon aktif yang dihasilkan.

3.2. Pembahasan

Luas permukaan dan jumlah pori yang dihasilkan dari pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) pada serbuk karbon tulang ayam sangat bervariasi. Pada suhu 400°C, terlihat banyak pori yang tidak terlalu tertutup oleh pengotor, sehingga menunjukkan struktur karbon yang cukup terbuka. Pori-pori ini penting karena semakin terbuka dan luas permukaan karbon, semakin tinggi kapasitas adsorpsinya [22]. Kadar karbon yang dihasilkan ketika uji EDX pada variasi suhu 400°C merupakan yang paling tinggi dibanding dengan variasi suhu yang lain. Hal ini disebabkan oleh suhu yang optimal dan waktu pembakaran yang cukup [23]. Namun, tidak dapat dipungkiri jika unsur non-karbon pun cukup tinggi pada variasi ini. Pada suhu 500°C, terjadi peningkatan jumlah pori, tetapi mulai terlihat adanya sedikit residu atau pengotor yang menutupi beberapa pori. Hal ini menunjukkan bahwa proses karbonisasi mulai menghasilkan lebih banyak abu dan senyawa non-karbon yang dapat menutupi pori-pori karbon tulang ayam. Namun, jumlah pori masih memadai untuk memastikan efektivitas karbon sebagai adsorben. Kadar karbon pada tahap ini mulai menurun diakibatkan oleh unsur organik yang mulai terurai mengakibatkan karbon terdekomposisi dengan unsur yang lain. Pada suhu 600°C, kadar karbon semakin menurun dan pengotor atau residu lebih jelas terlihat menutupi sebagian besar pori-pori karbon. Meskipun suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju dekomposisi bahan organik, hal ini juga menyebabkan terbentuknya lebih banyak abu dan senyawa non-karbon yang menyumbat pori-pori karbon. Akibatnya, luas permukaan efektif karbon aktif menurun, sehingga potensi daya adsorpsi karbon juga berkurang.

Perbedaan utama antara persentase massa dan persentase atom dalam analisis unsur adalah persentase massa (% Massa) menunjukkan berapa proporsi massa total dari suatu unsur dalam sampel, dihitung berdasarkan berat unsur tersebut. Sedangkan persentase atom (% Atom) adalah jumlah relatif atom suatu unsur dibandingkan dengan atom unsur lainnya dalam sampel, tanpa memperhitungkan berat atomnya. Ini lebih melihat kuantitas atau jumlah atom unsur yang terkandung dalam sampel.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi suhu karbonisasi memiliki pengaruh signifikan terhadap morfologi dan komposisi karbon aktif yang dihasilkan dari tulang ayam. Pada suhu 400°C, karbon aktif memiliki struktur pori yang terbuka dengan sedikit pengotor dan kandungan karbon yang tinggi. Pada suhu 500°C dan 600°C, struktur pori karbon aktif mulai tertutup oleh residu non-karbon, mengurangi luas permukaan aktif karbon. Hasil ini penting untuk memahami pengelolaan limbah organik secara berkelanjutan dan pengembangan karbon aktif yang optimal.

Referensi

- [1] A. Salsabila, "Mengenal Karbon Aktif: Pengertian, Fungsi dan Perbedaannya dengan Arang," 2023, [Online]. Available: <https://lindungihutan.com/blog/pengertian-karbon-aktif-dan-fungsinya/>
- [2] L. E. Laos, M. Masturi, and I. Yulianti, "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri," vol. V, pp. SNF2016-MPS-135-SNF2016-MPS-140, 2016, doi:

- 10.21009/0305020226.
- [3] Purwo Subekti, "PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PENYERAP GAS BUANG PADA ALAT PENGENDALI PENCEMARAN UDARA UNTUK KENDARAAN BERMESIN DIESEL," *J. APTEK Vol. 1 No. 1 Juli 2009*, p. 11, 2011.
- [4] S. Wardani, E. Rosa, and R. Mirdayanti, "Pengolahan Limbah Tulang Kambing Sebagai Produk Arang Aktif Menggunakan Proses Aktivasi Kimia dan Fisika," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 18, no. 1, pp. 67–72, 2020, doi: 10.14710/jil.18.1.67-72.
- [5] M. Maulina *et al.*, "Pemanfaatan Tulang Ayam Sebagai Adsorben Methylene Blue," *J. Zarah*, vol. 10, no. 2, pp. 73–79, 2022, doi: 10.31629/zarah.v10i2.3980.
- [6] P. K. Agarwal, A., & Gupta, "Adsorption study of Cr(II) from aqueous solution using animal bone charcoal as low cost adsorbent.," *Chem. Environ. Sci.*, 2015, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:28812143>
- [7] V. Amalia, F. Layyindah, F. Zahara, and E. P. Hadisantoso, "Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd," *al-Kimiya*, vol. 4, no. 1, pp. 31–37, 2019, doi: 10.15575/ak.v4i1.5081.
- [8] A. Wahyudi, "Karakterisasi Komposit TiO₂ Karbon Aktif Tandan Pisang Menggunakan FTIR Dan SEM-EDX," *Skripsi*, 2021.
- [9] R. Achmad, S. Fauziah, and M. Zakir, "Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepeh Kelapa Sawit (*Cocos nucifera* L.) Sebagai Adsorben Metilen Biru," *Indones. J. Pure Appl. Chem.*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2021.
- [10] Julinawati, Marlina, N. Rosnani, and Sheilatin, "Applying Sem-Edx Techniques To Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh," *J. Nat.*, vol. 15, no. 2, pp. 44–48, 2015.
- [11] M. PUSPITASARI, "PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN KARBON AKTIF DALAM MENYERAP CO DAN HC PADA EMISI KENDARAAN BERMOTOR," *SKRIPSI Univ. Indones. Fak. Tek. Progr. Stud. Tek. Kim.*, p. 75, 2017.
- [12] W. Spencer, G. Senanayake, M. Altarawneh, D. Ibane, and A. N. Nikoloski, "Review of the effects of coal properties and activation parameters on activated carbon production and quality," *Miner. Eng.*, vol. 212, no. February, p. 108712, 2024, doi: 10.1016/j.mineng.2024.108712.
- [13] A. D. Pratama and Aminatun, "Pelapisan Hidroksiapatit dari Tulang Sotong (*Sepia* sp.) pada SS316L untuk Aplikasi Implan Tulang Prostetik," pp. 1–7, 2014.
- [14] H. Zhao, Q. Yu, M. Li, and S. Sun, "Preparation and water vapor adsorption of 'green' walnut-shell activated carbon by CO₂ physical activation," *Adsorpt. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 1–2, pp. 60–76, 2020, doi: 10.1177/0263617419900849.
- [15] F. Redha, R. Junaidy, and I. Hasmita, "PENYERAPAN EMISI CO DAN NO_x PADA GAS BUANG KENDARAAN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI KULIT CANGKANG BIJI KOPI," *Biopropal Ind.*, vol. 9, no. 1, pp. 37–47, 2018.
- [16] S. Oko, M. Mustafa, A. Kurniawan, and L. Norfitria, "Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Plastik PET (Polyethylene terephthalate) Menggunakan Aktivator KOH," *Metana*, vol. 17, no. 2, pp. 61–68, 2021, doi: 10.14710/metana.v17i2.40204.
- [17] C. B. Peres, L. C. de Moraes, and P. M. R. Resende, "Carbon adsorption on waste biomass of passion fruit peel: A promising machine learning model for CO₂ capture," *J. CO₂ Util.*, vol. 80, no. November 2023, p. 102680, 2024, doi: 10.1016/j.jcou.2024.102680.
- [18] D. J. Tarimo, K. O. Oyedotun, N. F. Sylla, A. A. Mirghni, N. M. Ndiaye, and N. Manyala,

-
- “Waste chicken bone-derived porous carbon materials as high performance electrode for supercapacitor applications,” *J. Energy Storage*, vol. 51, no. December 2021, p. 104378, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104378.
- [19] F. Hayat, “Analisis Kadar Klor Bebas (Cl₂) dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat di Sepanjang Sungai Cidanau Kota Cilegon,” *J. Kesehat. Masy. Mulawarman*, vol. 2, no. 2, p. 64, 2020, doi: 10.30872/jkmm.v2i2.4673.
- [20] R. Mohadi, A. Lesbani, and Y. Susie, “Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO) dari Tulang Ayam,” *Chem. Prog.*, vol. 6, no. 2, pp. 76–80, 2013.
- [21] R. A. F. Lubis, H. I. Nasution, and M. Zubir, “Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification,” *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2020, doi: 10.24114/ijest.v3i2.19531.
- [22] S. Zulaiha, “The utilization of chicken bone activated carbon as an adsorbent and its implementation in chemistry learning,” *Chempublish J.*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019, doi: 10.22437/chp.v4i1.6795.
- [23] R. W. Putri, S. Haryati, and Rahmatullah, “Pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon aktif dari limbah ampas tebu,” *J. Tek. Kim.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–4, 2019, doi: 10.36706/jtk.v25i1.13.