Karakterisasi Pola Distribusi Pori Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Teraktivasi H₃PO₄ Berbasis Geometri Fraktal

Siti Maysharoha, Irfana Diah Faryunia*, Joko Sampurnoa

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia *Email: Irfana@physics.untan.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengkaji tentang analisa citra SEM karbon aktif tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode fraktal untuk menganalisis pola distribusi pori pada karbon aktif. Karbon aktif disintesis dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan larutan H₃PO₄ (asam fosfat). Sintesis diawali dengan proses karbonisasi pada suhu 400°C selama satu jam, dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan larutan H₃PO₄ yang bervariasi: 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%, kemudian diaktivasi fisika pada suhu 700°C selama satu jam. Karbon aktif selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Citra SEM karbon aktif dikarakterisasi dengan analisis fraktal metode *box-counting* untuk mendapatkan dimensi fraktalnya. Pengolahan citra SEM dimulai dengan mengubah citra menjadi *grayscale*, dilanjutkan dengan proses *thresholding* dan diakhiri dengan proses deteksi tepi citra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator H₃PO₄ yang diberikan (5% hingga 25%) menyebabkan ukuran pori karbon aktif semakin besar pula, namun jumlah pori tersebut semakin menurun sehingga distribusi porinya menjadi lebih teratur. Hal tersebut ditandai dengan menurunnya dimensi fraktal seiring dengan penambahan konsentrasi H₃PO₄.

Kata kunci: fraktal, karbon aktif, tandan kosong kelapa sawit, H₃PO₄, Box-counting

1. Latar Belakang

Kalimantan Barat merupakan salah satu penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia. Dari tahun ke tahun luas perkebunan kelapa sawit terus meningkat sehingga produksi kelapa sawit juga ikut meningkat. Pada tahun 2014, produksi kelapa sawit mencapai 1,9 juta ton. Angka tersebut terus meningkat hingga menyentuh 2,2 juta ton pada tahun 2016 [1]. Seiring dengan meningkatnya produksi kelapa sawit, maka limbah kelapa sawit berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga semakin menumpuk. Oleh karena itu, perlunya tindakan untuk mengurangi limbah TKKS tersebut.

Menurut Sudiyani, dkk., limbah TKKS mengandung selulosa dan hemiselulosa yang cocok untuk dijadikan karbon aktif [2]. Karbon aktif merupakan material yang memiliki daya serap tinggi akibat struktur pori internal yang dimilikinya. Sifat penting untuk menggambarkan karakter dari suatu penyerap adalah distribusi pori. Distribusi pori merupakan hal utama dalam proses penyerapan, karena sangat berpengaruh terhadap kuantitas kapasitas adsorbsinya [3]. Luas permukaan dan distribusi pori karbon ditentukan pada pemilihan bahan baku, jenis aktivator, dan proses aktivasi karbon [4].

Pada penelitian sebelumnya, Apriani, dkk., mensintesis karbon aktif dari kulit durian menggunakan aktivator KOH dengan variasi konsentrasi: 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator yang

diberikan, maka ukuran pori juga akan semakin besar. Ukuran pori terbesar dihasilkan dari karbon aktif dengan konsentrasi 25% yakni 8,27 µm [5]. Selain itu, Kurniawan, dkk., juga mensintesis karbon aktif dari tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit menggunakan aktivator H₃PO₄. Karbon aktif terbaik dihasilkan dari karbon aktif tempurung kelapa dengan menghasilkan luas permukaan yang tinggi yakni 386,447 m²/g. Dalam penelitiannya juga dijelaskan bahwa variasi konsentrasi aktivator H₃PO₄ yang diberikan, sangat berpengaruh terhadap perubahan luas permukaan karbon aktif [6].

ISSN: 2337-8204

Pada penelitian ini, TKKS dijadikan sebagai bahan dasar karbon aktif. Langkah-langkah sintesis karbon aktif meliputi karbonisasi dan aktivasi (kimia dan fisika). Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy). Hasil citra SEM dianalisis menggunakan metode fraktal untuk mengetahui pola distribusi pori pada karbon aktif. Analisis fraktal dilakukan dengan menggunakan metode box-counting.

2. Metodologi Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah tanur, neraca digital, alat-alat gelas, wadah plastik, penggiling/penumbuk, ayakan 200 mesh dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Bahanbahan yang digunakan adalah tandan kosong

kelapa sawit (TKKS), larutan H₃PO₄ (Asam fosfat) dan akuades.

Sintesis Karbon Aktif

Limbah TKKS dicuci berulang dan dijemur di bawah terik matahari langsung selama enam hari. TKKS yang telah kering dikarbonisasi menggunakan tanur selama satu jam. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 400°C [7]. Karbon yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan hingga lolos ayakan 200 mesh. Karbon diaktivasi kimia dengan mencampurkan larutan H₃PO₄ dengan variasi: 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% selama 24 jam dan rasio perbandingan yang digunakan antara karbon dan aktivator adalah 1:2. Selanjutnya karbon dicuci menggunakan akuades hingga pH normal dan dikeringkan menggunakan tanur pada suhu 105°C selama tiga jam. Penelitian dilanjutkan dengan aktivasi fisika pada suhu 700°C selama satu jam [8].

Karakterisasi Sampel

Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan instrumen SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil karakterisasi SEM berupa citra morfologi karbon aktif dalam format jpg. Citra inilah yang kemudian akan dianalisis sifat fraktalnya menggunakan metode *box-counting*.

Pengolahan Citra

Sampel yang digunakan berupa 10 citra permukaan karbon aktif (variasi konsentrasi: 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%) pada perbesaran 2.000 dan 10.000 kali. Dalam proses pengolahan citra teridiri dari beberapa tahap, yakni: cropping, grayscaling, thresholding otsu dan deteksi tepi canny.

Cropping digunakan untuk memotong bagian objek dari suatu citra sesuai dengan daerah objek yang ditentukan. Grayscaling merupakan proses vang digunakan untuk mengkonversi citra menjadi citra dalam skala keabuan (grayscale). Metode thresholding otsu merupakan metode segmentasi vang cukup akurat mendapatkan daerah yang merupakan objek tersegmentasi dengan menggunakan histogram grayscale. Citra yang dihasilkan dari proses thresholding berupa citra biner (citra hitamputih). Deteksi tepi canny merupakan metode segmentasi untuk mengidentifikasi garis batas pada suatu objek untuk mempertajam penampakan garis pada objek. Citra yang dihasilkan memperlihatkan bentuk objek dari suatu citra.

Metode Box-Counting

Pada metode ini, citra diletakkan pada suatu luasan yang digrid merata. Jumlah kotak dihitung pada bagian yang menutupi citra karbon aktif. Dimensi fraktal akan dihitung dengan melihat seberapa jumlah kotak tersebut akan berubah ketika ukuran kotaknya diperkecil. Dimensi fraktal dapat didefinisikan sebagai berikut [9]:

$$Dim_{box}(\varepsilon) = lim_{\varepsilon \to 0} \left(\frac{log N_{\varepsilon}}{log(\frac{1}{\varepsilon})} \right)$$
 (1)

ISSN: 2337-8204

Dimana:

 $Dim_{box}(\varepsilon)$: dimensi yang dihitung ε : panjang sisi kotak N_{ε} : jumlah kotak

Nilai dimensi fraktal inilah yang digunakan dalam analisis pola distribusi pori karbon aktif.

Uji Korelasi

Untuk melihat hubungan antara dua variabel yakni variabel bebas (konsentrasi aktivator) dan variabel terikat (dimensi fraktal), dilakukan uji korelasi. Hipotesis awal yang digunakan adalah:

 H_0 : Semakin tinggi konsentrasi aktivator maka dimensi fraktal akan semakin naik.

 H_1 : Semakin tinggi konsentrasi aktivator maka dimensi fraktal akan semakin menurun.

Jika nilai t_{hitung} <t_{tabel} maka H₀ diterima dan jika t_{hitung} >t_{tabel} maka H₀ ditolak.

Uji hipotesis dilakukan dengan cara membandingkan t_{hitung} dengan t_{tabel} . Untuk menghitung t_{hitung} digunakan persamaan berikut [10]:

 $t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \tag{2}$

Dimana:

t : nilai t hitung
n : jumlah sampel
R : koefisien korelasi

Untuk menghitung korelasi antara dua variabel, digunakan persamaan berikut [10]:

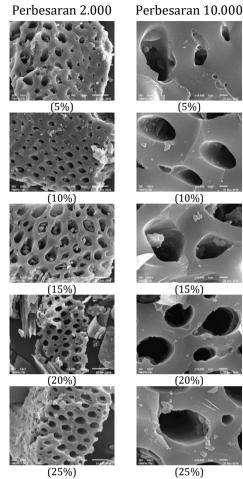
$$R = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_{i} y_{i} - \sum_{i=1}^{n} x_{i} \sum_{i=1}^{n} y_{i}}{\sqrt{\left\{\left(n\sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} - \left[\sum_{i=1}^{n} x_{i}\right]^{2}\right)\left(n\sum_{i=1}^{n} y_{i}^{2} - \left[\sum_{i=1}^{n} y_{i}\right]^{2}\right)\right\}}}$$
(3)

Dimana:

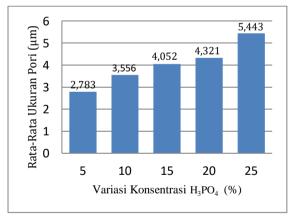
R: koefisien korelasi
n: jumlah sampel
x: variabel bebas
y: variabel terikat

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil karakterisasi SEM karbon aktif (variasi konsentrasi: 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%) pada perbesaran 2.000 dan 10.000 diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mikrograf SEM Karbon Aktif TKKS

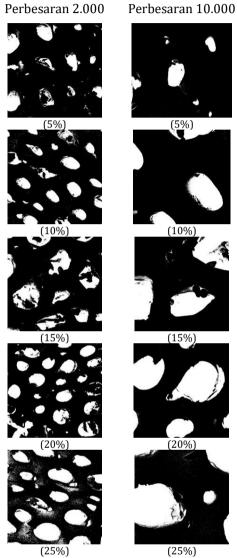


Gambar 2. Hubungan antara variasi konsentrasi H₃PO₄ terhadap ukuran rerata diameter pori karbon aktif TKKS.

Berdasarkan Gambar 2, dengan bertambahnya konsentrasi bahan pengaktif yang diberikan, maka ukuran pori yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Penggunaan larutan H_3PO_4 sebagai bahan pengaktif memberi pengaruh yang kuat dalam pembentukkan pori dan membuka pori baru. Pemberian aktivator H_3PO_4 dapat mengikat senyawa tar keluar dari

pori-pori karbon sehingga diameter pori karbon aktif bertambah lebar.

Proses selanjutnya, citra pada Gambar 1 di *thresholding* menggunakan metode *otsu*. Proses ini menghasilkan citra biner sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil *thresholding* citra permukaan karbon aktif TKKS.

Hasil thresholding memperlihatkan perbedaan yang jelas antara objek berupa pori (warna putih) dan background-nya (warna hitam). Dengan demikian, citra hasil ini dapat diolah pada proses selanjutnya yaitu perhitungan dimensi fraktal. Metode yang digunakan adalah metode box-counting. Hasil perhitungan dimensi fraktal digunakan dalam analisa ukuran pori pada karbon aktif TKKS.

Untuk menganalisis distribusi bentuk pori maka dilakukan proses deteksi tepi *canny*. Proses ini menghasilkan citra distribusi bentuk pori sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Hasil deteksi tepi *canny* citra karbon aktif TKKS

(25%)

Gambar 4 memperlihatkan garis tepi antara objek dan *background* yang ditandai dengan garis putih tebal. Garis tepi ini memperlihatkan bentuk-bentuk pori karbon aktif dari masing-masing sampel. Langkah selanjutnya menghitung dimensi fraktal dari masing-masing citra. Dari hasil ini, bentuk pori dari karbon aktif TKKS dapat terdeteksi.

Analisis Dimensi Fraktal

Hasil perhitungan dimensi fraktal menggunakan metode *box-counting* (persamaan 1) dari seluruh citra ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Dimensi Fraktal

VK	DF CT	DF CDT	DF CT	DF CDT
(%)	P_2	P_2	P_10	P_10
5	1,9501	1,9688	1,9105	1,9168
10	1,9403	1,9640	1,8880	1,9161
15	1,9371	1,9583	1,8661	1,9165
20	1,9251	1,9577	1,8471	1,9130
25	1,9154	1,9573	1,8614	1,9101

Keterangan:

VK : Variasi Konsentrasi DF CT P_2 : Dimensi Fraktal Citra

Thresholding perbesaran 2.000

ISSN: 2337-8204

DF CDT P_2 : Dimensi Fraktal Citra Deteksi

Tepi perbesaran 2.000

DF CT P_10 : Dimensi Fraktal Citra

Thresholding perbesaran 10.000

DF CDT P_10 : Dimensi Fraktal Citra Deteksi Tepi perbesaran 10.000

Berdasarkan Tabel 1. dapat dilihat bahwa pada perbesaran 2.000, nilai dimensi fraktal yang dimiliki oleh citra thresholding antara 1,950 hingga 1,915 dan citra deteksi tepi antara 1,968 hingga 1,957. Sedangkan pada perbesaran 10.000, hasil nilai dimensi fraktal citra thresholding antara 1,910 hingga 1,861 dan citra deteksi tepi antara 1,916 hingga 1,910. Dalam hal ini, nilai dimensi fraktal yang lebih tinggi citra dihasilkan dari perbesaran sedangkan citra perbesaran 10.000 memiliki nilai dimensi fraktal yang lebih rendah. Hal tersebut dapat ditinjau dari citra thresholding (Gambar 3) dan deteksi tepi (Gambar 4) perbesaran 2.000 yang menunjukkan banyaknya pori yang terdeteksi dengan bentuk dan ukuran vang bervariasi. Sedangkan, pada thresholding (Gambar 3) dan deteksi tepi (Gambar 4) perbesaran 10.000, pori yang terdeteksi jauh lebih sedikit sehingga nilai dimensi fraktal yang dihasilkan jauh lebih rendah dibanding dengan perbesaran 2.000.

Pola distribusi pori dianalisa melalui analisis fraktal. Dalam hal ini, distribusi pori yang dimaksud adalah distribusi ukuran pori (hasil citra thresholding) dan variasi bentuk pori (hasil citra deteksi tepi) pada karbon aktif TKKS. Berdasarkan uraian di atas, dimensi fraktal mengalami penurunan seiring dengan konsentrasi meningkatnya variasi bahan pengaktif (Tabel Hal dapat 1). diinterpretasikan bahwa ukuran dan bentuk pori semakin homogen seiring dengan meningkatnya konsentrasi H₃PO₄. Meningkatnya konsentrasi H₃PO₄ yang diberikan menyebabkan ukuran pori karbon aktif juga semakin besar (Gambar 2). Namun, jumlah pori tersebut semakin berkurang sehingga distribusi porinya menjadi semakin teratur. Fenomena ini tergambarkan oleh nilai dimensi fraktal yang mengalami penurunan

seiring dengan bertambahnya konsentrasi bahan pengaktif.

Analisis Korelasi

Tabel 2. Hasil Uji Korelasi

	CT	CDT	CT	CDT
	P_2	P_2	P_10	P_10
R	0,988	0,920	0,885	0,902
R square	0,977	0,846	0,783	0,814
Uji t	-11,18	-4,06	-3,29	-3,61

Keterangan:

R : Koefisien Korelasi R (square) : Koefisien Determinasi

CT P_2 : Citra *Thresholding* perbesaran 2.000 CDT P_2 : Citra Deteksi Tepi Perbesaran 2.000 CT P 10 : Citra *Thresholding* perbesaran

10.000

CDT P_10 : Citra Deteksi Tepi perbesaran 10.000

Hasil uji korelasi dianalisa dengan melihat nilai koefisien korelasi (R) untuk mengetahui kuat atau tidaknya hubungan antara kedua variabel. Sedangkan, koefisien determinasi (R square) digunakan untuk melihat seberapa kuat hubungan korelasi antara keduanya. Untuk menguji hipotesis awal, dilakukan dengan membandingkan ttabel dan thitung (persamaan 2). Nilai ttabel didapat dari tabel distribusi t yaitu sebesar 3,18.

Berdasarkan Tabel 2, koefisien korelasi (R) pada seluruh citra menunjukkan hubungan variasi konsentrasi dan dimensi fraktal yang kuat (0 hingga 1). Sedangkan kekuatan korelasinya dalam rentang 81% hingga 97%. Oleh karena itu, variasi konsentrasi dan dimensi fraktal memiliki hubungan korelasi yang kuat. Sedangkan, pada hasil perhitungan uji t menunjukkan bahwa nilai thitung>ttabel sehingga Ho ditolak. Artinya, Semakin tinggi konsentrasi aktivator yang diberikan, maka dimensi fraktal yang dihasilkan akan mengalami penurunan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa metode analisis fraktal dapat digunakan untuk karakterisasi pola distribusi pori karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terakativasi H₃PO₄. Semakin tinggi konsentrasi H₃PO₄ yang diberikan (5% hingga 25%) mengakibatkan ukuran pori karbon aktif semakin besar, namun jumlahnya semakin sedikit sehingga distribusi porinya menjadi lebih teratur. Fenomena ini direpresentasikan oleh nilai dimensi fraktal yang semakin mengecil seiring dengan penambahan konsentrasi H₃PO₄.

Daftar Pustaka

[1] Statistik Perkebunan Indonesia. [Online]. [cited 2017 August 17. Available from: ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/ga mbar/file/statistik/./SAWIT%202014-2016.

ISSN: 2337-8204

- [2] Sudiyani YR, Heru R, Alawiyah S. Pemanfaatan Biomassa Limbah Lignoselulosa Untuk Bioetanol Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. Ecolab. 2010; 4(1): p. 1-54.
- [3] Rahmawati YD, Prasetyo I, Rochmadi. Pengaruh Penambahan Zat Pendehidrasi Terhadap Struktur Mikropori Material Karbon yang Dibuat dari Pirolisis Resin *Phenol-tert, Buthyl phenol-formaldehid.* In Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan; 2010; Yogyakarta. p. 1-9.
- [4] Manocha SM. Porous Carbons. Sadhana. 2003; 28(1-2): p. 335-348.
- [5] Apriani R, Faryuni ID, Wahyuni D. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) Terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian Sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. Prisma Fisika. 2013; 1(2): p. 82-86.
- [6] Kurniawan R, Lutfi M, Nugroho WA. Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunanear, Emmelt, dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Phospat (H₃PO₄). Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem. 2014; 2(1): p. 15-20.
- [7] Bansal RC, Goyal M. Activated Carbon Adsorbtion New Jersey: CRC; 2005.
- [8] Rahmalia W, Yulistira F, Ningrum J, Qurbaniah M, Ismadi M. Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elais guineesis Jacq) Sebagai Bahan Dasar C-Aktif Untuk Adsorbsi Logam Perak Dalam Larutan. PKMP-3-13-1. 2015: p. 1-
- [9] Sampurno J, Faryuni ID. Metode Analisis Fraktal Yogyakarta: Penerbit Deepublish; 2016
- [10] Uyanto SS. Pedoman Analisis Data dengan SPSS. 3rd ed. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2009.