Aplikasi Metode Fraktal untuk Karakterisasi Struktur Mikroskopik Karbon Aktif Limbah Tandan Sawit Teraktivasi NaOH

Luluk Surya Evelin[a)], Irfana D. Faryuni[a)*], Joko Sampurno[a)]

[a)] Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak
*Email : jokosampurno@physics.untan.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan karakterisasi karbon aktif dari limbah tandan sawit teraktivasi larutan NaOH. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa struktur mikroskopik khususnya pola distribusi pori pada karbon aktif dengan menggunakan metode fraktal. Karbon aktif disintesis melalui tahapan karbonisasi pada suhu 400°C selama 1 jam, kemudian diaktivasi secara kimia dengan perendaman arang dalam variasi larutan NaOH sebesar 0,125 M, 0,25 M, 0,5 M, 1 M dan 2 M selama 24 jam. Proses selanjutnya karbon diaktivasi secara fisika dengan pemanasan pada suhu 600°C. Karbon aktif selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Citra SEM karbon aktif limbah tandan sawit kemudian dianalisis dengan menggunakan metode analisis fraktal berdasarkan metode *box-counting*. Hasil pengolahan citra menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aktivator NaOH menyebabkan pola distribusi pori menjadi tidak teratur. Hal ini diperlihatkan oleh peningkatan nilai dimensi fraktal seiring meningkatnya nilai konsentrasi aktivator. Kedua parameter ini berkorelasi positif dengan tingkat korelasi kuat hingga sangat kuat (62,56% hingga 96,23%).

Kata Kunci : *fraktal, metode box-counting, karbon aktif, tandan kelapa sawit*

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara dengan lahan perkebunan kelapa sawit terluas, tercatat dalam data statistik perkebunan tahun 2015 yaitu seluas 11,30 juta hektar [1]. Hal tersebut menjadikan Indonesia sebagai Negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia. Perkebunan kelapa sawit Indonesia menyebar di wilayah Sumatera, Bangka Belitung, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Pengembangan lahan perkebunan kelapa sawit terbesar dilakukan di wilayah Sumatera, khususnya di Provinsi Riau [2].

Produk utama pohon kelapa sawit berupa buah yang dapat diolah untuk menghasilkan minyak. Pengolahan tersebut menyisakan limbah padat yang berupa tandan kelapa sawit. Tandan kelapa sawit mengandung serat yang tinggi dengan komponen utamanya adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin [2]. Pada umumnya tandan kelapa sawit dibiarkan menumpuk menjadi limbah. Oleh karena itu diperlukan sebuah upaya pengolahan untuk mengurangi limbah tersebut. Salah satu pengolahan tandan kelapa sawit adalah dengan menjadikannya sebagai karbon aktif. Tandan kelapa sawit sangat baik untuk dijadikan karbon aktif karena mengandung unsur lignoselulosa [3].

Karbon aktif merupakan material berpori berwarna hitam dengan kandungan karbon sebesar 85% hingga 95%. Karbon aktif memiliki luas permukaan dan daya adsorbsi yang tinggi, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri seperti bahan penyaring air [4], bahan penyerap [5], dan bahan penyimpanan energi [6]. Pemanfaatan karbon aktif yang optimal dapat ditinjau dari struktur mikroskopiknya.

Struktur mikroskopik karbon aktif dapat dikarakterisasi secara kuantitatif dengan menggunakan metode analisis fraktal [7]. Analisis fraktal yang sering digunakan adalah metode *box-counting* [8][9][10]. Metode ini merupakan metode perhitungan kotak dengan cara membagi citra menjadi kotak-kotak dengan berbagai variasi ukuran.

Pada penelitian ini karbon aktif dibuat dari tandan kosong kelapa sawit. Karbon diaktivasi menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH) untuk mengetahui kemampuan basa dalam memperluas pori karbon aktif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap distribusi pori karbon aktif tandan sawit.

2. Metodologi

Tahapan penelitian dibagi menjadi empat bagian, dimulai dari pembuatan karbon aktif tandan sawit, karakterisasi karbon aktif tandan sawit, penentuan nilai dimensi fraktal pori karbon aktif tandan sawit, dan uji korelasi.

Pembuatan Karbon Aktif Tandan Sawit.

Tandan sawit dibersihkan dan dicacah menjadi potongan kecil. Selanjutnya tandan sawit dikarbonisasi dengan menggunakan tanur selama 1 jam pada suhu 400°C. Hasil karbonisasi berupa arang yang kemudian diaktivasi menggunakan larutan aktivator NaOH dengan variasi konsentrasi sebesar 0,125 M, 0,25 M, 0,5

M, 1 M dan 2 M. Perbandingan massa antara karbon dan aktivator adalah 1:2 dengan lama perendaman 24 jam. Setelah perendaman dengan larutan aktivator karbon dicuci hingga mencapai pH normal. Karbon yang telah melalui tahap pencucian kemudian dikeringkan menggunakan tanur pada suhu 105°C selama 3 jam. Karbon yang telah kering dikalsinasi kembali menggunakan tanur pada suhu 600°C selama 2 jam. Selanjutnya karbon aktif siap dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Karakterisasi Karbon Aktif Tandan Sawit

Karakterisasi sampel karbon aktif menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil karakterisasi berupa citra dua dimensi struktur mikro karbon aktif tandan sawit pada perbesaran 2.000 kali dan 10.000 kali. Karakteristik sampel karbon aktif tandan sawit dilakukan dengan perhitungan ukuran rerata diameter pori dan nilai dimensi fraktal.

Penentuan Nilai Dimensi Fraktal Pori Karbon Aktif Tandan Sawit

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data citra SEM karbon aktif tandan sawit sebanyak 10 buah. Sebelum dianalisis citra SEM tersebut disiapkan dengan beberapa tahapan *pre-processing. Pre-processing* yang dilakukan yaitu : tahapan pemotongan citra, *thresholding* citra, dan deteksi tepi citra. Tahapan pemotongan citra dimaksudkan untuk memilih area pori yang akan dihitung nilai dimensi fraktalnya. Selanjutnya, tahapan *thresholding* bertujuan untuk merubah citra *grayscale* menjadi citra biner. Kemudian tahapan deteksi tepi dilakukan untuk menandai bagian yang menjadi detail citra (kontur citra).

Penentuan nilai dimensi fraktal pori karbon aktif tandan sawit menggunakan metode *box-counting*. Metode ini dilakukan dengan menginput citra biner dan citra kontur karbon aktif tandan sawit pada program analisis fraktal. Program analisis berdasarkan metode *box-counting* memberikan informasi log N(ε) yang merupakan perhitungan jumlah kotak yang menutupi seluruh bagian struktur pori karbon aktif, dan log (ε) yang merupakan ukuran kotak. Nilai log N (ε) dan log (ε) diplot sebagai grafik sehingga diperoleh nilai kemiringan yang dianggap sebagai nilai dimensi fraktal. Pola distribusi pori karbon aktif tandan sawit dapat dianalisis berdasarkan nilai dimensi fraktal.

Perhitungan dimensi fraktal berdasarkan metode *box-counting* dilakukan melalui persamaan 1 [8] :

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

Dimana Dim_{box} adalah nilai dimensi fraktal, log N(ε) adalah jumlah kotak, dan log (ε) adalah panjang sisi.

Uji Korelasi

Untuk menguji secara statistik hubungan dua parameter antara konsentrasi aktivator dan nilai dimensi fraktal dilakukan uji korelasi. Pada penelitian ini parameter konsentrasi aktivator merupakan variabel terikat, sedangkan parameter nilai dimensi fraktal merupakan variabel bebas. Hipotesis awal yang digunakan adalah:

H_0 : semakin tinggi konsentrasi aktivator maka dimensi fraktal akan semakin menurun

H_1 : semakin tinggi konsentrasi aktivator maka dimensi fraktal akan semakin naik

Dalam pengujian hipotesis dilakukan dengan membandingkan nilai t_{hitung} dan nilai t_{tabel} [11]. Nilai t_{hitung} memenuhi persamaan (2):

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (2)$$

Dimana t adalah nilai t_{hitung}, R adalah koefisien korelasi, dan n adalah jumlah sampel.

Kriteria untuk menolak dan tidak menolak hipotesis adalah:

Jika nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka H_0 diterima, sedangkan jika nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka H_0 ditolak.

Untuk melihat seberapa besar korelasi antara kedua variabel diperlukan perhitungan koefisien korelasi melalui persamaan 3 [12]:

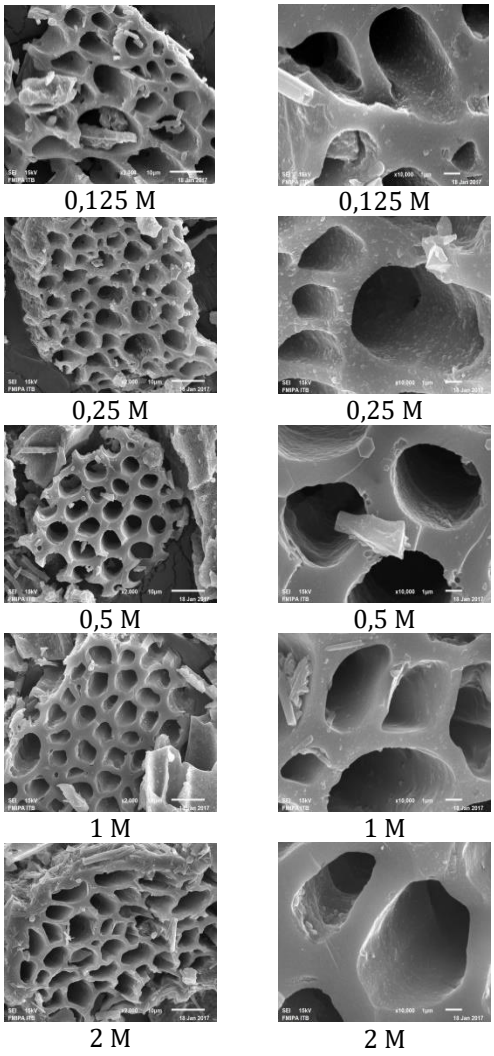
$$R = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}} \quad (3)$$

Dimana R adalah koefisien korelasi, n adalah jumlah sampel, x adalah variabel terikat, dan y variabel bebas.

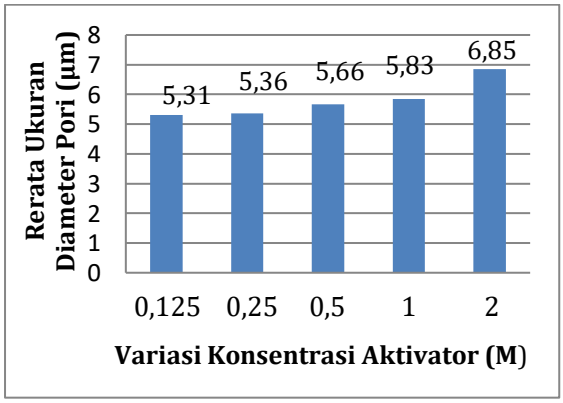
[1] Hasil dan Pembahasan

Hasil karakterisasi memperlihatkan citra digital dua dimensi yang memberikan informasi morfologi karbon aktif tandan sawit. Citra ini berada pada skala keabuan *(grayscale)* dengan resolusi 1280 pixel x 960 pixel. Citra digital hasil karakterisasi sampel karbon aktif tandan sawit diperlihatkan pada gambar 1.

Perbesaran 2.000 **Perbesaran 10.000**



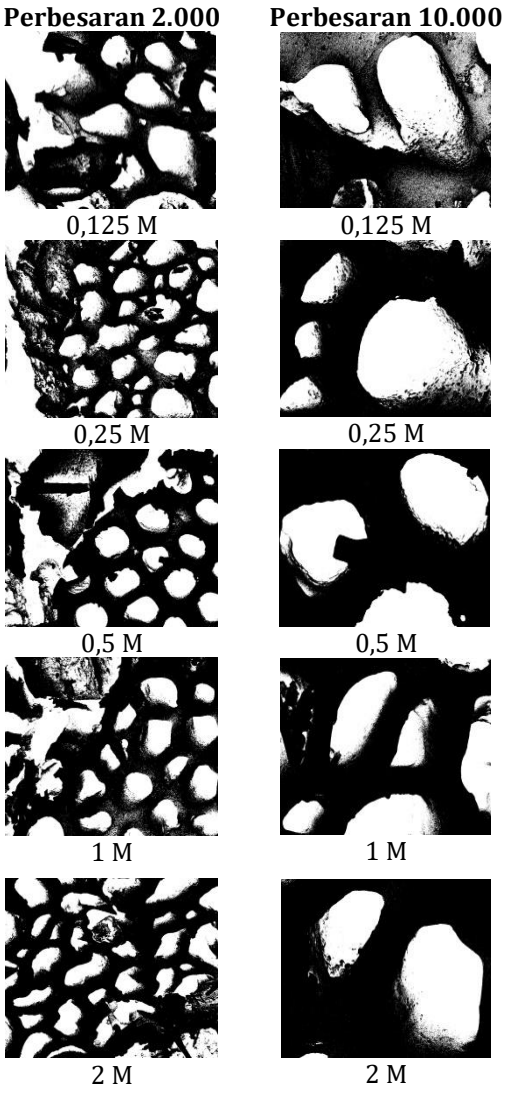
Gambar 1. Mikrograf SEM Karbon Aktif Tandan Sawit



Gambar 2. Hubungan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Rerata Diameter Pori

Berdasarkan gambar 2 peningkatan konsentrasi larutan aktivator NaOH yang diberikan menyebabkan ukuran rerata diameter pori bertambah besar. Hal ini menunjukkan bahwa selama tahapan aktivasi kimia larutan aktivator NaOH dapat berinteraksi dengan senyawa-senyawa oksida atau mengikis kotoran yang menutupi pori pada karbon. Hal tersebut diperlihatkan pada konsentrasi aktivator tertinggi 2 M memiliki ukuran rerata diameter pori terbesar yaitu mencapai 6,85 µm.

Tahapan dilanjutkan dengan proses *thresholding* citra pada gambar 1. Hasil pengolahan citra *grayscale* menjadi citra biner dengan proses *thresholding otsu* untuk masing-masing sampel diperlihatkan pada gambar 3.



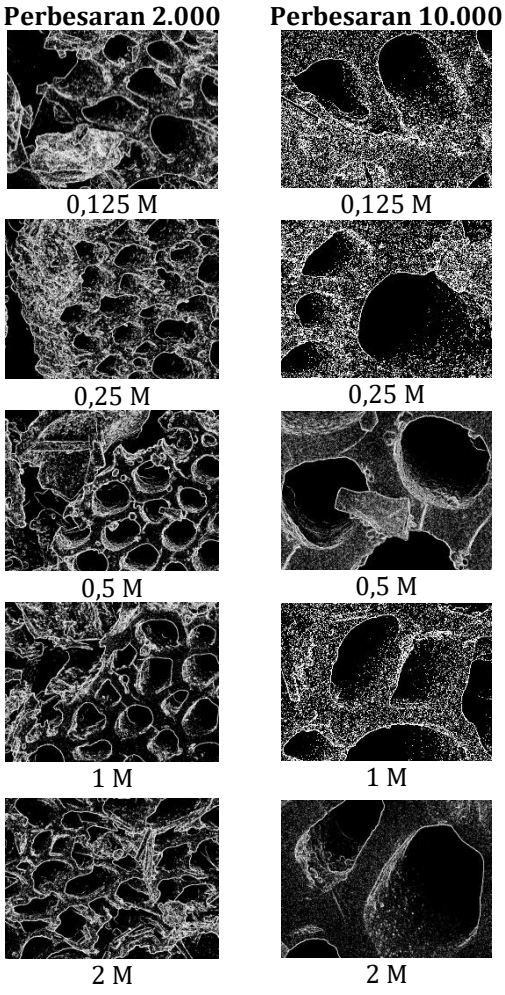
Gambar 3. Hasil *Thresholding Otsu* Mikrograf SEM Karbon Aktif Tandan Sawit

Berdasarkan gambar 3 metode *thresholding otsu* menghasilkan citra biner mikrograf SEM karbon aktif tandan sawit dimana area pori dinyatakan dengan warna putih, sedangkan area luas permukaan dinyatakan dengan warna hitam.

Metode *thresholding* membagi histogram citra *grayscale* ke dalam dua daerah berbeda.

Pendekatan yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis diskriminan, dimana diskriminan tersebut akan memaksimumkan variabel untuk membagi objek dan latar belakang.

Untuk menganalisis distribusi bentuk pori karbon aktif tandan sawit, tahapan dilanjutkan dengan proses deteksi tepi pada gambar 1. Hasil pengolahan citra deteksi tepi diperlihatkan pada gambar 4. Berdasarkan gambar 4, hasil yang ditunjukkan pada gambar memperlihatkan garis-garis halus tepian yang saling terhubung membentuk pori. Batas tepian pori ditandai dengan garis putih tebal yang saling terhubung (kontur).



Gambar 4. Hasil Deteksi Tepi *Canny* Citra Mikrograf SEM Karbon Aktif Tandan Sawit

Analisa Fraktal

Hasil nilai dimensi fraktal karbon aktif tandan sawit diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Nilai Dimensi Fraktal Karbon Aktif

NaOH (M)	DF A	DF B	DF C	DF D
0,125	1,8070	1,8578	1,8802	1,9236
0,25	1,8134	1,8594	1,8811	1,9237
0,5	1,8159	1,8613	1,8819	1,9252
1	1,8238	1,8678	1,8837	1,9263
2	1,8276	1,8689	1,8839	1,9316

Keterangan

DF A : Dimensi fraktal citra *thresholding* perbesaran 2.000

DF B : Dimensi fraktal citra *thresholding* perbesaran 10.000

DF C : Dimensi fraktal citra deteksi tepi perbesaran 2.000

DF D : Dimensi fraktal citra deteksi tepi perbesaran 10.000

Berdasarkan tabel 1, penambahan konsentrasi larutan aktivator cenderung meningkatkan nilai dimensi fraktal karbon aktif tandan sawit. Nilai dimensi fraktal citra *thresholding* pada perbesaran 2.000 berada pada rentang 1,8070 hingga 1,8276, sedangkan nilai dimensi fraktal citra *thresholding* pada perbesaran 10.000 berada pada rentang 1,8578 hingga 1,8689. Untuk nilai dimensi fraktal citra kontur pada perbesaran 2.000 berada pada rentang 1,8802 hingga 1,8839, sedangkan nilai dimensi fraktal citra kontur pada perbesaran 10.000 berada pada rentang 1,9236 hingga 1,9316. Rentang nilai dimensi fraktal pada perbesaran 2.000 dan perbesaran 10.000 yang dihasilkan baik pada citra *thresholding* maupun citra kontur tidak memiliki perubahan kenaikan yang signifikan. Hal ini dikarenakan terdapat pengulangan pola yang sama pada objek meskipun ukurannya semakin diperkecil.

Pola distribusi pori karbon aktif tandan sawit dapat dianalisa dengan melihat nilai dimensi fraktal. Distribusi pori yang dimaksud meliputi distribusi ukuran pori dan variasi bentuk pori. Tingginya konsentrasi aktivator yang diberikan menghasilkan ukuran pori yang terbentuk semakin besar dan cenderung rusak. Hal ini disebabkan oleh banyaknya NaOH yang berdifusi di permukaan karbon sehingga distribusi pori karbon mengalami perubahan dan semakin tidak teratur. Hal ini tergambarkan oleh perubahan nilai dimensi fraktal. Kenaikan nilai dimensi fraktal menunjukkan bahwa kompleksitas struktur mikroskopik karbon aktif tandan sawit semakin meningkat.

Analisa Korelasi

Uji korelasi dianalisa dengan melihat nilai koefisien korelasi (R) dan nilai koefisien determinasi (R square). Koefisien korelasi memberikan informasi berupa rentang kekuatan

korelasi antara kedua variabel. Sedangkan koefisien determinasi digunakan untuk menghitung nilai kekuatan korelasi. Untuk uji hipotesis, dilakukan dengan membandingkan nilai t_{hitung} dan t_{tabel}. Nilai t_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi t. Dalam penelitian ini digunakan nilai t_{tabel} sebesar 3,18. Nilai t_{tabel} dihitung berdasarkan persamaan 2.

Hasil perhitungan korelasi antara konsentrasi aktivator dengan nilai dimensi fraktal ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Output Regresi Linier

	Koefisien Korelasi (R)	Koefisien Determinasi (R square)	Uji t
DF A	0,924	0,854	4,186
DF B	0,918	0,842	4,003
DF C	0,889	0,791	3,369
DF D	0,990	0,981	12,397

Keterangan

DF A : Dimensi fraktal citra *thresholding* perbesaran 2.000

DF B : Dimensi fraktal citra *thresholding* perbesaran 10.000

DF C : Dimensi fraktal citra deteksi tepi perbesaran 2.000

DF D : Dimensi fraktal citra deteksi tepi perbesaran 10.000

Berdasarkan tabel 2, diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,889 hingga 0,949. Angka ini menunjukkan bahwa korelasi antara konsentrasi aktivator dan nilai dimensi fraktal berada pada rentang kuat hingga sangat kuat. Sedangkan untuk kekuatan korelasi diperoleh nilai sebesar 62,56% hingga 96,23%. Pada uji t diperoleh nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka hipotesis awal ditolak. Sehingga semakin tinggi konsentrasi aktivator yang diberikan, maka nilai dimensi fraktal akan semakin tinggi.

3. Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah diuraikan di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi aktivator mengakibatkan pola distribusi pori menjadi tidak teratur. Hal ini diperlihatkan oleh peningkatan nilai dimensi fraktal seiring meningkatnya nilai konsentrasi aktivator. Kedua parameter ini berkorelasi positif dengan tingkat korelasi kuat hingga sangat kuat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hendaryati DD. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017 Jakarta: Sekretariat Direktorat Jendral Perkebunan; 2016.

[2] Masykur. Pengembangan Industri Kelapa Sawit sebagai Penghasil Energi Bahan Bakar Alternatif dan Mengurangi Pemanasan Global. Reformasi. 2013; III(2).

[3] Kurniawan R, Lutfi M, Agung W. Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunanear, Emmelt dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat. Jurnal Keteknikan Pertanian dan Biosistem. 2014; II(1)

[4] 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; I(2).

[5] Bahtiar A, Faryuni ID, Jumarang MI. Adsorbsi Logam Fe Menggunakan Adsorben Karbon Kulit Durian Teraktivasi Larutan Kalium Hidroksida. Prisma Fisika. 2015; III(1).

[6] Rosi M, Iskandar F, Abdullah M, Khairurrijal. Sintesis Nanopori Karbon dengan Variasi Jumlah NaOH dan Aplikasinya sebagai Superkapasitor. Prosiding Seminar Nasional Material. 2013.

[7] Faryuni ID, Sampurno J. Karakterisasi Struktur Mikroskopik Karbon Aktif Kulit Durian dengan Geometri Fraktal. Prosiding SEMIRATA BKS BARAT Bidang Fisika. 2015.

[8] Helja M, Nurhasanah , Sampurno J. Analisis Fraktal Citra Mammogram Berbasis Tekstur sebagai Pendukung Diagnosis Kanker Payudara. Positron. 2013; III(2).

[9] Sampurno J, Azwar A, Latief F D E, Srigutomo W. Analisis Fraktal Tekstur Tanah Gambut dengan Menggunakan Metode Minkowski-Bouligand. Prosiding Seminar Kontribusi Fisika (SKF). 2013.

[10] Sampurno J, Srigutomo W. Fractal Analysis of Microstructure of Peat Soil. AIP Conference Proceedings.2015; 1656(1).

[11] Santoso S. Panduan Lengkap SPSS Jakarta: Kompas Gramedia Building; 2016.

[12] Uyanto SS. Pedoman Analisis Data dengan SPSS Yogyakarta : Graha Ilmu; 2009.