

Sintesis Karbon Nanopori Bebas Silika dari Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) melalui Iradiasi Ultrasonik

Alfiah Alif^{1*}, Azhar Aras Mubarak²

^{1,2}Universitas Sembilanbelas November Kolaka

e-mail: ¹fhyaalfiah@gmail.com, ²azhararasmubarak@usn.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis karbon nanopori bebas silika dari ampas tebu (*Saccharum officinarum*) melalui iradiasi ultrasonik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil karakterisasi dari sintesis karbon nanopori bebas silika. Sintesis karbon nanopori dari bahan ampas tebu, melewati 3 tahapan proses yaitu, preparasi, karbonisasi, dan ekstaksi silika dengan NaOH 5 M. Karakterisasi dilakukan dengan dan tanpa perlakuan iradiasi ultrasonik. Hasil karakterisasi melalui FTIR menunjukkan terjadi peningkatan intensitas yang tajam berupa vibrasi rentangan C=C dari gugus aromatik pada bilangan gelombang 1606,70 cm^{-1} , dan vibrasi rentangan C=O pada bilangan gelombang 1714,702 cm^{-1} . Hasil SEM menunjukkan morfologi karbon yang diiradiasi memberikan struktur pori yang lebih kecil, banyak, dan terdistribusi secara merata, sedangkan metode pengujian EDS menunjukkan komposisi unsur terbanyak adalah karbon 68.8%. Hasil analisis luas permukaan melalui metode metilen biru dalam kondisi optimum iradiasi gelombang ultrasonik pada suhu 30 °C selama 15 menit yaitu 185,0073 m^2/g . Karbon nanopori bebas silika dengan perlakuan iradiasi ultrasonik memberikan hasil yang baik dibandingkan tanpa iradiasi ultrasonik

Kata kunci: Karbon Nanopori, Ampas Tebu, Karbon Bebas Silika, Iradiasi Ultrasonik

1. PENDAHULUAN

Nanopori Karbon (NPC) atau karbon nanopori telah luas digunakan sebagai material adsorpsi dan penyimpanan energi disebabkan luas permukaannya yang besar, stabil, mudah terpolarisasi, dan murah (Yang, J., dkk. 2008). Karbon berpori secara fisik terdiri dari bahan padat yang berisi karbon (matriks) dan rongga kosong (pori). Peningkatan jumlah dan ukuran pori dilakukan melalui proses aktivasi fisika maupun kimia untuk menjadi sebuah karbon nanopori (Sembiring dan Meilita, 2003). Salah satu metode untuk meningkatkan efektivitas karbon adalah dengan menggunakan iradiasi gelombang ultrasonik. Pada iradiasi gelombang ultrasonik terjadi efek kavitasasi akustik yakni pembentukan gelembung, pertumbuhan gelembung, dan pemecahan gelembung sehingga semakin banyak pori yang terbentuk (Suslick, dkk., 1996).

Karbon nanopori dapat dihasilkan dari dekomposisi senyawa organik seperti sekam padi, kulit durian, tongkol jagung, batang jagung, serabut kelapa, tempurung kelapa, cangkang kelapa sawit, ampas tebu dan lain-lain melalui pemanasan pada temperatur yang sesuai (Balitbang, 2006). Ampas tebu dapat digunakan sebagai material awal untuk pembuatan karbon nanopori dalam berbagai aplikasi seperti adsorpsi zat tercemar dan kapasitor elektrokimia (Rosi, dkk., 2013). Ampas tebu diproduksi dari industri penggilingan lebih dari 100 juta ton per tahun. Selain itu, ampas tebu merupakan biomassa yang murah dan mudah didapatkan (Wei, X., dkk., 2011). Komponen utama dalam ampas tebu adalah karbon dan silika. Silika amorf yang berada dalam ampas tebu dapat diekstraksi dengan HF, yang akan memberikan struktur awal untuk aktivasi kimia lebih lanjut (Wei, X., dkk., 2011). Agustin Retnosari (2013) juga telah melakukan penelitian mengenai ekstraksi dan penentuan kadar silika dari abu terbang batubara dengan menggunakan pelarut NaOH. Hibabah (2014) juga telah mensintesis karbon nanopori dari tempurung kluwak dengan menghasilkan luas permukaan 157,655 m^2/g . Maka dari itu perlu suatu metode untuk menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dengan ekstraksi silika melalui aktivator NaOH dan tambahan perlakuan iradiasi ultrasonik yang merupakan modifikasi dari

metode yang telah digunakan oleh penelitian sebelumnya. Guna menghasilkan karbon nanopori bebas silika yang bisa dikembangkan untuk menyelesaikan masalah lingkungan dan keterbatasann energi terbarukan.

2. METODE PENELITIAN

Eksperimen penelitian yang dilakukan terdiri dari sintesis karbon nanopori, karakterisasi karbon nanopori, dan penentuan luas permukaan

2.1 Sintesis karbon nanopori bebas silika

Sintesis karbon nanopori diawali dengan preparasi bahan ampas tebu, karbonisasi, ekstraksi silika dan perlakuan iradiasi ultrasonik. Preparasi ampas tebu dicuci dengan akuades hingga bersih lalu dikeringkan dibawah sinar matahari dan oven. Proses karbonisasi ampas tebu dilakukan dengan cara pembakaran bertahap. Pada tahap awal pembakaran dilakukan diatas kompor listrik selama 30 menit hingga mengarang kemudian pembakaran dilakukan didalam tanur dengan suhu 350 °C. Karbon yang dihasilkan selanjutnya digerus dan diayak dengan ukuran ayakan 100 mesh. Karbon yang dihasilkan selanjutnya dipisahkan kandungan silikanya menggunakan ekstraksi padat cair dengan variasi konsentrasi penambahan NaOH 2,5; 5; dan 10 M, kemudian masing-masing dicuci dengan HCl 1M dan akuades dan dikeringkan didalam oven 110°C. Selanjutnya diberi perlakuan dengan dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.

2.2 Karakterisasi karbon nanopori ampas tebu

Karbon nanopori dengan dan tanpa iradiasi ultrasonik dikarakterisasi melalui FTIR, XRF, XRD, dan SEM-EDS. Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada NPC, *X-ray diffraction* (XRD) untuk melihat perubahan kristalinitas mineral penyusun NPC. Karakterisasi dilakukan menggunakan SEM-EDS untuk mengamati morfologi/kenampakan permukaan NPC serta mengidentifikasi komponen kimia unsur-unsur penyusun karbon nanopori.

2.3. Penentuan luas permukaan karbon nanopori

Penentuan luas permukaan karbon ampas tebu sebelum dan sesudah ekstraksi silika menggunakan metode adsorpsi metilen biru yang diukur dengan spektrofotometer uv-vis pada panjang gelombang 658 nm. Data absorbansi digunakan untuk menentukan konsentrasi setelah adsorpsi dari kurva kalibrasi, selanjutnya dimasukkan kedalam rumus :

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r}$$

Keterangan :

S = luas permukaan adsorben (m²/g)

N = bilangan Avogadro (6,022.1023 mol⁻¹)

X_m = berat adsorbat teradsorpsi (mg/g)

a = luas permukaan oleh satu molekul metilen biru (197.10⁻²⁰ m²)

M_r = massa molekul relative metilen biru (320 g/mol)

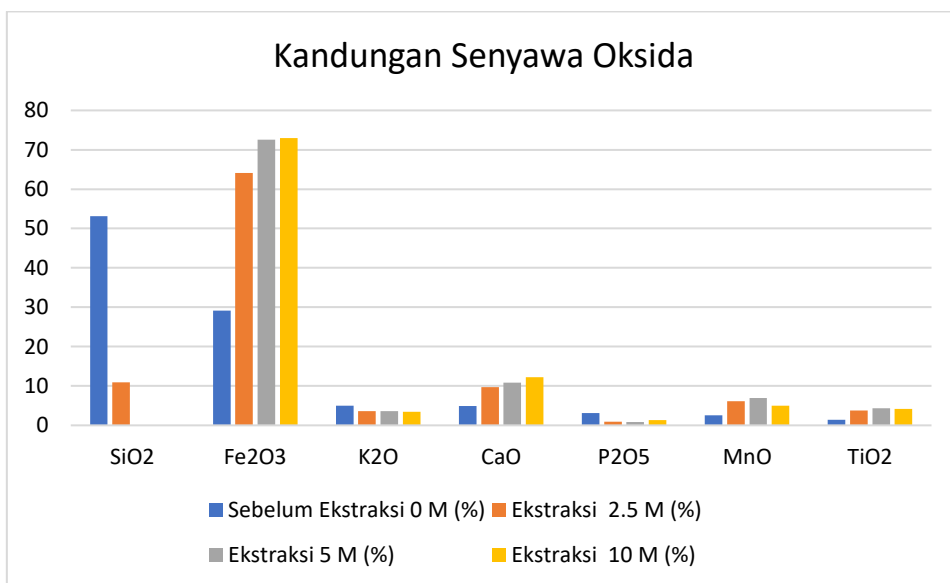
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karbon nanopori ampas tebu



Gambar 1. Preparasi ampas tebu dan proses karbonisasi tahap awal dan akhir

Gambar 1 merupakan hasil sintesis nanopori karbon yang diawali dengan proses preprasi ampas tebu melalui pencucian dan pengeringan. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan kadar air yang masih terdapat dalam ampas tebu. Karbonisasi dilakukan dengan cara pembakaran bertahap. Pada tahap awal pembakaran diatas kompor listrik selama 30 menit hingga mengarang. Pembakaran ini mengurai hemiselulosa dan selulosa menjadi larutan piroglinat dan mengeluarkan banyak asap yang mengindikasikan bahwa senyawa volatil yang terkandung telah menguap. Tahap selanjutnya, pembakaran dilakukan didalam tanur dengan suhu 350 °C selama 1 jam. Karbon hasil karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 1. Proses ini menghasilkan arang karbon yang kemudian dihaluskan untuk mendapatkan serbuk karbon yang halus. Selanjutnya dilakukan ekstraksi silika pada arang tersebut dengan variasi konsentrasi NaOH 2,5 M; 5 M; dan 10 M. Hasil analisis XRF kandungan unsur silika sebelum dan sesudah ekstraksi dapat dilihat pada tabel dibawah (Gambar 2.)

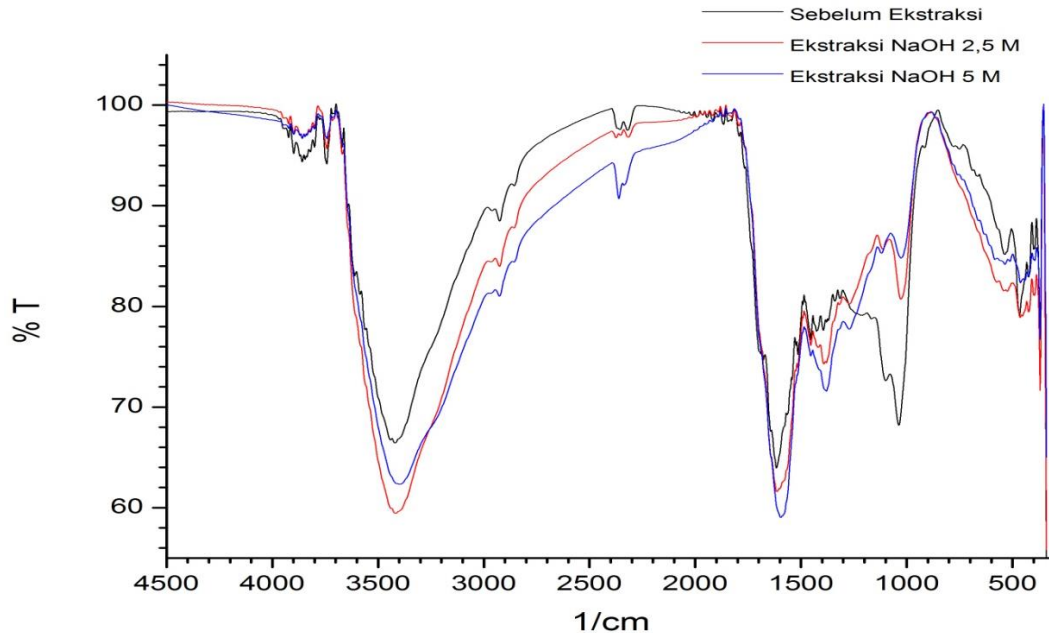


Gambar 2. Kandungan Senyawa Oksida Karbon Nanopori

Data Gambar 2 menunjukkan bahwa kandungan unsur terbesar pada karbon ampas tebu sebelum ekstraksi adalah Si, disusul Fe, K, Ca, dan P, atau kandungan oksida terbesar adalah SiO₂ disusul Fe₂O₃, K₂O, CaO, dan P₂O. Keberadaan unsur Si atau oksida SiO₂ dengan jumlah terbesar 53,15%. Proses ekstraksi silika pada karbon ampas tebu mampu menurunkan jumlah kandungan silika yang terkandung didalamnya. Hasil ekstraksi silika dengan konsentrasi NaOH 2,5 M mampu menurunkan kadar silika menjadi 10,93%, dan hasil ekstraksi dengan NaOH 5 M dan 10 M mampu menghilangkan kadar silika yang terkandung didalam karbon ampas tebu. Sehingga dengan konsentrasi NaOH 5 M sudah baik digunakan dalam melakukan proses ekstraksi

silika

Karbon yang diperoleh dari proses karbonisasi juga dianalisis dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon ampas tebu. Spektrum FTIR sebelum dan setelah ekstraksi silika dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Spektrum karbon ampas tebu sebelum dan setelah ekstraksi silika

Gambar 3 pada spektrum sebelum ekstraksi silika menunjukkan adanya gugus fungsi silika pada serapan bilangan gelombang 1037 cm^{-1} . Puncak serapan ini menunjukkan vibrasi regangan asimetris Si-O dari siloksan Si-O-Si dengan intensitas kuat (Adam, dkk., 2006). Terdapat pula vibrasi ulur sedang pada bilangan gelombang $466,7\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan rentangan Si-O. Kedua pita serapan ini memperkuat adanya kandungan silika yang terdapat dalam karbon ampas tebu sebelum ekstraksi dilakukan. Selain pita serapan dari gugus fungsi silika, terdapat pula beberapa gugus fungsi lain seperti pada bilangan gelombang $3419,79\text{ cm}^{-1}$ dan $1616,35\text{ cm}^{-1}$ yang masing-masing menunjukkan adanya rentangan -OH yang berikatan hidrogen, dan vibrasi rentangan C=C dari gugus aromatik dengan intensitas sedang. Terdapat pula pita serapan pada bilangan gelombang 1390 cm^{-1} dan 1465 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C-H alifatik (dari CH_3 dan CH_2).

Sementara pada spektrum setelah ekstraksi NaOH 5 M dan 10 M mampu menurunkan pita serapan yang terjadi berturut-turut pada bilangan gelombang $1028,06\text{ cm}^{-1}$ dan $1026,13\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi regangan asimetris Si-O dari siloksan Si-O-Si dan pada bilangan gelombang $462,92\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur sedang rentangan Si-O. Kedua gugus fungsi ini menunjukkan terjadinya penurunan peak dari sebelum ekstraksi dilakukan. Hasil ini sesuai dengan analisis XRF yang menunjukkan kandungan silika semakin rendah dengan semakin besarnya konsentrasi NaOH pada proses ekstraksi. Adapun pengaruh perubahan gugus fungsi lainnya setelah proses ekstraksi NaOH 5 dan 10 M dapat dilihat dari intensitas, lebar, dan pergeseran pita serapan. Makin besar konsentrasi yang digunakan pada proses ekstraksi silika membuat bentuk profil serapan gugus fungsi OH semakin melebar, hal ini disebabkan adanya ikatan hidrogen antar molekul. Terdapat pula, intensitas pita serapan meningkat pada bilangan gelombang berturut-turut $1616,35\text{ cm}^{-1}$ dan $1593,20\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi rentangan C=C dari gugus aromatik, dan pada bilangan gelombang $1392,61\text{ cm}^{-1}$ dan $1379,10\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya intensitas yang sedang berupa gugus fungsi C-H alifatik dari CH_3 .

Berdasarkan analisis spektrum diatas, dapat diketahui bahwa besarnya konsentrasi yang digunakan pada proses ekstraksi sangat berpengaruh terhadap kandungan karbon dan silika dalam karbon ampas tebu. Semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan pada proses ekstraksi maka semakin rendah jumlah silika

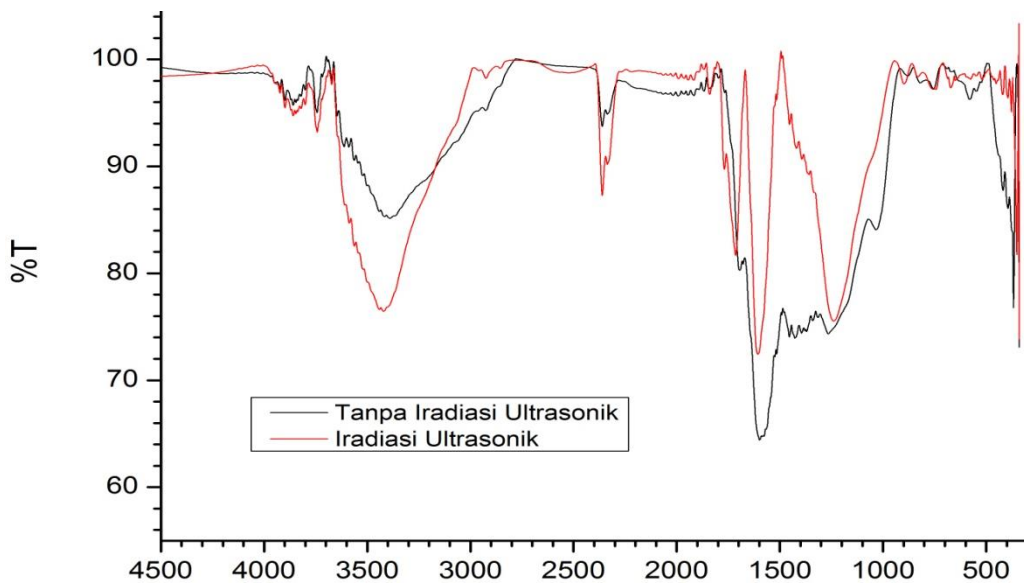
dan semakin meningkat jumlah karbon pada karbon ampas tebu hasil ekstraksi. Selanjutnya diberikan perlakuan iradiasi ultrasonik pada suhu ruang selama 15 menit.

3.2 Karakterisasi karbon nanopori ampas tebu

Karbon nanopori yang telah diberikan perlakuan iradiasi ultrasonik dikarakterisasi melalui FTIR, XRF, dan SEM-EDS. Sebagai pembandingan dianalisis pula karbon nanopori ampas tebu tanpa iradiasi ultrasonik.

3.2.1 Karakterisasi dengan Spektrofotometer IR

Karbon nanopori ampas tebu dikarakterisasi kembali dengan FTIR untuk mengetahui adanya perbedaan intensitas gugus fungsi pada sampel karbon nanopori ampas tebu dengan dan tanpa iradiasi ultrasonik. Analisis gugus fungsi karbon nanopori ampas tebu dengan menggunakan instrumen FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Spektrum karbon nanopori ampas tebu dengan iradiasi gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik

Gambar 4 menunjukkan beberapa gugus fungsi dalam sampel karbon nanopori ampas tebu dengan iradiasi gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik. Selama proses iradiasi terjadi, penguraian struktur kimia pada karbon nanopori ampas tebu diperlihatkan oleh adanya perubahan spektrum serapan. Perubahan tersebut dalam bentuk penurunan intensitas serapan, serapan hilang, serapan bergeser, dan terbentuknya serapan baru didaerah bilangan gelombang tertentu. Gugus fungsi yang teridentifikasi pada karbon nanopori ampas tebu adalah OH, C-H alifatik (dari CH₃ dan CH₂), ikatan C=O (karbonil), ikatan C-C dan C=C, serta ikatan fenol (C-O).

Pada spektrum tanpa iradiasi ultrasonik, pita serapan menurun pada bilangan gelombang 3388,93 cm⁻¹ yang menunjukkan rentangan -OH yang berikatan hidrogen. Disisi lain, Terdapat intensitas kuat pada bilangan gelombang 1598,99 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi rentangan C=C dari gugus aromatik dan pita serapan yang banyak menunjukkan gugus fungsi C-H alifatik (dari CH₃ dan CH₂) pada bilangan gelombang 1390 cm⁻¹ dan 1465 cm⁻¹. Adapun puncak yang berkaitan dengan silika pada gugus fungsi -Si-O dan Si-C yang terdapat pada spektrum diatas dengan intensitas yang lemah pada bilangan gelombang 1033,85 cm⁻¹.

Sedangkan untuk karbon nanopori ampas tebu dengan dengan iradiasi gelombang ultrasonik, puncak pada bilangan gelombang 1033,85 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi silika tidak tampak lagi. Adanya perlakuan iradiasi ultrasonik menyebabkan gugus fungsi silika teroksidasi menjadi hilang. Disisi lain, intensitas meningkat tajam pada bilangan gelombang 3419,79 cm⁻¹ dan 1606,70 cm⁻¹ menunjukkan adanya rentangan -OH yang berikatan hidrogen dan vibrasi rentangan C=C dari gugus aromatik. Besarnya gugus

hidroksil merupakan cerminan dari banyaknya senyawa kimia pada karbon nanopori ampas tebu yang mengandung gugus OH seperti senyawa alkohol dan fenol.

Selain itu, intensitas meningkat tajam namun memberikan serapan yang lemah terdapat pada panjang gelombang 1714,72 cm^{-1} yang merupakan vibrasi rentangan C=O dan pada panjang gelombang 2360,87 cm^{-1} yang merupakan vibrasi rentangan O=C=O dari udara. Terdapat pula bentuk profil serapan baru yang melebar dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang 1238,30 cm^{-1} yang merupakan vibrasi rentangan C-O dari fenol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gugus fungsi pada karbon nanopori ampas tebu dengan iradiasi gelombang ultrasonik memberikan perubahan spectrum serapan dalam bentuk peningkatan intensitas serapan, dan terbentuknya serapan baru didaerah bilangan gelombang tertentu.

3.2.1 Karakterisasi dengan XRF

Analisis komposisi unsur dan oksida karbon nanopori ampas tebu dilakukan melalui instrumen XRF. Komposisi ini digunakan untuk melihat kandungan yang dominan pada karbon nanopori ampas tebu dengan dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.

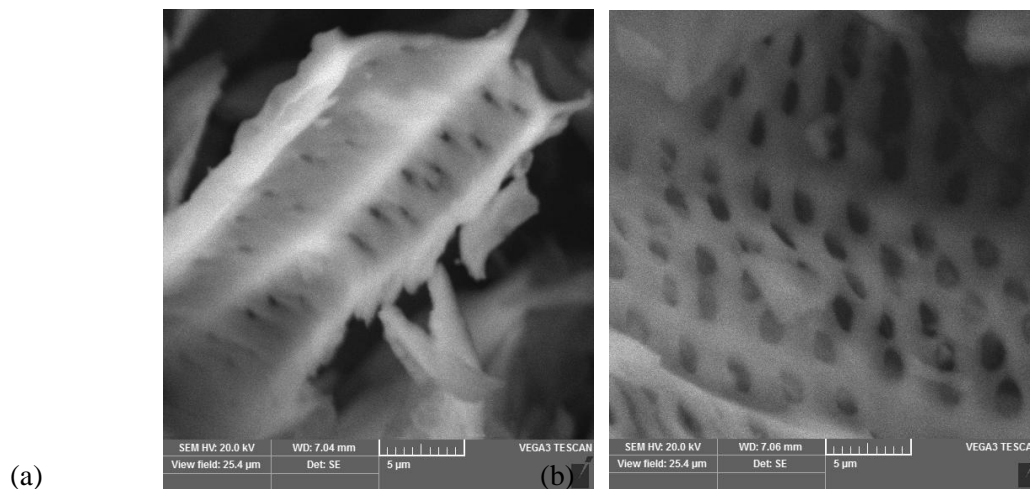
Tabel 1. Komposisi unsur dan oksida yang terkandung dalam karbon nanopori ampas tebu dengan dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik

No.	Unsur	Oksida	Konsentrasi Tanpa Iradiasi (%)	Konsentrasi dengan Iradiasi (%)
1	Fe	Fe ₂ O ₃	76,53	-
2	Ca	CaO	8,31	90,16
3	Mn	MnO	4,55	-
4	Ti	TiO ₂	3,98	-
5	K	K ₂ O	3,85	4,36
6	P	P ₂ O ₅	1,20	-
7	Zn	ZnO	1,01	-
8	Sr	SrO	0,34	-

Tabel 1 menunjukkan kandungan unsur yang terbesar karbon nanopori tanpa iradiasi adalah Fe dengan unsur oksida Fe₂O₃ sebesar 76,53%, selanjutnya diikuti Ca, Mn, Ti, dan lain-lain. Sedangkan unsur terbesar karbon nanopori hasil iradiasi gelombang ultrasonik adalah Ca dengan unsur oksida CaO 90,16%, selanjutnya diikuti K, Nb, dan Mo. Banyaknya unsur CaO pada karbon ini disebabkan karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan oksida karbon dalam suatu reaksi yang mereduksi oksida logam menjadi logam. Disisi lain, karbon hasil iradiasi kehilangan banyak unsur seperti Fe, Mn, Ti, dan lain-lain. Ini menunjukkan bahwa proses pencucian setelah iradiasi mampu menghilangkan logam-logam transisi yang bereaksi dengan karbon.

3.2.3 Karakterisasi dengan SEM-EDS

Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi suatu partikel karbon nanopori ampas tebu. Pembesaran gambar karbon nanopori ampas tebu dilakukan pada skala 5 μm dan 10 μm dengan HV 20 kV dan *Working Distance* (WD) 7,06 mm. Analisis morfologi karbon nanopori ampas tebu tanpa dan dengan iradiasi gelombang ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 5.



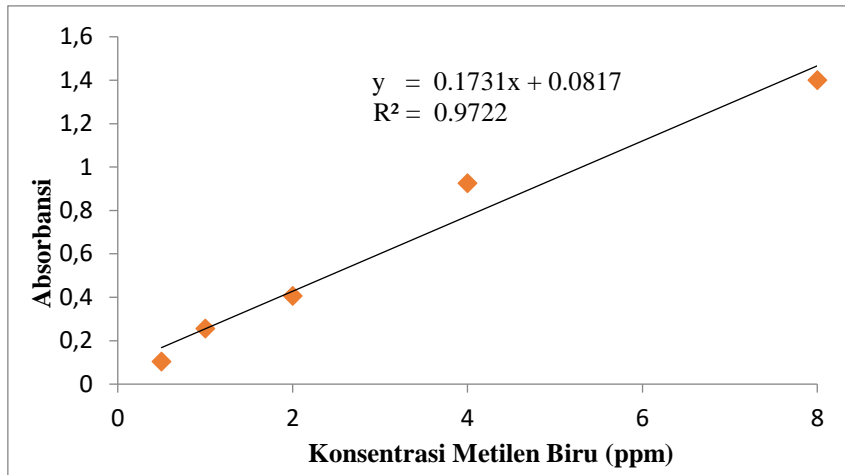
Gambar 5. Morfologi karbon nanopori ampas tebu dengan perbesaran skala 5 μm tanpa iradiasi gelombang ultrasonik (a) dengan iradiasi ultrasonik (b)

Gambar 5 memperlihatkan bahwa kedua karbon nanopori mampu membentuk pori. Hal ini disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi, lepasnya senyawa volatil, dan lepasnya senyawa-senyawa anorganik sehingga pori pada permukaan karbon nanopori ampas tebu semakin jelas. Karbon nanopori tanpa iradiasi gelombang ultrasonik memiliki distribusi pori yang teratur namun pori yang terbentuk tidak terlalu baik dan hanya terbentuk dibagian permukaan saja. Struktur mikropori terbentuk dengan diameter pori 1.5-4 μm . Adapun karbon nanopori dengan iradiasi gelombang ultrasonik memiliki distribusi pori yang lebih merata, jumlah porinya lebih banyak, dan ukuran porinya cenderung lebih kecil. Diameter pori dari 0.2-3 μm . Semakin besar distribusi pori dan semakin kecil ukuran pori pada karbon nanopori memberikan luas permukaan semakin besar. Distribusi pori yang lebih baik ini membuktikan bahwa perlakuan iradiasi ultrasonik memberikan efek kavitasi, dimana terjadi pembentukan dan pemecahan gelembung pada karbon nanopori sehingga terbentuk pori yang lebih banyak pada karbon yang diiradiasi daripada karbon nanopori tanpa iradiasi gelombang ultrasonik. Secara keseluruhan diameter pori permukaan karbon nanopori dengan dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik termasuk kedalam struktur mikropori ($< 5 \mu\text{m}$) yang lebih dominan. Adapun komposisi unsur dalam karbon nanopori ampas tebu dapat diketahui metode EDS (Tabel 2).

Tabel 2. Komposisi kimia Karbon nanopori ampas tebu dengan dan tanpa iradiasi ultrasonik

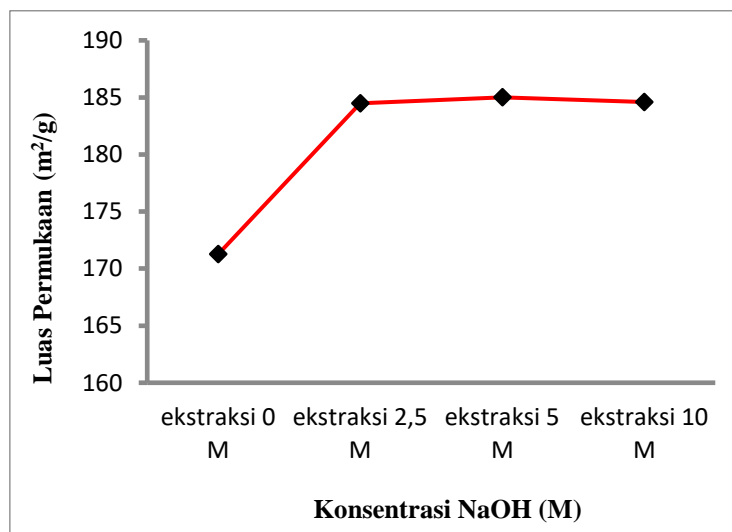
Metode pengujian	Sampel Karbon Nanopori	Komposisi unsur (%)		
		Karbon	Oksigen	Nitrogen
EDS	Tanpa Iradiasi Ultrasonik	62.2	24.0	13.8
	Dengan iradiasi ultrasonik	68.8	30.6	0.6

3.3. Luas Permukaan Karbon Nanopori



Gambar 6 Kurva kalibrasi deret standar Metilen Biru

Dari gambar 6, diperoleh kurva kalibrasi dengan nilai persamaan garis $y = 0,1929x + 0,031$ dan $R^2 = 0,9934$. Persamaan garis ini digunakan untuk menghitung konsentrasi metilen biru dalam sampel setelah adsorpsi, dan selanjutnya menghitung luas permukaan karbon. Penentuan luas permukaan dilakukan pada karbon ampas tebu sebelum ekstraksi, setelah ekstraksi 2,5, 5, dan 10 M. Luas permukaan yang dihasilkan berurut-turut yaitu 171,2627; 184,4998; 185,0073; dan 184,6116 m^2/g . Grafik pengaruh konsentrasi NaOH pada proses ekstraksi terhadap luas permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 7. Grafik pengaruh proses ekstraksi bebas silika terhadap luas permukaan karbon nanopori

Gambar 7 diatas menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan dalam mengekstraksi silika, maka semakin besar luas permukaan yang dihasilkan. Akan tetapi terjadi penurunan luas permukaan pada hasil ekstraksi silika dengan NaOH 10 M. Hal ini disebabkan konsentrasi NaOH 10 M telah jenuh dalam mengekstraksi silika yang ada pada karbon ampas tebu, sehingga konsentrasi optimum yang memberikan luas permukaan yang besar adalah hasil ekstraksi silika dengan konsentrasi NaOH 5 M

4. KESIMPULAN

Perlakuan iradiasi gelombang ultrasonik memberikan pengaruh terhadap morfologi pori pada karbon nanopori ampas tebu. Karbon nanopori yang diiradiasi memberikan struktur pori yang lebih kecil, banyak, dan terdistribusi secara merata, dan ampu menghilangkan silika dibandingkan karbon nanopori ampas tebu tanpa

iradiasi. Luas permukaan karbon nanopori ampas tebu bebas silika dengan iradiasi gelombang ultrasonik pada kondisi optimum pada suhu 30 °C selama 15 menit yaitu 185,0073 m²/g

Saran untuk penelitian ini adalah sintesis karbon nanopori dengan iradiasi gelombang ultrasonik dilakukan dengan menggunakan tambahan pengaruh pH optimum, dan menentuka luas permukaan dengan metode BET.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, 2013, *Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika dari Abu Terbang Batu Bara*, Skripsi, Jurusan Kimia, Universitas Jember, Depok.
- Badan Litbang Pertanian, 2006. Arang Aktif Meningkatkan Kualitas Lingkungan, *Agroinovasi*, Edisi 6-12 April 2011 page 10-12, Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Habibah M. D., Nurdiana, H., Rohmawati, L. 2014. Sintesis Karbon Nanopori dari Tempurung Kluwak. *Prosiding Seminar Pendidikan Fisika dan Fisika*. 5(1). 30-33
- Rosi M., Khairurrujial, Iskandar F. 2013. Sintesis Nanopori Karbon dengan Variasi Jumlah NaOH dan Aplikasinya sebagai Superkapasitor. *Conference Seminar Nasional Material*. 74-77
- Sembiring dan Meilita R., 2003, *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*, USU Digital Library, Medan.
- Suslick, K. S., Dedinko, Y., Fang. M. M., Hyeon. T., Kolbeck, K. J., Mc Namara III W. B., Mdleleni, M. M., dan Wong, M., 1996, Nanostructured Materials Generated by High-Intensity Ultrasound: Sonochemical Synthesis and Catalytic Studies, 8, 2127-2179.
- Wei, X., Xiao, Li., Jin Zhou, dan Ping, Z. S., 2011, Nanoporous Carbon Derived from Risk Husk for Electrochemical Capacitor Application, *Advanced Materials Research*, 239-242, www.scientific.net
- Winter, M., dan Brodd, R.J., 2004., What are batteries, fuel cells, and supercapacitors?, *Chem. Rev.*, (104), 4245-4269.
- Yang, J., Liu, J., Chen, X., Hu, Z., dan Zhao, G., 2008, Carbone Electrode Material with High Densities of Energi and Power, *Acta Physica-Chimica Sinica*, 24 (13-19).