

Pengaruh pH Terhadap Karakter Mesopori Silika Hasil Sintesis dengan Penambahan Zat Aditif D-Glukosa dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Methylene Blue

Intan Dian L*, Sriyanti, Suhartana

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: intandianl@students.undip.ac.id

Received: 12 Mei 2023 / Accepted: 27 Mei 2023

Available online: 30 Mei 2023

Abstrak

Abu sekam padi mengandung silika sekitar 90-95%, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku silika. Sintesis mesopori silika telah dilakukan dengan penambahan zat aditif D-glukosa sebagai agen pembentuk pori menggunakan metode sol-gel. Mesopori silika diperoleh dengan mereaksikan natrium silikat dengan D-glukosa kemudian ditambahkan katalis HCl secara bertahap sampai pH 2,4,6,8 dan 10. Selanjutnya, gel terbentuk menjadi hidrogel kemudian dikeringkan menjadi xerogel. D-glukosa dihilangkan dengan metode ekstraksi air menggunakan proses sentrifugasi. Hasil dari penelitian dikarakterisasi dengan FTIR dan GSA, serta diuji kemampuan adsorpsinya terhadap methylene blue. Berdasarkan hasil karakterisasi diperoleh silika yang mempunyai ukuran pori 2,89 nm dan 11,35 nm yang tergolong mesopori. Mesopori silika (MS) ini termasuk tipe IV dalam grafik isothermal penyerapan N₂ dengan hysteresis loop berbeda yaitu pada MS-2 tipe H2 dan MS-10 tipe H1. Pada analisis FTIR dilakukan dekonvolusi terdapat puncak-puncak serapan yang menunjukkan adanya gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si). Spektra FTIR membuktikan adanya zat aditif D-glukosa menunjukkan gugus aldehid (C-H) pada bilangan gelombang tertentu. Dalam uji adsorpsi mesopori silika (MS) mengadsorpsi zat warna methylene blue memperoleh hasil daya adsorpsi MS-10 lebih tinggi dibandingkan sampel MS lainnya yaitu 94.928%.

Kata Kunci: Mesopori, D-glukosa, Metode sol-gel, Methylene blue

1. Pendahuluan

Dalam berkembangnya jaman, penelitian tentang material berpori menjadi hal yang menarik untuk dipelajari. Menurut IUPAC, material berpori dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran pori, yaitu mikropori, mesopori, dan makropori. Potensi yang menjanjikan dari material mesopori di berbagai bidang, termasuk sebagai katalis, drug delivery, pengadsorpsi, dan aplikasi lain sehingga banyak dilakukan penelitian yang terkait dengan material ini, baik mengenai pengaruh kondisi sintesis, maupun mengenai morfologi dan karakteristik pori [1].

Pemilihan bahan dasar material mesopori merupakan hal yang penting karena berperan sebagai building block. Salah satu bahan dasar yang diunggulkan adalah silika karena mempunyai sifat yang stabil secara termal, tidak berbahaya, dan murah [2]. Silika dapat diperoleh dari sekam padi. Sekam padi mengandung silika sekitar 90-95% [3]. Silika dalam sekam padi memiliki kondisi amorf dan luas permukaan yang

besar [4]. Oleh karena itu, silika berpotensi sebagai bahan dasar pembuatan material berpori. Mesopori silika tanpa modifikasi yaitu MCM (Mobil Crystalline Material), SBA (Santa Barbara Amorphous), dan HMS (Hexagonal Mesoporous Silica) [5].

Sintesis mesopori silika dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya yaitu metode sol-gel, metode stöber, metode liquid crystal template approach (LCTA), teknik microwave, dan teknik chemical etching [5] [6]. Metode sol gel yang paling umum digunakan pada sintesis mesopori silika. Pada penelitian Wei dkk. (1999), telah berhasil dilakukan sintesis mesopori silika dengan penambahan nonsurfaktan D-glukosa sebagai pore-forming agent metode sol-gel menghasilkan luas permukaan yang tinggi 800 m²/g, volume pori 0,5 cm³/g, distribusi pori dengan diameter 3,2-3,5 nm dan menghilangkan nonsurfaktan dengan ekstraksi air [7].

Sintesis mesopori silika dengan modifikasi menggunakan surfaktan ini akan menghasilkan

Doi:

silika dengan variasi meso struktur dan dimensi partikel dipengaruhi beberapa faktor salah satunya adalah pH [8]. Gelasi pH mempunyai efek yang bagus dalam porositas dan ukuran partikel silika [9]. Pada penelitian Liou dan Yang (2011), hasilnya menunjukkan bahwa menggunakan variasi pH dari 3 sampai 9 dalam pembentukan gel menghasilkan semakin meningkatnya pH, ukuran partikel dan porositas meningkat sedangkan luas permukaan menurun.

Zat warna *methylene blue* digunakan secara luas dalam industri terutama industri tekstil. Dalam industri tekstil pengolahan limbah zat warna *methylene blue* menjadi perhatian besar karena sulit diuraikan. Pengolahan limbah yang mengandung zat warna perlu dilakukan dengan cara salah satunya adsorpsi.

Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis mesopori silika dari abu sekam padi menggunakan penambahan zat aditif berupa nonsurfaktan D-glukosa sebagai pore-forming agent dengan variasi pH. Penggunaan zat aditif D-glukosa diharapkan mudah dihilangkan melalui ekstraksi dengan air sehingga membuat proses ini lebih ramah lingkungan. Dengan dilakukan penghilangan D-glukosa, distribusi pori lebih seragam dan berukuran meso diharapkan mampu mengadsorpsi zat warna *methylene blue*. Karakterisasi hasil dilakukan dengan AAS, FTIR, dan GSA serta uji adsorpsi zat warna menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Alat-alat yang digunakan meliputi seperangkat peralatan gelas (*pyrex*), botol vial, magnetik bar, magnetik stirer, hotplate, alat refluks, *centrifuge*, kertas saring (*Whatman*) indikaor pH (MERCK), oven (BINDER), neraca analitik (OHAUS), FT-IR (Shimadzu), shaker (MAXQ 2000), AAS Perkin (Elmer Analyst 200), spektrofotometri UV-VIS (*T60U spectrometer*).

Bahan: sekam padi, akuades, HCl 37% (Merck), NaOH (Merck), D-glukosa (Merck), *methylene blue*.

2.2. Cara Kerja

2.2.1 Pembuatan Abu Sekam Padi

Sekam padi diarangkan hingga terbentuk arang berwarna hitam. Selanjutnya sekam padi dibakar dalam *furnace* pada suhu 700°C selama 4 jam. Setelah terbentuk abu berwarna putih, dilakukan penggerusan sampai halus dan dilakukan pemisahan dengan ayakan berukuran 100 mesh [10].

2.2.2 Pembuatan Larutan Natrium Silikat (Na₂SiO₃)

Dua puluh gram abu sekam padi dimasukkan ke dalam labu refluks, ditambahkan NaOH 2,5 M sebanyak 400 mL dan direfluks selama 4 jam pada temperatur 80°C untuk melarutkan

silikanya. Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan kertas saring *Whatman* dan filtrat yang dihasilkan adalah larutan natrium silikat [10].

2.2.3 Sintesis Mesopori Silika dengan zat aditif D-glukosa

D-glukosa dilarutkan dalam pelarut aquades 10 mL di atas *hot plate-stirer* dengan suhu 60°C. Natrium silikat sebanyak 30 mL dimasukkan dengan pelan ke dalam campuran D-glukosa dengan aquades, campuran diaduk diatas *hot plate-stirer*. Larutan HCl 1 M ditambahkan secara tetes demi tetes ke dalam larutan tersebut untuk menginisiasi reaksi hidrolisis – kondensasi hingga didapat pH yang berbeda yaitu pH 2, 4, 6, 8 dan 10. Gel yang dihasilkan didiamkan pada suhu ruang selama 3–7 hari (proses *aging*). Sebelum didiamkan ditutup dengan aluminium foil dengan membuat 10–12 lubang untuk proses penguapan kemudian hidrogel dihasilkan. Setelah itu dilakukan penyaringan dan residu dikeringkan dengan suhu 80°C selama 5 jam.

2.2.4 Ekstraksi Air terhadap D-glukosa

Silika-glukosa dihaluskan menjadi bubuk, kemudian dimasukkan 2 g silika-glukosa ke dalam 15 mL akuades dan diaduk selama 15 menit. Selanjutnya dimasukan dalam *tube centrifuge* dan disentrifugasi selama 10 menit (6000 rpm). Setelah endapan dipisahkan, endapan dimasukkan kedalam 15 mL akuades dan diaduk selama 3 jam. Kemudian *centrifuge* selama 10 menit. Masukan endapan dalam 15 mL akuades dan diamkan semalam. Selanjutnya endapan di cuci 4x selama 2 hari. Setelah itu endapan di keringkan dalam oven pada suhu 115°C selama 2 jam.

2.2.5 Adsorpsi Mesopori Silika terhadap Methylene Blue

Pada 20 mg sampel hasil sintesis dimasukkan ke dalam 20 mL larutan *methylene blue* 20 mg/L menggunakan *shaker* kecepatan pengadukan 100 rpm selama 120 menit. Selanjutnya dilakukan penyaringan, filtrat yang dihasilkan diuji dengan spektrofotometer UV-Vis.

2.2.6 Karakterisasi Mesopori Silika

Karakterisasi mesopori silika dilakukan dengan beberapa metode seperti penentuan gugus fungsi senyawa hasil sintesis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), untuk mengetahui konsentrasi silika terlarut digunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*), dan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori spesifik, ukuran dan distribusi pori menggunakan GSA (*Gas Surface Analyzer*) metode BET (*Brunauer-Emmett-Teller*). Hasil adsorpsi *methylene blue* menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi zat warna yang teradsorpsi dari panjang gelombang tertentu.

Doi:

Tabel 1. Kode Material Mesopori Silika

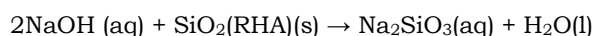
Kode	Keterangan
MS-2	Mesopori silika pada pH 2
MS-4	Mesopori silika pada pH 4
MS-6	Mesopori silika pada pH 6
MS-8	Mesopori silika pada pH 8
MS-10	Mesopori silika pada pH 10

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Sintesis Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Sekam padi disangrai hingga berwarna hitam yang disebut sebagai proses pengarangran. Setelah itu, dilakukan pembakaran dengan *furnace* pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam dengan laju kenaikan suhu $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$ untuk memperoleh abu sekam padi atau *Rice Husk Ash (RHA)*. Sekam padi dipanaskan dalam *furnace* pada suhu di bawah $700\text{ }^\circ\text{C}$ agar diperoleh abu putih. Abu putih dilakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh.

Abu sekam padi yang diperoleh ditambahkan dengan NaOH pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ dengan metode refluks. Menurut Hassan *et al.* [10] NaOH sudah bereaksi dengan silika pada abu sekam padi sehingga membentuk larutan natrium silikat sesuai persamaan reaksi :



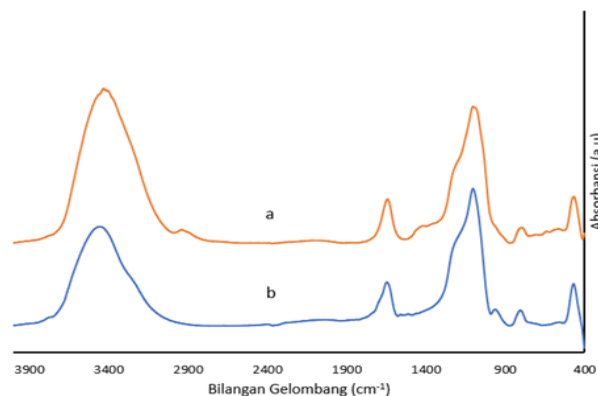
Hasil refluks yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan merupakan larutan natrium silikat. Larutan natrium silikat agak kental dan tidak berwarna [10]. Setelah diperoleh larutan natrium silikat, kemudian dilakukan analisis kandungan silika (Si) dengan menggunakan AAS. Dari hasil analisis dengan AAS diperoleh kandungan silika (Si) rata-rata dalam abu putih dari sekam padi sebesar 2.001 ppm dan larutan natrium silikat sebesar 18.908 ppm.

3.2 Hasil Sintesis Mesopori Silika dengan Metode Sol Gel

Dalam penelitian ini terlebih dahulu dilarutkan D-glukosa ke dalam aquades dengan suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$. Penambahan natrium silikat kedalam larutan D-glukosa tetes demi tetes. D-glukosa dalam hal ini akan berperan sebagai agen pembentuk pori dengan harapan agar silika yang dihasilkan berukuran mesopori. Proses sol-gel dimulai saat HCl 1M ditambahkan tetes demi tetes ke dalam campuran natrium silikat dan D-glukosa. Penambahan HCl dihentikan saat pH larutan sudah mencapai pH 2,4,6,8 dan 10. Asam digunakan sebagai katalis yang mempercepat terjadinya proses sol-gel, kehadiran asam akan menginisiasi terjadinya reaksi hidrolisis dan kondensasi pada proses sol-gel.

Gel putih yang terbentuk (hidrogel) dilanjutkan ke proses *aging* pada suhu ruang

selama 2-7 hari. Hidrogel silika-glukosa disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam hingga terbentuk *xerogel*. Untuk menghilangkan D-glukosa dalam *xerogel* dilakukan ekstraksi air sebanyak 6 kali selama 3 hari dan dikeringkan dalam oven dengan suhu $115\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam.

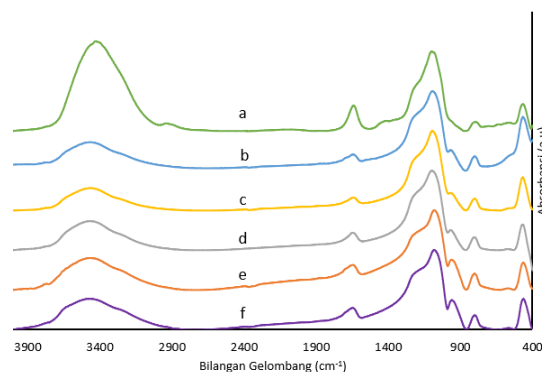


Gambar 1. Spektra FTIR (a) tanpa penghilangan D-glukosa (b) tanpa D-glukosa

Berdasarkan **Gambar 1** terlihat puncak $2900 - 3450\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi dari grup -OH dan -CH [11]. Pada spektra FTIR (a) mesopori silika hasil sintesis yang tanpa penghilangan D-glukosa muncul puncak vibrasi yang serapan pita lemah pada bilangan gelombang 2940 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur C-H dari komponen glukosa [7]. Pada spektra FTIR (b) tidak menunjukkan serapan pita lemah tersebut sehingga dapat dikatakan D-glukosa berhasil ditambahkan pada sintesis mesopori silika (MS).

3.3 Hasil Analisis Fourier Transform Infra-Red (FTIR) pada Mesopori Silika

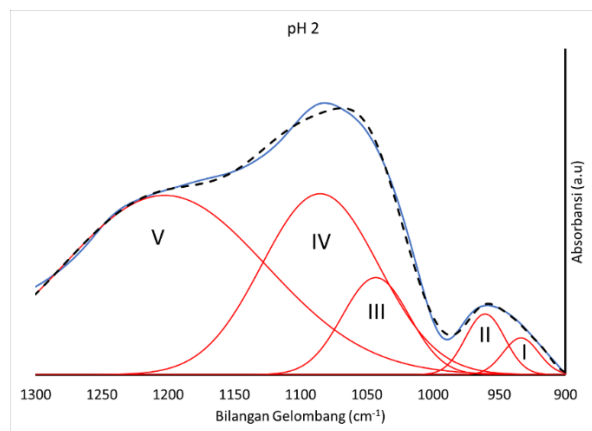
Karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi pH terhadap gugus fungsional yang ada dalam material hasil sintesis. Bilangan gelombang yang digunakan untuk mengukur pita-pita serapan yang terjadi antara $400-4000\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 2. Spektra FTIR (a) tanpa penghilangan D-glukosa, (b) MS-2, (c) MS-4, (d) MS-6, (e) MS-8, (f) MS-10

Doi:

Berdasarkan **Gambar 2** keenam spektra memiliki puncak yang tidak jauh berbeda. Untuk mengetahui pengaruh variasi pH gelas terhadap mesopori silika hasil sintesis secara lebih detail dilakukan dekonvolusi spektra FTIR pada bilangan gelombang 900–1300 cm^{-1} .



Gambar 3. Hasil dekonvolusi spektra FTIR mesopori silika MS-2

Dari **Gambar 3** terdapat 5 puncak dari hasil dekonvolusi dimana 3 membentuk puncak dekonvolusi dari vibrasi Si-O-Si dan 2 lainnya membentuk puncak dekonvolusi dari vibrasi Si-OH. Dari puncak dekonvolusi ini kita dapat mengetahui 2 struktur dari Si-O-Si pada mesopori silika hasil sintesis. Ditunjukkan pada puncak yang bilangan gelombang 1080 cm^{-1} (IV) dan 1200 cm^{-1} (V) merupakan vibrasi ulur asimetri TO (Transversal optical) dan LO (Longitudinal Optical) dari Si-O-Si siklik. Pada puncak bilangan gelombang 1040 cm^{-1} (III) merupakan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si struktur linier [12]. Selain itu komponen puncak dekonvolusi lainnya pada bilangan gelombang 930 cm^{-1} (II) merupakan vibrasi ulur Si-OH grup yang bebas pada permukaan padatan amorf [13]. Berikutnya pada bilangan gelombang 960 cm^{-1} (III) merupakan vibrasi ulur asimetri Si-OH [7]. Dari dekonvolusi tersebut didapatkan rasio Si-OH/Si-O-Si dari masing-masing sampel mesopori silika hasil sintesis disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rasio Si-OH/Si-O-Si pada mesopori silika hasil sintesis

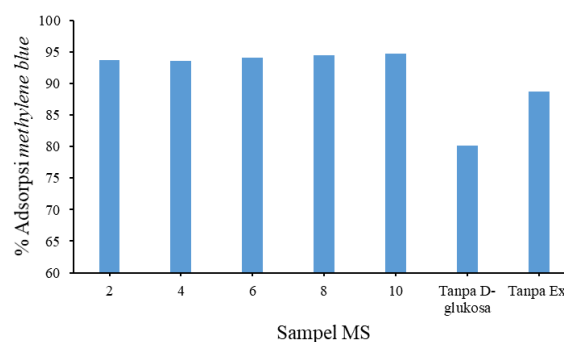
Sampel	% Si-OH/Si-O-Si
MS-2	11,31
MS-4	9,95
MS-6	7,72
MS-8	5,62
MS-10	7,38

3.4 Hasil Adsorpsi Methylene Blue dengan Mesopori Silika Hasil Sintesis

Adsorpsi terhadap *methylene blue* dilakukan untuk mengetahui nilai daya adsorpsi yang dihasilkan dalam persen. Telah dilakukan adsorpsi *methylene blue* dengan konsentrasi 20

ppm dengan MS-2, MS-4, MS-6, MS-8, dan MS-10. Adsorpsi ini dilakukan dengan waktu tetap 120 menit. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Nilai persentase adsorpsi menurun terlihat pada **Gambar 4** yaitu pada tanpa ekstraksi (penghilangan D-glukosa) dimungkinkan D-glukosa masih tertinggal di dalam pori sehingga adsorbat yang terjebak sedikit. Setelah D-glukosa dihilangkan dengan metode ekstraksi menggunakan pelarut air, nilai persentase daya adsorpsinya meningkat. Dengan ini memungkinkan adsorben yaitu mesopori silika hasil sintesis memiliki pori untuk meningkatkan daya adsorpsi



Gambar 4. Persen adsorpsi methylene blue dari mesopori silika

Berdasarkan **Gambar 4**, nilai persentasenya menunjukkan tidak terdapat perbedaan kemampuan adsorpsi yang signifikan. Hal ini dimungkinkan adsorben mempunyai distribusi ukuran pori yang kurang seragam sehingga menyebabkan selektifitas adsorben terhadap adsorbat cenderung rendah.

3.5 Hasil Analisis GSA Dengan Metode Brunauer-Emmet-Teller (BET) pada Mesopori Silika

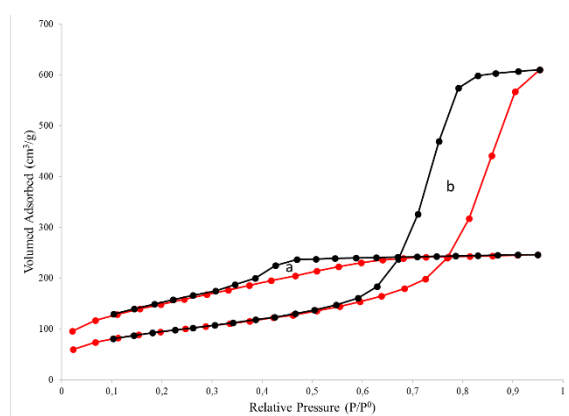
Gas sorption analyzer dapat digunakan untuk material berpori di mana ketentuan IUPAC mempunyai tujuan untuk mengklasifikasikan ukuran pori dan isothermal adsorpsi gas yang mana untuk mengetahui hubungan antara porositas dan penyerapan [14]. Persamaan BET hanya dapat digunakan untuk adsorpsi isoterm yang mempunyai nilai P/P^0 berkisar antara 0,05 sampai 0,3 [15]. Isoterm linier dari sistem adsorpsi-desorpsi nitrogen mesopori silika ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar tersebut merupakan grafik isothermal menunjukkan hubungan volume gas N_2 yang teradsorpsi dengan *relative pressure* (P/P^0) pada temperatur tertentu.

Kenaikan pertama terjadi karena molekul gas yang teradsorpsi bereaksi dengan daerah yang berenergi pada permukaan padatan. Pada pengisian ini telah terbentuk lapisan tunggal, kemudian pada daerah P/P^0 yang lebih tinggi, penambahan molekul gas ini terjadi pada permukaan yang telah ditempati molekul gas di mana telah terbentuk lapisan tunggal. Pada penambahan ini terbentuk lapisan berlapis

Doi:

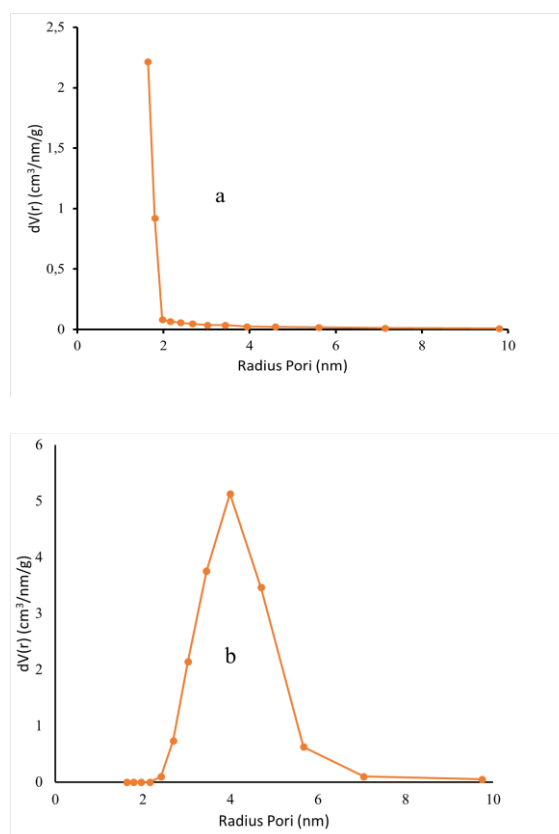
(Multilayer) dan pada akhir pengisian, terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorpsi, selain itu juga terlihat adanya loop histerisis pada daerah pertengahan.

Berdasarkan grafik isothermal dari Gambar 5, pada MS-2 dan MS-10 tergolong mesopori dengan diameter pori > 2 nm–50 nm. Adanya pori pada permukaan padatan akan memberikan efek pembatasan jumlah lapisan pada adsorbat dan terjadi fenomena kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler ini menyebabkan terjadi histerisis. Dalam kondensasi kapiler dihasilkan dua nilai tekanan relatif yang berbeda sehingga dapat diamati pada grafik ada perbedaan tekanan yang dihasilkan antara proses adsorpsi dan proses desorpsi. Histerisis yang dihasilkan pada sampel MS-2 ditunjukkan Gambar 5 (a) *hysteresis loop* tipe (H2) yang sempit pada P/P^0 0,3-0,6 mengindikasikan material yang seperti botol tinta (*Ink-bottle pores*) di mana distribusi ukuran pori tidak terdefinisi dengan baik karena proses desorpsi tertunda terkait dengan penguapan pori dalam jaringan struktur [16]. Pada sampel MS-10 ditunjukkan Gambar 5 (b) yang memiliki *hysteresis loop* tipe (H1) yang lebar pada P/P^0 0,6-0,9 proses desorpsi ke proses adsorpsi mengindikasikan material berpori yang seperti silinder dari kondensasi dengan distribusi ukuran pori lebih seragam [17].



Gambar 5. Grafik Isothermal Adsorpsi-Desorpsi Mesopori Silika Hasil Sintesis (a) MS-2 (b) MS-10

Berdasarkan **Gambar 6**, grafik distribusi ukuran pori berhubungan dengan differensial volume terhadap ukuran pori untuk cabang BJH desorpsi isothermal N_2 . Grafik distribusi ukuran pori dimana berdasarkan distribusi terbesar pori pada radius ukuran pori sekitar 4 nm pada sampel MS-10 ditunjukkan **Gambar 6** (b) sedangkan radius ukuran pori sekitar 2 nm pada sampel MS-2 ditunjukkan **Gambar 6** (a). Hal ini menunjukkan pada sampel MS-2 ukuran pori dan volume pori yang kecil di mana distribusi pori kurang seragam sedangkan pada sampel MS-10 ukuran pori dan volume pori lebih besar, distribusi pori lebih seragam.



Gambar 6. Grafik distribusi ukuran Pori mesopori (a) MS-2 dan (b) MS-10 hasil sintesis

Volume total pori, diameter pori rata-rata dan luas permukaan dari material mesopori silika MS-2 dan MS-10 disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Volume total pori, Diameter pori rata-rata, dan Luas permukaan Mesopori Silika Hasil Sintesis

Sampel	Volume Total Pori (cm ³ /g)	Diameter Pori Rata-Rata (nm)	Luas Permukaan (m ² /g)
MS-2	0,038	2,89	529
MS-10	0,094	11,35	333

Volume pori dan luas permukaan spesifik adalah indeks penting untuk evaluasi kapasitas adsorpsi / desorpsi gas N_2 pada material hasil sintesis. Berdasarkan tabel 2, pada sampel MS-10 luas permukaan lebih kecil daripada MS-2 karena meningkatnya pH memiliki diameter pori yang lebih besar sehingga volume pori total besar.

4. Kesimpulan

Mesopori silika dapat disintesis dari abu sekam padi dengan penambahan zat adiktif D-glukosa sebagai *pore-forming agent*. Pori dihasilkan dengan penghilangan zat aditif menggunakan metode ekstraksi air. Variasi pH yang diberikan berpengaruh terhadap pori silika gel. Berdasarkan hasil GSA, menghasilkan pori

Doi:

yang berukuran meso pada sampel MS-2 (2,89 nm) dan MS-10 (11,35 nm). Dengan meningkatnya pH yaitu luas permukaan dan ukuran pori semakin besar. Adsorpsi *methylene blue* dengan mesopori silika yang dihasilkan yaitu nilai persentase daya adsorpsi MS-10 lebih tinggi dibandingkan pH yang lainnya sebesar 94,928%.

Daftar Pustaka

- [1] Zhou, Yun-yu, Xiao-xuan Li, Zheng-xing Chen, Rapid synthesis of well-ordered mesoporous silica from sodium silicate, *Powder technology*, 226, (2012), 239-245
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.04.054>
- [2] Nandiyanto, Asep Bayu Dani, Soon-Gil Kim, Ferry Iskandar, Kikuo Okuyama, Synthesis of spherical mesoporous silica nanoparticles with nanometer-size controllable pores and outer diameters, *Microporous and Mesoporous Materials*, 120, 3, (2009), 447-453
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2008.12.019>
- [3] Ghorbani, Farshid, Ali Mohammad Sanati, Maryam Maleki, Production of silica nanoparticles from rice husk as agricultural waste by environmental friendly technique, *Environmental Studies of Persian Gulf*, 2, 1, (2015), 56-65
- [4] Le, Van Hai, Chi Nhan Ha Thuc, Huy Ha Thuc, Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method, *Nanoscale research letters*, 8, (2013), 1-10
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-58>
- [5] Kumar, Sunil, MM Malik, Rajesh Purohit, Synthesis methods of mesoporous silica materials, *Materials Today: Proceedings*, 4, 2, (2017), 350-357
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.032>
- [6] Sriyanti, Sriyanti, Dwi Setyowati, Suhartana Suhartana, Pengaruh Variasi D-Glukosa sebagai Template terhadap Karakter Silika Hasil Sintesis Abu Sekam Padi untuk Uji Adsorpsi-Desorpsi Urea, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2, 2, (2022), 18-22
<https://doi.org/10.14710/giec.2022.16334>
- [7] Wei, Yen, Jigeng Xu, Hua Dong, Jian Hua Dong, Kunyuan Qiu, Susan A Jansen-Varnum, Preparation and physisorption characterization of d-glucose-templated mesoporous silica sol-gel materials, *Chemistry of Materials*, 11, 8, (1999), 2023-2029
<https://doi.org/10.1021/cm981004u>
- [8] Wu, Si-Han, Chung-Yuan Mou, Hong-Ping Lin, Synthesis of mesoporous silica nanoparticles, *Chemical Society Reviews*, 42, 9, (2013), 3862-3875
<https://doi.org/10.1039/C3CS35405A>
- [9] Liou, Tzong-Horng, Chun-Chen Yang, Synthesis and surface characteristics of nanosilica produced from alkali-extracted rice husk ash, *Materials science and engineering: B*, 176, 7, (2011), 521-529
<https://doi.org/10.1016/j.mseb.2011.01.007>
- [10] Hassan, AF, AM Abdelghny, H Elhadidy, AM Youssef, Synthesis and characterization of high surface area nanosilica from rice husk ash by surfactant-free sol-gel method, *Journal of sol-gel science and technology*, 69, 3, (2014), 465-472
<https://doi.org/10.1007/s10971-013-3245-9>
- [11] Ibrahim, Medhat, Moussa Alaam, Hanan El-Haes, Abraham F Jalbout, Aned de Leon, Analysis of the structure and vibrational spectra of glucose and fructose, *Ecletica quimica*, 31, 3, (2006), 15-21
<https://doi.org/10.1590/S0100-46702006000300002>
- [12] Lenza, Rubia FS, Wander Luiz Vasconcelos, Preparation of silica by sol-gel method using formamide, *Materials Research*, 4, 3, (2001), 189-194
<https://doi.org/10.1590/S1516-14392001000300008>
- [13] Putz, Ana-Maria, Mihai V Putz, Spectral inverse quantum (Spectral-IQ) method for modeling mesoporous systems: Application on silica films by FTIR, *International journal of molecular sciences*, 13, 12, (2012), 15925-15941
<https://doi.org/10.3390/ijms131215925>
- [14] Sudarlin, M Si, Jurusan Kimia UIN Sunan Kalijaga, PRINSIP DAN TEKNIK PENGGUNAAN GAS SORPTION ANALYZER (GSA), (2012),
- [15] Maleki, Aziz, Helene Kettiger, Aurélie Schoubben, Jessica M Rosenholm, Valeria Ambrogi, Mehrdad Hamidi, Mesoporous silica materials: From physico-chemical properties to enhanced dissolution of poorly water-soluble drugs, *Journal of Controlled Release*, 262, (2017), 329-347
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.07.047>
- [16] Sotomayor, Francisco J, Katie A Cychosz, Matthias Thommes, Characterization of micro/mesoporous materials by physisorption: concepts and case studies, *Acc. Mater. Surf. Res*, 3, (2018), 34-50
- [17] ALOthman, Zeid, A review: fundamental aspects of silicate mesoporous materials, *Materials*, 5, 12, (2012), 2874-2902
<https://doi.org/10.3390/ma5122874>