



## Modifikasi Silika dari Abu Sekam Padi pada Variasi pH Menggunakan Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) untuk Adsorpsi-Desorpsi Urea

Pawitra Madania<sup>1\*</sup>, Sriyanti<sup>1</sup>, Sriatun<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author: [pawitramadania@students.undip.ac.id](mailto:pawitramadania@students.undip.ac.id)

Received: 20 November 2023 / Accepted: 29 Desember 2023

Available online: 31 Desember 2023

### Abstrak

Sintesis silika mesopori telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH gelasi dan penambahan surfaktan CTAB terhadap karakter silika mesopori yang dihasilkan, serta kemampuan silika mesopori dalam adsorpsi-desorpsi pada urea. Sintesis silika mesopori dilakukan dengan menambahkan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dari abu sekam padi ke dalam larutan CTAB dengan konsentrasi 0,0009 M (MS-3, MS-5, MS-7 dan MS-9). Larutan HCl 3 M ditambahkan secara bertahap hingga mencapai pH 3, 5, 7, 9 dan 11. Penghilangan CTAB dilakukan melalui proses kalsinasi pada suhu 550°C selama 5,5 jam. Selanjutnya diuji kemampuan adsorpsi-desorpsi urea. Karakterisasi hasil menggunakan metode Spektroskopi Serapan Atom (AAS), Gas Surface Analyzer (GSA) Brunauer – Emmett-Teller (BET), Fourier Transform Infra-Red (FTIR), dan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis AAS natrium silikat hasil sintesis mengandung Si sebanyak 32,68%. Analisis FTIR silika hasil sintesis dengan variasi pH gelasi menunjukkan bahwa daerah bilangan gelombang 960-980  $\text{cm}^{-1}$  termasuk golongan Si-OH dan pada daerah 1000-1200  $\text{cm}^{-1}$  merupakan golongan Si-O-Si, kelompok. Spektrum dekonvolusi FTIR juga menemukan bahwa rasio Si-OH/Si-O-Si pada MS-7 lebih tinggi dibandingkan variasi pH gelasi lainnya. Hasil analisis GSA menunjukkan silika gel pada pH 3, 7, dan 11 mempunyai pori-pori berukuran meso dengan diameter pori berturut-turut 3,88 nm, 16,36 nm, dan 9,55 nm. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada larutan urea setelah dilakukan proses adsorpsi-desorpsi menghasilkan kemampuan adsorpsi tertinggi pada MS-7 yaitu sebesar 53,91% dan kemampuan desorpsi terendah pada MS-7 yaitu sebesar 24,10%.

**Kata Kunci:** Silika Mesopori, pH gelasi, CTAB, Adsorpsi-desorpsi, urea

### 1. Pendahuluan

Padi merupakan salah satu dari hasil utama pertanian di Indonesia. Penggilingan padi menghasilkan 72% beras, 5-8% dedak dan 20-22% sekam [1]. Tetapi pemanfaatan limbah sekam padi belum dimanfaatkan secara optimal. Sekam padi di masyarakat hanya digunakan sebagai pupuk organik dan sisanya dibakar. Padahal sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi sebanyak 97%. Pembakaran abu sekam padi pada suhu 400-700°C akan menghasilkan silika amorf dan pada suhu lebih dari 1.000°C akan menjadi silika kristalin [2]. Pemanfaatan silika dari abu sekam padi dapat diperluas dengan cara disintesis menjadi silika gel dalam ukuran nano. Mesopori silika merupakan salah satu material yang memiliki pori dengan diameter antara 2-50 nm. 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

[3]. Bagaimanapun metode sol-gel yang paling umum digunakan pada sintesis mesopori silika.

Sintesis mesopori silika dengan modifikasi menggunakan surfaktan menghasilkan silika dengan variasi meso struktur dan dimensi partikel dipengaruhi beberapa faktor salah satunya adalah pH [4]. Gelasi pH mempunyai efek yang bagus dalam meningkatkan porositas dan ukuran partikel silika [5]. Mesopori silika dapat disintesis menggunakan Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) sebagai template dan natrium silikat sebagai sumber silika dengan menggunakan variasi rasio berat natrium silikat terhadap surfaktan, nilai pH yaitu pada nilai 3, 5, 7, 9 dan 11, waktu aging selama 8 hingga 24 jam serta temperatur 20°C hingga 60°C [6].

Salah satu aplikasi mesopori silika ini adalah untuk adsorpsi-desorpsi urea. Urea merupakan salah satu jenis pupuk yang sering digunakan di Indonesia karena mengandung nitrogen sangat

Doi:

tinggi (45% - 46%), biaya terjangkau, dan tersedia secara komersial [7]. Namun karena memiliki sifat higroskopis dan mudah larut dalam air sehingga hanya sekitar 30-40% nitrogen yang diambil oleh tanaman. Mesopori silika memiliki luas permukaan yang besar dan struktur pori yang teratur sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengatur pelepasan urea dalam sehingga nitrogen dalam urea tidak langsung terlepas dalam tanah tetapi pelepasan nitrogennya sedikit demi sedikit

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat:** seperangkat peralatan gelas, pengayak ukuran 100 mesh, termometer, labu ukur, kertas saring Whatman 42, cawan porselen, kaca arloji, spatula, oven, furnace, pipet tetes, alat refluks, neraca analitik merk OHAUS, pengaduk, hotplate, stirrer, magnetic stirrer, kertas pH, FTIR merk Alpha Series Bruker, GSA merk Quantachrome 1200e, spektrofotometer UV-Vis merk Shimadzu dan AAS merk Perkin Elmer 3110.

**Bahan:** sekam padi, abu sekam padi, natrium hidroksida (NaOH) merk Merck, HCl, akuades, Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB), p-Dimethylamino Benzaldehyde (p-DMAB), etanol 96% merk Merck dan urea.

## 2.2. Cara Kerja

### 2.2.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pembuatan abu sekam padi dengan dibakar dalam furnace pada suhu 700°C. Abu sekam padi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk membuat larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan metode refluks dan dilanjutkan dengan pembuatan mesopori silika dengan variasi pH gelas saat menambahkan larutan HCl 3 M. Sampel mesopori silika dilakukan uji adsorpsi dan desorpsi urea untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dan desorpsi larutan urea. Sampel mesopori silika dengan pengaruh pH gelas kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada dalam material mesopori silika dan GSA dengan metode BET untuk mengetahui diameter pori, volume pori total dan luas permukaan pori yang dihasilkan.

### 2.2.2 Pembuatan Abu Sekam Padi

Sekam padi diarangkan menggunakan wajan hingga terbentuk arang berwarna hitam pekat. Selanjutnya sekam padi dibakar dalam furnace pada suhu 700°C selama 4 jam untuk memperoleh abu sekam padi berwarna putih yang kemudian diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh [8].

### 2.2.3 Pembuatan Larutan Natrium Silikat

Dua puluh gram abu sekam padi dimasukkan ke dalam labu refluks, ditambahkan NaOH 2,5 M sebanyak 400 mL dan dipanaskan selama 4 jam pada temperatur 80°C untuk melarutkan silikanya. Penyaringan dilakukan dengan kertas saring Whatman 42 dan filtrat yang dihasilkan adalah larutan natrium silikat [8]. Larutan natrium silikat yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan AAS.

### 2.2.4 Sintesis Mesopori Silika

Serbuk CTAB sebanyak 0,082 g dilarutkan dalam akuades 250 mL kemudian diaduk selama 30 menit untuk mendapatkan larutan CTAB dengan konsentrasi 0,0009 M. Larutan natrium silikat sebanyak 30 mL ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam 30 mL larutan CTAB 0,0009 M diaduk selama 30 menit [9]. Kemudian ditambahkan tetes demi tetes HCl 3 M ke dalam larutan tersebut sambil diaduk selama 1 jam untuk menginisiasi reaksi hidrolisis-kondensasi hingga didapat pH yang berbeda yaitu pH 3, 5, 7, 9, 11. Setelah dilakukan penambahan HCl tetes demi tetes, pembentukan silika gel telah berlangsung. 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 molekul yang bersifat volatil seperti air yang terbentuk selama proses *aging*. Setelah terbentuk gel, dilakukan pencucian dengan akuades dan residu dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama 8 jam. Pembuatan silika mesopori dilakukan dengan penghilangan CTAB melalui proses kalsinasi pada suhu 550°C selama 5,5 jam [10]. Kemudian diperoleh hasil sintesis silika mesopori yaitu MS-3, MS-5, MS-7, MS-9 dan MS-11.

### 2.2.5 Pembuatan Larutan Induk Urea

Pembuatan larutan induk urea 500 ppm dilakukan dengan cara melarutkan urea sebanyak 0,05 gram dengan akuades kemudian diencerkan sampai 100 mL menggunakan labu ukur 100 mL.

### 2.2.6 Pembuatan Kurva Standar

Larutan deret standar dengan konsentrasi 100, 200, 300 dan 400 ppm dibuat dari larutan induk urea 500 ppm yang dilarutkan dalam akuades.

### 2.2.7 Pembuatan Reagen Pengompleks Urea

Sebanyak 1 g p-DMAB (*p-Dimethylamino Benzaldehyde*) dilarutkan dalam 50 mL etanol 96%,. Ditambahkan HCl 37% sebanyak 5 mL dan diaduk selama 15 menit di dalam gelas beker yang telah dilapisi *aluminium foil*.

Doi:

### 2.2.8 Adsorpsi Urea dengan Mesopori Silika Hasil Sintesis

Mesopori silika hasil sintesis pada pH 3, 5, 7, 9 dan 11 sebanyak 0,5 g dimasukkan ke dalam larutan urea 500 ppm, kemudian diaduk dengan *shaker*. Pengadukan dengan *stirer* dilakukan selama 2 jam pada suhu ruang dandikeringkan dengan oven pada suhu 40°C. Selanjutnya, larutan tersebut disaring untuk memisahkan filtrat dengan adsorben. Filtrat yang dihasilkan sebanyak 5 mL ditambahkan 3 mL larutan pengompleks p-DMAB kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 430 nm untuk menentukan konsentrasi urea setelah dilakukan proses adsorpsi [11].

### 2.2.9 Desorpsi Urea dengan Mesopori Silika Hasil Sintesis

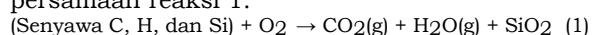
Pengujian desorpsi dilakukan dengan melarutkan urea hasil adsorpsi pada mesopori silika dalam akuades kemudian di-*stirer* selama 30 menit pada suhu kamar. Kemudian larutan yang disaring ditambahkan 3 mL larutan p-DMAB. Larutan kemudian diukur kadar urea yang terdesorpsi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 430 nm [11].

### 2.2.10 Karakterisasi Mesopori Silika

Karakterisasi mesopori silika dilakukan dengan beberapa metode penentuan gugus fungsi senyawa hasil sintesis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), untuk mengetahui konsentrasi silika terlarut digunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), dan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori spesifik, ukuran dan distribusi pori menggunakan *Gas Surface Analyzer* (GSA) metode BET *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Hasil adsorpsi-desorpsi urea menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi urea yang teradsorpsi dan terdesorpsi dari panjang gelombang 430 nm

## 3. Hasil Dan Pembahasan

Sekam padi digunakan dalam penelitian sebagai sumber silika (Si) yang kemudian diolah menjadi larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Abu sekam padi yang telah disangrai menggunakan wajan sampai berwarna hitam dilakukan pembakaran pada suhu 700°C bertujuan untuk membentuk silika yang bersifat amorf. Apabila suhu yang digunakan lebih dari 700°C akan menjadi silika kristalin [2]. Reaksi yang terjadi pada proses pengabuan dapat ditunjukkan dalam persamaan reaksi 1.



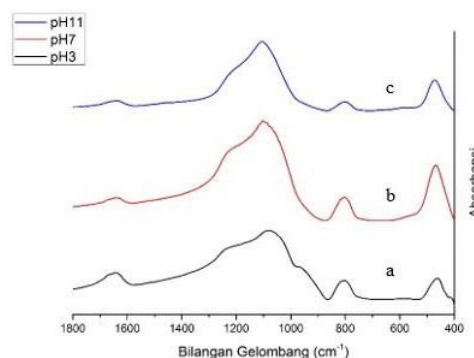
Larutan natrium silikat yang didapatkan berbentuk cairan agak kental dan tidak berwarna. Hal ini menandakan bahwa NaOH sudah bereaksi dengan silika yang ada pada abu sekam padi menghasilkan larutan natrium silikat. Larutan natrium silikat yang diperoleh

akan digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan silika gel. Reaksi yang terjadi pada tahap ini ditunjukkan pada persamaan reaksi 2.

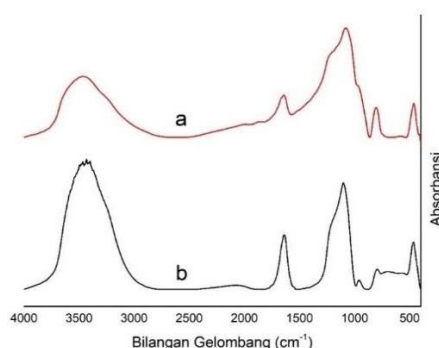
$$2 \text{NaOH} + \text{SiO}_2(\text{abu sekam padi}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O} \quad (2)$$

Larutan natrium silikat yang diperoleh kemudian dianalisis kadar silika terlarutnya menggunakan AAS dan diperoleh konsentrasi silika dalam natrium silikat sebesar 16342,28 ppm. Kadar silika yang diperoleh yaitu sebesar 32,68% dalam natrium silikat.

Larutan CTAB yang ditambahkan pada larutan natrium silikat berperan sebagai *template* atau agen pembentuk pori (*pore forming agent*) sehingga silika yang terbentuk akan berukuran mesopori. Dalam larutan, CTAB akan membentuk ion bermuatan positif yaitu ion *cetrimonium* dan ion bermuatan negatif yaitu ion bromida. Silika yang bermuatan negatif akan berinteraksi dengan ion yang bermuatan positif yaitu ion *cetrimonium* [12]. Kemudian dilakukan penambahan asam yang digunakan sebagai katalis pada proses sol-gel, kehadiran asam akan menginisiasi terjadinya reaksi hidrolisis dan kondensasi pada proses sol-gel sehingga akan lebih cepat. Tahap selanjutnya adalah proses kalsinasi. Kalsinasi bertujuan untuk mendekomposisi surfaktan yang tertinggal pada pori material. Kalsinasi ini dilakukan dengan cara memanaskan sampel pada suhu tinggi. Suhu kalsinasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pada suhu 550°C selama 5,5 jam.



Gambar 1. Spektra FTIR (a) MS-3 (b) MS-7 (c) MS-11



Gambar 2. Spektra FTIR MS-7 Hasil Sintesis (a) Setelah Kalsinasi, (b) Sebelum Kalsinasi

Doi:

Dari spektra pada **Gambar 1** dapat diketahui bahwa spektra memiliki puncak yang tidak jauh berbeda sehingga dapat dikatakan variasi pH gelas tidak mengubah gugus fungsi pada mesopori silika yang dihasilkan. Dari spektra FTIR mesopori silika pada **Gambar 1** terdapat gugus Si-O-Si pada bilangan gelombang sekitar  $1080\text{ cm}^{-1}$ ,  $800\text{ cm}^{-1}$  dan  $400\text{ cm}^{-1}$  yang masing-masing merupakan pita vibrasi ulur Si-O, vibrasi ulur simetri dan vibrasi tekuk ikatan Si-O-Si serta gugus -OH pada bilangan gelombang  $1600\text{ cm}^{-1}$  dan  $960\text{--}980\text{ cm}^{-1}$  merupakan pita vibrasi tekuk -OH dan vibrasi ulur simetri gugus Si-O dari silanol (Si-OH). Pada spektra FTIR **Gambar 2** setelah kalsinasi tidak menunjukkan adanya gugus fungsional surfaktan CTAB. Sehingga dari proses kalsinasi yang dilakukan pada suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 5,5 jam dapat menghilangkan molekul-molekul surfaktan dan membentuk pori pada silika hasil sintesis.

Pengaruh variasi pH gelas terhadap mesopori silika hasil sintesis dapat dilihat secara lebih detail dengan dilakukan dekonvolusi spektra FTIR pada bilangan gelombang  $700\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$  menggunakan aplikasi "fityk". Dekonvolusi dilakukan dengan HWHM yang sama tiap komponen puncak tertentu. Dari hasil dekonvolusi tersebut dapat dicari perbandingan luas area gugus silanol dan siloksan. Hasil rasio dapat ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan nilai rasio menunjukkan mesopori silika dengan pH asam memiliki gugus silanol (Si-OH) yang lebih banyak dibandingkan pH basa. Hal ini menandakan bahwa gugus silanol yang lebih banyak ini muncul karena adanya penambahan asam yang lebih banyak dari variasi pH basa. Pada pH asam memiliki laju reaksi hidrolisis lebih cepat dibandingkan dengan laju reaksi kondensasi [13], sehingga proses gelas berlangsung lambat karena asam silikat lebih stabil sehingga gugus silanol tidak banyak yang terkondensasi menjadi gugus siloksan.

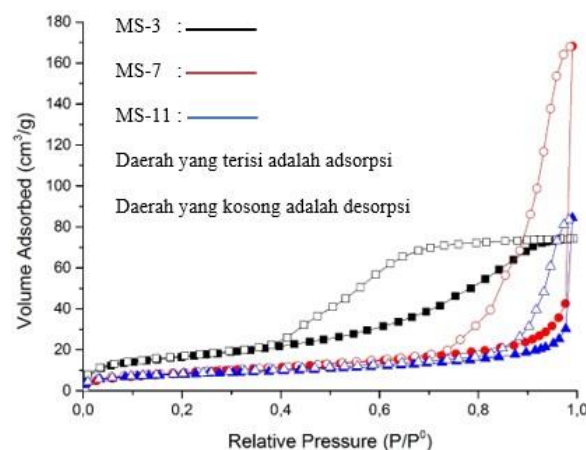
**Tabel 1.** Perbandingan Rasio Luas Area Puncak Gugus Si-OH/Si-O-Si

pH	Si-OH	Si-O-Si	Si-OH/Si-O-Si (%)
3	439,47	6704,96	6,55
7	623,48	7536,08	8,27
11	244,41	4233,09	5,77

Mesopori silika hasil sintesis dianalisis dengan GSA untuk mengetahui ukuran pori, volume pori dan luas permukaannya. Hasil analisis diperoleh grafik isothermal adsorpsi-desorpsi yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Pada MS-11, MS-7 dan MS-3 isotherm adsorpsi silika hasil sintesis termasuk dalam grafik isothermal tipe IV (berdasarkan IUPAC) yang memiliki *hysteresis loop* masing-masing tipe (H2), tipe (H3) dan tipe (H1) yang memiliki ruang luas di dalamnya masing-masing pada  $P/P^0$  0,8-1,0; 0,7-1,0; dan 0,3-0,9. Dari karakterisasi ini juga

memberikan informasi berupa volume pori diameter pori dan luas permukaan seperti yang telah disajikan pada **Tabel 2**.

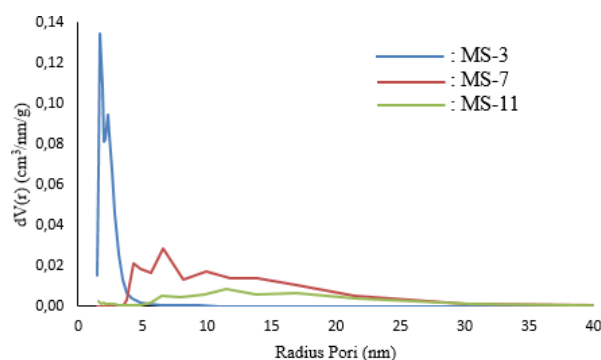


**Gambar 3.** Grafik Isothermal Mesopori Silika Hasil Sintesis

**Tabel 2.** Luas Permukaan, Volume Total Pori, Diameter Pori Silika

Jenis Sampel	pH	Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume Total Pori ( $10^{-1}\text{ cm}^3/\text{g}$ )	Diameter Pori Rata-Rata (nm)
MS-3	3	59,11	1,147	3,88
MS-7	7	31,81	2,602	16,36
MS-11	11	27,37	1,306	9,55

Dari **Gambar 4** menunjukkan kurva distribusi ukuran pori. Ukuran pori yang dihasilkan tidak seragam ditunjukkan oleh luas area kurva pori dibanding dengan diameter pori. Dalam hal ini, distribusi pori pada MS-3 yang lebih seragam dibandingkan MS-7 dan MS-11, di mana distribusi ukuran pori MS-3 sekitar 1 nm, MS-7 sekitar 6 nm dan MS-11 sekitar 11 nm.



**Gambar 4.** Kurva Distribusi Ukuran Pori pada Mesopori Silika Hasil Sintesis

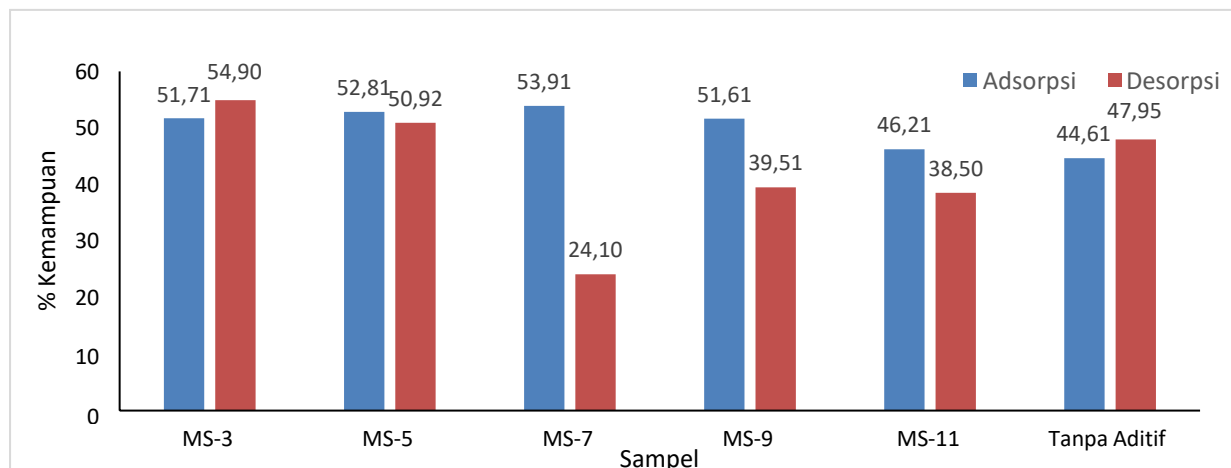
Hasil uji adsorpsi urea 500 ppm pada mesopori silika pada MS-7 memiliki kemampuan adsorpsi yang paling tinggi yaitu 53,91%. Sehingga dimungkinkan adsorpsi yang terjadi akibat adanya interaksi fisik antara gugus silanol dengan gugus N dari urea. Dari **Tabel 1**



Doi:

menunjukkan pH asam memiliki rasio Si-OH/Si-O-Si yang lebih besar dari pH basa karena pH asam laju reaksi hidrolisis lebih cepat dibandingkan dengan laju reaksi kondensasi [13]. Mesopori silika dengan kemampuan desorpsi terendah yaitu pada MS-7 dengan nilai 24,10%. Mesopori silika kondisi asam, mengadsorpsi urea lebih banyak mengakibatkan urea yang terlepas akan lebih banyak dibanding dengan mesopori

silika pada kondisi basa yang hanya mengadsorpsi urea lebih sedikit. Hal ini juga dibuktikan dari hasil GSA yaitu MS-3 memiliki bentuk pori conical dan MS-11 dengan bentuk pori silinder yang dapat mengadsorpsi banyak urea tetapi juga mudah terlepas. Sedangkan MS-7 memiliki bentuk pori slit dimana urea yang sudah teradsorpsi akan susah terlepas karena memiliki bentuk pori yang sempit.



**Gambar 5.** Kemampuan Adsorpsi-Desorpsi Mesopori Silika Hasil Sintesis

#### 4. Kesimpulan

Mesopori silika dapat disintesis dari abu sekam padi dengan penambahan surfaktan CTAB sebagai agen pembentuk pori. Variasi pH gelas berpengaruh terhadap pori silika gel. Berdasarkan hasil GSA, menghasilkan pori yang berukuran meso pada sampel MS-3 (3,88 nm) dan MS-7 (16,36 nm) dan MS-11 (9,55 nm). Semakin besar pH gelas maka semakin besar pula diameter pori silika yang dihasilkan, sedangkan luas permukaannya semakin menurun. Pada uji adsorpsi urea terhadap mesopori silika (MS) hasil sintesis kemampuan adsorpsi-desorpsinya menurun dari MS-3 hingga MS-11. Kemampuan adsorpsi urea dengan nilai tertinggi terdapat pada sampel MS-7 sedangkan kemampuan desorpsi urea dengan nilai terendah terdapat pada sampel MS-7.

#### Daftar Pustaka

- [1] Warsito, Sri, Sriatun Sriatun, Taslimah Taslimah, Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium bromide (n-CTMABr) pada Sintesis Zeolit-Y, (2008),
- [2] Handayani, Prima Astuti, Eko Nurjanah, Wara Dyah Pita Rengga, Pemanfaatan limbah sekam padi menjadi silika gel, *Jurnal bahan alam terbarukan*, 3, 2, (2014), 55-59
- [3] Kumar, Sunil, MM Malik, Rajesh Purohit, Synthesis methods of mesoporous silica materials, *Materials Today: Proceedings*, 4, 2, (2017), 350-357
- [4] Wu, Si-Han, Chung-Yuan Mou, Hong-Ping Lin, Synthesis of mesoporous silica nanoparticles, *Chemical Society Reviews*, 42, 9, (2013), 3862-3875
- [5] 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
- [6] 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
- [7] Azeem, Babar, KuZilati KuShaari, Zakaria B Man, Abdul Basit, Trinh H Thanh, Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer, *Journal of controlled release*, 181, (2014), 11-21
- [8] 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, (2014), 465-472
- [9] Dipowardani, Bimo Tunggal, Sriatun Sriatun, Taslimah Taslimah, Sintesis silika kristalin menggunakan surfaktan cetiltrimetilamonium bromida (CTAB) dan trimetilamonium klorida (TMACl) sebagai pencetak pori, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11, 1, (2008), 20-28
- [10] Wa, Li, Li Fengyun, Zhuo Fanlu, Cao Mengjing, Cai Qiang, Huang Jue, Zhang Weijun, Mu Mingwei, Preparation of silica aerogels using CTAB/SDS as template and their efficient adsorption, *Applied Surface Science*, 353, (2015), 1031-1036

Doi:

- [11] Wahyuningsih, Sayekti, Uswatul Chasanah, Ganjar Fadillah, Rahmat Hidayat, Peranan Zeolit Nanopori Termodifikasi Sebagai Material Pengontrol Pelepasan Pupuk Urea, *Prosiding Elektronik Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional Program Kreativitas Mahasiswa-Penelitian*, (2014),
- [12] Wulandari, Ari Vitri, Ella Kusumastuti, Triastuti Sulistyaningsih, Pengaruh Penambahan Abu Layang Termodifikasi terhadap Karakteristik Membran Elektrolit Berbahan Dasar Kitosan, *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6, 2, (2017), 104-109
- [13] Brinker, C Jeffrey, George W Scherer, *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*, Academic press, 2013,