



Pengaruh Variasi D-Glukosa sebagai Template terhadap Karakter Silika Hasil Sintesis Abu Sekam Padi untuk Uji Adsorpsi-Desorpsi Urea

Dwi Setyowati¹, Sriyanti¹, Suhartana¹

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

*Corresponding author: sriyanti@live.undip.ac.id

Received: 01 November 2022 / Accepted: 16 November 2022

Available online: 30 November 2022

Abstract

Penelitian tentang sintesis silika mesopori telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi aditif D-glukosa terhadap karakter silika mesopori yang dihasilkan, dan uji kemampuan silika mesopori dalam adsorpsi-desorpsi urea. Sintesis silika mesopori dilakukan dengan menambahkan natrium silikat (Na_2SiO_3) dari abu sekam padi ke dalam larutan D-glukosa dengan variasi konsentrasi 15 wt%, 30 wt%, 45 wt%, 60 wt%, 75 wt%. Larutan HCl 3M ditambahkan secara bertahap hingga mencapai pH 7. Penghilangan D-glukosa menggunakan metode ekstraksi air dengan proses sentrifugasi, serta uji kualitatif dengan pereaksi Benedict. Selanjutnya dilakukan uji kemampuan adsorpsi-desorpsi pada urea. Karakterisasi hasil menggunakan spektrofotometri serapan atom, metode gas sorption analyzer (GSA) Brunauer Emmet Teller (BET), spektrofotometer FTIR, dan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel bahan halus sampai kasar dengan variasi konsentrasi D-glukosa yang ditambahkan. Analisis FTIR silika hasil sintesis dengan variasi konsentrasi D-glukosa 15 wt%, 30 wt%, 45 wt%, 60 wt%, dan 75 wt% menunjukkan adanya gugus Si-OH dan Si-O-Si. Spektra dekonvolusi FTIR juga menemukan bahwa rasio Si-OH / Si-O-Si pada MS-30 lebih tinggi daripada variasi konsentrasi lainnya. Hasil AAS menunjukkan bahwa natrium silikat mengandung kadar Si sebesar 16.342 ppm sehingga diperoleh silika sebesar 32,68%. Hasil analisis GSA menunjukkan bahwa silika gel memiliki pori berukuran meso pada sampel MS-30 dan MS-60. Distribusi ukuran pori yang seragam dari MS-30 dan MS-60. Hasil analisis spektrofotometer UV-Vis menunjukkan daya adsorpsi MS-30 lebih tinggi dibandingkan yang lain yaitu 55,40%, daya desorpsi MS-30 lebih rendah dibandingkan yang lain yaitu 13,72%.

Kata Kunci: Silika Mesopori, sol-gel, D-Glucosa, adsorpsi-Desorpsi, urea.

1. Pendahuluan

Padi merupakan salah satu dari hasil utama pertanian di Indonesia. Di samping mampu mencukupi kebutuhan pangan, produksi padi juga menghasilkan limbah berupa sekam padi. Pemanfaatan limbah sekam padi belum dimanfaatkan secara optimal, di masyarakat sekam padi hanya digunakan sebagai pupuk organik dan sisanya dibakar. Pembakaran sekam padi akan menghasilkan abu sekam padi. Abu sekam padi mengandung kadar silika yang tinggi 87-97% [1]. Kandungan silika di dalam abu sekam padi yang tinggi, menjadikan abu sekam padi banyak dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan material berbasis silika seperti silika gel, sehingga dapat menambah daya guna dari abu sekam padi itu sendiri [2, 3]. Sintesis mesopori silika dapat dilakukan dengan metode sol-gel. Metode sol-gel menjadi metode yang paling banyak digunakan saat ini karena

sederhana dan dapat dilakukan pada suhu rendah. Pada metode tersebut melibatkan reaksi hidrolisis dan reaksi kondensasi secara bersamaan [4].

Pada silika gel, pori yang terbentuk tidak seragam, maka digunakan senyawa organik nonsurfaktan seperti D-glukosa, dibenzoyl-L-tartaric acid (DBTA), D-Maltosa digunakan sebagai pore-forming agent untuk membentuk keseragaman ukuran pori dan luas permukaan yang tinggi [5]. Sintesis keseragaman silika termodifikasi menggunakan non surfaktan ini akan menghasilkan silika dengan variasi meso struktur dan dimensi partikel yang dipengaruhi beberapa faktor salah satunya konsentrasi dari zat aditif yang ditambahkan. Penggunaan zat aditif nonsurfaktan diharapkan mudah dihilangkan melalui ekstraksi dengan air, sehingga membuat proses ini lebih ramah

Doi:

lingkungan. Pada penelitian Wei dkk. (1999) [5], telah berhasil dilakukan sintesis mesopori silika dengan penambahan nonsurfaktan D-Glukosa sebagai pore-forming agent. Pada penelitian ini menggunakan 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 sentrifugasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seperangkat alat gelas (Herma dan Pyrex), seperangkat alat refluks, spatula, ayakan 100 mesh, furnace, 26 oven, Hot plate-stirrer, sentrifuge, magnetic stirrer, kertas pH, kertas saring, whatman 42, cawan porselen, pembakar bunsen, neraca analitik merk OHAUS, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) merk Alpha Series Bruker, AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer) Perkin Elmer 3110, Spektrofotometer UV-Vis merk Shimadzu, GSA (Gas Sorption Analyzer) merk Quantachrome 1200e.

Bahan: sekam padi, D-glukosa p.a (BM= 180.18 g/mol) (Merck), HCl 37 %, aquades, NaOH (BM=40 g/mol) (Merck), larutan Benedict, urea (BM=60 g/mol), etanol 96% p.a (Merck), p-dimetilamin benzaldehid (p-DMAB BM = 149.19 g/mol).

2.2. Cara Kerja

Penelitian ini diawali dengan pembuatan abu sekam padi dengan sibakar dalam furnace pada suhu 700°C. Abu sekam padi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk membuat larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) dengan metode refluks dan dilanjutkan dengan pembuatan mesopori silika dengan variasi konsentrasi D-glukosa 15wt% 30wt% 45wt% 60wt% 75wt% 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 variasi konsentrasi D-glukosa 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

2.2.1 Preparasi Bahan

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.

2.2.2 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 [6].

2.2.3 Pembuatan Mesopori Silika

Larutan natrium silikat sebanyak 30 mL ditambahkan dengan larutan D-glukosa 10 mL dengan berbagai variasi yaitu 0%, 15%, 30%, 45%, 60% dan 75% lalu ditambahkan larutan HCl 3M bertetes-tetes hingga pH 7. Setelah dilakukan penambahan HCl tetes demi tetes, pembentukan gel telah berlangsung. Selanjutnya larutan didiamkan pada suhu ruang (proses aging) selama 4 hari. Pendiaman ditutup dengan aluminium foil dengan membuat 10-12 lubang untuk proses penguapan molekul yang bersifat seperti air. Setelah terbentuk gel, dilakukan penyaringan dan residu dikeringkan pada suhu 80°C selama 13 jam. Penghilangan D-glukosa pada silika yang telah dikeringkan dengan metode sentrifugasi. Dengan menimbang 2 gram sampel hasil sintesis dimasukkan ke dalam gelas beker kemudian ditambah aquades 15 mL dengan diaduk menggunakan stirrer selama 15 menit. Sampel dimasukkan ke dalam tabung centrifuge untuk proses pengendapan. Sampel disentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 10 menit. Filtrat diambil kemudian diganti dengan aquades yang baru. Sampel yang sudah diganti filtratnya dimasukkan ke dalam gelas beker dengan diaduk menggunakan stirrer selama 2 jam hingga homogen. Sampel dimasukkan ke alat centrifuge dengan kecepatan 6000 rpm selama 10 menit. Untuk memastikan masih ada atau tidaknya D-glukosa, dapat dilakukan uji Benedict dengan cara memasukkan 3-4 tetes larutan Benedict ke dalam tabung reaksi. Setelah itu tabung reaksi dipanaskan di atas pemanas bunsen. Jika sampel menghasilkan warna merah bata menandakan hasil positif dan masih mengandung D-glukosa, jika bening menandakan hasil negatif. Setelah dilakukan uji Benedict dan hasil dinyatakan negatif. Kemudian dilakukan penyaringan dan dikeringkan pada suhu 115°C selama 2 jam untuk menghilangkan air. Diperoleh mesopori silika hasil sintesis yaitu MS-15, MS-30, MS-45, MS-60, dan MS-75.

2.2.4 Uji Adsorpsi Urea

Pada 0.5 gram masing-masing sampel MS-0, MS-15, MS-30, MS-45, MS60, MS-75, dan MS-Tanpa Ekstraksi dimasukkan ke dalam 10 mL larutan urea 500 mg/L dengan diaduk menggunakan stirrer, kecepatan pengadukan 80 rpm selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan penyaringan, filtrat yang dihasilkan diuji dengan

Doi:

spektrofotometer UV-Vis. Konsentrasi urea yang teradsorp adalah selisih dari konsentrasi awal dengan konsentrasi hasil uji spektrofotometer UV-Vis.

2.2.5 Uji Desorpsi Urea

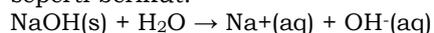
Pengujian desorpsi dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis. Silika teradsorp urea kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C. Masing-masing sampel MS-0, MS-15, MS-30, MS-45, MS-60, MS-75, dan MSTanpa Ekstraksi yang telah teradsorp urea dimasukkan ke dalam 10 mL aquades dengan menggunakan stirrer kecepatan pengadukan 80 rpm. Selanjutnya filtrat diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada λ 430 nm untuk menentukan besaran release urea pada pelarut.

2.2.6 Karakterisasi Mesopori Silika

Karakterisasi mesopori silika dilakukan dengan beberapa metode seperti penentuan gugus fungsi senyawa hasil sintesis menggunakan Fourier Transform Infra-Red (FTIR), untuk mengetahui konsentrasi silika terlarut digunakan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), dan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori spesifik, ukuran dan distribusi pori menggunakan Fourier Transform Infra-Red (GSA) metode Brunauer–Emmett–Teller (BET). Hasil analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi urea yang teradsorpsi dan terdesorpsi pada λ 430 nm.

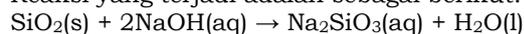
3. Hasil Dan Pembahasan

Kajian analisis awal sebelum sintesis adalah mengukur kandungan silika (AAS) sebagai penentu berat dalam variasi D-glukosa yang ditambahkan. Sebelum membuat larutan natrium silikat (Na_2SiO_3), sekam padi dirangkan terlebih dahulu agar proses pengabuan dalam furnace berjalan dengan sempurna, yang mana abu sekam padi berwarna hitam dapat berubah menjadi abu berwarna putih yang merata. Arang sekam padi dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 700°C selama 4 jam untuk menghilangkan pengotor hidrokarbon [6]. suhu 700°C menghasilkan silika amorf yang memiliki kemurnian yang tinggi dan luas permukaan yang relatif tinggi dengan warna menjadi putih [7]. Larutan natrium silikat sebagai prekursor diperoleh dari abu sekam padi yang direaksikan dengan hidroksida alkali. NaOH merupakan senyawa alkali bersifat sangat basa, ketika dilarutkan dalam air akan melepaskan OH^- reaksi seperti berikut:



Dalam silika (SiO_2), elektronegativitas yang tinggi dari atom O menyebabkan Si menjadi lebih elektropositif dan untuk membentuk intermediet $[\text{SiO}_2\text{OH}]^-$ yang tidak stabil. Kemudian dehidrogenasi akan terjadi, ion hidroksil kedua akan terikat hidrogen untuk membentuk molekul air. Dua ion Na^+ akan menyeimbangkan muatan

negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion SiO_2 untuk membentuk natrium silikat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dari analisis AAS diperoleh kandungan Si dalam abu sekam padi putih halus 40.0187 ppm dan larutan natrium silikat sebanyak 16.342 ppm.

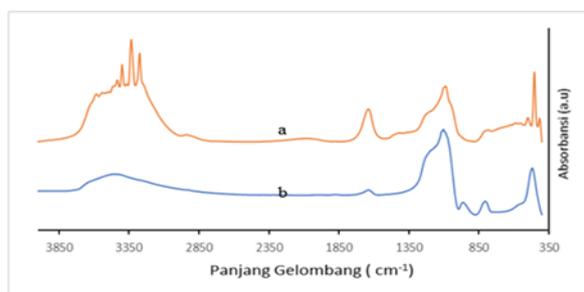
Larutan natrium silikat yang telah diperoleh kemudian ditambahkan dengan larutan D-glukosa masing-masing variasi. D-glukosa digunakan sebagai template karena memiliki kelompok yang sangat polar yang memiliki kelompok -OH. D-glukosa dalam hal ini bertindak sebagai pencetak pori (template). Natrium silikat memiliki pori-pori dan D-glukosa akan memasuki pori-pori tersebut. Hasil yang diperoleh ditambahkan dengan HCl 3M sampai mencapai pH 7. Penambahan HCl untuk larutan natrium silikat menyebabkan pertukaran ion Na^+ dengan H^+ untuk menghasilkan bentuk padat gel yang akhirnya terpisah dari silika terikat molekul air yaitu silika hidrosol atau asam silikat (H_2SiO_3). $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{NaCl}(\text{aq})$ Sintesis berbasis silika dengan metode sol-gel D-glukosa sering digunakan sebagai template. Menurut Wei dkk (1999) [5], sintesis mesopori silika dapat dilakukan dengan penambahan non-surfaktan seperti D-glukosa. D-glukosa disebut sebagai agen pembentuk pori yang bisa dihilangkan dengan ekstraksi pelarut. Dengan penghilangan senyawa organik ini, maka D-glukosa menjadi pengarah pembentukan mesopori silika dengan luas permukaan besar, volume pori dan distribusi ukuran pori yang merata.

Silika Gel terkandung D-glukosa selanjutnya dilakukan penghilangan template dengan Teknik sentrifugasi. Semakin besar penambahan D-glukosa dalam variasi ini diperlukan pencucian yang semakin banyak pula. Indikator penentu D-glukosa telah berhasil dihilangkan adalah dengan uji benedict. D-glukosa merupakan gula yang mengandung gugus aldehid sehingga dapat diidentifikasi keberadaannya dengan menggunakan uji Benedict. Uji positif dari uji Benedict adalah perubahan warna larutan dari bening kebiruan menjadi merah bata, hal itu dikarenakan glukosa dapat mereduksi ion Cu^{2+} menjadi ion Cu^+ yang kemudian mengendap sebagai Cu_2O . Hasil negatif adalah saat larutan berwarna bening kebiruan yang artinya template berhasil dihilangkan. Secara fisik bahwa mesopori silika dengan variasi konsentrasi D-glukosa 15 wt%, 30 wt%, 45 wt%, 60 wt%, 75 wt% memiliki ukuran partikel yang berbeda, seiring bertambahnya konsentrasi D-glukosa yang ditambahkan semakin kasar partikel yang dihasilkan.

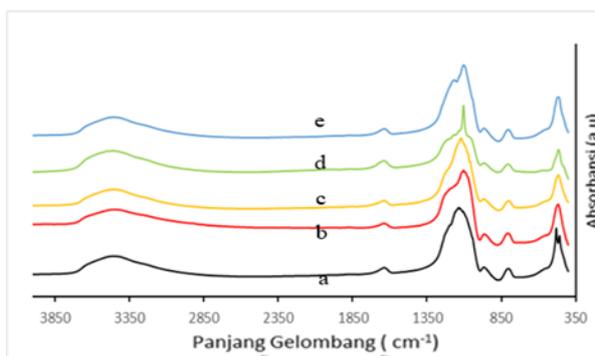
Hasil karakterisasi FTIR silika hasil sintesis sebelum dan setelah ekstraksi menunjukkan bahwa pada mesopori silika sebelum ekstraksi terdapat puncak pada bilangan gelombang 2890 cm^{-1} yang merupakan vibrasi lebah dari C-H pada D-glukosa. Pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} dan 1705 cm^{-1} kedua puncak mengalami penurunan intensitas akibat pengeringan di

Doi:

mana gugus OH yang turut menguap. Proses sentrifugasi mengakibatkan D-glukosa larut bersama air. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan data elarutan D-glukosa dalam air (909 g/L).



Gambar 1. Spektrogram FTIR silika gel (a) Sebelum sentrifugasi dan (b) Setelah sentrifugasi

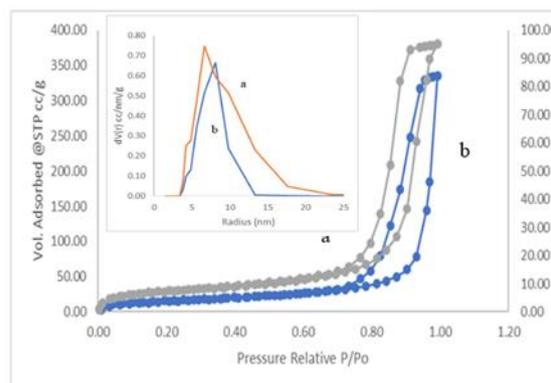


Gambar 2. Spektrogram FTIR mesopori silika dengan variasi konsentrasi D-glukosa (a) 15 wt%, (b) 30 wt%, (c) 45 wt%, (d) 60 wt%, (e) 75 wt%

Spektrogram FTIR dari silika hasil kelima variasi secara general penambahan D-glukosa sebagai template tidak mengubah komponen yang ada pada mesopori silika dengan proses sol-gel. Secara spesifik penambahan D-glukosa pada mesopori silika hasil sintesis kelima variasi menunjukkan perbedaan puncak pada bilangan gelombang 900-1300 cm^{-1} . Selanjutnya dilakukan dekonvolusi untuk mendapatkan informasi yang lebih detail sehingga dapat diketahui pengaruh dari variasi konsentrasi D-glukosa yang ditambahkan. Dekonvolusi dilakukan dengan menggunakan software “fityk” dengan menyamakan HWHM tiap komponen puncak. Rasio Si-OH/Si-O-Si dapat ditentukan dari dekonvolusi yang telah dilakukan, dengan menghitung luas area masing masing Si-OH dan Si-O-Si yang telah disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil dekonvolusi puncak Si-OH/Si-O-Si dan rasio Si-OH/Si-O-Si pada mesopori silika.

Mesopori Silika (wt%)	Si-OH	Si-O-Si	%Si-OH/Si-O-Si
	Luas Area	Luas Area	
15	92,533	4737,371	1.95%
30	149,387	4462,007	3.34%
45	96,831	4278,669	2.26%
60	66,881	3141,903	2.13%
75	129,453	5064.709	2.55%



Gambar 3. Grafik isoterm adsorpsi/desorpsi N_2 mesopori silika dan Distribusi Ukuran Pori Silika dengan konsentrasi D-glukosa (a) 30wt%, (b) 60wt%

Karakterisasi GSA menggunakan metode BET menunjukkan penurunan luas permukaan, karena semakin banyak D-glukosa ditambahkan semakin banyak ikatan hidrogen antara OH dari D-glukosa dengan Si-OH maka saat HCl ditambahkan akan memulai reaksi kondensasi dengan bertindak sebagai benih nukleasi membentuk partikel koloid, pembentukan inti yang lebih cepat menghasilkan kristal yang kasar sehingga menurunkan luas permukaan. Grafik tersebut berada pada klasifikasi kurva isotermal tipe IV dengan tipe hysteresis loop H1. Distribusi ukuran pori pada mesopori variasi penambahan D-glukosa 30 wt% dan 60 wt% paling dominan pada 6.6 nm dan 8.1 nm. Dari karakterisasi ini juga memberikan informasi berupa volume pori diameter pori dan luas permukaan seperti yang telah disajikan pada **Tabel 2**.

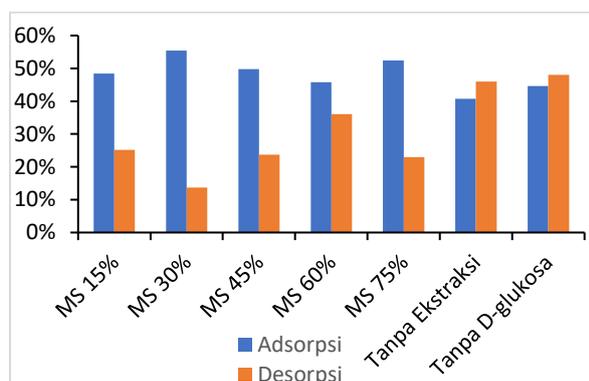
Tabel 2. Volume pori, diameter pori dan luas permukaan Mesopori Silika dengan konsentrasi D-glukosa 30 wt% dan 60 wt%.

Mesopori Silika	Volume Pori (m^3/g)	Diameter Pori (nm)	Luas Permukaan (m^2/g)
D-glukosa 30 wt%	5.178×10^{-7}	18.0027	57.527
D-glukosa 60 wt%	1.472×10^{-7}	11.3043	26.045

Berdasarkan data analisis GSA pada sampel MS-30 dan MS-60, penambahan D-glukosa dalam sintesis silika berukuran meso berhasil dilakukan dan diperoleh distribusi pori yang merata. Kemampuan adsorpsi tergantung pada jumlah

Doi:

gugus silanol yang ada pada permukaan silika seperti pada **Tabel 2**, sehingga dimungkinkan adsorpsi terjadi secara fisik dengan adanya ikatan hidrogen antara gugus silanol dan gugus N dari urea. Kemampuan adsorpsi tergantung pada jumlah gugus silanol yang ada pada permukaan silika seperti pada **Tabel 2**, sehingga dimungkinkan adsorpsi terjadi secara fisik dengan adanya ikatan hidrogen antara gugus silanol dan gugus N dari urea. Kemungkinan lain molekul urea yang sudah teradsorpsi pada permukaan sampel akan menimbulkan halangan sterik, mencegah molekul urea mencapai permukaan [8]. Selanjutnya adsorpsi menjadi tergantung pada volume pori. Molekul urea yang terjebak dan tidak mengalami ikatan hidrogen dengan gugus silanol, masing-masing gugus amin antar urea akan menyebabkan kristalisasi urea. Selama kristalisasi urea, pusat oksigen urea membentuk ikatan hidrogen dengan dua lainnya menciptakan jaringan kristal urea [9]. Kemampuan adsorpsi paling tinggi pada MS-30 yaitu 55.40% dan kemampuan desorpsi paling rendah pada MS-30 13.72%.



Gambar 4. Kemampuan Adsorpsi dan Desorpsi

Kesimpulan

Mesopori silika dapat disintesis dari abu sekam padi dengan penambahan zat aditif D-glukosa sebagai *pore-forming agent*. Pori dihasilkan dengan penghilangan zat aditif menggunakan metode sentrifugasi. Variasi konsentrasi D-glukosa yang diberikan berpengaruh terhadap pori silika gel. Berdasarkan hasil GSA, menghasilkan pori yang berukuran meso pada sampel MS-30 (18 nm) dan MS-60 (11.3 nm). Adsorpsi Urea dengan mesopori silika yang dihasilkan yaitu nilai persentase daya adsorpsi MS-30 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi yang lainnya. Desorpsi Urea dengan mesopori silika yang dihasilkan yaitu nilai persentase daya desorpsi MS-30 paling rendah dibandingkan konsentrasi lainnya.

Daftar Pustaka

[1] Kalapathy, Uruthira, A Proctor, John Shultz, A simple method for production of pure silica from rice hull ash, *Bioresource technology*,

- 73, 3, (2000), 257-262.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- [2] Evan, Evan, Pardoyo Pardoyo, Adi Darmawan, Pembuatan Nanosilika dari Abu Sekam Padi pada Variasi pH Sol Gel, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2, 1, (2022), 8-13
<https://doi.org/10.14710/gjec.2022.14720>
- [3] Febriani, Intan Wahyu, Sriyanti Sriyanti, Sritun Sritun, Enkapsulasi Vitamin C Dalam Silika dengan Prekursor TEOS/MTES/PVA melalui Proses Sol-Gel, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2, 1, (2022), 25-30
<https://doi.org/10.14710/gjec.2022.14719>
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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, 1, (2013), 1-10
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-58>
- [7] Rafiee, Ezzat, Shabnam Shahebrahimi, Mostafa Feyzi, Mahdi Shaterzadeh, Optimization of synthesis and characterization of nanosilica produced from rice husk (a common waste material), *International nano letters*, 2, 1, (2012), 1-8
<https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-29>
- [8] Cheah, Wee-Keat, Yoke-Leng Sim, Fei-Yee Yeoh, Amine-functionalized mesoporous silica for urea adsorption, *Materials Chemistry and Physics*, 175, (2016), 151-157
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.03.007>
- [9] Godfrey, Peter D, Ronald D Brown, Andrew N Hunter, The shape of urea, *Journal of molecular structure*, 413, (1997), 405-414
[https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(97\)00176-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(97)00176-2)