



## Pengaruh pH Terhadap Sintesis Silika Gel dari Limbah Geotermal dengan Penambahan Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) untuk Adsorpsi Rhodamine B

Aulia Ekadenti, Pardoyo\*, Sriyanti

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

\*Corresponding author: [pardoyoku@gmail.com](mailto:pardoyoku@gmail.com)

Received: 11 Oktober 2022 / Accepted: 25 Mei 2023

Available online: 30 Mei 2023

### Abstrak

Penelitian tentang pengaruh pH gelasi terhadap karakteristik silika gel dari limbah geotermal telah dilakukan. Silika dari limbah geothermal diekstraksi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) untuk menghasilkan larutan natrium silikat. Sintesis silika gel dilakukan menggunakan metode sol-gel dari natrium silikat dan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB). Kondisi sintesis dimodifikasi dengan memvariasikan pH gelasi pada 3, 5, 7, 9, dan 11 dengan menambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ke dalam campuran natrium silikat/CTAB. Silika hasil sintesis digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi Rhodamine B. Kondisi adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal pada 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 ppm. Berdasarkan spektra FTIR (Fourier Transform Infra Red), silika gel hasil sintesis pada rentang pH gelasi yang diteliti (3-11) mengandung gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Analisis GSA (*Gas Sorption Analyzer*) mengindikasikan silika gel yang diperoleh merupakan padatan mesopori dengan distribusi ukuran pori pada SM-3 diamati pada ukuran 2 nm. Silika hasil sintesis pH 3 memiliki luas permukaan paling tinggi 61,74 m<sup>2</sup>/g, volume pori total 0,07 cm<sup>3</sup>/g, dan diameter pori rata-rata 2,23 nm. Analisis spektrofotometer UV-Vis menunjukkan kemampuan adsorpsi tertinggi dicapai oleh SM-3 sebesar 89,28%.

**Kata Kunci:** Silika gel, Limbah geotermal, CTAB, Adsorpsi, Rhodamine B

### 1. Pendahuluan

Limbah padat panas bumi umumnya mengandung silika dalam bentuk amorf yang dapat digunakan sebagai prekursor bahan silika [1]. Di lapangan PLTPB, pengendapan silika menyebabkan permasalahan dan dapat mengganggu proses pembangkitan listrik. Silika ini jumlahnya cukup banyak dan merupakan potensi sumber silika yang murah [2]. Limbah geotermal mengandung sekitar 90-98% silika amorf dan beberapa senyawa lain, maka dari itu sangat berpotensi dalam pembuatan silika gel [3].

Sintesis silika gel dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan metode sol-gel, teknik microwave, metode Stöber dan metode Liquid Crystal Template Approach (LCTA) [4]. Metode sol-gel merupakan metode yang paling umum digunakan pada sintesis silika gel. Metode sol-gel dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu homogenitas yang baik, kemurnian tinggi, suhu yang relatif rendah, tidak ada reaksi dengan senyawa residu, dan kehilangan penguapan yang minimal [5].

Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas material silika gel dapat dilakukan dengan memodifikasi prosedur sintesis. Salah satu caranya dengan menambahkan surfaktan saat sintesis silika gel. Surfaktan seperti *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) (kationik), *sodium dodecyl sulfate* (SDS) (anionik) dapat digunakan sebagai sumber dari cetakan material mesopori, karena panjang rantai hidrofobik pada surfaktan dapat mengontrol ukuran atau diameter pori [6]. Pada penelitian Vazquez dkk. (2017), telah berhasil melakukan sintesis silika gel dari TEOS dengan penambahan surfaktan kationik CTAB sebagai agen pencetak mesopori menggunakan metode sol-gel. Pada penelitian tersebut menghasilkan luas permukaan spesifik sebesar 585 m<sup>2</sup>/g, volume pori sebesar 0,49 cm<sup>3</sup>/g, diameter pori 2,5-2,8 nm dan menghilangkan surfaktan dengan cara kalsinasi pada suhu 550°C selama 3 jam [7].

Modifikasi permukaan adsorben dengan penambahan suatu surfaktan merupakan salah satu cara untuk memaksimalkan kemampuan

Doi:

adsorpsi. Salah satu zat yang dapat dijerap (adsorbat) oleh adsorben silika gel adalah zat warna. Salah satu zat yang warna yang sering digunakan oleh industri tekstil adalah zat warna Rhodamin B. Senyawa ini mengandung gugus amino yang bersifat basa dan adanya inti benzena, sehingga Rhodamin B termasuk senyawa yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme secara alami [8].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan sebagai upaya pemanfaatan limbah geotermal dari PLTPB Dieng yang dijadikan sebagai bahan awal sintesis silika gel dengan penambahan surfaktan CTAB sebagai agen pencetak pori disertai dengan adanya variasi pH gelas. Silika gel hasil sintesis akan diuji kemampuan adsorpsinya dengan melakukan adsorpsi zat pewarna Rhodamin B.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat:** Seperangkat alat gelas penelitian (Herma dan Pyrex), neraca analitik (Ohaus), seperangkat alat refluks, ayakan 150 mesh, alu dan mortar, cawan porselen, kertas pH, kertas saring Macherey-Nagel ukuran 110 nm, *magnetic stirrer*, oven ARISTON tipe F-16-EM-IN-02, furnace Vulcan 3-130, hot plate-stirrer, neraca analitik *Ohaus*, *shaker* Thermo Scientific™ MaxQ 2000, XRF (*X-Ray Fluorescence*) ICEL 2800.M04, AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) Parkin Elmer Analyst 200, FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) Parkin Elmer Spektrum v10, Spektrofotometer UV-Visible Thermo Scientific™ Genesys™ 10S, GSA (Gas Sorption Analyzer) Quantachrome NovaWin v11.0

**Bahan:** limbah geotermal, NaOH(Merck), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 96% (Merck), akuades, CTAB (Merck), Rhodamin B (Merck).

## 2.2. Cara Kerja

### 2.2.1 Preparasi Limbah Geotermal

Limbah geotermal diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) Dieng, Jawa Tengah. Limbah dicuci menggunakan air kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C. Setelah kering, limbah geothermal digerus dan diayak dengan ayakan 150 mesh hingga menjadi serbuk. Serbuk sampel kemudian dikalsinasi selama 4 jam.

### 2.2.2 Pembuatan Natrium Silikat

Sebanyak 30 gram serbuk limbah geothermal direfluks dengan menggunakan 450 mL NaOH 3 M pada suhu 80°C selama 2 jam disertai dengan pengadukan konstan menggunakan magnetic stirrer. Selanjutnya larutan hasil refluks didinginkan pada suhu kamar dan disaring menggunakan kertas saring Macherey-Nagel ukuran 110 nm. Filtrat berupa natrium silikat yang digunakan sebagai prekursor untuk proses sintesis silika gel.

### 2.2.3 Sintesis Silika Gel

CTAB sebanyak 0,082 gram dilarutkan ke dalam 250 mL akuades pada suhu kamar dengan pengadukan konstan selama 30 menit. Setelah itu 30 mL larutan natrium silikat hasil sintesis ditambahkan secara perlahan-lahan ke dalam 30 mL larutan CTAB disertai pengadukan konstan menggunakan magnetic stirrer. Kemudian pH gelas diatur dengan penambahan larutan asam sulfat 1 M secara tetes demi tetes ke dalam larutan tersebut untuk menginisiasi reaksi hidrolisis-kondensasi hingga didapat pH yang berbeda, yaitu 3, 5, 7, 9 dan 11. Perubahan nilai pH dipantau dengan menggunakan kertas pH. Setelah dilakukan penambahan asam sulfat, pembentukan gel berlangsung. Gel yang dihasilkan didiamkan pada suhu kamar. Setelah itu dicuci dengan akuades dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 6 jam. Surfaktan dihilangkan dengan cara kalsinasi selama 4 jam. Hasil yang diperoleh berupa silika gel termodifikasi CTAB (SM).

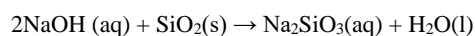
### 2.2.4 Uji Adsorpsi Rhodamine B

Sebanyak 0,1 gram sampel silika termodifikasi CTAB hasil sintesis dimasukkan ke dalam 20 mL larutan Rhodamin B. Interaksi dilakukan pada variasi konsentrasi larutan Rhodamin B yaitu 20, 40, 60, 80, 100, 120 ppm dengan cara diaduk dengan shaker selama 2 jam. Kemudian endapan dipisahkan dengan cara disaring menggunakan kertas saring Macherey-Nagel ukuran 110 nm. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Visible.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1 Larutan Natrium Silikat

Larutan natrium silikat sebagai prekursor diperoleh dari limbah geotermal direaksikan dengan NaOH. NaOH dipilih sebagai pelarut karena kelarutan silika tinggi pada pH di atas 10 dan rendah pada pH di bawah 10, sehingga memungkinkan silika lebih baik diekstraksi dalam kondisi alkali [9]. Persamaan reaksi yang terjadi pada pembentukan natrium silikat ditunjukkan pada persamaan berikut:



### 3.2 Sintesis Silika Gel

Pembuatan silika gel dilakukan melalui pengendapan silika dengan menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pada saat penambahan asam, larutan terbentuk sol yang kemudian berubah menjadi gel. Monomer-monomer berupa asam silikat berpolimerisasi membentuk dimer, trimer dengan cepat kemudian menjadi polimer silikat melalui gugus Si-OH yang saling berikatan satu sama lain membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) hingga terbentuk hidrogel [10].

Hidrogel yang terbentuk selanjutnya didiamkan selama pada suhu ruang untuk melalui tahap aging atau pematangan gel. Selama

## Doi:

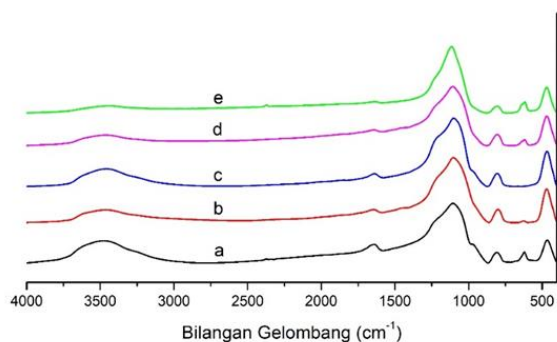
aging terjadi proses sineresis, yaitu proses pengerasan gel yang terjadi secara spontan tanpa adanya proses penguapan. Sineresis terjadi karena pembentukan dan pertumbuhan gel yang disertai dengan pelepasan molekul  $H_2O$  [11]. Rendemen silika gel yang disintesis pada pH 3, 5, 7, 9, dan 11 secara berurutan sebesar 5 g, 3,3 g, 1,8 g, 2,5 g dan 1,7 g. Semakin tinggi pH, rendemen yang dihasilkan semakin kecil beratnya disebabkan oleh sedikitnya jumlah larutan  $H_2SO_4$  yang ditambahkan ke dalam larutan. Semakin banyak larutan  $H_2SO_4$  yang ditambahkan maka rendemen silika gel yang dihasilkan akan semakin banyak pula.

Surfaktan CTAB yang ditambahkan berfungsi sebagai agen pembentuk pori supaya pori berukuran lebih seragam. Pori pada material silika yang terbentuk berasal dari ruang yang diisi surfaktan CTAB sebelum dihilangkan. Adanya penambahan CTAB dalam pembentukan silika gel mempengaruhi warna silika gel yang dihasilkan. Pada sampel SM-3, SM-5, dan SM-7 berwarna putih bersih, sedangkan SM-9 dan SM-11 berwarna abu-abu kehitaman.

Perubahan warna terjadi kemungkinan disebabkan karena pada pH basa, muatan spesies silika cenderung lebih negatif dari pada pH netral atau asam. Menurut Trindade dkk., (2019), sintesis yang terjadi pada keadaan di atas titik isoelektrik silika (pH = 2), spesies silika akan semakin bermuatan negatif seiring dengan bertambahnya pH [12]. Dengan semakin negatifnya muatan spesies silika, maka interaksi elektrostatik antara muatan negatif spesies silika dengan muatan positif CTAB cenderung semakin kuat apabila dibandingkan dengan pH asam atau netral (pH 3, 5, 7). Ketika dilakukan kalsinasi, hasil silika gel yang berwarna abu kehitaman terbentuk akibat senyawa karbon yang terkena panas pada permukaan silika.

### 3.3 Hasil Karakterisasi FTIR

Analisis FTIR dari silika gel termodifikasi CTAB dapat dilihat pada **Gambar 1** yang menunjukkan variasi pH tidak berpengaruh terhadap gugus fungsi yang ada dalam sampel silika gel.



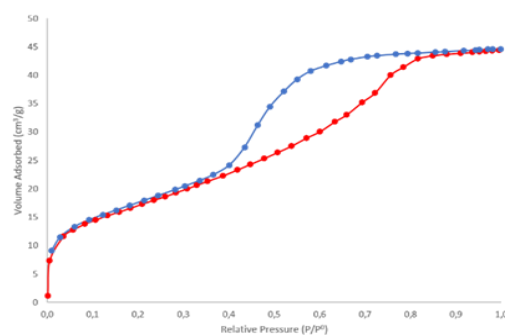
**Gambar 1.** Spektra FTIR silika gel termodifikasi CTAB (a) pH 3 (b) pH 5 (c) pH 7 (d) pH 9 (e) pH 11

Puncak melebar pada daerah bilangan gelombang 3400-3500  $cm^{-1}$  menunjukkan

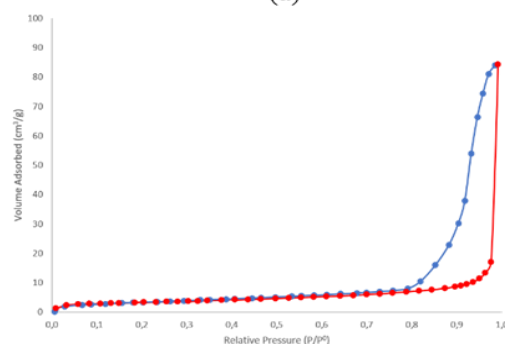
overlapping dari vibrasi ulur gugus O-H dari ikatan hidrogen molekuler air (H-O-H...H) dan vibrasi ulur Si-OH dari permukaan silanol yang berikatan hidrogen dengan molekul air (-SiOH...H<sub>2</sub>O) [13]. Keadaan tersebut didukung dengan munculnya pita serapan pada bilangan gelombang 1630  $cm^{-1}$  dengan intensitas rendah yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk -OH dari molekul air [14]. Serapan vibrasi ulur asimetri dan simetri dari Si-O-Si ditunjukkan pada daerah 1102  $cm^{-1}$  dan 806  $cm^{-1}$  [15]. Adanya pita serapan pada bilangan gelombang 463-469  $cm^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk Si-O-Si [16]. puncak dengan intensitas rendah pada bilangan gelombang 617  $cm^{-1}$  yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk Si-O-Si [17]. Pada semua variasi pH tidak memunculkan puncak pada bilangan gelombang 960  $cm^{-1}$  yang mengindikasikan adanya gugus Si-OH. Hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya perlakuan kalsinasi saat proses penghilangan surfaktan CTAB dan waktu pendiaman gel sehingga gugus Si-OH saling berikatan satu sama lain membentuk ikatan Si-O-Si.

### 3.4 Hasil Karakterisasi GSA

Karakteristik pori silika gel dapat diperkirakan dengan mengamati bentuk kurva isothermal adsorpsi-desorpsi dan *hysteresis loop*. Pada **Gambar 2** menunjukkan hasil karakterisasi GSA adsorpsi-desorpsi gas nitrogen dari silika gel termodifikasi CTAB yang dijabarkan dengan kurva isothermal adsorpsi-desorpsi



(a)



(b)

**Gambar 2.** Kurva isothermal adsorpsi-desorpsi pada silika termodifikasi CTAB dengan variasi pH (a) SM-3 (b) SM-11

## Doi:

Menurut klasifikasi IUPAC terbaru, SM-3 (pH=3) dan SM-11 (pH=11) termasuk isothermal tipe IVa dengan tipe *hysteresis loop* H2b (a) dan H3 (b) [18]. *Hysteresis loop* H2b yang terdapat pada SM-3 dengan tekanan relatif ( $P/P^0$ ) 0,4-0,8 disebabkan oleh kondensasi kapiler yang mengindikasikan pori material SM berbentuk seperti botol tinta (*ink-bottle*). Pada SM-11 (pH=11) memiliki bentuk *hysteresis loop* tipe H3 pada tekanan relatif ( $P/P^0$ ) 0,8-1,0 mengindikasikan adanya pori berukuran meso pada material SM-11 yang memiliki pori-pori berbentuk celah (*slit*) dengan ukuran yang tidak seragam [19].

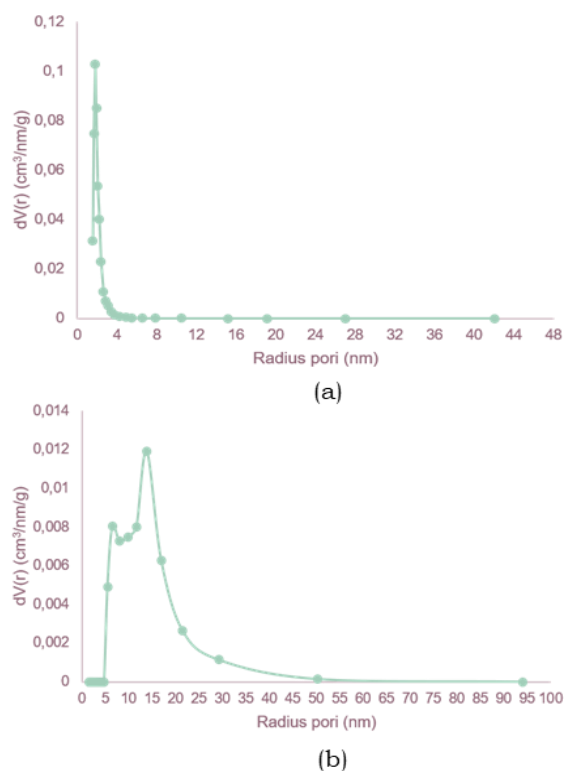
Luas permukaan, volume total pori dan ukuran pori rata-rata dari variasi pH pada material SM-3 dan SM-11 disajikan dalam Tabel 1. Pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa silika gel termodifikasi CTAB dengan luas permukaan yang lebih besar dapat diperoleh pada pH asam.

**Tabel 1** Hasil Pengukuran GSA Silika Termodifikasi CTAB (SM)

Jenis Sampel	pH	Luas Permukaan ( $m^2/g$ )	Volume Total Pori ( $cm^3/g$ )	Ukuran Pori Rata-Rata (nm)
SM-3	3	61,74	0,07	2,23
SM-11	11	11,47	1,3	22,7

Silika gel yang disintesis pada kondisi pH basa memiliki luas permukaan yang lebih kecil daripada kondisi pH asam. Penurunan luas permukaan tersebut diakibatkan karena adanya pengaruh pH pada struktur pori silika gel yang dapat dikaitkan dengan laju hidrolisis dan kondensasi. Pada pH asam, laju hidrolisis berlangsung cepat sehingga pada tahap awal pembentukan sol, gugus Si-OH yang dihasilkan sangat banyak. Hal ini mengarah pada pembentukan polimer  $SiO_2$  dengan luas permukaan yang besar dan ukuran pori yang kecil. Pada pH basa, laju kondensasi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan laju hidrolisis, yang mana hal tersebut menjadikan partikel  $SiO_2$  beragregasi membentuk silika dengan ukuran partikel yang lebih besar sehingga menghasilkan ukuran pori yang besar pula.

Pada Gambar IV.8 menunjukkan silika gel yang dipreparasi pada keadaan pH 3 memiliki struktur mesopori dengan radius ukuran pori sekitar 2-42 nm, sehingga bisa dikatakan silika gel pada pH 3 memiliki distribusi ukuran pori seragam yang ditunjukkan dengan adanya satu puncak sempit di radius pori sekitar 1,7 hingga 3 nm. Silika gel yang dipreparasi pada pH 11 memiliki struktur mesopori dan makropori, dengan radius ukuran pori berkisar antara 2-95 nm, sehingga dapat dikatakan pada keadaan pH 11 distribusi ukuran pori kurang seragam. Pada penelitian Faustova dkk., (2017), menghasilkan silika termodifikasi CTAB yang memiliki struktur mikropori dan mesopori pada kondisi pH 2 dengan ukuran pori sebesar 2 nm [20].

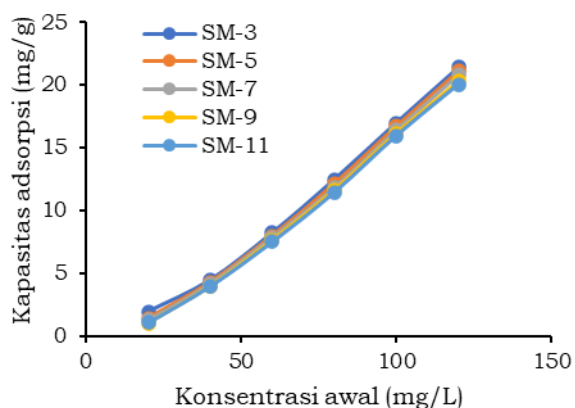


**Gambar 3.** Kurva distribusi ukuran pori pada (a) SM-3 (b) SM-11

### 3.5 Adsorpsi Rhodamine B

Adsorpsi dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi yang dihasilkan dalam satuan persen ppm. Hasil adsorpsi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 553,5 nm. Kondisi pH optimum ditunjukkan pada nilai persentase adsorpsi yang tinggi.

Berdasarkan **Gambar 4**, kemampuan adsorpsi paling tinggi dicapai oleh SM-3 yaitu 21,43 mg/g dan paling rendah terjadi pada SM-11 yaitu 20,05 mg/g dan menunjukkan hasil tertinggi pada konsentrasi 120 ppm.



**Gambar 4.** Grafik adsorpsi Rhodamin B oleh silika gel termodifikasi CTAB (SM)

## Doi:

Pada rentang konsentrasi 20 hingga 120 ppm, presentase konsentrasi teradsorpsi terus meningkat. Namun, konsentrasi 120 ppm belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi optimum karena molekul adsorbat belum cukup mengisi semua situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Kemampuan adsorpsi yang lebih besar masih memungkinkan diperoleh pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Kemampuan adsorpsi pada silika gel terhadap Rhodamin B cenderung berkurang dari SM-3 hingga SM-11. Penurunan kemampuan adsorpsi ini berkaitan dengan nilai luas permukaan dari silika gel yang dihasilkan. Ketika luas permukaan semakin kecil, maka kemampuan adsorpsinya juga akan semakin menurun. Menurut Ościk (1982), banyaknya sisi aktif berbanding lurus dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat [21].

Selain melalui sisi aktif permukaan, kinerja adsorpsi suatu adsorben juga sangat bergantung pada ukuran pori dan distribusi ukuran pori. Ketika ukuran pori adsorben mendekati ukuran molekul adsorbat maka kesempatan untuk terjerap akan semakin tinggi. Apabila distribusi ukuran pori seragam, maka kemampuan adsorpsi meningkat karena jumlah Rhodamin B yang terjerap pada adsorben akan semakin banyak.

#### 4. Kesimpulan

Silika gel berhasil disintesis dari limbah geotermal dengan penambahan surfaktan CTAB. Variasi pH berpengaruh terhadap karakteristik silika gel termodifikasi surfaktan CTAB hasil sintesis. Berdasarkan hasil GSA, SM-3 memiliki luas permukaan sebesar 61,74 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori rata-rata 2,23 nm dan SM-11 memiliki luas permukaan sebesar 11,47 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori rata-rata 22,7 nm. Silika gel yang termodifikasi CTAB dengan variasi pH gelas 3 merupakan variasi pH terbaik untuk adsorpsi Rhodamin B dengan kemampuan adsorpsi sebesar 89,28% pada konsentrasi Rhodamin B 120 ppm.

#### Daftar Pustaka

- [1] Pambudi, Nugroho Agung, Ryuichi Itoi, Rie Yamashiro, Boy Yoseph CSS Syah Alam, Loren Tusara, Saeid Jalilinasraby, Jaelani Khasani, The behavior of silica in geothermal brine from Dieng geothermal power plant, Indonesia, *Geothermics*, 54, (2015), 109-114 <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.12.003>
- [2] Engineering, Consulting Firms Association, Preventions and solutions for the scale problem at the geothermal power plant and CDM study in Indonesia, *Tohoku Electric Power Co*, (2006),
- [3] Jenie, SN, Almira Ghaisani, Yudia P Ningrum, Anis Kristiani, Fauzan Aulia, Himawan TMB Petrus, Preparation of silica nanoparticles from geothermal sludge via sol-gel method, *AIP Conference Proceedings*, 2018 <https://doi.org/10.1063/1.5064968>
- [4] 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>
- [5] Singh, Lok P, Sriman K Bhattacharyya, Rahul Kumar, Geetika Mishra, Usha Sharma, Garima Singh, Saurabh Ahalawat, Sol-Gel processing of silica nanoparticles and their applications, *Advances in colloid and interface science*, 214, (2014), 17-37 <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.10.007>
- [6] Mohamad, NF, NH Abdul Rani, M Onn, SI Sayed Jamaludin, ASI Ahmad Shafiq, WMY Wan Yeit, NA Zulkifli, Synthesis and characterization of amine-impregnated silica gel for potential carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) absorption, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019
- [7] Vazquez, Naiara I, Zoilo Gonzalez, Begona Ferrari, Yolanda Castro, Synthesis of mesoporous silica nanoparticles by sol-gel as nanocontainer for future drug delivery applications, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 56, 3, (2017), 139-145 <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.03.002>
- [8] Setiyanto, Setiyanto, Indah Riwayat, Laeli Kurniasari, Adsorpsi Pewarna Tekstil Rodhamin B Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi, *Majalah Ilmiah Momentum*, 11, 1, (2015),
- [9] Scott, Raymond Peter William, Silica gel and bonded phases: their production, properties, and use in LC, (1993),
- [10] DS, Robi Maulana Saputra, Nelly Wahyuni Rudiyanisya, SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA GEL DARI LIMBAH KACA TERMODIFIKASI ASAM STEARAT, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3, 3,
- [11] Scherer, George W, Mechanics of syneresis I. Theory, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 108, 1, (1989), 18-27 [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(89\)90328-1](https://doi.org/10.1016/0022-3093(89)90328-1)
- [12] Trindade, Fabiane, Mario Jose Politi, Sol-gel chemistry—deals with sol-gel processes, in: *Nano Design for Smart Gels*, Elsevier, 2019, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814825-9.00002-3>
- [13] Brinker, C Jeffrey, George W Scherer, *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*, Academic press, 2013,
- [14] Lenza, Rubia FS, Wander Luiz Vasconcelos, Preparation of silica by sol-gel method using formamide, *Materials Research*, 4, (2001), 189-194 <https://doi.org/10.1590/S1516-14392001000300008>
- [15] Nuryono, Nuryono, Narsito Narsito, Effect of acid concentration on characters of silica gel synthesized from sodium silicate, *Indonesian Journal of Chemistry*, 5, 1, (2010), 23-30

## Doi:

- [16] 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, (2012), 1-8  
<https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-29>
- [17] Jamil, MT, J Ahmad, SH Bukhari, ME Mazhar, U Nissar, AJ RAOB, H Ahmad, G Murtaza, Atmospheric pressure glow discharge (APGD) plasma generation and surface modification of aluminum and silicon Si (100), *Dig. J. Nanomater. Biostructures*, 12, 2, (2017), 595-604
- [18] Thommes, Matthias, Katsumi Kaneko, Alexander V Neimark, James P Olivier, Francisco Rodriguez-Reinoso, Jean Rouquerol, Kenneth SW %J Pure Sing, Applied Chemistry, Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), 87, 9-10, (2015), 1051-1069
- [19] Chang, Shan-Shan, Bruno Clair, Julien Ruelle, Jacques Beauchêne, Francesco Di Renzo, Françoise Quignard, Guang-Jie Zhao, Hiroyuki Yamamoto, Joseph Gril, Mesoporosity as a new parameter for understanding tension stress generation in trees, *Journal of experimental botany*, 60, 11, (2009), 3023-3030  
<https://doi.org/10.1093/jxb/erp133>
- [20] Faustova, Zh V, Yu G Slizhov, Effect of solution pH on the surface morphology of sol-gel derived silica gel, *Inorganic Materials*, 53, (2017), 287-291  
<https://doi.org/10.1134/S0020168517030050>
- [21] Oscik, J, *Adsorption*, (1982), Halsted Press, New York: E. Hardwood