

Sintesis Dan Karakterisasi Silika Aerogel Sebagai Absorben Tumpahan Minyak

Muhammad Khaishar Mahardhika*, Muldarisnur

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 22 Juni 2021

Direvisi: 14 Juli 2021

Diterima: 23 Juli 2021

Kata kunci:

APD

Pasir Laut

Silika Aerogel

Sol-Gel

TMCS

Keywords:

APD

Sea Sand

Silica Aerogel

Sol – Gel

TMCS

Penulis Korespondensi:

Muhammad Khaishar Mahardhika

Email:

kaisarmahardhika1@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis silika aerogel berbahan dasar pasir laut dengan penambahan *trimethylchlorosilane* (TMCS) sebagai absorben tumpahan minyak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan TMCS terhadap karakteristik silika aerogel. Silika aerogel disintesis menggunakan metode sol-gel dan proses pengeringan *ambient pressure drying* (APD). Waterglass yang disintesis dari pasir laut dan larutan NaOH. Gel silika selanjutnya dikeringkan dan direndam dalam metanol untuk memperoleh alkogel. Alkogel kemudian direndam kembali dengan campuran larutan TMCS: heksana: metanol selama 24 jam pada suhu 50 °C, Selanjutnya direndam dalam larutan heksana dan kemudian dikeringkan selama 24 jam pada suhu ruang, 2 jam pada suhu 50 °C, dan 1 jam pada suhu 120 °C. sehingga menghasilkan aerogel. Karakterisasi meliputi uji absorpsi minyak, porositas, analisa gugus fungsi, uji sudut kontak, dan analisa morfologi silika aerogel. Kapasitas absorpsi minyak silika aerogel paling tinggi didapatkan 5 kali masa keringnya, sedangkan porositas paling tinggi didapatkan yaitu 31,5 %. Analisis gugus fungsi menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang 789,86 cm^{-1} yang merupakan vibrasi -OSiCH₃ dan pada 549,72 cm^{-1} yang menandakan gugus -Si(CH₃)₃. Dari pengujian sudut kontak didapatkan nilai paling tinggi 92,5° yang menandakan silika aerogel belum bersifat hidrofobik. Pada analisis morfologi permukaan menggunakan SEM pada perbandingan 1: 1: 1 dan 2: 1: 1 didapatkan ukuran partikel 10,513 μm dan 14,244 μm .

Silica aerogel made from the primary sand beach has been synthesized with the addition trimethylchlorosilane (TMCS) as an absorbent oil spill. This study has purposed for to analyze the addition of TMCS to aerogel silica characteristics. Aerogel silica has been synthesized using sol-gel method and ambient pressure drying methods (APD). Waterglass synthesized form sea sand and NaOH solution. Silica gel then dried and soaked in methanol to get alcogel. Alcolgel then soaked with TMCS: Hexana: Methanol as long 24 hours at 50 °C, Subsequently soaked in a hexane solution and then dried to produce an aerogel. The characterization has been done: oil absorption, porosity, functional group analysis, contact angle test, and silica aerogel morphology analysis. The highest oil absorption capacity is five times by its dry mass, and its highest porosity is 31.5 %. Functional group analysis shows the absorption pick on the wavenumber 789.86 cm^{-1} showing the vibration-OSiCH₃ and the wave number 549.2 cm^{-1} showing the vibration – Si(CH₃)₃. From the contact angle test, the highest value was 92.5° which indicated that the silica aerogel was not yet hydrophobic. On morphology surface analysis using SEM at volume ratio, 1: 1: 1 and 2: 1: 1 has been got the size of particle 10.513 μm and 14.244 μm .

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sampai sekarang belum ditemukan solusi yang tepat untuk kasus tumpahan minyak. Selama ini tindakan yang paling umum dilakukan adalah pembakaran yang justru mengakibatkan pencemaran udara dan berkurangnya jarak pandang sehingga mengganggu penerbangan. Cara lain yang biasa digunakan juga adalah dengan menyemprotkan dispersant, yaitu bahan kimia yang dapat mempercepat penyebaran minyak dengan mengurangi tegangan permukaan antar minyak dan air. Penambahan dispersant tidak menghilangkan minyak hanya menyebarkan dan memindahkannya ke dasar laut sehingga berdampak pada kehidupan dasar laut. Saat ini tengah dikembangkan cara untuk mengatasi permasalahan ini, yaitu dengan menggunakan material superabsorben berupa padatan organik dan sintetis.

Umumnya superabsorben dibuat dengan cara sintesis polimer seperti *polypropylene*. Superabsorben dari *polypropylene* yang dapat menyerap minyak delapan kali lipat berat bahannya, tetapi memiliki keterbatasan yaitu sulitnya mengeluarkan cairan yang telah diserapnya sehingga jika akan digunakan lagi harus dikeringkan menggunakan metode pengeringan yang rumit dan mahal (Zhang dkk, 2012). Keterbatasan tersebut mendorong dikembangkannya senyawa baru seperti aerogel silika.

Penelitian sebelumnya telah disintesis silika aerogel menggunakan bahan dasar pasir laut dengan penambahan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) dan heksana. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa sudut kontak maksimum terjadi ketika perbandingan TEOS dan heksana 1: 2 dengan etanol 20 % (Bramantya dkk, 2018). Sudut kontak yang besar menunjukkan penolakan material tersebut terhadap air. Penelitian tersebut sintesis aerogel silika dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi. Penggunaan suhu dan tekanan tinggi memerlukan biaya yang cukup besar serta risiko pekerjaan yang tinggi.

Silika aerogel juga sudah disintesis dari bahan dasar lumpur Lapindo dengan penambahan *trimethylchlorosilane* (TMCS). Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah penambahan TMCS berpengaruh terhadap hidrofobisitas silika aerogel. Jika komposisi TMCS yang ditambahkan terlalu banyak maka silika aerogel yang terbentuk akan rapuh karena pori yang terisi udara semakin banyak, sedangkan jika komposisi TMCS yang ditambahkan terlalu sedikit maka silika aerogel yang dihasilkan tidak memiliki sifat hidrofobik. Tingkat hidrofobisitas yang baik didapatkan pada penambahan TMCS 4 ml, dengan analisa gugus fungsi menggunakan spektrofotometer infra-merah (IR) didapatkan puncak pada bilangan gelombang $848,62\text{ cm}^{-1}$; $1379,01\text{ cm}^{-1}$ dan $2962,46\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus Si-CH₃ yang bersifat hidrofobik (Zaemi dkk, 2013). Percobaan ini memiliki kelebihan yaitu metode pengeringan yang digunakan pada tekanan ruang dan tidak memerlukan suhu yang tinggi, namun kandungan silika pada lumpur Lapindo yang cukup rendah menyulitkan dalam proses pembuatan silika aerogel.

Penelitian ini akan berfokus pada sintesis silika aerogel menggunakan TMCS, heksana, dan metanol. Penambahan TMCS memungkinkan sintesis dalam suhu dan tekanan rendah, disamping itu aerogel yang terbentuk memiliki sifat hidrofobik. Sintesis dilakukan dengan perbandingan volume TMCS dan heksana 1:1; 1:1,5 1:2; 1,5:1; 2:1 dari variasi tersebut diharapkan aerogel memiliki sifat hidrofobik yang ditunjukkan dengan sudut kontak yang besar.

II. METODE

2.1 Sintesis Silika Aerogel

Waterglass disintesis dari bahan dasar pasir laut. Pasir laut direndam dalam larutan HCl 3 M untuk menghilangkan impurities lalu dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu 100 °C. Kemudian pasir laut dicampur dengan NaOH dengan perbandingan mol 1:2 lalu dilebur dalam furnace pada suhu 500 °C selama 30 menit. Hasil peleburan dilarutkan dalam air demineralisasi sebanyak 200 ml selama 12 jam untuk menghasilkan waterglass (Mujiyanti, 2010).

Waterglass akan diubah menjadi silika gel dengan menurunkan pH menjadi 4 dengan menambahkan asam asetat 3 M, kemudian pH dinaikkan menjadi 6 dengan menambahkan ammonium hidroksida 1M. Silika gel akan terbentuk pada pH 6 (Bramatya dkk, 2018). Silika gel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam larutan metano selama 24 jam pada suhu 50 °C, lalu direndam dalam campuran TMCS dan heksana dengan perbandingan 1:1; 1:1,5 1:2; 1,5:1; 2:1 pada suhu ruang selama 24 jam. Silika gel kemudian direndam kembali menggunakan heksana dengan konsentrasi selama 12

jam pada suhu 50 °C, setelah itu gel dikeringkan selama 24 jam pada suhu ruang, 2 jam pada suhu 50 °C, dan 1 jam pada suhu 120 °C.

2.2 Karakterisasi

Karakterisasi sampel dilakukan dengan 5 tahapan, yaitu karakterisasi FTIR guna melihat gugus fungsi yang terbentuk, karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dari silika aerogel, uji sudut kontak air dengan permukaan silika aerogel menggunakan kamera hand phone dengan perbesaran 4 kali, uji porositas, dan pengujian yang terakhir adalah uji kapasitas absorpsi dengan cara merendam silika aerogel dalam minyak dan mengukur selisih berat silika aerogel sebelum dan sesudah menyerap minyak.

2.3 Analisis Data

Data yang diambil untuk karakterisasi uji porositas dan uji kapasitas absorpsi adalah berat silika aerogel kering dan berat silika aerogel setelah perendaman dalam minyak dan dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2 berikut:

$$\frac{M_k}{M_b} = \frac{f\rho_a + (1-f)\rho_u}{f\rho_a + (1-f)\rho_m} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{M_b}{M_k} \quad (2)$$

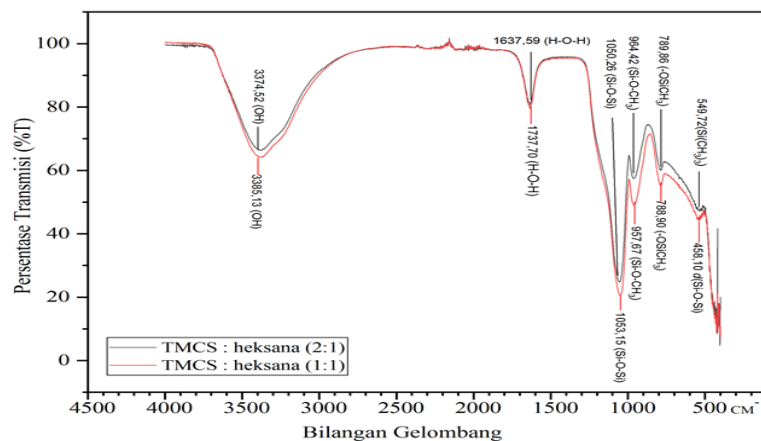
P_m adalah densitas minyak, ρ_a adalah densitas aerogel, ρ_u adalah densitas udara, $1-f$ merupakan porositas, M_k merupakan masa kering sampel, M_b merupakan masa basah sampel, dan α merupakan kapasitas absorpsi.

Selanjutnya, hasil yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan SEM dan foto droplet air pengujian sudut kontak akan dianalisis menggunakan *software image-j*. Pada karakterisasi menggunakan SEM akan diperoleh morfologi dari permukaan silika aerogel dan pada pengukuran sudut kontak akan didapatkan sudut permukaan air yang bersentuhan dengan permukaan aerogel.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi FTIR

Keberhasilan proses modifikasi permukaan silika aerogel dengan TMCS yang ditandai dengan terdapatnya gugus Si-CH₃ yang menggantikan gugus silanol yang dianalisis dengan spektra IR. Sampel silika aerogel yang dianalisis menggunakan FTIR merupakan sampel dengan kapasitas absorpsi minyak tertinggi dan terendah (sampel 5 dan 3), perbandingan TMCS dan heksana yang digunakan pada kedua sampel tersebut berturut-turut 2: 1 dan 1: 1. Hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada Gambar 1.



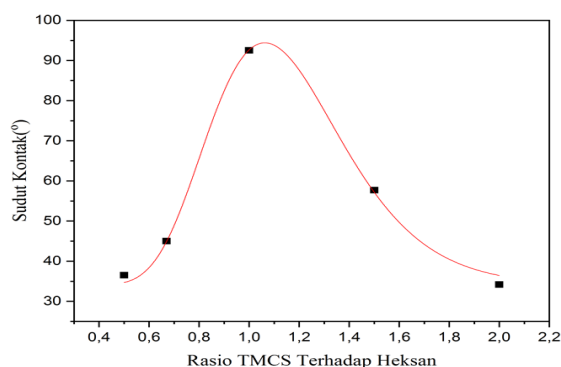
Gambar 1 Spektra IR silika aerogel hasil sintesis

Dari hasil analisis tersebut pada sampel 5 vibrasi $-OH$ sangat terlihat pada bilangan gelombang $3374,52\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi deformasi dari $H-O-H$ pada bilangan gelombang $1637,59\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi tajam terlihat pada $1050,26\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur asimetris (*asymmetric stretching*) $Si-O-Si$. Pada bilangan gelombang $964,42\text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya gugus $Si-O-CH_3$ yang merupakan vibrasi ulur (*stretching*) $SiOC$. Vibrasi ikatan $Si-C$ yang menunjukkan terjadinya proses sililasi terlihat pada $789,86\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi $-OSiCH_3$ dan pada $549,72\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan gugus $-Si(CH_3)_3$ yang merupakan vibrasi ulur (*stretching*) ikatan $Si-C$ (Socrates, 2001).

Pada sampel 3 terlihat tidak ada perbedaan yang jauh dari sampel 5 dimana vibrasi $-OH$ juga terlihat pada bilangan gelombang $3385,13\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi deformasi dari $H-O-H$ pada bilangan gelombang $1634,70\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi tajam terlihat pada $1053,13\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur *asymmetric* $Si-O-Si$. Vibrasi dari ikatan $Si-C$ juga terlihat pada bilangan gelombang $957,67\text{ cm}^{-1}$ dan $788,90\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan gugus $Si-O-CH_3$ dan gugus $-OSiCH_3$ (Socrates, 2001).

3.2 Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak dilakukan untuk melihat pengaruh perbandingan TMCS dan heksana terhadap sifat hidrofobitas silika aerogel. Pengujian dilakukan dengan cara pemotretan sampel menggunakan kamera hand phone dan di analisis menggunakan *software Image-J*. Sudut kontak diukur untuk semua sampel variasi rasio TMCS dan heksana pada proses sililasi berbeda agar didapatkan sampel dengan sudut kontak air-aerogel tertinggi. Hasil pengukuran sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Sudut kontak silika aerogel hasil sintesis

Sudut kontak tertinggi sebesar $92,5^\circ$ didapatkan pada perbandingan 1:1, sedangkan sudut kontak terendah sebesar $34,2^\circ$ didapatkan pada perbandingan 2: 1. Sudut kontak bertambah seiring dengan bertambahnya kadar TMCS yang ditambahkan, akan tetapi nilainya kembali berkurang ketika konsentrasi TMCS lebih besar dari konsentrasi heksana. Dari nilai sudut kontak yang didapatkan silika aerogel yang disintesis masih belum bersifat hidrofobik karena sudut kontak yang dihasilkan kurang dari 150° (Bramantya, 2018). Walaupun masih bersifat hidrofobik tetapi silika aerogel masih memiliki kelebihan yaitu proses pengeringan dari silika aerogel masih relatif mudah.

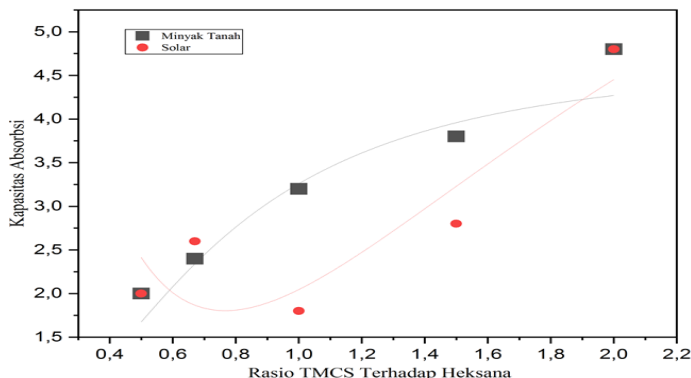
Penurunan nilai sudut kontak ini karena dihasilkannya alkohol sebagai hasil reaksi pertukaran gugus hidroksil dengan gugus alkil pada proses sililasi. Terbentuknya alkohol diduga akan mengakibatkan struktur hidrofobik aerogel yang melemah karena TMCS dapat larut dalam alkohol, akibatnya pada saat proses pengeringan terjadi penguapan alkohol akan merusak struktur silika pada aerogel (Matheson, 2009).

Penyebab lain yang juga mempengaruhi nilai sudut kontak adalah luas permukaan aerogel. Untuk membentuk hidrofobitas pada aerogel diperlukan proses difusi dari agen sililasi ke dalam pori - pori aerogel. Semakin kecil luas permukaan dari aerogel maka akan semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk melakukan difusi agen sililasi secara menyeluruh (Aegerter, 2014)

3.3 Kapasitas Absorpsi

Pengukuran kapasitas absorpsi dilakukan dengan cara merendam silika aerogel dalam minyak dan dihitung rasio berat silika aerogel sebelum dan sesudah proses penyerapan minyak. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua jenis minyak yang berbeda yaitu minyak tanah dan solar. Hasil pengukuran kapasitas absorpsi dan porositas silika aerogel dapat dilihat pada Gambar 3

berikut ini, dari uji tersebut diperoleh hubungan antara kapasitas absorpsi (rasio massa minyak terserap terhadap massa aerogel silika kering) terhadap perbandingan TMCS dan heksana yang ditambahkan.



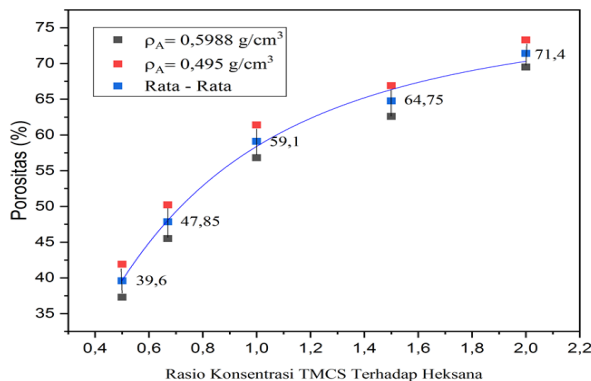
Gambar 3 Kapasitas absorpsi silika aerogel

Kapasitas absorpsi silika aerogel dipengaruhi oleh perbandingan TMCS dan heksana yang digunakan dimana kapasitas absorpsi meningkat seiring peningkatan konsentrasi TMCS yang digunakan. Dari data yang didapatkan kapasitas absorpsi paling besar didapatkan pada perbandingan 2: 1 dimana silika aerogel mampu menyerap minyak hampir 5 kali masa keringnya, sedangkan untuk kapasitas absorpsi paling rendah didapatkan pada perbandingan 1: 2 untuk minyak tanah dan 1: 1 untuk solar dimana silika aerogel hanya mampu menyerap minyak 2 kali masa keringnya (minyak tanah) dan 1,8 kali masa keringnya (solar). Dapat dilihat kapasitas absorpsi silika aerogel hampir sama meski jenis minyak yang diserapnya berbeda. Meski nilai kapasitas absorpsi silika aerogel belum terlalu besar tetapi masih dapat dikategorikan sebagai absorben minyak dan biaya yang dikeluarkan dalam pembuatannya relatif lebih rendah. Pada rasio 1,0 dan 1,5 didapatkan nilai absorpsi solar lebih rendah dari minyak tanah hal ini kemungkinan disebabkan oleh ukuran molekul yang lebih besar dari pada ukuran molekul sorben atau nilai polaritas yang berbeda dengan sorben (Gaol, 2001), untuk mengetahuinya diperlukan penelitian lebih lanjut.

Kapasitas absorpsi silika aerogel sangat dipengaruhi oleh penambahan TMCS sebagai agen pemodifikasi permukaan, dimana TMCS mengubah sifat permukaan silika aerogel dari polar menjadi non-polar. Hal ini yang memudahkan minyak untuk diserap karena minyak juga bersifat non-polar. Faktor lain yang juga mempengaruhi kapasitas absorpsi dari silika aerogel adalah penggunaan metanol, dimana metanol mengurangi tegangan permukaan silika aerogel sehingga minyak mudah untuk diserap (Shi dkk, 2017).

3.4 Porositas

Uji porositas sejalan dilakukan dengan pengujian kapasitas absorpsi silika aerogel lalu dihitung menggunakan Persamaan 1. Perhitungan nilai porositas menggunakan asumsi massa jenis dari literature, yaitu 0,495 dan 0,5988 g/cm³. Plot data dari porositas masing - masing sampel silika aerogel dapat dilihat pada Gambar 4.



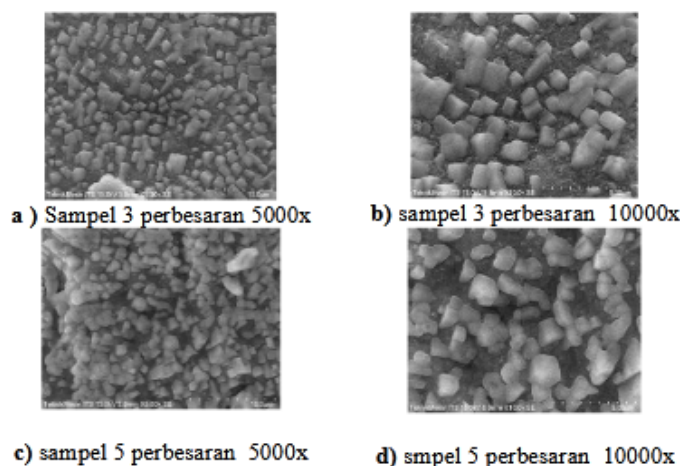
Gambar 4 Porositas silika aerogel hasil sintesis

Pada perhitungan nilai persentase porositas digunakan asumsi kerapatan aerogel yang berbeda yaitu pada rentang 80 – 99,8 %, batas bawah dan atas menunjukkan standar deviasi. Persentase pori paling tinggi didapatkan pada perbandingan penambahan TMCS dan heksana 2: 1 dimana persentase porositas yang didapatkan *range* antara 69,5 % – 73,3 %, sedangkan untuk nilai persentase porositas paling rendah didapatkan pada perbandingan 1: 2 dimana nilai yang didapatkan *range* antara 37,3 - 41,9 %. Persentase porositas meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi TMCS mengikuti grafik logaritmik. Nilai persentase porositas yang didapatkan dari silika aerogel hasil sintesis memenuhi syarat sebagai absorben.

Hasil ini masih cukup jauh dengan karakteristik aerogel yang mana nilai porositasnya berkisar pada 80 - 99 %. Hal ini dikarena pelapisan gugus metil pada permukaan aerogel yang tidak sempurna, dimana dengan melapisi permukaan aerogel dengan gugus metil, gugus hidroksil yang ada pada permukaan dihilangkan. Hal ini mencegah permukaan pori dari reaksi kondensasi dan oleh karena itu, ketika penguapan selesai gel kembali ke volume gel basah aslinya (Smith dkk, 1992). Meski demikian proses pengeringan dari sintesis silika aerogel ini cukup sederhana sehingga menjadi poin tambahan pada penelitian kali ini.

3.5 Analisis SEM

Pada penelitian ini, uji SEM pada aerogel dilakukan untuk melihat morfologi dan ukuran partikel dari aerogel sebagai data pendukung penelitian. Sampel yang dilakukan uji SEM merupakan sampel yang sama dengan yang digunakan pada uji FT-IR, yaitu sampel 3 dan 5. Uji SEM yang dilakukan pada aerogel menggunakan perbesaran 5000x dan 10000x. Gambar hasil uji SEM pada aerogel dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Citra SEM permukaan silika aerogel

Dari hasil uji SEM juga didapatkan ukuran partikel dari silika aerogel yang telah disintesis. Data ini didapatkan dengan cara menganalisis gambar hasil uji SEM menggunakan *software Image-J*. Data ukuran partikel aerogel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Ukuran Partikel Aerogel

Perbandingan TMCS : heksana	Diameter (μm)		
	Minimal	Maksimal	Rata-rata
1:1	1,927	3,205	$2,597 \pm 0,2038$
2:1	1,536	2,542	$2,043 \pm 0,0895$

Melalui analisis menggunakan *software Image-J* didapatkan diameter dari masing-masing sampel silika aerogel dimana pada perbandingan TMCS dan heksana 1: 1 didapatkan diameter rata-rata partikel sebesar $2,597 \mu\text{m}$ dan pada perbandingan 2: 1 didapatkan diameter partikel rata-rata sebesar $2,043 \mu\text{m}$. Dari data tersebut dapat kita lihat bahwa silika aerogel hasil sintesis memiliki diameter partikel dalam rentang mikrometer. Dari data tersebut dapat kita lihat pula penambahan TMCS berpengaruh pada ukuran partikel dari silika aerogel, dimana rasio TMCS dan heksana 1: 1 menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar dari pada rasio 2: 1.

Hasil yang sama juga di tunjukan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Nguyen (2020) penambahan TMCS: metanol: petroleum benzene pada perbandingan 0,5: 1: 1 sampai 1,5: 1: 1 meningkatkan luas permukaan dari silika aerogel, luas permukaan yang didapatkan berturut-turut yaitu 376,398; 450,221; 504,005 (m²/g). Luas permukaan berbanding terbalik dengan ukuran partikel, dimana semakin besar luas permukaan silika aerogel menunjukkan ukuran partikelnya yang semakin kecil. Nizar (2016) dalam penelitiannya juga mendapatkan hasil yang sama dimana penambahan konsentrasi TMCS dapat mempengaruhi ukuran partikel silika aerogel, dari penelitiannya didapatkan diameter partikel pada penambahan TMCS 15 ml sebesar 67,04 nm dan penambahan 25 ml sebesar 25,36 nm.

IV. KESIMPULAN

Sintesis silika aerogel dengan penambahan TMCS sangat mempengaruhi karakteristik dari silika aerogel. Terdapat gugus $-OSiCH_3$ pada silika aerogel hasil sintesis yang mengindikasikan proses sililasi sudah terjadi. Sudut kontak yang terbentuk antara air – silika aerogel paling tinggi sebesar 92,5 °C yang menandakan silika aerogel belum bersifat hidrofobik. Silika aerogel hasil sintesis dari pasir laut dengan penambahan TMCS dapat menyerap minyak sampai 4,8 kali masa keringnya. Porositas silika aerogel terendah didapatkan sebesar 37,3 % dan tertinggi yaitu sebesar 73,3 %. Porositas bergantung secara logaritmik pada rasio penambahan TMCS terhadap heksana. Morfologi silika aerogel belum membentuk jaringan berpori yang teratur dan didapatkan ukuran partikel silika aerogel pada sampel 3 dan 5 sebesar $2,597 \pm 0,2038 \mu\text{m}$ dan $2,043 \pm 0,0895 \mu\text{m}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Aegerter, Michel A., Michel P., Nicholas L., & Mathias M. K., 2011, *Aerogel Handbook*, Springer Science Business Media, London.
- Bramantya ., Yonando, L.P., & Rifaldi, M., 2018, ‘Sintesis dan Karakterisasi Silika Aerogel Hidrofobik dan Olioofilik Dari Pasir Laut Sebagai Absorben Tumpahan Minyak’, *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, vol.2, no.2, pp 49-54.
- Gaol, L.D.L., 2001, ‘Studi Awal Pemanfaatan Beberapa Jenis Karbon Aktif Sebagai Adsorben’, Thesis, UI, Depok.
- Matheson, 2009, *Material Safety Data Sheet : Tetra Ethyl Ortho Silicate*, Matheson Tri Gas, United State.
- Mujiyanti, D.R., Nuryanto & Eko, S.K., 2010, ‘Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Yang Dimobilisasi Dengan 3-(Trimetoksisilil)- Propantiol’, *Sains Dan Terapan Kimia*, vol.4, no. 2, pp 150-167.
- Nguyen, T.H., Mai, N.T., Reddy, V.R.M., Jung, J.H., & Truong, N.T.N., 2020, ‘Synthesis Of Silica Aerogel Particles And Its Application To Thermal Insulation Paint’, *Korean J. Chem. Eng*, vol. 37, no. 10, pp 1803-1809.
- Nizar A., 2016, ‘Sintesis Dan Karakterisasi Silika Aerogel Berbasis Teos (Tetraethylorthosilicate) Menggunakan Metode Sol-Gel’, *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 5, No. 1, pp 7 – 10.
- Shi, M., Tang, C., Yang, X., Zhou, J., Jia, F., Han, Y., & Li, Z., 2017, ‘Superhydrophobic Silica Aerogels Reinforced with Polyacrylonitrile Fibers for Adsorbing Oil From Water and Oil Mixtures’, *RSC Advances*, vol. 7, pp 4039-4045.
- Smith, D.M., Deshpande, R., & Brinker, C.J., 1992, ‘Better ceramics through chemistry V’, *Materials Research Society Symposium Proceedings*, San Francisco.
- Socrates G., 2001, *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*, Wiley, Chichester.
- Zaemi, H., Tjahjanto, R.T., & Darjito, 2013, ‘Sintesis Silika Aerogel Dari Lumpur Lapindo Dengan Penambahan Trimetilklorosilan (TMCS)’, *Kimia. Student Jurnal*, vol. 1, no. 2, pp 208-214.
- Zhang W., Zhang Y., Lu C., & Deng Y., 2012, ‘Aerogels from crosslinked cellulose nano / microfibrils and their fast shaper ecovery property in water’, *J. Mater. Chem.*, vol.22, no. 23, pp 11642-11650.