Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi **e-ISSN**: 2549-4236, **p-ISSN**: 1411-8939
Lembaga Penellitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Volume 23(2), Juli 2023, 2366-2372
DOI: 10.33087/jiubj.v23i2.3328

Pemanfaatan Limbah Sabut dan Tempurung Kelapa Sawit sebagai Silica Gel

Arbiter Khalida Bramanta, Dewa Made Adit Prasetia, Susilowati
Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Correspondence: arbiterkhalidabramanta@gmail.com, dewamadeadit@gmail.com, zuzisukasno@gmail.com

Abstrak. Peningkatan luas area kelapa sawit di Indonesia menyebabkan kenaikan juga pada jumlah limbah sawit. Limbah berupa sabut dan cangkang kelapa sawit terbuang begitu saja. Sedangkan kandungan silika (SiO_2) pada kedua bahan tersebut layak untuk dimanfaatkan. Silika gel merupakan salah satu bentuk pemanfaatan sabut dan cangkang kelapa sawit. Hasil analisa *X-ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan kandungan silika (SiO_2) pada abu sabut kelapa sawit sebesar 27,5%, sedangkan 36,10% pada abu cangkang kelapa sawit. Silika gel adalah adsorben yang dihasilkan melalui metode sol – gel, yakni pembentukan gel yang berasal dari senyawa prekursor. Senyawa prekursor pada pembentukan silika gel adalah larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang dihasilkan dari proses ekstraksi abu sabut dan cangkang kelapa sawit dengan menggunakan pelarut natrium hidroksida (NaOH). Konsentrasi NaOH yang digunakan bervariasi yakni 1, 3, 5, 7, dan 9 M. Waktu pematangan yang digunakan pada saat pembentukan silika gel juga bervariasi yakni 4, 8, 12, 16, dan 20 jam. Silika gel kering dengan kuantitas tertinggi yakni sebesar 5,4115 gram diperoleh pada penambahan NaOH dengan konsentrasi 9 M dan waktu pematangan 20 jam. Sedangkan silika gel yang memiliki kesesuaian terhadap Kiesel Gel 60 G berdasarkan uji kadar air serta analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) adalah silika gel hasil dari penggunaan NaOH 3 M dengan waktu pematangan 8 jam. Namun hasil analisa *Structural Equation Modelling* (SEM) silika gel tersebut menunjukan hasil yang tidak sesuai dengan silika gel pada umumnya.

Kata kunci: kelapa sawit; natrium silikat; silika gel; sol-gel.

Abstract. *The increase in the area of oil palm in Indonesia also causes an increase in the amount of palm oil waste. Waste in the form of coir and palm shells is thrown away. While the content of silica (SiO_2) in both materials is feasible to be utilized. Silica gel is a form of utilization of oil palm coir and shells. The results of X-Ray Fluorescence (XRF) analysis showed that the silica (SiO_2) content in palm coir ash was 27.5%, while 36.10% was in palm shell ash. Silica gel is an adsorbent produced by the sol-gel method, namely the formation of a gel derived from precursor compounds. The precursor compound in the formation of silica gel is sodium silicate solution (Na_2SiO_3) which is produced from the extraction process of coir ash and palm shells using sodium hydroxide (NaOH) solvent. The concentration of NaOH used varied, namely 1, 3, 5, 7, and 9 M. The aging times used for the formation of silica gel also varied, namely 4, 8, 12, 16, and 20 hours. Dry silica gel with the highest quantity of 5.4115 grams was obtained by adding NaOH with a concentration of 9 M and a aging time of 20 hours. While the silica gel which has the most suitable water content and Fourier Transform Infra Red (FTIR) graphic pattern with Kiesel Gel 60 G is silica gel resulting from the addition of 3M NaOH with a aging time of 8 hours. However, the results of the Structural Equation Modeling (SEM) analysis of silica gel showed results that were not in accordance with silica gel in general.*

Keywords **:** *palm; sodium silicate; sol-gel; silica gel.*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Berdasarkan data yang diperoleh Direktorat Jenderal Perkebunan, tercatat pada tahun 2016 sampai dengan 2020 luas perkebunan kelapa sawit mengalami peningkatan sebesar 3.794.545 hektar. Peningkatan luas area perkebunan kelapa sawit berdampak pada limbah kelapa sawit yang mengalami peningkatan. Sabut dan cangkang kelapa sawit merupakan dua dari sekian banyaknya bagian kelapa sawit yang tidak dimanfaatkan atau hanya menjadi limbah industri. Abu sabut dan cangkang kelapa sawit memiliki kandungan silika (SiO_2) masing-masing sebesar 59,1% dan 61% (Trivana et al., 2015). Kandungan yang cukup besar ini berpotensi sebagai bahan alternatif dalam pembuatan silika gel. Tujuan penelitian ini adalah mengurangi limbah kelapa sawit yang disebabkan peningkatan luas kelapa sawit, dan untuk mendapatkan silika gel yang sesuai standar ditinjau dari kadar air silika gel. Standar

yang kami gunakan pada penelitian ini adalah SNI No. 06-2477-1991 dan Kiesel Gel 60G sebagai pembanding yang umumnya diperjualbelikan.

Tinjauan pustaka

Silika gel adalah adalah adsorben yang dibuat dengan melepaskan asam silikat dari larutan kuat natrium silikat oleh asam klorida dalam kondisi yang dikontrol dengan cermat dan proporsi natrium silikat cair dan asam klorida. Kondisi ini terjadi pada suhu reaksi dan pH yang ditentukan dari reaksi tempat campuran diberi waktu terbatas untuk pembentuk gel (Jiayou, 2003). Mengutip dari (Yusuf et al., 2014) reaksi yang terjadi adalah $SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$. Natrium silikat ($Na_2SiO_3$) yang terbentuk ditambahkan asam menyebabkan ion-ion silikat mengalami reaksi kondensasi. Sehingga diperoleh silika gel basah yang kemudian dikeringkan.

Ditinjau dari luas area yang semakin tinggi dan potensi yang juga tinggi, maka dilakukan penelitian terkait pemanfaatan limbah sabut dan cangkang kelapa sawit sebagai silika gel. Hal ini juga didukung oleh penelitian terdahulu yang mengkaji terkait pembuatan silika gel dari berbagai bahan. Penelitian yang dilakukan oleh (Handayani et al., 2014) menggunakan bahan abu sekam padi dengan variasi jenis asam yakni asam klorida (HCl) dan asam asetat (CH_3COOH) menghasilkan silika gel masing-masing 9,1593 gram dan 9,4754 gram. Selanjutnya penelitian (Yusuf et al., 2014) menggunakan abu ampas tebu dengan variasi konsentrasi asam klorida (HCl), terbentuk 1,3864 gram silika gel pada penambahan HCl 0,4 M.

Dalam proses sintesis silika gel terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Faktor pertama adalah pH, menurut (Meriatna et al., 2015) pH paling optimal dalam pembuatan silika gel adalah pH 7. Hal ini didukung (Anshori, 2008) yang menyebutkan bahwa pada suasana netral terjadi gaya tolak - menolak antar molekul SiO_2 kecil, akibatnya ukuran partikel dan diameter pori-pori yang dihasilkan menjadi lebih besar. Sehingga berpengaruh terhadap banyaknya air yang akan teradsorspsi. Selanjutnya faktor yang berpengaruh adalah waktu pematangan dan konsentrasi pelarut yang digunakan. Menurut (Yuanita, 2020) waktu pematangan yang lebih lama dan konsentrasi pelarut yang tinggi dapat menghasilkan jumlah silika gel yang banyak juga. Faktor terakhir adalah penggunaan asam serta konsentrasinya. Berdasarkan penelitian (Nuryono & Narsito, 2005) penggunaan asam yang berbeda-beda serta konsentrasi yang bervariasi, akan memberikan hasil yang berbeda-beda juga.

Berdasarkan SNI No. 06-2477-1991, standar silika gel di Indonesia memiliki 3 karakteristik antara lain memiliki kadar air maksimal 15%, kadar abu 10%, dan daya adsorpsi terhadap I_2 minimal 750 mg/g. Maka dari itu fokus penelitian, kami tujukan ke karakterik pertama yakni kadar air. Kami juga menggunakan Kiesel Gel 60 G sebagai silika gel pembanding yang umum diperjual-belikan. Menurut (Fathurrahman et al., 2020) Kiesel Gel 60 G memiliki kadar air 13,644%. Kadar air dapat dihitung dengan rumus:

persentase kadar air = $\frac{W_1 - W_2}{W_1}$ x 100%

Keterangan: W_1 : Berat sebelum pemanasan (gr); W_2 : Berat setelah pemanasan (gr)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Sol – Gel. Menurut (Elma, 2018), Metode sol-gel adalah suatu proses yang digunakan untuk pembuatan material anorganik melalui suatu reaksi kimia dalam suatu larutan pada suhu relatif rendah. Prinsip dasar sol-gel adalah pembentukan larutan prekursor dari senyawa yang diharapkan dengan menggunakan pelarut organik, terjadinya polimerisasi larutan, terbentuknya, dan dibutuhkan proses pengeringan dan kalsinasi gel untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk material anorganik berupa oksida. Metode itu mampu menghasilkan bahan yang halus, seragam (*uniform*), homogen serta kemurniannya tinggi.

METODE

Bahan yang digunakan adalah sabut , tempurung kelapa sawit, asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH) dan aquadest (H_2O). Alat yang digunakan adalah furnance, hot plate, *magnetic stirrer*, cawan porselen, mortar, beaker glass, kertas saring, corong kaca, pipet tetes, statif beserta klem, neraca analitik, ayakan 30 mesh dan alu.

Prosedur Penelitian

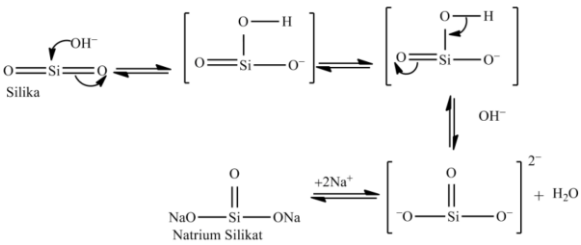
1. Persiapan Sampel. Pada proses persiapan sampel, bahan baku sabut dan tempurung kelapa sawit diperkecil ukurannya serta mepersiapkan asam klorida (HCl) 1M dan NaOH 1; 3 ; 5; 7 dan 9M.

2. Pengabuan dan Pengayakan. Sabut dan tempurung kelapa sawit yang telah diperkecil ukurannya dimasukkan ke dalam furnace dengan temperature 700^{o}C selama 4 jam dengan menggunakan cawan porselen. Abu yang diperoleh kemudian diayak dengan menggunakan ayakan 30 mesh.
3. Pembuatan Larutan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). Pada proses pembuatan larutan, abu sabut dan tempurung kelapa sawit diambil masing – masing 10 gr. Selanjutnya ditambahkan larutan NaOH sebanyak 60 ml dengan konsentrasi (1; 3; ;5 ; 7; 9 M). Selanjutnya campuran dipanaskan di dalam labu Erlenmeyer tertutup pada temperature ±80 °C serta diaduk secara konstan sebesar 250 rpm menggunakan *magnetic hot stirrer*. Selama 1 jam. Selanjutnya larutan didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring. Residu hasil penyaringan dibuang dan filtrat digunakan untuk proses selanjutnya.
4. Pembuatan Silika Gel. Filtrat dimasukan ke dalam botol, ditambahkan HCl dengan konsentrasi 1 M hingga mencapai pH = 7 dan dibiarkan selama (4; 8 ; 12; 16 dan 20 jam). Selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring hingga terbentuk silica gel.
5. Pengeringan. Pada proses pengeringan, silika gel yang terbentuk dikeringkan di dalam oven pada temperature 80 °C selama 2 jam. Selanjutnya prosedur dilakukan kembali mulai tahap pertama dengan *variable* yang berbeda.
6. Analisa Kadar Air. Pada Analisa kadar air total ditentukan dari selisih berat awal dengan berat sampel setelah pemanasan 200 °C selama 4 jam, kemudian dibagi berat awal.
7. Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Silika gel yang mempunyai kadar air yang mendekati silica gel standar (Kiesel Gel 60-G) dianalisa gugus fungsionalnya menggunakan Analisa FTIR.
8. Analisa *Structural Equation Modelling* (SEM). Hasil Analisa FTIR yang paling mendekati dengan silica gel standar (Kiesel gel 60G) digunakan kembali untuk dianalisa morfologinya menggunakan Analisa SEM.

HASIL

Persiapan Sampel dan Pembuatan Larutan Na_2SiO_3

Pada penelitian ini sampel berupa sabut dan cangkang kelapa sawit di hancurkan hingga menjadi serpihan kecil guna memudahkan proses pengabuan. Pengabuan pada suhu 700^{o}C selama 4 jam bertujuan untuk mengabukan dan mengurangi atau bahkan menghilangkan zat-zat pengotor, sehingga dapat meningkatkan kuantitas SiO_2 dalam sampel. Berdasarkan hasil analisa XRF, abu sabut kelapa sawit yang berwarna coklat muda memiliki kandungan SiO_2 sebesar 27,5%. Sedangkan pada cangkang kelapa sawit yang berwarna abu-abu memiliki kandungan SiO_2 sebesar 36,10%. Nilai-nilai yang kami dapatkan tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Trivana et al., 2015). Beliau mengungkapkan bahwa terdapat 59,1% pada sabut kelapa sawit dan 61% pada cangkang kelapa sawit. Ketidaksesuaian ini dapat terjadi karena adanya perbedaan pengambilan sampel serta adanya perbedaan kandungan tanah. Pembuatan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dihasilkan dengan mereaksikan abu sampel dan NaOH. Proses ini dilakukan pada suhu 80^{o}C dengan pengadukan konstan selama 1 jam.



Sumber: data olahan

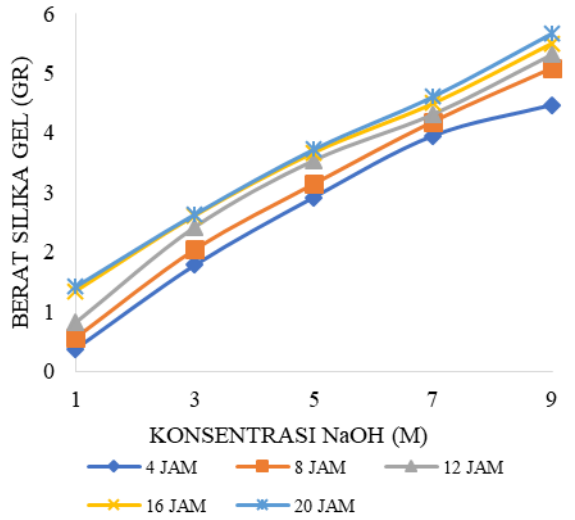
Gambar 1
Mekanisme Reaksi Pembentukan Natrium Silikat

Pembentukan Silika Gel

Pembentukan silika gel dihasilkan dengan menambahkan asam ke dalam larutan prekursor, natrium silikat, hingga pH mencapai angka 7 atau netral. Proses ini dikenal dengan proses sol-gel. Proses sol-gel yang terjadi pada pembentukan silika gel mengakibatkan terjadinya reaksi kondensasi terhadap ion silikat. Oleh sebab itu, gugus siloksi (Si-O) akan membentuk gugus silanol (Si-OH) akibat dari kenaikan konsentrasi proton (H^+) setelah penambahan asam berupa larutan HCl 1 M. Proses ini terus terjadi hingga gugus silanol membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan silika gel

ini disebut sebagai waktu pematangan atau waktu *aging.*

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Kuantitas Silika Gel Dalam Berbagai Variasi Waktu Aging

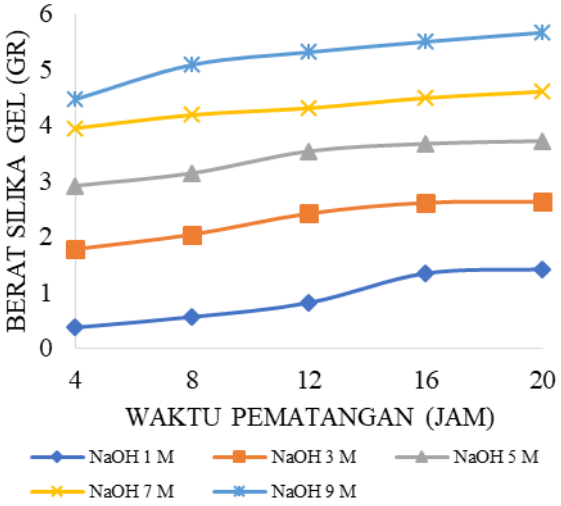


Sumber: data olahan

Gambar 2
Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Kuantitas Silika Gel dalam Berbagai Variasi Waktu Aging

Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap jumlah silika gel yang dihasilkan dalam berbagai variasi waktu pematangan mengalami kenaikan setiap peningkatan konsentrasi NaOH yang digunakan. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap jumlah silika gel sudah pernah diteliti oleh (Maria Ulfa et al., 2020). Menurutnya jumlah silika gel akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi silika gel yang digunakan. Atas dasar penelitian tersebut, maka pada proses ini telah dianggap sesuai. Hal ini dapat terjadi sebab dengan tingginya konsentrasi NaOH yang digunakan, maka akan membuat proses ekstraksi SiO_2 dari sampel berjalan maksimal. Sehingga jumlah gugus siloksi yang terkandung dalam larutan Na_2SiO_3 juga akan semakin banyak. Artinya semakin banyak gugus siloksi yang membentuk ikatan siloksan dan membentuk semakin banyak silika gel.

Pengaruh Waktu Aging terhadap Kuantitas Silika Gel Dalam Berbagai Variasi Konsentrasi NaOH



Sumber: data olahan

Gambar 3
Pengaruh Waktu *Aging* terhadap Kuantitas Silika Gel Dalam Berbagai Variasi Konsentrasi NaOH

Pengaruh waktu *aging* terhadap kuantitas silika gel dalam berbagai variasi konsentrasi NaOH juga mengalami kenaikan. Semakin lama waktu *aging* yang diberikan untuk proses tersebut, maka semakin banyak juga silika gel yang dihasilkan. Artinya semakin lama waktu yang diberikan, maka semakin lama dan semakin maksimal reaksi kondensasi terhadap ion silikat. Jadi semakin banyak juga gugus siloksi yang mengalami protonasi membentuk gugus silanol. Waktu yang lebih lama akan memberikan kesempatan juga pada gugus silanol tersebut untuk membentuk ikatan siloksi. Sehingga silika gel yang dihasilkan juga akan lebih banyak. (Yuanita, 2020) juga telah melakukan penelitian terkait hal tersebut. (Yuanita, 2020) menyebutkan bahwa peningkatan jumlah silika gel dipengaruhi oleh penggunaan waktu *aging* yang lama.

Penentuan Kadar Air

Silika gel yang telah kering kemudian dipanaskan kembali di dalam oven dengan tujuan mengetahui kemampuan maksimal silika gel dalam melepaskan kandungan air di dalamnya. Kadar air silika gel bergantung pada banyaknya gugus silanol dan siloksan yang terdapat pada permukaan silika gel. Banyaknnya gugus silanol dan siloksan dipengaruhi oleh lama waktu pematangan dimana semakin lama waktu pematangannya maka akan semakin kecil kadar air yang terkandung di dalam silika gel. Kadar air akan semakin kecil karena gugus

silanol akan terus berkurang sebab akan terus berikatan dengan gugus siloksi membentuk gugus siloksan.

Tabel 1
Kadar Air Dari Setiap Silika Gel Yang Dihasilkan

		Kadar Air Silika Gel (%)				
		4 Jam	8 Jam	12 Jam	16 Jam	20 Jam
1	M	16,060	14,215	12,822	9,821	6,400
3	M	15,453	13,687	11,174	8,821	5,475
5	M	13,961	12,124	10,514	7,349	3,987
7	M	12,048	10,553	9,8241	7,774	4,070
9	M	10,808	9,9422	8,3840	5,497	4,471

Sumber: data olahan

Kadar air silika gel dapat dikatakan sesuai apabila memiliki nilai yang sama atau tidak jauh berbeda dari pembandingnya. Dalam penelitian ini silika gel pembanding yang kami gunakan adalah Kiesel Gel 60G. Menurut (Fathurrahman et al., 2020) kadar air Kiesel Gel 60G adalah sebesar 13,664%. Sedangkan menurut Yusuf (2014) kadar air Kiesel Gel 60G adalah sebesar 11,2648%. Kemudian berdasarkan SNI No. 06-2477-1991 kadar air maksimal silika gel adalah 15%.

Tabel 2.
Silika Gel Terpilih Untuk Uji FTIR

Kode Silika Gel	Kadar Air (%)
SG-0108	14,2156
SG-0112	12,8226
SG-0308	13,6872
SG-0504	13,9617
SG-0704	12,0487

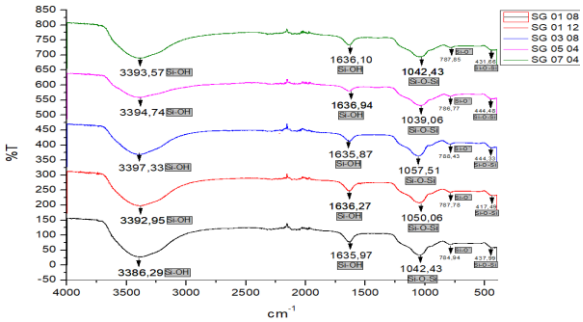
Keterangan : SG-XXYY : Silika Gel – (Konsentrasi NaOH)(Waktu Pematangan)
Sumber: data olahan

Analisa Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan guna mengetahui gugus fungsional dari silika gel. Kemudian hasil yang diperoleh kembali dibandingkan dengan Kiesel Gel 60G. Berdasarkan Gambar 4 di atas silika gel hasil penilitian kami yang paling mendekati dengan aturan yang dijelaskan pada gambar 5 adalah silika gel SG-0308 yakni pada kondisi operasi NaOH 3M dan waktu pematangan 8 jam. Hasil analisa FTIR dari SG-0308 dengan kadar air sebesar 13,6872% menunjukkan gugus silanol berada di angka 3397,33 dan 1635,87. Gugus siloksan di angka 1057,51 dan 444,33 serta gugus siloksi di angka 788,43.

Analisa Structural Equation Modelling (SEM)

Analisa SEM pada Gambar 6 dan 7 adalah analisa bahan dengan tujuan untuk mengetahui morfologi dari silika gel. Hasil analisa SEM yang didapat kemudian dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pembuatan silika gel. Silika gel yang dipilih adalah silika gel yang paling mendekati Kiesel Gel 60G berdasarkan hasil analisa FTIR. Maka dari itu berikut adalah hasil analisa SEM dari SG-0308.



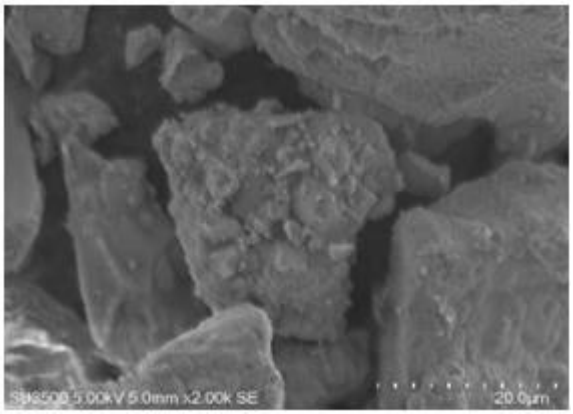
Sumber : Lab. Material dan Metalurugi FTI-ITS

Gambar 4
Hasil Analisa FTIR Dari Silika Gel Terpilih

Wave number (cm-1)	Interpretation
Kiesel G-60 Silica Gel	
3415.7	-OH stretching vibration of H_2O
1629.7	-OH bending vibration of H_2O
1097.4	Vibration Si-O asymmetry stretching from Si-O-Si
956.69	-OH stretching vibration of Si-OH
800.4	Vibration of Si-O symmetry stretching from Si-O-Si
451.3	Si-O-Si bending vibration

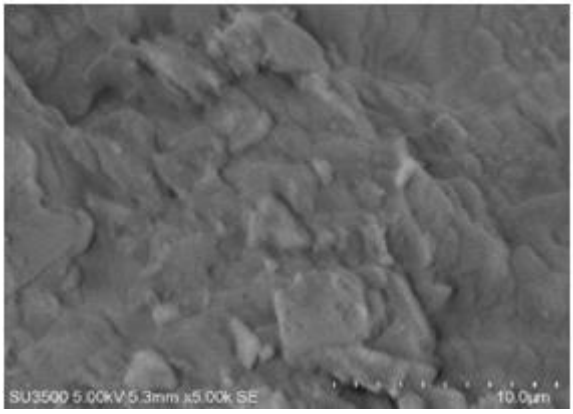
Sumber: (Azmiwiyati, 2019)

Gambar 5
Cara Pembacaan Grafik Analisa FTIR Pada Kiesel Gel 60G



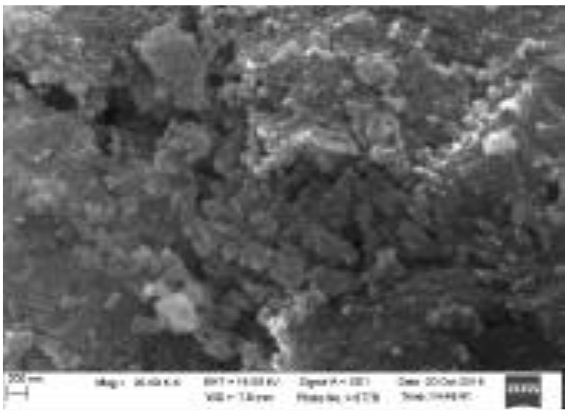
Sumber : Lab. Instruments, UPN Veteran Jawa Timur

Gambar 6
Hasil Analisa SEM Silika Gel SG-0308 dengan Perbesaran 2000x



Sumber : Lab. Instruments, UPN Veteran Jawa Timur

Gambar 7
Hasil Analisa SEM Silika Gel SG-0308 dengan Perbesaran 5000x



Sumber: Apriliani (2016)

Gambar 8
Hasil Analisa SEM Silika Gel dari Abu Sekam Padi

Penelitian terkait hasil analisa SEM silika gel dari kelapa sawit belum banyak literatur yang didapatkan, maka hasil analisa SEM yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil analisa SEM silika gel dari abu sekam padi (Apriliani, 2016). Berdasarkan hasil analisa SEM pada penelitian (Apriliani, 2016), struktur silika gel adalah berbentuk gumpalan bola-bola dengan ukuran yang beragam serta permukaan yang tidak merata, seperti pada Gambar 8. Sedangkan hasil penelitian ini diperoleh struktur silika gel yang berbentuk gumpalan-gumpalan yang tidak beraturan dengan permukaan yang tidak merata, seperti pada Gambar 6 dan 7. Ketidaksesuaian ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah banyaknya pengotor yang masih terkandung di dalam abu sabut dan tempurung kelapa sawit. Seperti kalsium, kalium, mangan, besi, fosfor, tembaga, dll. Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah konsentrasi HCl yang tidak tepat dapat merusak struktur silika gel.

SIMPULAN

Penelitian didapat beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Silika gel yang dihasilkan berbentuk butiran, berwarna putih dana tidak berbau.
2. Semakin tinggi konsentrasi pelarut (NaOH) dan semakin lama waktu pematangan, hasil yang didapatkan semakin banyak dan kadar air yang terkandung semakin kecil.
3. Hasil yang mendekati silika gel Kiesel Gel 60-G berada pada konsentrasi NaOH 3 M dengan waktu pematangan 8 jam.
4. Silika gel yang dihasilkan pada kondisi terbaik memiliki kadar air 13,6872% dengan hasil FTIR yang mendekati standar.
5. Berdasarkan hasil Analisa SEM, struktur silika gel yang dihasilkan berbentuk gumpalan-gumpalan yang tidak beraturan dengan permukaan yang tidak merata.

DAFTAR PUSTAKA

Anshori, A. Z. 2008. Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Silika Gel. Universitas Indonesia.

Apriliani, N. 2016. Jenis Pelarut Dan Waktu Pemeraman Pada Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Varietas Ciherang Nurulia Apriliani. Institut Pertanian Bogor.

Elma, M. 2018. *Proses Sol-Gel : Analisis Fundamental dan Aplikasi*, 1st ed., Lambung Mangkurat University Press.

Fathurrahman, M., Taufiq, A., Widiastuti, D., & Hidayat, F. D. F. 2020. Synthesis and Characterization of Silica Gel from Corn Cob Ash and Its Adsorption Study Toward Cu(II) Metal Ion. *Jurnal Kartika Kimia*, *3*(2), 89–95. https://doi.org/10.26874/jkk.v3i2.66

Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga, W. D. P. 2014. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, *3*(2), 55–59. https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3698

Jiayou, Q. 2003. *Characterization Of Silica Gel-Water Vapor Adsorption and Its Measuring Facility*. National University of Singapore.

Maria Ulfa, Z., Manurung, P., & Karo Karo, P. 2020. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH Optimum pada Pembuatan Nanosilika dari Batu Apung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 8(1).

Meriatna, Maulinda, L., Khalil, M., & Zulmiardi. 2015. Pengaruh Temperatur Pengeringan Dan Konsentrasi Asam Sitrat Pada Pembuatan Silika Gel Dari Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Unimal*, *4*(1), 78–88.

Nuryono, & Narsito. 2005. Effect Of Acid Concentration on Characters of Silica Gel Synthesized From Sodium Silicate. *Indo. J. Chem*, *5*(1), 23–30.

Trivana, L., Karouw, S., & Palma, B. 2015. Pemanfaatan Sabut Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Silika Alternatif. *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Lndustri*, *21*(1), 16–20.

Yuanita, T. P. 2020. Pengaruh Konsentrasi Pelarut Dan Waktu Aging Pada Pembuatan Silika Gel Dari Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara. Universitas Sumatera Utara.

Yusuf, M., Suhendar, D., & Hadisantoso, E. P. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis Dari Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *7*(1), 16–28.