

## Pemanfaatan Abu Hasil Gasifikasi Sekam Padi Menjadi Silika Gel

Ani Purwanti

Program Studi Teknik Kimia, Universitas AKPRIND Indonesia

Korespondensi : ani4wanti@akprind.ac.id

### ABSTRAK

Industri penggilingan padi menghasilkan 35% sekam padi dengan salah satu komponen utama  $\text{SiO}_2$ . Sekam padi mengandung air (9,02%), abu (17,71%), dan karbohidrat (33,71%). Silika gel dihasilkan dari koagulasi sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ) dengan struktur yang sangat berpori sehingga efektif menyerap kelembapan. Pemanfaatan sekam padi untuk produksi silika gel merupakan solusi yang efisien. Gasifikasi sekam padi mengubah limbah biomassa menjadi *syngas*, dengan hasil samping abu. Penelitian ini dilakukan dengan mengolah abu sekam padi hasil gasifikasi menjadi natrium silikat, kemudian dilanjutkan proses sol-gel menggunakan asam kuat dan asam lemah untuk menghasilkan silika gel. Gasifikasi pada suhu  $750^\circ\text{C}$  (5 jam). Abu dihaluskan dan diayak (150 mesh). Proses ekstraksi ( $80^\circ\text{C}$ , 1 jam) menggunakan  $\text{NaOH}$  1N, kemudian ditambahkan asam hingga pH 7. Larutan asam berupa  $\text{HCl}$  1N dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  p.a. Campuran dipanaskan ( $80^\circ\text{C}$ ) hingga berat silika gel konstan. Silika gel dianalisis FT-IR dan uji adsorpsi kelembapan udara. Sintesis silika gel dengan penambahan  $\text{HCl}$  menghasilkan yield lebih sedikit daripada dengan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Hasil analisis FT-IR silika gel abu sekam padi terlihat adanya gugus fungsi Si-OH dan gugus Si-O-Si. Dari uji penjerapan air, silika gel dengan penambahan asam kuat ( $\text{HCl}$ ) mempunyai kemampuan penjerapan air lebih tinggi dari silika gel hasil sintesis dengan penambahan asam lemah ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).

**Kata kunci:** sekam padi, gasifikasi, abu, asam, silika gel

### ABSTRACT

*The rice milling industry produces 35% rice husk, which contains silica ( $\text{SiO}_2$ ) as one of its main components. Rice husk comprises water (9.02%), ash (17.71%), and carbohydrates (33.71%). Silica gel is derived from the coagulation of sodium silicate ( $\text{NaSiO}_2$ ) sol and is highly porous, making it effective in moisture adsorption. Utilizing rice husk for silica gel production presents an efficient solution. Rice husk gasification transforms biomass waste into *syngas*, with ash as a byproduct. This study involved processing rice husk ash from gasification into sodium silicate, followed by a sol-gel process using both strong and weak acids to produce silica gel. Gasification was performed at  $750^\circ\text{C}$  for 5 hours. The ash was ground and sieved (150 mesh). Extraction was conducted at  $80^\circ\text{C}$  for 1 hour using 1N  $\text{NaOH}$ , after which acid was added until the pH reached 7. The acids used were 1N  $\text{HCl}$  and acetic acid. The mixture was heated to  $80^\circ\text{C}$  until the silica gel reached a constant weight. The resulting silica gel was analyzed using FT-IR and tested for air moisture adsorption. The synthesis of silica gel using  $\text{HCl}$  yielded less product compared to using  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . FT-IR analysis of the rice husk ash silica gel indicated the presence of Si-OH and Si-O-Si functional groups. In the water adsorption test, silica gel synthesized with strong acid ( $\text{HCl}$ ) exhibited higher water adsorption capability compared to silica gel synthesized with weak acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).*

**Keyword :** rice husk, gasification, ash, acid, silica gel

### PENDAHULUAN

Sekam adalah kulit padi sesudah padi ditumbuk. Sekam padi yang merupakan lapisan keras meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling berkaitan. Pada industri penggilingan padi menghasilkan 65% beras, 35% sekam padi. Komponen utama sekam padi terdiri dari selulosa (38%), hemiselulosa (18%), lignin (22%), dan  $\text{SiO}_2$  (silika). Sekam padi mengandung beberapa unsur kimia penting, antara lain kadar air (9,02%), protein kasar (3,03%), lemak (1,18%), serat kasar (35,68%), abu (17,71%), dan karbohidrat (33,71%) [1]. Ekstraksi silika dari sekam padi didasarkan pada tingginya kelarutan silika amorf dalam larutan alkalis seperti kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ), natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), atau natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Prosesnya dimulai dengan melarutkan silika dalam larutan alkalis, sehingga terbentuk silika terlarut. Setelah itu, silika terlarut diendapkan kembali dengan menambahkan asam, seperti asam klorida, asam sitrat, asam asetat, atau asam oksalat, yang menyebabkan silika mengendap dalam bentuk padatan yang dapat diambil untuk berbagai aplikasi.



ISSN: 1907-5995

Silika gel adalah suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui proses penggumpalan (koagulasi) sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Silika gel memiliki struktur yang sangat berpori, yang membuatnya sangat efektif dalam menyerap kelembapan. Proses pembuatannya melibatkan reaksi antara natrium silikat dan asam, yang membentuk gel basah, kemudian dikeringkan untuk menghasilkan gel yang keras dan berpori. Penelitian yang lain yang telah dilakukan, meneliti karakteristik adsorpsi silika gel yang dihasilkan dari natrium silikat, serta efektivitasnya sebagai desikan untuk berbagai aplikasi. Pengaruh struktur berpori terhadap kemampuan adsorpsi di lingkungan kelembapan tinggi juga dieksplorasi [2].

Silika gel umumnya digunakan sebagai bahan pengering (desikan) untuk menjaga kelembapan rendah pada berbagai produk, seperti obat-obatan, makanan, barang elektronik, dan tekstil. Silika gel berfungsi untuk menyerap uap air dari udara sekitar, sehingga dapat mencegah kerusakan produk yang disebabkan oleh kelembapan tinggi, seperti jamur, korosi, atau penggumpalan. Silika gel sebagai material yang efektif dalam menjaga kelembapan rendah di lingkungan yang sensitif terhadap air [3]. Produksi silika aerogel dari natrium silikat dengan struktur berpori optimal dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengeringan dan penyerap kelembapan di industri elektronik dan farmasi [4].

Selain itu, silika gel juga banyak digunakan di laboratorium untuk kromatografi lapis tipis (TLC) dan kromatografi kolom sebagai media pemisahan senyawa kimia. Struktur berpori yang tinggi memungkinkan pemisahan senyawa kimia secara efisien [5]. Silika gel biasanya tersedia dalam bentuk butiran kecil atau kristal transparan, dan sering dikemas dalam kantong kecil yang dapat ditemui dalam kemasan produk. Berbagai penelitian menegaskan bahwa silika gel sering digunakan dalam kemasan produk untuk menyerap kelembapan. Silika gel membantu melindungi produk dari kelembapan yang dapat menyebabkan kerusakan seperti jamur atau korosi, terutama dalam produk makanan, tekstil, dan barang elektronik. Kantong kecil silika gel umumnya ditemui dalam kemasan barang-barang ini untuk menjaga kualitas produk sepanjang masa penyimpanan dan distribusi. Efektivitas silika gel sebagai pengering juga diaplikasikan dalam penyimpanan benih, di mana silika gel menurunkan kadar air dan mencegah kontaminasi mikotoksin pada biji-bijian yang disimpan di lingkungan lembap [6].

Pemanfaatan sekam padi untuk produksi silika gel merupakan solusi yang berkelanjutan dan efisien dalam memanfaatkan limbah pertanian. Dengan teknologi yang tepat, sekam padi dapat diubah menjadi silika gel berkualitas tinggi yang dapat digunakan dalam berbagai industri, mulai dari pengemasan hingga pemisahan senyawa kimia. Ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan negatif dari limbah sekam padi. Gasifikasi sekam padi adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengubah limbah biomassa menjadi energi yang bermanfaat. Dengan menggunakan teknologi gasifikasi, sekam padi yang biasanya tidak dimanfaatkan dapat diubah menjadi *syngas*, yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, atau bahan bakar gas. Hasil samping dari proses gasifikasi sekam padi ini adalah abu sekam padi. Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian tentang sintesis silika gel dari abu sekam padi hasil gasifikasi. Penelitian ini dilakukan dengan mengolah abu sekam padi hasil gasifikasi menjadi natrium silikat yang kemudian dilanjutkan proses sol-gel menggunakan asam kuat dan asam lemah untuk menghasilkan silika gel.

## METODE PENELITIAN

Limbah sekam padi yang telah dibersihkan dari kotoran selanjutnya diproses gasifikasi pada suhu  $750\text{ }^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Abu yang dihasilkan dari proses gasifikasi kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 150 mesh. Proses ekstraksi dilakukan dengan larutan  $\text{NaOH}$  1N pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam, diikuti dengan penambahan larutan asam hingga pH 7. Larutan asam yang digunakan adalah larutan asam kuat  $\text{HCl}$  1N dan larutan asam lemah  $\text{CH}_3\text{COOH}$  p.a. Selanjutnya, campuran tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$  hingga berat silika gel mencapai konstan (stabil). Setelah itu, dilakukan analisis FT-IR dan uji adsorpsi kelembapan udara pada silika gel yang dihasilkan.

## HASIL DAN ANALISIS

Sekam padi yang digunakan sebagai bahan baku berasal dari tempat penggilingan padi di Kalurahan Sidoarum, Godean, Sleman, Yogyakarta. Sebelum diproses, sekam padi terlebih dahulu dibersihkan dari pengotor dan dikeringkan. Proses pengeringan perlu dilakukan karena sekam padi biasanya mempunyai kadar air yang cukup tinggi. Peningkatan dilakukan untuk mengurangi kadar air dalam sekam agar proses gasifikasi berjalan lebih efisien. Sekam kemudian dilakukan gasifikasi dalam reaktor gasifikasi pada suhu  $750^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Gasifikasi sekam padi adalah proses mengubah sekam padi (hasil samping dari penggilingan padi) menjadi gas bakar atau *syngas* melalui reaksi kimia pada suhu tinggi. Dalam proses gasifikasi ini, bahan baku sekam padi

dipanaskan dengan udara atau oksigen dalam jumlah terbatas, yang menyebabkan bahan organik dalam sekam terurai menjadi gas yang mudah terbakar, seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan metana (CH<sub>4</sub>). Proses gasifikasi meliputi proses pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pembakaran pada suhu yang tinggi berfungsi untuk menghilangkan fraksi organik dari sekam padi, sehingga yang tertinggal hanya fraksi anorganiknya saja [7]. Abu yang diperoleh dari pembakaran sekam padi pada suhu 750<sup>o</sup>C selama 5 jam memiliki rendemen rata-rata sebesar 21,75%.

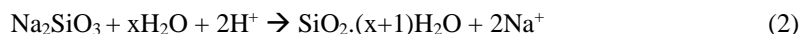
Proses pembuatan larutan natrium silikat dari abu sekam padi diawali dengan pembakaran sekam melalui proses gasifikasi untuk memperoleh abu yang kaya silika. Setelah abu sekam padi terbentuk, langkah berikutnya adalah mencampur sebanyak 15 gram abu sekam padi dengan 90 mL larutan alkali (larutan NaOH 1N) pada suhu tinggi (80<sup>o</sup>C) selama 90 menit untuk memperoleh silika dalam bentuk natrium silikat [8]. Reaksi yang terjadi antara silika dalam abu sekam padi hasil gasifikasi dengan NaOH yang membentuk natrium silikat adalah sebagai berikut:



Setelah proses ekstraksi ini selesai dan campuran kemudian didinginkan. Filtrat yang diperoleh dari proses ini mengandung larutan natrium silikat. Campuran disaring dan residu dicuci dengan 100 mL air panas. Larutan natrium silikat yang dihasilkan berwarna putih bening.

### Pembuatan Silika Gel

Proses pembentukan silika gel dilakukan dengan menambahkan larutan asam ke dalam larutan silikat untuk mengubah natrium silikat menjadi gel silika yang memiliki berbagai aplikasi dalam material berbasis silika. Larutan asam yang digunakan dalam proses pembentukan silika gel adalah asam asetat p.a dan larutan HCl 1 N. Sebelum penambahan asam, dilakukan pengukuran pH larutan natrium silikat terlebih dahulu untuk menentukan nilai pH awal. Kemudian ke dalam larutan sampel ditambahkan larutan asam sampai pH larutan menjadi pH 7. Berdasarkan penelitian oleh peneliti sebelumnya silika gel yang dihasilkan pada kondisi pH 7 memiliki rendemen dan luas permukaan yang paling besar. Proses pembentukan gel silika yang melibatkan silikat terjadi melalui reaksi pembentukan ikatan siloksan (-Si-O-Si-). Dalam reaksi ini, natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) yang dihasilkan dari pengolahan abu sekam padi limbah proses gasifikasi ditambahkan dengan larutan asam [9]. Pada saat proses penurunan pH larutan menggunakan asam, silikat akan terhidrolisis dan membentuk gel silika dengan reaksi sebagai berikut:



Setelah penambahan asam, terbentuk hidrogel bening. Gel yang terbentuk selanjutnya dibiarkan selama 18 jam untuk proses pematangan gel. Tahap pematangan gel silika (*aging*) merupakan tahap dimana gel yang baru terbentuk dibiarkan dalam larutan agar berkesempatan untuk memperbaiki strukturnya. Selama proses pematangan, terjadi beberapa hal antara lain polimerisasi, pertukaran ion, dan penghilangan udara. Proses polimerisasi merupakan tahap dimana katan siloksan (-Si-O-Si-) terbentuk lebih lanjut, menghasilkan jaringan tiga dimensi yang lebih stabil. Ini menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik dan daya serap gel. Sedangkan pada proses pertukaran ion, Ion dalam larutan dapat berpindah ke dalam jaringan silika, membantu menstabilkan struktur dan memperbaiki sifat adsorptif gel. Kemudian dilanjutkan mekanisme penghilangan udara, untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap dalam gel, yang dapat mempengaruhi kualitas silika yang dihasilkan. Proses ini dilakukan selama beberapa jam hingga beberapa hari [10]. Pada penelitian ini dibiarkan selama 18 jam.

Setelah pematangan, gel silika kemudian dicuci dengan aquades untuk menghilangkan garam-garam yang merupakan produk samping dari reaksi polimerisasi asam silikat. Gal yang sudah bersih kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kadar air. Kondisi pengeringan dilakukan pada suhu 80<sup>o</sup>C selama 2 jam. Pada pengeringan selama 2 jam ini sudah diperoleh berat gel silika yang konstan. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dalam bahan dengan menguapkan air dari permukaan bahan. Proses pengeringan diikuti oleh pengurangan volume dan proses ini tidak terjadi dalam waktu yang sekaligus, sehingga membutuhkan waktu yang lama. Hasil akhir dari proses pengeringan ini adalah silika berbentuk serbuk berwarna putih. Hasil dari proses pengeringan yang merupakan silika gel kering disebut *xerogel*. *Xerogel* merupakan silika gel kering yang dihasilkan dengan mengeringkan fasa cair dalam pori-pori melalui proses evaporasi, Serbuk silika yang diperoleh kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan dilakukan pengayakan dengan ayakan ukuran 200 mesh untuk mendapatkan silika dengan ukuran partikel yang seragam.

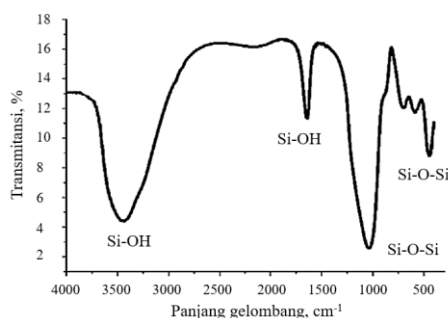
Penelitian lain menunjukkan bahwa waktu *aging* berhubungan dengan luas permukaan yang dihasilkan. Variasi waktu *aging* (12, 15, 18, dan 21 jam), diperoleh bahwa pada waktu *aging* 18 jam menghasilkan luas permukaan

gel silika yang tinggi yaitu sebesar 23,005 m<sup>2</sup>/g dan untuk waktu *aging* setelah 18 jam ukuran luas permukaan menurun mencapai 22,832 m<sup>2</sup>/g [11]. Pada waktu *aging* 18 jam, ikatan jaringan siloksan yang terbentuk telah mencapai kestabilan yang diharapkan mampu menahan tekanan panas saat proses pengeringan sehingga tidak terjadi pengerutan pori silika xerogel. Waktu *aging* yang lebih panjang dari 18 jam mengalami penurunan luas permukaan karena semakin lama waktu *aging* maka kekuatan ikatan jaringan gel akan semakin kuat maka akan terjadi pengerutan permukaan pada proses pengeringan yang dapat mengurangi luas permukaan silika xerogel. Dapat disimpulkan bahwa dalam proses *aging*, semakin lama proses *aging* maka luas permukaan dari silika xerogel yang dihasilkan cenderung akan mengalami penurunan [12].

Pada penelitian ini, silika gel yang dihasilkan dengan penambahan HCl adalah 13,82 g dengan yield sebesar 92,13%. Sedangkan proses yang menggunakan penambahan CH<sub>3</sub>COOH dapat menghasilkan 14,22 g silika gel dengan yield sebesar 94,78%. Yield silika gel yang diproses dengan penambahan CH<sub>3</sub>COOH yang dihasilkan lebih besar daripada penambahan HCl.

### Hasil Analisis FT-IR Silika Gel

Silika gel yang dihasilkan kemudian dilakukan identifikasi gugus fungsionalnya berdasarkan analisis FT-IR. Hasil analisis FT-IR terlihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 tersebut dapat diidentifikasi adanya gugus silanol (Si-OH) dan juga gugus siloksan (Si-O-Si)



**Gambar 1.** Spektra hasil pengujian FT-IR silika gel dari abu sisa gasifikasi sekam padi

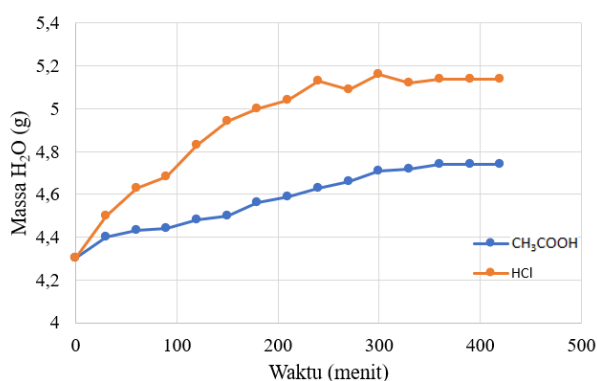
Dari hasil pengujian spektrum yang terlihat muncul puncak yang kuat pada silika gel yang disintesis dengan penambahan larutan asam HCl dan CH<sub>3</sub>COOH berturut-turut pada panjang gelombang 1652 cm<sup>-1</sup> dan 1601 cm<sup>-1</sup> yang merupakan puncak untuk vibrasi gugus -OH dari Si-OH. Sedangkan vibrasi dari ikatan hidrogen terdeteksi pada puncak dengan panjang gelombang 3475,3 cm<sup>-1</sup> dan 3423,7 cm<sup>-1</sup>. Puncak gugus -OH dan gugus hidrogen pada analisis FTIR silika yang berasal dari abu sekam padi muncul karena beberapa alasan, antara lain adalah adanya kelembapan yang terjebak dalam struktur silika. Kelembapan ini dapat berasal dari proses pengeringan yang tidak sempurna, silika dalam abu sekam padi sering memiliki gugus silanol (Si-OH) yang terbentuk dari reaksi silika dengan air atau proses hidrasi. Gugus ini berkontribusi terhadap puncak OH dalam spektrum FTIR, puncak OH juga bisa berasal dari interaksi silika dengan senyawa lain dalam abu sekam padi, yang dapat menghasilkan ikatan hidrogen. Selain itu, selama proses pembakaran, beberapa senyawa organik di dalam sekam padi bisa terurai, menghasilkan senyawa yang mengandung gugus OH. Puncak-puncak ini memberikan informasi penting tentang sifat fisik dan kimia silika yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi [13].

Puncak khas dari gugus Si-O-Si pada silika gel dengan penambahan HCl terlihat pada puncak yang muncul pada bilangan gelombang 1085 cm<sup>-1</sup>; 484 cm<sup>-1</sup>, sedangkan puncak khas dari Si-O-Si dari silika gel yang disintesis dengan penambahan CH<sub>3</sub>COOH muncul pada bilangan gelombang 1098 cm<sup>-1</sup> dan 475 cm<sup>-1</sup>. Dengan munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 1600 cm<sup>-1</sup> dengan intensitas yang cukup tinggi dan juga didukung dengan intensitas serapan yang cukup tinggi pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm<sup>-1</sup>, dapat diidentifikasi bahwa silika gel yang dihasilkan masih mengandung air [14].

### Aplikasi Silika Gel untuk Penjerapan Uap Air

Kemampuan silika gel untuk melakukan penjerapan uap air menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi maka jumlah uap air yang terjerap dalam silika gel semakin banyak. Tetapi pada waktu tertentu silika gel akan

menjadi jenuh dengan uap air, hal ini terlihat dari garis mendatar pada grafik hubungan antara massa H<sub>2</sub>O terjerap dengan waktu penjerapan (Gambar 2). Silika gel yang dihasilkan dengan penambahan asam kuat mempunyai kemampuan penjerapan yang lebih besar daripada silika gel yang disintesis dengan penambahan asam lemah, karena biasanya silika gel dengan penambahan asam kuat memiliki luas permukaan (*surface area*) yang lebih besar dibandingkan dengan silika gel yang dihasilkan dari asam lemah.



**Gambar 2.** Kurva penjerapan air oleh silika gel

## KESIMPULAN

Sintesis silika gel dari abu sekam padi hasil gasifikasi dengan penambahan HCl (asam kuat) menghasilkan yield yang lebih sedikit daripada proses sintesis dengan penambahan asam lemah (CH<sub>3</sub>COOH). Sedangkan dari hasil analisis FT-IR silika gel dari abu sekam padi hasil gasifikasi terlihat adanya gugus fungsi Si-OH dan gugus Si-O-Si. Dari uji penjerapan air, silika gel dengan penambahan asam kuat (HCl) mempunyai kemampuan penjerapan air lebih tinggi dari silika gel hasil sintesis dengan penambahan asam lemah (CH<sub>3</sub>COOH).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DP2M) Universitas AKPRIND Indonesia dan seluruh pihak yang telah terlibat dan membantu terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhakti CP, Ghafur AL, Setiawan RA, Widodo A. Pelatihan dan Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Briket Bioarang di Desa Kemranggon, Kecamatan Susukan Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Pemberdayaan: Publikasi Hasil Pengabdian kepada Masyarakat*. 2019. 3(1): 117-122.
- [2] Zhao H, Liu G. Study on the Adsorption Properties of Silica Gel Derived from Sodium Silicate in Humidity Control Applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2019. 7(6).
- [3] Uddin MS, Hossain MA. Silica Gel Adsorbents for Industrial Moisture Control: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2021. 45: 3211-3215.
- [4] RSC Advances. (2021). Sodium Silicate-Derived Aerogels: Effect of Processing Parameters on Their Applications. *RSC Advances*. 2021;11(15): 15301–15322.
- [5] Nanda KK, Singh, P. Advanced Silica Gel Applications in Laboratory Chromatography. *Analytical Chemistry Reviews*. 2022; 36(2): 57-66.
- [6] Guzzon F, Costich DE, Afzal I, Barboza BL, Monge VAA, Vargas RE, Bello P, Dahal P, Sánchez CC, Zavala EC, Imran S, Patolo S, Tukia TN, Van AJ, Nabubuniyaka-Young E, Gianella M, Bradford KJ. 2024. Applications of dry chain technology to maintain high seed viability in tropical climates. *PeerJ*. 12: e18146
- [7] Rahmawan NH, Ridho H, Suyanto S., Septyaningrum E, Wahyuono RA. Simulation of syngas purification in the gasification of rice husk using different metal oxide adsorbents. *AIP Conference Proceedings*. 2021; 2604(1), 020017-020017-7.
- [8] Rahmawati A, Prasetyo H. Proses Pembuatan Silika dari Abu Sekam Padi untuk Material Industri. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*. 2022; 10(1), 45–53.
- [9] Riza M, Fachraniah, Syafruddin. Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Pereaksi Asam Kuat dan Asam Lemah dengan Variasi Jumlah Abu Silikat. *Jurnal Teknologi*. 2022; 22(2), 123-130.
- [10] Huljana M, Rodiah M. Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi dengan Metode Sol-gel. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 2019; 1-8.



ISSN: 1907-5995

- [11] Cynthia, Nasra E. Penentuan Kondisi Optimum Waktu Aging Pada Sintesis Silika Xerogel Dari Limbah Abu Terbang. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu (GJMI)*. 2024; 2(2), 50–53.
- [12] Turmuzi M, Syam ZL, Yunita TP. Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu Aging pada Pembuatan Silika Gel dari Fly Ash Batu Bara. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2023; 12(2), 124–131.
- [13] Ullal VN, Thimmegowda S, Aveen KP. Rice husk ash utilization, composition and properties: A brief review. *Journal of Metals Materials and Minerals*. 2022; 32(4):37–46.
- [14] Handayani PA, Nurjanah E, Rengga WDP. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan (JBAT)*. 2015; 4(2). 55-59.