

Potensi Sekam Padi sebagai Sumber Silika Hidrofobik

Gabriela Elsandika[✉], Made Dirgantara

Fisika, FMIPA, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

[✉]Email: g.elsandika@mipa.upr.ac.id

Submitted: 04-08-2024 Revised: 12-01-2025 Accepted: 14-02-2025

ABSTRAK

Sekam padi, sebagai limbah pertanian yang melimpah, mengandung silika yang berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku industri. Silika hidrofobik dari sekam padi memiliki beragam aplikasi, mulai dari bahan bangunan hingga produk perawatan diri. Tujuan kajian ini adalah untuk mengkaji literatur yang ada mengenai potensi sekam padi sebagai sumber silika hidrofobik, metode ekstraksi dan modifikasi yang digunakan, serta karakteristik dan aplikasi silika hidrofobik yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan pencarian literatur yang relevan melalui berbagai database ilmiah. Hasil kajian menunjukkan bahwa berbagai metode ekstraksi telah berhasil digunakan untuk mengekstrak silika dari sekam padi. Modifikasi permukaan silika dengan agen pengubah permukaan juga telah dilakukan untuk meningkatkan sifat hidrofobiknya. Silika hidrofobik yang dihasilkan memiliki karakteristik yang bervariasi tergantung pada metode ekstraksi dan modifikasi yang digunakan. Kesimpulan dari kajian ini adalah sekam padi memiliki potensi besar sebagai sumber silika hidrofobik. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses ekstraksi dan modifikasi agar diperoleh silika hidrofobik dengan kualitas yang konsisten dan sesuai untuk aplikasi spesifik. Pemanfaatan silika sekam padi dapat berkontribusi pada pengembangan industri yang lebih berkelanjutan, mengurangi limbah pertanian, dan menciptakan nilai tambah dari sumber daya yang sebelumnya terabaikan.

Kata Kunci: *ekstraksi, modifikasi, sekam padi, silika hidrofobik*

ABSTRACT

Rice husk, as an abundant agricultural waste, contains silica with great potential to be utilized as industrial raw material. Hydrophobic silica derived from rice husk has many applications, from building materials to personal care products. This study aims to review the existing literature on the potential of rice husk as a source of hydrophobic silica, the extraction and modification methods used, and the characteristics and applications of the resulting hydrophobic silica. The method used in this study was to search relevant literature through various scientific databases. The study results showed that various extraction methods, such as alkali and acid methods, have been successfully used to extract silica from rice husks. Surface modification of silica with surface modifying agents has also been carried out to improve its hydrophobic properties. The hydrophobic silica produced has varying characteristics depending on the extraction and modification methods used. This study concludes that rice husk has great potential as a source of hydrophobic silica. However, further research is needed to optimize the extraction and modification processes to obtain hydrophobic silica with consistent quality and suitable for specific applications. This study implies that the utilization of rice husk silica can contribute to the development of a more sustainable industry, reduce agricultural waste, and create added value from previously neglected resources.

Keywords: *extraction, hydrophobic silica, modification, rice husk*

PENDAHULUAN

Silika hidrofobik telah menjadi bahan yang sangat penting dalam berbagai industri karena sifat hidrofobiknya yang unik. Kemampuannya untuk menolak air membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi, mulai dari katalis dalam reaksi organik hingga adsorben untuk polutan hidrofobik [1]. Dalam industri katalis, silika hidrofobik digunakan sebagai pendukung katalis yang efisien, meningkatkan selektivitas dan stabilitas katalis dalam lingkungan basah. Sebagai adsorben, silika hidrofobik sangat efektif dalam menyerap senyawa organik yang tidak larut dalam air, seperti minyak dan hidrokarbon, yang menjadikannya bahan yang sangat berguna dalam pengolahan air limbah dan remediasi lingkungan [2].

Sifat hidrofobik silika telah membuka peluang luas untuk penerapannya dalam berbagai material komposit. Silika hidrofobik dapat meningkatkan sifat hidrofobik dari polimer, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban dan korosi [3]. Selain itu, silika hidrofobik juga digunakan sebagai pengisi dalam pembuatan karet dan plastik, memberikan sifat mekanik yang lebih baik dan meningkatkan ketahanan terhadap abrasi [4]. Dalam industri farmasi, silika hidrofobik digunakan sebagai eksipien dalam formulasi obat untuk meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas obat [5].

Sumber silika konvensional seperti kuarsa dan silika gel memang melimpah di alam, namun eksploitasi besar-besaran terhadap sumber daya ini dapat menimbulkan kekhawatiran akan ketersediaannya di masa depan [6]. Selain itu, proses ekstraksi dan pemurnian silika konvensional seringkali membutuhkan energi yang tinggi dan menghasilkan limbah yang cukup signifikan, sehingga meningkatkan biaya produksi [7]. Hal ini membuat pencarian alternatif sumber silika yang lebih berkelanjutan menjadi semakin penting.

Pengambilan silika konvensional dari alam dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Proses penambangan kuarsa, misalnya, dapat menyebabkan erosi tanah, kerusakan habitat, dan pencemaran air [8]. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk mengurangi ketergantungan pada sumber silika konvensional dan mengembangkan sumber alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Limbah pertanian, seperti sekam padi, tongkol jagung, dan kulit buah-buahan, selama ini sering dianggap sebagai sampah yang tidak berguna. Padahal, limbah-limbah tersebut menyimpan potensi besar sebagai sumber silika alternatif [9] [10] [11]. Kandungan silika yang cukup tinggi dalam beberapa jenis limbah pertanian membuatnya menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi. Dengan memanfaatkan limbah pertanian, kita tidak hanya mengurangi volume limbah yang perlu dikelola, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang lebih berkelanjutan.

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil beras. Berdasarkan berita resmi statistik yang dirilis oleh BPS pada 1 Maret 2024, luas panen padi mencapai sekitar 10,21 juta hektar, dengan produksi padi sebesar 53,98 Juta Ton Gabah Kering Giling [12]. Salah satu wilayah pertanian padi yang luas di Kalimantan Tengah berada di Desa Subur Indah, Kecamatan Katingan Kuala, Kabupaten Katingan yaitu 2171,7 hektar dengan perkiraan hasil gabah sebesar 4500 ton per masa tanam. Dari proses penggilingan gabah diperoleh limbah sekam padi sebanyak 1200 ton [13].

Pemanfaatan sekam padi untuk produk-produk bernilai ekonomi tinggi masih relatif terbatas karena sifatnya yang kasar, bernilai gizi rendah, dan memiliki kadar abu yang cukup tinggi [14]. Selama ini masyarakat sekitar mereduksi keberadaan sekam padi dengan cara membakar. Abu sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 87-97% [15]. Sehingga jika diolah secara optimal untuk diekstrak silikanya, limbah sekam padi ini dapat menjadi produk bernilai jual yang tinggi, yang dapat membantu perekonomian petani.

Berdasarkan uraian di atas review ini disusun untuk menyajikan gambaran komprehensif mengenai potensi sekam padi sebagai sumber silika hidrofobik. Selain itu juga untuk mengidentifikasi metode ekstraksi dan modifikasi yang efektif untuk menghasilkan silika hidrofobik dari sekam padi. Serta mengeksplorasi potensi aplikasi silika hidrofobik dari sekam padi dalam berbagai bidang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur untuk mengidentifikasi potensi sekam padi sebagai sumber silika hidrofobik. Data diperoleh melalui pencarian komprehensif pada berbagai basis data ilmiah menggunakan kata kunci yang relevan. Artikel-artikel yang memenuhi kriteria seleksi kemudian dianalisis secara kritis untuk mengekstrak informasi mengenai metode ekstraksi, karakterisasi, dan aplikasi silika hidrofobik dari sekam padi. Data yang diperoleh kemudian disintesis untuk mengidentifikasi tren penelitian, kesenjangan pengetahuan, dan potensi pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Silika dari Sekam Padi

Sintesis silika hidrofobik melibatkan beberapa tahapan, mulai dari ekstraksi silika dari sumber alam atau limbah, diikuti dengan proses pemurnian dan modifikasi permukaan [16]. Ekstraksi silika umumnya dilakukan dengan metode kimia atau fisik, seperti perlakuan dengan asam atau basa, kalsinasi, atau metode sol-gel [17] [18]. Tahap modifikasi permukaan sangat krusial untuk memberikan sifat hidrofobik pada silika. Proses ini melibatkan pengenalan gugus alkil atau aril ke permukaan silika melalui reaksi silanisasi [19].

Proses ekstraksi silika dari sekam padi sendiri dapat bervariasi tergantung pada metode ekstraksi dan pemurnian yang digunakan. Selain metode alkali, ekstraksi silika juga dapat dilakukan menggunakan asam atau pelarut organik. Pemurnian silika dapat dilakukan melalui proses pencucian, pengendapan ulang, atau kombinasi keduanya. Variasi metode ini memungkinkan diperolehnya silika dengan karakteristik yang berbeda-beda, seperti ukuran partikel, luas permukaan, dan distribusi pori.

Metode Ekstraksi Alkali

Ekstraksi silika dengan metode alkali adalah suatu proses kimia yang digunakan untuk memisahkan silika (SiO_2) dari bahan baku, salah satunya adalah abu sekam padi (Tabel 1). Metode ini memanfaatkan sifat basa dari larutan alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) untuk melarutkan silika yang terkandung dalam abu tersebut [9] [20].

Secara umum, sekam padi dibakar pada suhu tinggi untuk menghasilkan abu yang kaya akan silika. Abu sekam padi direaksikan dengan larutan alkali dalam kondisi tertentu (suhu, waktu reaksi, konsentrasi). Silika dalam abu akan bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) dalam larutan alkali membentuk silikat. Larutan silikat yang terbentuk kemudian diasamkan dengan penambahan asam (misalnya, asam klorida HCl) untuk menurunkan pH. Penurunan pH akan menyebabkan silika mengendap kembali dalam bentuk gel. Endapan silika dicuci dengan air untuk menghilangkan ion-ion pengotor dan kemudian dikeringkan. Jika diperlukan silika dengan kemurnian yang lebih tinggi, endapan silika dapat dikalsinasi pada suhu tinggi untuk menghilangkan sisa-sisa air dan senyawa organik.

Tabel 1. Ekstraksi silika sekam padi dengan metode alkali

Sumber Silika	Penggunaan Alkali	Kandungan Silika	Ref.
Sekam padi Banjar jenis Pandak	NaOH 2,0M	48,6 %	[9]
Sekam padi dari penggilingan padi di Kabupaten Cilacap	KOH 5%	19,32%	[20]
Sekam padi dari Desa Rias Kabupaten Bangka Selatan	NaOH 3M	77,044%	[21]
Sekam padi dari Lal Swarna, India	NaOH 1N	99,13 %	[22]
Sekam padi dari penggilingan padi di Samrat, Burdwan, India	NaOH 1,5N	99 wt%	[23]

Metode Refluks

Metode refluks adalah teknik ekstraksi yang memanfaatkan prinsip pemanasan dan pendinginan secara berulang untuk memaksimalkan proses pelarutan senyawa target dari suatu bahan (Tabel 2). Metode ini sering digunakan dalam proses isolasi dan pemurnian senyawa organik. Teknik ini efektif untuk mengekstrak silika dari abu sekam padi [18]. Metode ini memungkinkan pelarut untuk berkontak dengan bahan baku secara terus-menerus pada suhu yang relatif tinggi tanpa terjadi kehilangan pelarut.

Prinsip kerjanya sekam padi dibakar hingga menjadi abu. Abu sekam padi dicampur dengan larutan basa (misalnya NaOH) dalam labu leher tiga. Campuran dipanaskan dalam kondisi refluks selama waktu tertentu. Campuran didinginkan hingga suhu ruang. Campuran disaring untuk memisahkan larutan silikat dari residu. Silika diendapkan dari larutan silikat dengan penambahan asam (misalnya HCl). Endapan silika dicuci dengan air hingga pH netral. Endapan silika dikeringkan dalam oven. Untuk meningkatkan kemurnian, silika dapat dikalsinasi pada suhu tinggi.

Tabel 2. Ekstraksi silika sekam padi dengan metode refluks

Sumber Silika	Variabel dalam teknik refluks	Kandungan Silika	Ref.
Sekam padi dari industri penggilingan padi di Leuwilang, Bogor	NaOH 5% HCl 1M Waktu 1 jam Temperatur 80 C	84 wt%	[18]
Sekam padi dari Makassar	NaOH 4N HCl 4N	77,68%	[24]
Sekam padi dari penggilingan padi lokal di Mesir	NaOH 2.5N HCl 1N Waktu 3 jam Temperatur 130 °C	99%	[25]

Metode Sol-Gel

Metode sol-gel melibatkan pembentukan sol (suspensi koloid) yang kemudian mengalami proses gelasi (pembentukan gel) (Tabel 3). Proses ini melibatkan hidrolisis dan kondensasi prekursor silika. Pada kasus ekstraksi silika dari sekam padi, abu sekam padi yang kaya akan silika dapat digunakan sebagai prekursor [26].

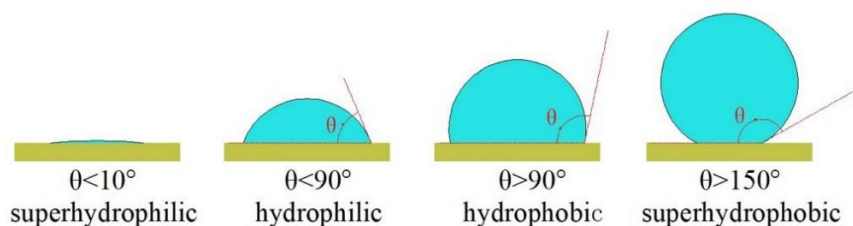
Tahapannya meliputi sekam padi dibakar hingga menjadi abu. Abu sekam padi direaksikan dengan larutan basa (misal, NaOH) untuk membentuk silikat. Larutan silikat ini kemudian dihidrolisis dan mengalami kondensasi membentuk sol. Sol yang terbentuk secara perlahan akan membentuk gel tiga dimensi. Gel dikeringkan pada suhu rendah untuk menghilangkan pelarut. Gel kering dapat dikalsinasi pada suhu tinggi untuk menghilangkan gugus hidroksil dan menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi.

Tabel 3. Ekstraksi silika sekam padi dengan metode sol-gel

Sumber Silika	Bahan yang digunakan	Produk	Ref.
Sekam padi dari petani di daerah Desa Darek, Kecamatan Praya Barat Daya, Kabupaten Lombok Tengah, NTB	NaOH 4M HCl 3M	Silika gel Silika mesopori	[27]
Sekam padi jenis ciherang dari Desa Mulya Jaya kecamatan Lalan, Palembang	HCl 1M NaOH 1M	Silika serbuk	[28]
Sekam padi dari Semarang	NaOH 1,5M HCl 1M	Xerogel	[29]
Sekam padi dari penggilingan padi PT. Jatisari Sri Rejeki, Karawang, Jawa Barat	HCl 10% KOH 13%	Silika serbuk	[30]
Sekam padi dari ladang pertanian di Giza, Mesir	NaOH 2,5M HCl	Silika nanopartikel	[31]

Modifikasi Silika

Sebuah permukaan dapat dikatakan memiliki sifat hidrofobik jika sebuah tetesan air atau *droplet* yang mengenai permukaan tersebut membentuk sudut kontak yang tinggi yaitu lebih dari 90° (Gambar 1) [32].



Gambar 1. Sudut Kontak Droplet dengan Permukaan Material [33]

Silika yang diekstraksi langsung dari abu sekam padi umumnya bersifat hidrofilik [34]. Artinya, silika ini cenderung menarik dan menyerap molekul air. Sifat hidrofilik ini disebabkan oleh adanya gugus silanol (Si-OH) pada permukaan silika yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air [26]. Namun, sifat hidrofilik silika ini dapat diubah menjadi hidrofobik melalui proses modifikasi. Modifikasi ini melibatkan penggantian gugus silanol dengan *modifying agent* berupa gugus organik nonpolar, seperti alkil atau fluor, sehingga permukaan silika menjadi lebih menolak air [19]. Proses ini disebut silanisasi. Penggantian Hidrogen (H) pada gugus Si-OH dengan gugus organofungsional yang stabil seperti Si-R (R=CH₃, C₂H₅, dsb.), Alkoxysilane, atau Alkylchlorosilane dapat membuat nanosilika menjadi hidrofobik [35].

Modifikasi silika hidrofobik umumnya dilakukan melalui reaksi antara gugus silanol pada permukaan silika dengan agen hidrofobik. Agen hidrofobik yang sering digunakan adalah senyawa organosilan, seperti alkil klorosilan atau alkil trimetoksi silan (Tabel 4). Proses silanisasi melibatkan ikatan kovalen antara gugus alkil dari agen silan dengan gugus silanol pada permukaan silika. Tujuan dari silanisasi adalah membuat permukaan menjadi menolak air, sehingga dapat memberikan perlindungan terhadap korosi, oksidasi, atau goresan.

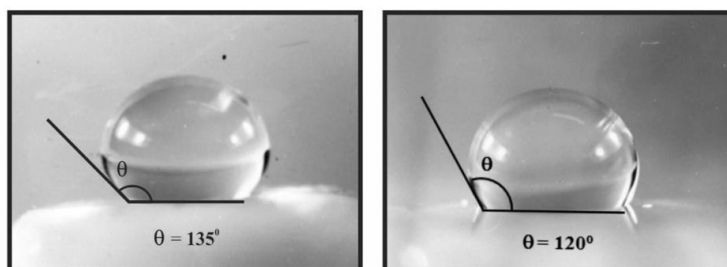
Tabel 4. Agen modifikasi hidrofobik

<i>Raw Material</i>	<i>Modifying Agent</i>	Sudut Kontak	Ref.
TEOS dan PTW PDA	<i>Amino silicone oil (ASO)</i>	161°	[36]
PMMA/SiO ₂	<i>Methyltrimethoxylane (MTMS)</i>	165°	[37]
Mineral piropilit	<i>Trimethylchlorosilane (TMCS)</i>	142,5°	[16]
TEOS	PDMS	91,99°	[38]
Pasir pantai Bancar, Tuban, Jawa Timur	1,3-3-3- <i>Hexamethyldisilanz (HMDS)</i>	98°	[39]

Karakterisasi Silika Hidrofobik

Karakterisasi silika hidrofobik adalah proses untuk menganalisis dan mengevaluasi sifat-sifat fisik dan kimia dari partikel silika yang telah dimodifikasi menjadi hidrofobik. Tujuan utama karakterisasi ini adalah untuk memastikan bahwa proses modifikasi telah berhasil dan untuk memahami bagaimana sifat-sifat baru ini mempengaruhi kinerja silika dalam berbagai aplikasi.

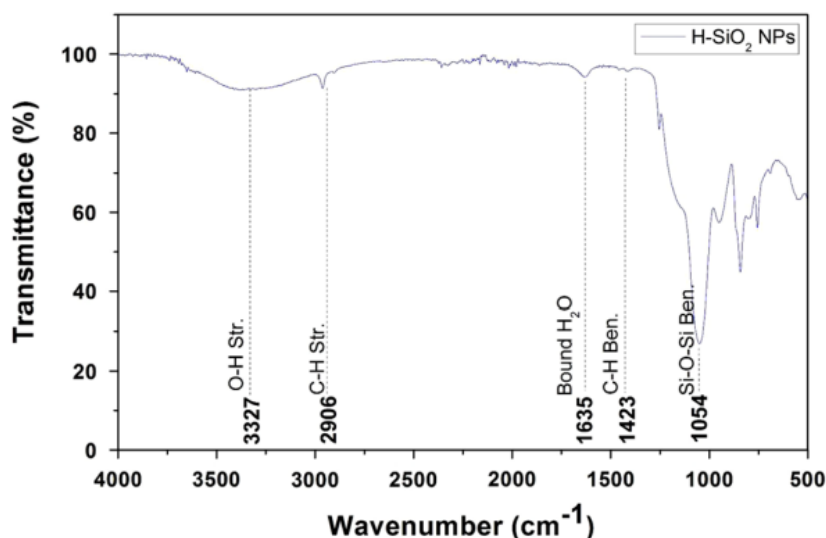
Pengujian sudut kontak air pada silika hidrofobik adalah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat hidrofobisitas permukaan silika (Gambar 2). Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk antara tetesan air dan permukaan silika. Semakin besar sudut kontak, semakin hidrofobik permukaan silika. Pengujian sudut kontak air pada silika hidrofobik dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat hidrofobisitas permukaan silika. Hal ini penting karena tingkat hidrofobisitas permukaan silika dapat mempengaruhi sifat-sifatnya, seperti daya rekat, ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan terhadap kontaminasi.



Gambar 2. Sudut kontak air dan permukaan silika hidrofobik [40]

Pengujian FTIR silika hidrofobik adalah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat hidrofobisitas permukaan silika. FTIR adalah singkatan dari Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Metode ini menggunakan sinar inframerah untuk mengukur vibrasi molekuler pada permukaan silika. Pengujian FTIR silika hidrofobik dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus hidrofobik pada permukaan silika. Gugus hidrofobik adalah gugus

yang tidak larut dalam air. Keberadaan gugus hidrofobik pada permukaan silika menunjukkan bahwa permukaan silika bersifat hidrofobik (Gambar 3).



Gambar 3. Spektrum FTIR Silika Hidrofobik dengan Agen Modifikasi TMCS [41]

KESIMPULAN

Sekam padi, sebagai limbah pertanian yang melimpah, memiliki potensi besar sebagai sumber silika hidrofobik. Proses ekstraksi dan modifikasi yang telah berhasil dilakukan membuktikan bahwa silika hidrofobik dari sekam padi memiliki sifat hidrofobik yang baik dan potensi aplikasi yang luas. Penggunaan silika hidrofobik dari sekam padi tidak hanya memberikan nilai tambah bagi limbah pertanian, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan yang berkelanjutan. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses produksi dan memperluas aplikasi silika hidrofobik ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Singh *et al.*, "Functional Mesoporous Silica Nanomaterials for Catalysis and Environmental Applications," *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, vol. 93, no. 12, pp. 1459–1496, Dec. 2020, doi: 10.1246/bcsj.20200136.
- [2] C. Y. Hidayatulloh, A. S. Iskandar, S. Al-Ayubi, and A. R. Permanasari, "Kajian Pustaka Pemanfaatan Silika Sekam Padi sebagai Aerogel Adsorben untuk Menurunkan Kandungan Logam pada Air," 2021.
- [3] Y. Xu *et al.*, "Anticorrosive behavior of epoxy coating modified with hydrophobic nano-silica on phosphatized carbon steel," *Progress in Organic Coatings*, vol. 151, p. 106051, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.porgcoat.2020.106051.
- [4] S. Octaviana, E. Maryani, L. S. Hutahaean, and U. Prayudie, "MODIFIKASI SILIKA SEBAGAI FILLER KARET PERAPAT DENGAN COUPLING AGENT HEXAMETHYLDISILAZANE (HDMS) DAN METHYLTRIEHOXYSILANE (MTES)," vol. 30, no. 2, 2021.
- [5] Universitas Jambi, P. D. Pratiwi, S. Citrariana, Universitas Palangkaraya, B. M. Gemantari, and Universitas Hamzanwadi, "Bahan Tambahan dalam Sediaan Tablet: Review," *sinteza*, vol. 3, no. 2, pp. 41–48, Aug. 2023, doi: 10.29408/sinteza.v3i2.17472.
- [6] S. Silahooy, "Analisis Serbuk Silika Amorf (SiO₂) Berbahan Dasar Pasir," vol. 2, no. 2.
- [7] Siswanto and E. Kurniati, "KARAKTERISTIK SILIKA POWDER BERBASIS BATUAN TRAS DENGAN PROSES EKSTRAKSI DAN PRESIPITASI," *JOURNAL OF RESEARCH AND TECHNOLOGY*, vol. 6, no. 1, pp. 50–55, Jul. 2020, doi: 10.55732/jrt.v6i1.140.

- [8] F. Andriawan, M. Akib, and A. Triono, "Pengendalian Kerusakan Lingkungan Akibat Aktivitas Pertambangan di Kecamatan Pasir Sakti (Environmental Damage Control Due to Mining Activities in Pasir Sakti District)," vol. 1, no. 1, 2021.
- [9] D. R. Mujiyanti, D. Ariyani, and N. Paujiah, "KAJIAN VARIASI KONSENTRASI NaOH DALAM EKSTRAKSI SILIKA DARI LIMBAH SEKAMPADI BANJAR JENIS 'PANDAK,'" *JSTK*, vol. 15, no. 2, p. 143, Aug. 2021, doi: 10.20527/jstk.v15i2.10373.
- [10] M. Fathurrahman, U. Suhendar, A. Iryani, D. Widiastuti, S. N. Ahmad, and E. Juniar, "Sintesis dan Karakterisasi Komposit Eugenol-Silika Gel dari Abu Tongkol Jagung serta Analisis Antibakteri dan Daya Serap terhadap Air," *ALCHEMY J.Pen.Kim*, vol. 18, no. 1, p. 10, Feb. 2022, doi: 10.20961/alchemy.18.1.47161.10-18.
- [11] A. H. Daulay, Masthura, and A. Pratiwi, "Analisis Pengaruh Variasi Suhu Pembakaran Terhadap Mikrostruktur Dan Kandungan Silika Abu Kulit Kakao (*Theobroma Cacao*) Dengan Metode SEM Dan XRD," *JFT*, vol. 9, no. 2, pp. 89–98, Dec. 2022, doi: 10.24252/jft.v9i2.29984.
- [12] Kadarmanto, "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Tetap)," Badan Pusat Statistik, Jakarta, 20/03/Th.XXVII, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2024/03/01/2375/pada-2023--luas-panen-padi-mencapai-sekitar-10-21-juta-hektare-dengan-produksi-padi-sebesar-53-98-juta-ton-gabah-kering-giling-gkg-.html>
- [13] M. N. A. Ghani, "Praktik Kerja Lapangan Divisi Community Development PT. Pagatan Usaha Makmur," Laporan, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, 2022.
- [14] B. A. I W., I. B. G. Partama, and A. A. A. S. Trisnadewi, "PENGARUH PEMBERIAN SEKAMPADI TANPA DAN DENGAN FERMENTASI YANG DISUPLEMENTASI DAUN SIRIH DALAM RANSUM TERHADAP BOBOT POTONG, NON KARKAS EKSTERNAL, DAN LEMAK ABDOMINAL ITIK BALI BETINA," *MIP*, vol. 23, no. 2, p. 78, Sep. 2020, doi: 10.24843/MIP.2020.v23.i02.p06.
- [15] P. U. Nzereogu, A. D. Omah, F. I. Ezema, E. I. Iwuoha, and A. C. Nwanya, "Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications," *Hybrid Advances*, vol. 4, p. 100111, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.hybadv.2023.100111.
- [16] G. Elsandika, A. Fuad, M. Diantoro, S. Zulaika, and Subakti, "Preparation and characterization of superhydrophobic glass surface using pyrophyllite nanosilica coating," presented at the 2ND PADJADJARAN INTERNATIONAL PHYSICS SYMPOSIUM 2015 (PIPS-2015): Materials Functionalization and Energy Conservations, Jatinangor, Indonesia, 2016, p. 050016. doi: 10.1063/1.4941899.
- [17] B. S. Todkar, O. A. Deorukhkar, and S. M. Deshmukh, "Extraction of Silica from Rice Husk".
- [18] J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and D. Dhaneswara, "EKSTRAKSI SILIKA DARI SEKAMPADI: METODE REFLUKS DENGAN NaOH DAN PENGENDAPAN MENGGUNAKAN ASAM KUAT (HCl) DAN ASAM LEMAH (CH₃COOH)," 2018.
- [19] Y. Yan, Y. Cai, X. Liu, G. Ma, W. Lv, and M. Wang, "Hydrophobic Modification on the Surface of SiO₂ Nanoparticle: Wettability Control," *Langmuir*, vol. 36, no. 49, pp. 14924–14932, Dec. 2020, doi: 10.1021/acs.langmuir.0c02118.
- [20] N. F. I. Mawarti, R. M. Ramadhan, and D. Satriawan, "Karakteristik Silika Sekam Padi Kabupaten Cilacap dengan Menggunakan Ekstraksi KOH dan HCl," 2024.
- [21] S. P. Sari, R. T. Putri, and V. A. Fabiani, "Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi Asal Bangka," 2023.
- [22] P. P. Nayak, S. Nandi, and A. K. Datta, "Comparative assessment of chemical treatments on extraction potential of commercial grade silica from rice husk," *Engineering Reports*, vol. 1, no. 2, p. e12035, Sep. 2019, doi: 10.1002/eng2.12035.
- [23] S. S. Hossain, L. Mathur, A. Bhardwaj, and P. K. Roy, "A facile route for the preparation of silica foams using rice husk ash," *Int J Applied Ceramic Tech*, vol. 16, no. 3, pp. 1069–1077, May 2019, doi: 10.1111/ijac.13164.
- [24] A. Rahman, "PEMBUATAN NANOSILIKA GEL DARI SILIKA ABU SEKAMPADI," vol. 5, 2018.

- [25] M. El-Sakhawy, A. M. Adel, M. A. Diab, and M. Al-Shemy, "Facile methods for the preparation of micro- and mesoporous amorphous silica from rice husk," *Biomass Conv. Bioref.*, vol. 12, no. 10, pp. 4709–4718, Oct. 2022, doi: 10.1007/s13399-020-01112-2.
- [26] N. A. Nurdin, T. Syarif, and N. Nurjannah, "SINTESIS SILIKA GEL DARI LIMBAH SEKAM PADI (*Oryza Sativa*) DENGAN VARIASI KONSENTRASI JENIS ASAM," *JSRD*, vol. 5, no. 1, pp. 504–512, Aug. 2023, doi: 10.56670/jsrd.v5i1.169.
- [27] R. Wulandari, S. Hamdiani, and N. Ismillayli, "Synthesis Of Mesoporic Silica From Rice Husk Ash For Pinostrobin Based Drug Delivery," 2019.
- [28] M. Huljana and S. Rodiah, "Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi dengan Metode Sol-gel".
- [29] A. Darmawan, "Pembuatan Nanosilika yang Disintesis dari Abu Sekam Padi pada Variasi pH Sol Gel".
- [30] N. Setyawan, Hoerudin, and S. Yuliani, "Synthesis of silica from rice husk by sol-gel method," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 733, no. 1, p. 012149, Apr. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/733/1/012149.
- [31] A. Alhadhrami, G. G. Mohamed, A. H. Sadek, S. H. Ismail, A. A. Ebnalwaled, and A. S. A. Almalki, "Behavior of Silica Nanoparticles Synthesized from Rice Husk Ash by the Sol-Gel Method as a Photocatalytic and Antibacterial Agent," *Materials*, vol. 15, no. 22, p. 8211, Nov. 2022, doi: 10.3390/ma15228211.
- [32] T. Roy, T. P. Sabharwal, M. Kumar, P. Ranjan, and R. Balasubramaniam, "Mathematical modelling of superhydrophobic surfaces for determining the correlation between water contact angle and geometrical parameters," *Precision Engineering*, vol. 61, pp. 55–64, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.precisioneng.2019.10.005.
- [33] Y. Zhang, Z. Zhang, J. Yang, Y. Yue, and H. Zhang, "A Review of Recent Advances in Superhydrophobic Surfaces and Their Applications in Drag Reduction and Heat Transfer," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 1, p. 44, Dec. 2021, doi: 10.3390/nano12010044.
- [34] S. Suttirungwong, S. Pivsa-Art, and M. Chareonpanich, "Hydrophilic and Hydrophobic Mesoporous Silica Derived from Rice Husk Ash as a Potential Drug Carrier," *Materials*, vol. 11, no. 7, p. 1142, Jul. 2018, doi: 10.3390/ma11071142.
- [35] S. Samik, N. Kusumawati, and M. M. Sianita, "Karakterisasi Abu Sekam Padi dengan Menggunakan XRD," *UNESA Journal of Chemistry*, vol. 11(3), p. September 2022, Sep. 2022.
- [36] C. Lv *et al.*, "A sturdy self-cleaning and anti-corrosion superhydrophobic coating assembled by amino silicon oil modifying potassium titanate whisker-silica particles," *Applied Surface Science*, vol. 435, pp. 903–913, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.11.205.
- [37] R. S. Sutar *et al.*, "Superhydrophobic Nanocomposite Coatings of Hydrophobic Silica NPs and Poly(methyl methacrylate) with Notable Self-Cleaning Ability," *Macromol. Symp.*, vol. 393, no. 1, p. 2000116, Oct. 2020, doi: 10.1002/masy.202000116.
- [38] D. R. S. Pambudi, M. Zainuri, and J. A. R. Hakim, "Pengaruh Waktu Tahan Proses Kalsinasi Prekursor Silika sebagai Material Pelapis Hidrofobik," vol. 5, no. 2, 2016.
- [39] A. H. Wardani and M. Zainuri, "Pengaruh Variasi Massa SiO₂ Terhadap Sudut Kontak dan Transparansi Pada Lapisan Hydrophobic," *JSSITS*, vol. 7, no. 2, pp. 59–65, Jan. 2019, doi: 10.12962/j23373520.v7i2.34769.
- [40] A. V. Rao, "Elastic superhydrophobic and water glass-based silica aerogels and applications," *J Sol-Gel Sci Technol*, vol. 90, no. 1, pp. 28–54, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10971-018-4825-5.
- [41] S. A. Khan *et al.*, "Fabrication of superhydrophobic filter paper and foam for oil–water separation based on silica nanoparticles from sodium silicate," *J Sol-Gel Sci Technol*, vol. 81, no. 3, pp. 912–920, Mar. 2017, doi: 10.1007/s10971-016-4250-6.