

Sintesis dan Karakterisasi Silika Sekam Padi sebagai Material *Self-Cleaning*

Gabriela Elsandika^{1*}, Made Dirgantara¹, Siti Unvaresi Misonia Beladona², Marvin Horale Pasaribu²

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Palangka Raya, Indonesia

²Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Palangka Raya, Indonesia
Kampus UPR Tunjung Nyaho Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia 73111

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 4 Desember 2024

Direvisi: 10 Januari 2025

Diterima: 8 Maret 2025

Kata kunci:

Hidrofobik
Sekam Padi
Self-Cleaning
Silika
TMCS

Keywords:

Hydrophobic
Rice Husk
Self-Cleaning
Silica
TMCS

Penulis Korespondensi:

Gabriela Elsandika

Email: g.elsandika@mipa.upr.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah sekam padi sebagai sumber silika untuk menghasilkan material *self-cleaning*. Silika diekstraksi dari abu sekam padi melalui metode refluks dengan NaOH dan pengendapan menggunakan HCl. Silika yang dihasilkan kemudian dimodifikasi dengan TMCS untuk meningkatkan sifat hidrofobisitasnya. Karakterisasi material dilakukan menggunakan XRD, XRF, dan FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa silika yang diperoleh memiliki struktur amorf dengan kemurnian 96,7%. Modifikasi dengan TMCS berhasil meningkatkan sifat hidrofobisitas permukaan, ditunjukkan oleh nilai sudut kontak sebesar 99,84°. Material *self-cleaning* berbasis silika ini berpotensi diaplikasikan sebagai pelapis permukaan untuk meningkatkan ketahanan fisik dan kemudahan perawatan permukaan.

This study aimed to valorize rice husk waste by extracting silica and developing a self-cleaning surface coating. Silica was successfully extracted from rice husk ash via an alkaline reflux method followed by acid precipitation. The extracted silica exhibited an amorphous structure with a high purity of 96.7%, as confirmed by X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analysis. Subsequent modification with Trimethylchlorosilane (TMCS) significantly enhanced the hydrophobicity of the silica, resulting in a contact angle of 99.84° with water. The synthesized silica-based material demonstrates promising potential as a self-cleaning surface coating, offering improved durability and ease of maintenance.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

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 (Kadarmanto, 2024). 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 (Ghani, 2022).

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 (Anggara, et al., 2020). Selama ini masyarakat sekitar mereduksi keberadaan sekam padi dengan cara membakar. Menurut (Nzereogu et al., 2023), abu sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 87-97%. Sehingga jika diolah secara optimal untuk diekstrak silikanya, limbah sekam padi ini dapat menjadi produk bernilai jual yang tinggi, yang dapat membantu perekonomian petani juga.

Ekstraksi silika dari sekam padi dapat dilakukan melalui metode refluks dengan NaOH serta pengendapan menggunakan asam kuat (HCl) dan asam lemah (CH₃COOH). Fatriansyah, et al. (2018) melaporkan, dari metode ekstraksi tersebut didapat 84 wt.% silika dari sekam padi asal Leuwiliang Bogor. Penggunaan larutan NaOH 10% dilakukan untuk proses delignifikasi, sedangkan larutan HCl 37% sebagai larutan presipitasi. Dari penggunaan dua larutan tersebut, didapatkan silika dengan kemurnian 90,92% dari sekam padi di wilayah Sudiang Makassar (Thahir et al., 2021). Waktu dan temperature kalsinasi berpengaruh pada proses ekstraksi ini. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ramadani et al. (2023), didapatkan 98,2% kandungan silika dari sekam padi asal Aceh Utara, dengan variabel kalsinasi 4 jam pada 800 °C. Peranan pH yang didapat dari hasil titrasi menggunakan HCl 1M sangat penting untuk mendapatkan ukuran nano silika. Pada pH 7, silika dari sekam padi asal Semarang berhasil terbentuk dengan ukuran 40-85 nm (Darmawan, 2022).

Silika dapat diekstrak dari sekam padi hingga berukuran *ultra fine*, sehingga dimungkinkan dapat dijadikan produk berkualitas baik seperti pelapis permukaan dengan kemampuan *self-cleaning*, yaitu kemampuan suatu material dalam melakukan pembersihan permukaan tanpa sumber eksternal. Sehingga dalam aplikasi material fungsional, penggunaan bahan tersebut dapat menekan biaya dan sumber air bersih. Sifat hidrofobik yang dimiliki material *self-cleaning* dapat menurunkan daya rekat antara partikel pengotor dengan permukaan. Material yang mengandung silika adalah pilihan paling umum untuk memperoleh lapisan superhidrofobik karena memiliki keunggulan seperti biaya produksi dan toksisitas yang rendah, serta stabilitas termal dan mekanis yang baik (Hooda et al., 2018).

Material *self-cleaning* berbasis silika sudah pernah disintesis dengan sumber silika sinteti (Mishra & Bhatt, 2019). Pada penelitian ini akan disintesis material *self-cleaning* berbasis sekam padi dari Kecamatan Katingan Kuala, Kabupaten Katingan, Kalimantan Tengah. Kemudian material tersebut diaplikasikan pada permukaan kaca dengan metode *spin coating*. Penelitian dilanjutkan dengan mempelajari karakteristik material yang dihasilkan, seperti fasa, gugus fungsi, morfologi dan sudut kontak air. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi material fungsional untuk pelapis permukaan untuk memperkuat ketahanan fisiknya.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *hot plate*, *pH universal test*, *ultrasonic waterbath*, dan oven. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah sekam padi asal Kecamatan Katingan Kuala, akuades, HCl 32% dan NaOH Royyan Medika, Alkohol 70% RianiMed, dan Trimetilklorosilan (TMCS) 98% Sigma-Aldrich

2.2 Sintesis Silika

Sekam padi dicuci bersih kemudian dikeringkan di bawah Matahari selama 8 jam kemudian dioven dengan suhu 100 °C selama 24 jam. Selanjutnya sekam padi dibakar hingga menjadi abu, kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Sebanyak 10 g abu sekam padi dicampur dengan 80 mL larutan NaOH 10% dan diaduk selama 2 jam pada suhu 70 °C. Larutan ini kemudian dikeringkan selama 2 jam pada suhu 200 °C untuk menghasilkan endapan. Endapan yang sudah dikeringkan selanjutnya dilarutkan dalam 500 mL aquades pada suhu ruang dan diaduk selama 6 jam. Selanjutnya, larutan disaring untuk mendapatkan filtrat

berupa natrium silikat. Filtrat yang diperoleh dititrasi dengan HCl 32% hingga mencapai pH 5. Hasil titrasi kemudian dikeringkan lalu dicuci hingga pH menjadi netral. Terakhir, sampel dikeringkan untuk mendapatkan serbuk silika.

2.3 Modifikasi Silika

Proses modifikasi silika dilakukan menggunakan *Trimethylchlorosilane* (TMCS). Modifikasi dilakukan dengan bantuan gelombang ultrasonik menggunakan *ultrasonic waterbath* selama 10 jam. Selanjutnya, silika yang telah dimodifikasi diaplikasikan pada substrat kaca menggunakan metode spin coating (Elsandika et al., 2016).

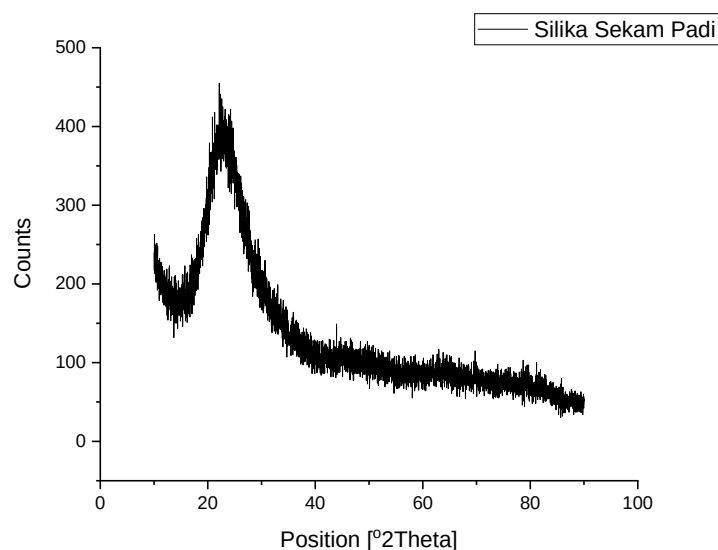
2.4 Karakterisasi dan Pengujian

Karakterisasi material menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk, XRF untuk mengetahui komposisi material yang disintesis, FTIR untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk saat proses sintesis silika. Keberhasilan proses modifikasi nanosilika dari sifat hidrofilik menjadi hidrofobik dapat dilihat dari hasil uji *wettability*.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 1 menunjukkan bahwa silika yang diperoleh dari ekstraksi abu sekam padi memiliki struktur amorf (Setyawan et al., 2021). Adanya silika amorf ditunjukkan oleh puncak yang melebar pada $2\theta=22^\circ$. Untuk mengidentifikasi fasa suatu material menggunakan XRD, material tersebut harus berbentuk kristal sempurna. Namun, silika dalam sampel ini tidak memenuhi syarat tersebut. Akibatnya, sinar-X yang mengenai sampel tidak menghasilkan pola difraksi yang khas berupa puncak-puncak tajam, melainkan pola yang menyebar (Fauzy et al., 2018).



Gambar 1 Pola difraksi sinar-X sampel silika

Fasa silika yang dihasilkan dari sekam padi bergantung pada temperatur pembakaran dan proses ekstraksinya. Tidak adanya puncak pada daerah sekitar $2\theta = 22-24^\circ$ menegaskan bahwa tidak adanya fasa kuarsa maupun kristobalit pada sampel yang telah terbentuk. Adanya fasa amorf mengindikasikan susunan atom pada silika tersebut acak atau memiliki susunan dengan keteraturan yang pendek. Kristalisasi terjadi pada material silika yang dikalsinasi dengan suhu tinggi (Ananthi et al., 2016).

Penggunaan silika amorf semakin meningkat karena beberapa sifatnya yang berbeda dari silika kristal, yaitu reaktivitas silika amorf yang lebih tinggi. Sifat ini memungkinkan untuk dilakukan modifikasi sifat fisika dari silika yang dihasilkan, yaitu dari hidrofilik menjadi hidrofobik. Sumber silika amorf komersial yang ada saat ini relatif mahal, oleh sebab itu sekam padi yang melimpah di Indonesia sangat berpotensi untuk mengatasi permasalahan ketersediaan yang ada.

3.2 Hasil Karakterisasi XRF

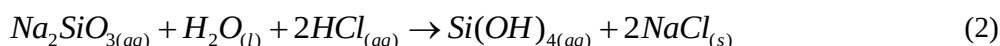
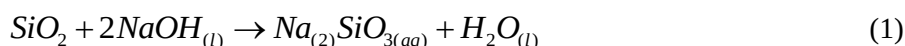
XRF digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dan kemurnian serbuk silika yang dihasilkan dalam penelitian ini. Hasil karakterisasi XRF disajikan dalam Tabel 1 yang memberikan perbandingan yang jelas mengenai kandungan berbagai senyawa dalam tiga jenis sampel: abu sekam padi, silika komersial, dan serbuk silika yang dihasilkan dari sekam padi. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa proses pemurnian berhasil meningkatkan kadar silika. Serbuk silika yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kemurnian 96,7 % yang artinya lebih tinggi daripada kemurnian silika komersial.

Tabel 1 Perbandingan Karakterisasi XRF Sampel Silika dengan Abu Sekam Padi dan Silika Komersial

Senyawa	Abu Sekam Padi (%) (F. Hincapié Rojas et al., 2019)	Silika Komersial (%) (Setyawan et al., 2021)	Serbuk Silika dari Sekam Padi (%)
SiO ₂	93,4	95,37	96,7
K ₂ O	0,68	0,01	0,50
CaO	0,70	0,02	1,75
MnO	0,14	0,00	0,12
Fe ₂ O ₃	0,09	0,06	0,326
NiO	N/A	N/A	0,014
CuO	N/A	N/A	0,029
ZnO	N/A	N/A	0,517
Eu ₂ O ₃	N/A	N/A	0,03
Cl	N/A	0,07	N/A
Al ₂ O ₃	0,21	0,63	N/A
ZrO ₂	N/A	0,04	N/A
MgO	0,26	0,06	N/A
Na ₂ O	N/A	2,47	N/A
P ₂ O ₅	0,59	N/A	N/A
SO ₃	0,07	N/A	N/A
Na ₂ O ₃	0,02	N/A	N/A
Lainnya	3,84	N/A	N/A

Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran (tanpa perlakuan asam atau alkali) mengandung kurang dari 95% SiO₂ serta berbagai oksida alkali dan pengotor. Namun, dengan perlakuan asam atau alkali yang sesuai, kandungan SiO₂ dapat ditingkatkan. Adanya senyawa CaO pada sampel silika menunjukkan bahwa masih terdapat sejumlah kalsium dalam sampel. Kalsium adalah salah satu mineral yang umum ditemukan dalam tanaman, termasuk padi. Fe₂O₃ dan ZnO merupakan senyawa umum yang dapat ditemukan di lingkungan atau dari kontaminan selama proses pengambilan sampel, pembakaran, maupun pengolahan lanjutan lainnya. Tingkat kandungan senyawa dalam padi sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk kondisi geografis tempat tumbuhnya padi, jenis varietas padi yang ditanam, ketersediaan air irigasi, komposisi kimia tanah, serta jenis dan dosis pupuk yang diberikan.

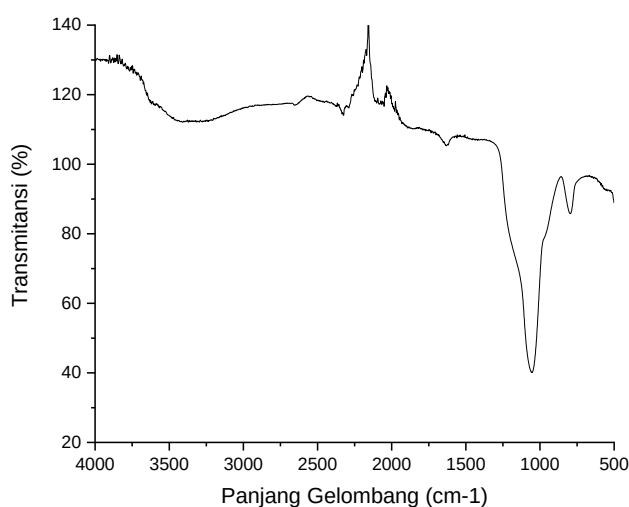
3.3 Hasil Karakterisasi FTIR



Dalam penelitian ini dilakukan perlakuan alkali menggunakan NaOH. Proses ini bertujuan untuk melarutkan senyawa silika yang terdapat dalam abu sekam padi ke dalam larutan natrium hidroksida, membentuk larutan natrium silikat. Larutan ini selanjutnya akan dijadikan bahan awal untuk menghasilkan silika gel melalui reaksi lebih lanjut (Alhadhrami et al., 2022). Reaksi yang berlangsung seperti pada persamaan (1). Dengan penambahan HCl, larutan akan mengalami reaksi yang mengubahnya menjadi asam silikat [Si(OH)₄] seperti pada persamaan 2 (Hayati, 2015). Asam silikat inilah yang kemudian akan berpolimerisasi membentuk jaringan tiga dimensi yang menjadi kerangka silika gel yang nantinya dikeringkan menjadi serbuk silika untuk dimodifikasi sifat fisiknya menjadi hidrofobik. Ketika HCl ditambahkan secara perlahan hingga pH larutan mencapai 7, molekul asam

silikat $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ akan saling berikatan membentuk rantai panjang melalui ikatan siloksan (Si-O-Si), hal ini dibuktikan dengan hasil karakterisasi FTIR.

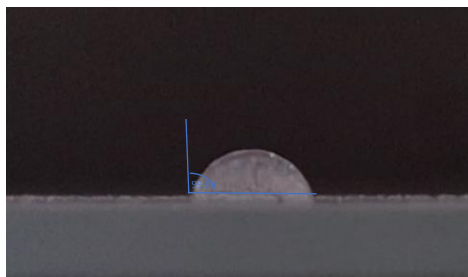
Berdasarkan spektrum FTIR sampel silika pada Gambar 2, terdapat beberapa serapan karakteristik. Pada bilangan gelombang $3410,23 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus hidroksil (OH) yang terikat pada atom silikon (Wang, 2024). Gugus OH ini biasanya terkait dengan molekul air yang teradsorpsi pada permukaan silika atau gugus silanol (Si-OH) yang merupakan gugus permukaan silika. Puncak $2923,25 \text{ cm}^{-1}$ dan 2861 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus metil ($-\text{CH}_3$) dan metilen ($-\text{CH}_2-$) (Cordoba et al., 2024). Gugus fungsi ini menunjukkan adanya kontaminasi organik pada sampel silika. Kemungkinan besar kontaminan ini berasal dari sisa-sisa organik yang tidak terhapus sempurna selama proses ekstraksi silika dari sekam padi. Serapan puncak $1084,29 \text{ cm}^{-1}$ merupakan karakteristik dari ikatan Si-O-Si (siloksan) (Praseptianga et al., 2020). Ikatan ini merupakan ikatan utama dalam struktur silika dan menunjukkan pembentukan jaringan tiga dimensi silika. Puncak pada $796,01 \text{ cm}^{-1}$ dan $442,12 \text{ cm}^{-1}$ juga terkait dengan vibrasi ikatan Si-O-Si , namun dengan mode vibrasi yang berbeda (Nandiyanto et al., 2016).



Gambar 2 Spektrum FTIR sampel silika

Gugus hidroksil yang tinggi pada permukaan silika dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas silika. Gugus hidroksil (OH-) merupakan salah satu gugus fungsional yang paling dominan pada permukaan silika. Gugus ini sangat reaktif dan mampu membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Ikatan hidrogen inilah yang menjadi kunci utama dalam menentukan sifat hidrofilisitas silika. Ikatan hidrogen yang terbentuk antara gugus hidroksil silika dan molekul air memungkinkan air untuk melekat dengan kuat pada permukaan silika. Hal ini membuat silika mudah dibasahi oleh air atau dengan kata lain, bersifat hidrofilik (Afif & Wijayati, 2018).

3.4 Hasil Uji Wettability



Gambar 3 Hasil uji sudut kontak air permukaan silika termodifikasi

Sifat hidrofilisitas silika dapat dimodifikasi melalui berbagai cara, salah satunya adalah dengan mengurangi jumlah gugus hidroksil di permukaan. Pada penelitian ini modifikasi dilakukan dengan menggantikan gugus hidroksil dengan gugus organik nonpolar seperti metil (CH_3) melalui senyawa organosilan yaitu Trimetilklorosilana (TMCS). Proses ini disebut silanisasi (Darmawan et al., 2021).

Pengukuran sudut kontak adalah suatu teknik yang digunakan untuk menentukan sifat kebasahan (*wettability*) suatu permukaan. Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk antara permukaan cairan dan padat saat cairan tersebut menempel pada permukaan padat (Bryk et al., 2020). Sudut kontak ini dapat memberikan informasi tentang sifat permukaan, seperti hidrofobisitas atau hidrofilitas.

Gambar 3 menunjukkan sebuah tetesan air dengan permukaan kaca yang telah dilapisi silika termodifikasi TMCS. Pada penelitian ini diperoleh nilai sudut kontak antara tetesan air dengan permukaan kaca terlapisi silika hidrofobik adalah 99,84°. Nilai tersebut menandakan permukaan substrat bersifat hidrofobik (Ahmad et al., 2018).

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis material silika hidrofobik dari limbah sekam padi dengan kemurnian 96,7% dan sudut kontak 99,84°. Modifikasi dengan TMCS terbukti efektif dalam meningkatkan sifat hidrofobik permukaan. Hasil ini menunjukkan potensi besar material ini sebagai pelapis *self-cleaning* pada berbagai permukaan. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengoptimalkan proses produksi dan mengevaluasi kinerja material dalam skala yang lebih besar. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan material berkelanjutan berbasis biomassa dan membuka peluang untuk inovasi baru dalam bidang material dan teknologi permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Palangka Raya dengan Hibah Penelitian Penelitian Dosen Pemula nomor kontrak 2223/UN24.13/AL.04/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M., & Wijayati, N. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2).
- Ahmad, D., Van Den Boogaert, I., Miller, J., Presswell, R., & Jouhara, H. (2018). Hydrophilic and hydrophobic materials and their applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(22), 2686–2725. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1511642>
- Alhadhrami, A., Mohamed, G. G., Sadek, A. H., Ismail, S. H., Ebnalwaleed, A. A., & Almalki, A. S. A. (2022). Behavior of Silica Nanoparticles Synthesized from Rice Husk Ash by the Sol–Gel Method as a Photocatalytic and Antibacterial Agent. *Materials*, 15(22), 8211. <https://doi.org/10.3390/ma15228211>
- Ananthi, A., Geetha, D., & Ramesh, P. S. (2016). Preparation and Characterization of Silica Material from Rice Husk Ash – An Economically Viable Method. *Chemistry and Materials Research*, 8(6).
- Anggara, B., Partama, I. B. G., & Trisnadewi, A. A. A. S. (2020). Pengaruh Pemberian Sekam Padi Tanpa dan Dengan Fermentasi yang Disuplementasi Daun Sirih dalam Ransum Terhadap Bobot Potong, Non Karkas Eksternal, dan Lemak Abdominal Itik Bali Betina. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 23(2), 78. <https://doi.org/10.24843/MIP.2020.v23.i02.p06>
- Bryk, P., Korczeniewski, E., Szymański, G. S., Kowalczyk, P., Terpiłowski, K., & Terzyk, A. P. (2020). What Is the Value of Water Contact Angle on Silicon? *Materials*, 13(7), 1554. <https://doi.org/10.3390/ma13071554>
- Cordoba, A., Cauch-Rodríguez, J. V., Vargas-Coronado, R. F., Velázquez-Castillo, R., & Esquivel, K. (2024). A Novel In Situ Sol-Gel Synthesis Method for PDMS Composites Reinforced with Silica Nanoparticles. *Polymers*, 16(8), 1125. <https://doi.org/10.3390/polym16081125>
- Darmawan, A. (2022). Pembuatan Nanosilika yang Disintesis dari Abu Sekam Padi pada Variasi pH Sol Gel. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*.
- Darmawan, A., Rasyid, S. A., & Astuti, Y. (2021). Modification of the glass surface with hydrophobic silica thin layers using tetraethylorthosilicate (TEOS) and trimethylchlorosilane (TMCS) precursors. *Surface and Interface Analysis*, 53(3), 305–313. <https://doi.org/10.1002/sia.6917>

- Elsandika, G., Fuad, A., Diantoro, M., Zulaika, S., & Subakti. (2016). *Preparation and characterization of superhydrophobic glass surface using pyrophyllite nanosilica coating*. 050016. <https://doi.org/10.1063/1.4941899>
- F. Hincapié Rojas, D., Pineda Gómez, P., & Rosales Rivera, A. (2019). Production and characterization of silica nanoparticles from rice husk. *Advanced Materials Letters*, 10(1), 67–73. <https://doi.org/10.5185/amlett.2019.2142>
- Fatriansyah, J. F., Situmorang, F. W., & Dhaneswara, D. (2018). Ekstraksi Silika dari Sekam Padi: Metode Refluks dengan NaOH dan Pengendapan Menggunakan Asam Kuat (HCl) dan Asam Lemah (CH₃COOH). *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau ke-3*. <https://snf.fmipa.unri.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/20.-3049-123-127II.pdf>
- Fauzy, R., Adi, W. A., Taryana, Y., & Yusmaniar, Y. (2018). Effect of Silica Composition from Rice Husk Ash on The Performace of Absorbing Electromagnetic Wave on Composite of Unsaturated Polyester Resins/Silica. *Jurnal ILMU DASAR*, 19(1), 7. <https://doi.org/10.19184/jid.v19i1.6336>
- Ghani, M. N. A. (2022). *Praktik Kerja Lapangan Divisi Community Development PT. Pagatan Usaha Makmur* [Laporan, Universitas Palangka Raya]. Program Studi Fisika FMIPA.
- Hayati, R. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika dari Pasir Pantai Purus Padang Sumatera Barat dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 4(3). <https://doi.org/10.25077/jfu.4.3.%25p.2015>
- Hooda, A., Goyat, M. S., Kumar, A., & Gupta, R. (2018). A facile approach to develop modified nano-silica embedded polystyrene based transparent superhydrophobic coating. *Materials Letters*, 233, 340–343. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.043>
- Kadarmanto. (2024). *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Tetap)* (20/03/Th.XXVII). Badan Pusat Statistik. <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>
- Mishra, A., & Bhatt, N. (2019). Nanosilica based superhydrophobic coating for high efficient self cleaning solar panels. *INDIAN J. CHEM. TECHNOL.*
- Nandiyanto, A. B. D., Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Abdullah, A. G., Hamidah, I., & Mulyanti, B. (2016). Synthesis of silica particles from rice straw waste using a simple extraction method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 128, 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/128/1/012040>
- Nzereogu, P. U., Omah, A. D., Ezema, F. I., Iwuoha, E. I., & Nwanya, A. C. (2023). Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances*, 4, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111>
- Praseptiangga, D., Zahara, H. L., Widjanarko, P. I., Joni, I. M., & Panatarani, C. (2020). *Preparation and FTIR spectroscopic studies of SiO₂-ZnO nanoparticles suspension for the development of carrageenan-based bio-nanocomposite film*. 100005. <https://doi.org/10.1063/5.0003434>
- Ramadani, S., Zulnazri, Z., Bahri, S., Dewi, R., & Za, N. (2023). Analisa Pengaruh Waktu dan Furnace pada Pembentukan Silika dari Sekam Padi. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(5), 683. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i5.12009>
- Setyawan, N., Hoerudin, & Yuliani, S. (2021). Synthesis of silica from rice husk by sol-gel method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1), 012149. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012149>
- Thahir, R., Widiyanti, S. E., & Katu, I. (2021). EKSTRAKSI DAN ANALISIS KARAKTERISTIK SILIKA DARI SEKAM PADI. *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2021*.
- Wang, Z. (2024). Effects of instrumental configuration, sample preparation, and pretreatment on the IR spectra of silicalite-. *Silicon*, 16(5), 2195–2203.