

Karakterisasi Abu Sekam Padi dengan Menggunakan XRD Rice Husk Ash Characterization Using XRD

Samik Samik*, Nita Kusumawati, Maria Monica Sianita, Dina Kartika Maharani, Amalia Putri
Purnamasari, M. Iqbal Al Ghifari, Mukhlash Imaduddin

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

*Corresponding author, tel/fax : 085731160005, email: samik@unesa.ac.id

Abstrak. Abu sekam padi merupakan salah satu bahan yang kebanyakan mengandung silika (SiO_2). Silika dapat digunakan sebagai bahan baku untuk beragam industri. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental, meliputi sintesis abu sekam padi dengan variasi berbagai suhu kalsinasi yaitu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis padatan dan fase kristal dari RHA sehingga hasil dari penelitian ini bisa digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya dalam penggunaan RHA. Hasil sintesis menghasilkan empat jenis sampel yaitu sampel kalsinasi pada suhu 800 °C (diberi kode S-800), kalsinasi pada suhu 900 °C berwarna abu-abu (S-900 A), kalsinasi pada suhu 900 °C berwarna putih (S-900 P), dan sampel kalsinasi pada suhu 1000 °C (S-1000). Karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa semua sampel termasuk padatan kristalin dengan fase kristal tridimit dan kristobalit yang terdeteksi pada sampel S-800, S-900 P, S-900 A, dan S-1000. Kristobalit dan tridimit adalah polimorf mineral silika dan memiliki rumus kimia yang sama dengan kuarsa yaitu SiO_2 , tetapi struktur kristalnya berbeda. Persentase kristalinitas sampel dihitung dengan perbandingan sampel yang memiliki intensitas puncak tertinggi (S-1000) didapatkan hasil kristalinitas untuk S-1000, S-900 P, dan S-900 A secara berturut-turut adalah 100%, 96%, 79%, dan 32%. Makin kecil suhu kalsinasi mengakibatkan makin kecil persentase kristalinitasnya.

Kata kunci : abu sekam padi, kalsinasi, silika, XRD, padatan kristalin

Abstract. Rice husk ash is a material that mostly contains silica (SiO_2). Silica can be used as a raw material for various industries. This research is an experimental study, covering the synthesis of rice husk ash with various calcination temperatures, namely 800 °C, 900 °C, and 1000 °C. The purpose of this study was to identify the type of solid and crystalline phases of RHA so that the results of this study could be used as a basis for further research on the use of RHA. The results of the synthesis produced four types of samples, namely samples calcined at a temperature of 800 °C (coded S-800), calcined at 900 °C was gray (S-900 A), calcined at 900 °C was white (S-900 P), and samples were calcined at a temperature of 1000 °C (S-1000). Characterization using X-Ray Diffraction (XRD) showed that all samples included crystalline solids with the tridymite crystal phase and cristobalite were detected in samples S-800, S-900 P, S-900 A, and S-1000. Cristobalite and tridymite are silica mineral polymorphs with the same chemical formula as quartz, SiO_2 , but have different crystal structures. The percentage of crystallinity of the sample was calculated by comparing the sample which has the highest peak intensity (S-1000). The crystallinity results for S-1000, S-900 P, and S-900 A were 100%, 96%, 79%, and 32%. The lower the calcination temperature, the smaller the percentage of crystallinity.

Keywords: rice husk ash, calcined, silica, XRD, crystalline solid

PENDAHULUAN

Silika (SiO_2) merupakan bahan yang sangat penting karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk beragam industri mulai dari teknologi tradisional sampai produk teknologi tinggi seperti peralatan rumah tangga, bahan isolator listrik, mobil, elektronik, keramik [1], briket [2], dan katalis [3, 4]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan baku yang mengandung silika, dan sering kali tidak mampu lagi dipenuhi dari sumber-sumber yang umum dimanfaatkan, maka penting untuk mendapatkan bahan baku silika terutama yang jumlahnya melimpah agar dapat disintesis sebagai bahan yang berguna dalam mengatasi kekurangan bahan baku silika. Salah satu contoh bahan baku silika yang jumlahnya melimpah adalah sekam padi.

Padi merupakan salah satu residu pertanian yang terdapat dalam jumlah melimpah di berbagai daerah penanaman padi seperti di Indonesia. Berdasarkan data Biro Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2021, produksi padi di Indonesia 54,42 juta ton gabah kering giling (GKG). Jika dikonversikan menjadi beras, maka produksi beras pada 2021 mencapai 31,36 juta ton [5]. Jumlah sekam padi sekitar 20% dari berat padi dan terdiri dari selulosa (50%), lignin (25%-30%), silikat (15%-20%), dan *moisture* (10%-15%) [6]. Sekam padi yang dihasilkan dari 54,42 juta ton GKG sekitar 10,88 juta ton.

Meskipun terdapat dalam jumlah melimpah, limbah sekam padi selama ini sebagian besar dibuang dan dibakar tanpa ada pemanfaatan, hal tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan [2]. Pemanfaatan sekam padi akan menambah nilai ekonomisnya dan mengurangi pencemaran lingkungan. Sekam padi memiliki potensi yang baik sebagai sumber silika terbarukan karena tiga alasan yaitu ketersediaan sekam padi melimpah, kadar silika dalam abu sekam padi yang besar yaitu sekitar 94-95 % [7] dan kemudahan perolehan silika dari sekam padi.

Pembakaran adalah metode yang mudah dan murah untuk mengekstrak silika dari sekam padi. Pembakaran sekam padi pada suhu 650 – 700 °C menghasilkan abu sekam padi (*rice husk ash/RHA*) yang mengandung 82,13% SiO_2 dan sisanya oksida logam lainnya [8]. Selain pembakaran, metode lainnya untuk mengekstrak silika adalah kalsinasi. Kalsinasi abu sekam padi dapat menimbulkan dua jenis abu tergantung

pada jenis pembakarannya; abu sekam padi putih untuk pembakaran sempurna dan abu sekam padi karbonisasi untuk pembakaran tidak sempurna. Kedua jenis ini memiliki reaktivitas yang berbeda. Reaktivitas RHA didasarkan pada sifat silika amorf dan struktur pori RHA [9].

Silika amorf diperoleh antara suhu 500-700 °C dan kristalisasi terjadi pada suhu di atas 700 °C [10, 11]. Pembakaran sekam padi di atas *hot plate* pada suhu yang tidak terkontrol menghasilkan padatan amorf, sedangkan kalsinasi sekam padi dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam dan udara terbuka menghasilkan kristal dengan puncak tertinggi pada 21,8 °C [7]. Silika amorf memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan formasi kacau dari struktur terbuka dengan lubang di jaringan di mana netralitas listrik tidak terpenuhi. Struktur kristal silika dibentuk oleh pengulangan unit dasar. Struktur silika kristalin mengurangi luas permukaan RHA dengan demikian mengurangi reaktivitasnya [12].

Abu sekam padi memiliki luas permukaan yang cukup besar sekitar 13,243 m^2/g dan merupakan salah satu material yang berpori [13]. Material berpori pada umumnya digunakan sebagai katalis, adsorben, dan lain sebagainya [14]. Katalis heterogen abu sekam padi termodifikasi litium oksida (Li-ASP) yang dikalsinasi pada suhu 700 °C mampu mengkonversi minyak biji malapari menjadi biodiesel dengan hasil optimum pada persentase katalis 3% (b/b) dengan *yield* 87,29%. Katalis ini lebih reaktif dibandingkan Li-ASP yang dikalsinasi pada suhu 800 °C dan 900 °C [15].

X-Ray Diffraction (XRD) sering digunakan untuk mengidentifikasi jenis padatan, fase kristal dan struktur atom-atom dari suatu material. Teknik XRD merupakan metode yang tidak merusak, artinya sampel masih dapat digunakan untuk analisis lain. Penghamburan sinar-X oleh unit-unit kristal akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada kisi padatan [16]. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dengan XRD jenis padatan dan fase kristal dari RHA yang dihasilkan dari kalsinasi pada berbagai suhu sehingga hasil dari penelitian ini bisa digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya dalam penggunaan RHA. Pada penelitian ini, abu sekam padi disintesis dengan variasi berbagai suhu kalsinasi yaitu 800 °C, 900

°C, dan 1000 °C lalu dikarakterisasi menggunakan XRD.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sekam padi dari Lamongan Indonesia dan aquades.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah XRD dengan merk PANalytical X'Pert Pro Nabertherm L511b180 *Muffle Furnace*, blender Miyako, oven Daihan Labtech LDO-030E, neraca analitik Ohaus Pioneer PX224/e, ayakan 80 mesh, botol vial 100 mL, dan paraffin film.

Prosedur Penelitian

Sintesis Abu Sekam Padi

Sekam padi dicuci hingga bersih dengan aquades untuk memisahkan dari pengotornya, setelah itu dipanaskan di bawah sinar matahari sampai kering. Sekam padi yang telah kering dihaluskan menggunakan blender kemudian disaring menggunakan ayakan 80 mesh untuk menyeragamkan ukurannya. Sekam padi yang sudah disaring kemudian dikalsinasi pada suhu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C selama 3 jam dengan kenaikan suhu 10 °C/menit.

Karakterisasi Abu Sekam Padi

Sekam padi yang telah dikalsinasi kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) PANalytical X'Pert Pro. XRD ini dilengkapi dengan sumber Cu K α yang mampu melakukan pengukuran resolusi tinggi dan resolusi lebih rendah dan memungkinkan berbagai analisis sampel film tipis dan bubuk seperti untuk mengetahui jenis padatan yang terbentuk dan fasa kristalnya. Karakterisasi dengan XRD pada $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan data JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standards*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

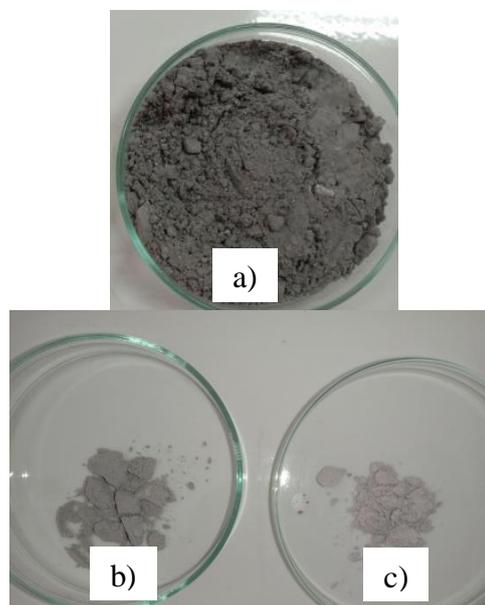
Hasil Sintesis dan karakterisasi Abu Sekam Padi

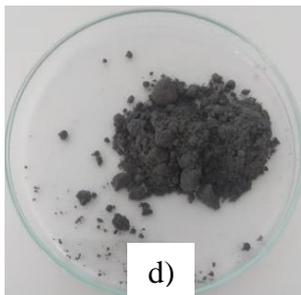
Setelah sekam padi dibersihkan, dikeringkan, dan disaring menggunakan ayakan 80 mesh menghasilkan sekam padi yang bersih, kering dan ukurannya seragam, seperti terlihat di gambar 1.



Gambar 1. Sekam padi yang bersih, kering dan ukurannya seragam

Setelah sampel dikalsinasi pada 3 variasi suhu yaitu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C selama 3 jam, dihasilkan 4 jenis sampel yaitu sampel kalsinasi pada suhu 800 °C berwarna hitam keabu-abuan (S-800), sampel kalsinasi pada suhu 900 °C menghasilkan dua jenis yaitu berwarna abu-abu (S-900 A) dan berwarna putih (S-900 P), serta kalsinasi pada suhu 1000 °C (S-1000) seperti terlihat pada Gambar 2.



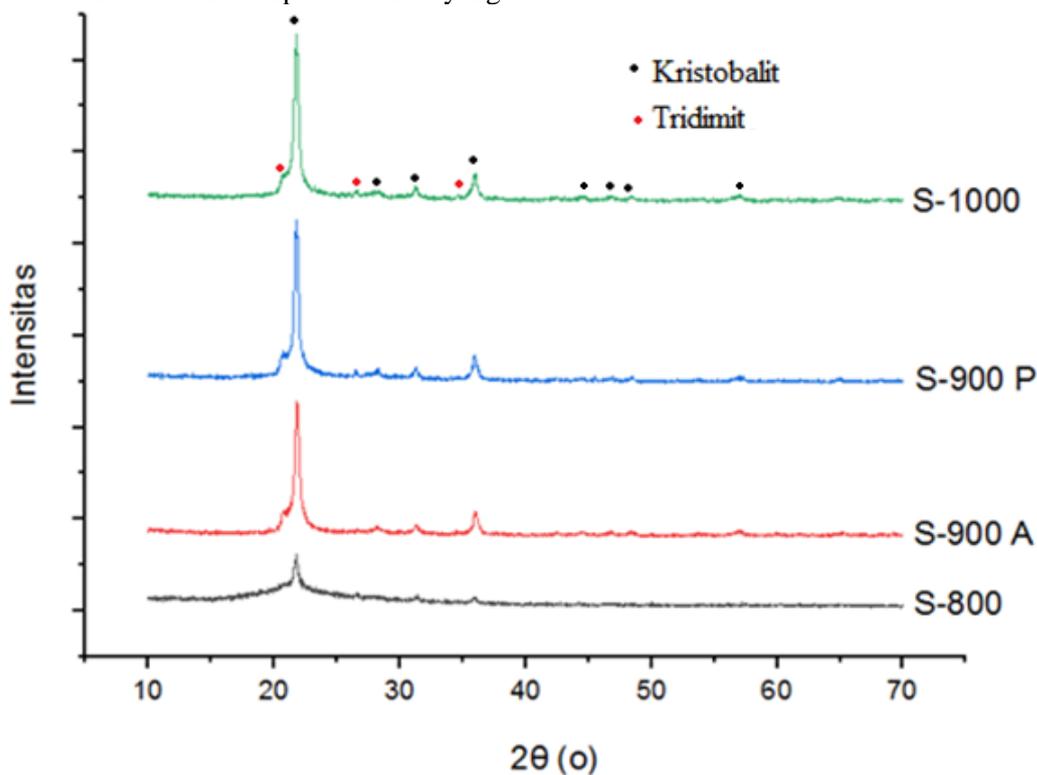


Gambar 2. Sekam padi setelah kalsinasi a) S-800 berwarna hitam keabu-abuan, b) S-900 A berwarna abu-abu, c) S-900 P berwarna putih, d) S-1000 berwarna abu-abu

Kebanyakan sampel abu sekam padi hasil kalsinasi pada suhu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C selama 3 jam berwarna abu-abu dan sedikit yang berwarna putih, bahkan ada berwarna hitam keabu-abuan. Pada sampel kalsinasi pada suhu 900 °C menghasilkan dua jenis yaitu berwarna abu-abu (S-900 A) pada bagian bawah dan berwarna putih (S-900 P) pada bagian atas. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramezaniapour dkk yang

menunjukkan bahwa kalsinasi sekam padi dapat menghasilkan dua jenis abu, tergantung pada jenis pembakaran yaitu berwarna putih untuk pembakaran sempurna dan abu sekam padi karbonisasi (berwarna abu-abu) untuk pembakaran yang tidak sempurna [9]. Pada bagian bawah berwarna abu-abu, karena pembakarannya tidak sempurna.

Karakterisasi XRD abu sekam padi keempat jenis sampel dilakukan dengan Cu-K α sebagai sumber radiasi dengan $\lambda=1,542512 \text{ \AA}$ pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Sampel abu sekam padi dikarakterisasi pada rentang 2θ dari $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$. Analisis karakterisasi XRD pada sampel bertujuan untuk mengetahui jenis padatan dan fase kristalnya dengan cara membandingkan difraktogram sampel hasil karakterisasi dengan difraktogram penelitian sebelumnya ataupun data JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standards*). Pola difraksi sinar-X dari abu sekam padi dari sampel yang dihasilkan (S-800, S-900, S-900 A, dan S-1000) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola XRD sampel S-800, S-900 A, S-900 P, dan S-1000

Suhu dan waktu kalsinasi merupakan faktor penting dalam menentukan apakah silika

dalam RHA tetap amorf atau menjadi kristal. Semua sampel (S-800, S-900 A, S-900 P, S-1000)

termasuk padatan kristalin, bukan amorf. Hal ini ditunjukkan dengan adanya puncak yang intens untuk fase kristal tridimit (sesuai JCPDS No.: 00-042-1401) dan kristobalit (JCPDS No.: 00-039-1425) yang terdeteksi pada sampel S-800, S-900 P, S-900 A, dan S-1000. Puncak yang intens untuk fase tridimit berada pada 2θ sekitar 21° , 27° , 35° , sedangkan untuk fase kristobalit muncul pada 2θ sekitar 22° , 28° , 31° , 36° , 45° , 47° , 48° , 54° , dan 58° . Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan peneliti lainnya yang menunjukkan bahwa pantulan tajam yang dapat ditetapkan untuk kristobalit ($d = 4,05$) sekitar $2\theta = 22^\circ$ dan tridimit ($d = 4,11$) pada sekitar $2\theta = 21^\circ$. Puncak tajam fase kristobalit mewakili kristalisasi silika [17], dan kristalisasi terjadi pada suhu di atas 700°C [10,11,18].

Kristobalit dan tridimit adalah polimorf mineral silika dan memiliki rumus kimia yang

sama dengan kuarsa yaitu SiO_2 , tetapi struktur kristalnya berbeda. Baik kuarsa, tridimit dan kristobalit adalah polimorf dengan semua anggota kelompok kuarsa, yang juga mencakup coesit dan stishovite [19]. Adapun jenis padatan, fase kristal dan puncak yang intens pada tiap sampel bisa dilihat di tabel 1.

Kebanyakan RHA mengandung SiO_2 . Hal ini merujuk pada hasil penelitian Ikpong & Okpala dengan pembakaran sekam padi pada suhu $650 - 700^\circ\text{C}$ menghasilkan abu sekam padi (*rice husk ash/RHA*) yang mengandung 82,13% SiO_2 dan sisanya oksida logam lainnya seperti Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , dan CaO [8] dan hasil penelitian Kaleli pada pembakaran RH pada 700°C menghasilkan RHA dengan 95,45 % SiO_2 [7].

Tabel 1. Jenis padatan, fase kristal dan puncak yang intens dari sampel S-800, S-900 A, S-900 P, S-1000

Sampel	Jenis Padatan	Fasa Kristal	Puncak yang intens, 2θ ($^\circ$)
S-800	Kristalin	Tridimit	21,4555; 26,6026; 35,3927
		Kristobalit	21,756; 28,29048; 31,4489; 36,0445
S-900 P	Kristalin	Tridimit	21,4889; 27,2376; 35,1922
		Kristobalit	21,7898; 28,2737; 31,3486; 35,9108; 45,4696; 46,9402; 48,4609; 53,8253; 56,9335
S-900 A	Kristalin	Tridimit	21,4889; 27,18754; 35,2089
		Kristobalit	21,8232; 28,1567; 31,3486; 36,0110; 45,4863; 46,8232; 48,4108; 53,9422; 56,9168
S-1000	Kristalin	Tridimit	21,4889; 27,1708; 35,2925
		Kristobalit	21,7898; 28,3406; 31,2316; 35,9609; 45,6200; 46,9235; 48,3774; 53,8085; 57,0672

Berdasarkan intensitas puncaknya, diketahui fase kristobalit lebih banyak daripada fase tridimit pada semua sampel. Adanya beberapa puncak difraksi yang tajam dan intensitasnya tinggi pada S-1000 menunjukkan S-1000 hasil kristalinitas terbaik.

Tabel 2 menunjukkan hubungan persentase kristalinitas dengan suhu kalsinasi sekam padi, yang dihitung berdasarkan intensitas puncak utama pada 2θ sekitar 22° menggunakan intensitas tertinggi sampel (S-1000) sebagai standar pembandingan yang diasumsikan memiliki persentase kristalinitas 100 %.

Persentase kristalinitas sampel menjadi lebih besar dengan meningkatnya suhu kalsinasi atau dengan kata lain makin kecil suhu kalsinasi mengakibatkan makin kecil persentase kristalinitasnya. Sampel RHA yang dikalsinasi pada suhu 1000°C mempunyai kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan sampeh RHA yang dikalsinasi pada suhu 800°C atau 900°C . Sampel kalsinasi pada suhu 900°C yang berwarna putih (S-900 P) lebih kristalin daripada yang berwarna abu-abu (S-900 A). Warna yang lebih cerah pada S-900 P dibandingkan S-900 A menunjukkan bahwa silika pada S-900 P lebih banyak diubah menjadi bentuk kristal.

Tabel 2. Pengaruh suhu kalsinasi sekam padi terhadap kristalinitas SiO₂

Sampel	2θ	Intensitas. I	I/I ₀	% Kristalinitas
S-800	21,75°	619	0,32	32%
S-900 A	21,85°	1494	0,79	79%
S-900 P	21,78°	1816	0,96	96%
S-1000	21,78°	1882*	1,00	100%

* standar pembanding (I₀), kristalinitasnya dianggap 100%

KESIMPULAN

Sekam padi yang telah dikalsinasi pada 3 variasi suhu yaitu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C selama 3 jam, dihasilkan 4 jenis sampel yaitu sampel kalsinasi pada suhu 800 °C berwarna hitam keabu-abuan (S-800), sampel kalsinasi pada suhu 900 °C menghasilkan dua jenis yaitu berwarna abu-abu (S-900 A) dan berwarna putih (S-900 P), serta kalsinasi pada suhu 1000 °C (S-1000). Keempat sampel tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD. Semua sampel termasuk padatan kristalin dengan puncak yang inten untuk fase kristal tridimit (2θ = 21°, 27°, 35°) dan kristobalit (pada 2θ = 22°, 28°, 31°, 36°, 45°, 47°, 48°, 54°, dan 58°) yang terdeteksi pada sampel S-800, S-900 P, S-900 A, dan S-1000. Kristalinitas keempat sampel S-1000, S-900 P, S-900 A, S-800 secara berturut-turut adalah 100%, 96%, 79%, dan 32%. Makin kecil suhu kalsinasi mengakibatkan makin kecil persentase kristalinitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Unesa dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Program Penelitian Kebijakan Fakultas dengan No kontrak B/36702/UN38.3/LT.02.05/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sembiring and W. Simanjuntak, *Silika Sekam Padi; Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. 2015.
- [2] A. H. Ritonga and D. A. Tanjung, "Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Arang," *Pelita Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–45, 2019, doi: 10.31289/pelitamasyarakat.v1i1.2720.
- [3] G. Y. Chen, R. Shan, J. F. Shi, and B. B. Yan, "Transesterification of palm oil to biodiesel using rice husk ash-based catalysts," *Fuel Process. Technol.*, vol. 133, pp. 8–13, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2015.01.005.
- [4] B. Hazmi, U. Rashid, M. L. Ibrahim, I. A. Nehdi, M. Azam, and S. I. Al-Resayes, "Synthesis and characterization of bifunctional magnetic nano-catalyst from rice husk for production of biodiesel," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 21, p. 101296, 2021, doi: 10.1016/j.eti.2020.101296.
- [5] BPS, "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2021 (Angka Tetap)," *Ber. Resmi Stat.*, vol. 2021, no. 77, pp. 1–14, 2021.
- [6] B. Singh, *Rice husk ash*. Elsevier Ltd, 2018. doi: 10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4.
- [7] M. J. Kaleli, P. K. Kamweru, J. M. Gichumbi, and F. G. Ndiritu, "Characterization of rice husk ash prepared by open air burning and furnace calcination," *J. Chem. Eng. Mater. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 24–30, 2020, doi: 10.5897/jcems2020.0348.
- [8] A. A. Ikpong and D. C. Okpala, "Strength characteristics of medium workability ordinary Portland cement-rice husk ash concrete," *Build. Environ.*, vol. 27, no. 1, pp. 105–111, 1992, doi: 10.1016/0360-1323(92)90014-G.
- [9] A. Ramezani-pour, M. M. Khani, and G. Ahmadibeni, "The Effect of Rice Husk Ash on Mechanical Properties and Durability of Sustainable Concretes," *Int. J. Civ. Eng.*, pp. 83–91, 2009.
- [10] S. H. Kang, S. G. Hong, and J. Moon, "The use of rice husk ash as reactive filler

- in ultra-high performance concrete,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 115, no. September, pp. 389–400, 2019, doi: 10.1016/j.cemconres.2018.09.004.
- [11] D. G. Nair, A. Fraaij, A. A. K. Klaassen, and A. P. M. Kentgens, “A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, no. 6, pp. 861–869, 2008, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.10.004.
- [12] L. T. Lun, “Effects of Rice Husk Ash (RHA) Produced from Different Temperatures on The Performance of Concrete,” UTAR, 2015. [Online]. Available: <http://eprints.utar.edu.my/id/eprint/1751>
- [13] N. Hindryawati, G. P. Maniam, M. R. Karim, and K. F. Chong, “Transesterification of used cooking oil over alkali metal (Li, Na, K) supported rice husk silica as potential solid base catalyst,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 17, no. 2, pp. 95–103, 2014, doi: 10.1016/j.jestch.2014.04.002.
- [14] S. Rungrodnimitchai, W. Phokhanusai, and N. Sungkhaho, “Preparation of Silica Gel from Rice Husk Ash Using Microwave Heating,” *J. Met. Mater. Miner.*, vol. 19, no. 2, pp. 45–50, 2009.
- [15] I. N. Simpen, N. L. Arpiwi, and M. I. Dwitama, “Sintesis dan Karakterisasi Abu Sekam Padi-Litium Oksida serta Uji Aktivitas Katalitiknya dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Malapari,” *J. Kim.*, vol. 12, no. 2, pp. 173–179, 2018.
- [16] Samik, H. Nasrudin, and P. Setiarso, *Kimia Zat Padat*. Surabaya: Unesa University Press, 2018.
- [17] W. Xu, T. Y. Lo, and S. A. Memon, “Microstructure and reactivity of rich husk ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 29, pp. 541–547, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.005.
- [18] M. A. Azmi, N. A. A. Ismail, M. Rizamarhaiza, A. A. K. W. M. Hasif, and H. Taib, “Characterisation of silica derived from rice husk (Muar, Johor, Malaysia) decomposition at different temperatures,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1756, 2016, doi: 10.1063/1.4958748.
- [19] D. K. Smith, “Opal, cristobalite, and tridymite: Noncrystallinity versus crystallinity, nomenclature of the Silica Minerals and Bibliography,” *Power Diffr.*, vol. 13, no. 1, pp. 2–19, 1998.