

ANALISIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA SILIKA (SiO_2) BERBAHAN DASAR BATUAN VULKANIK DI PULAU AMBON

Delpina Nggolaon^{*1}, Stevi Silahooy², Gede Wiratma Jaya³, Nikmans Hattu⁴

^{1,3}Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 9723, Indonesia

²Program Studi Teknik Perminyakan, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 9723, Indonesia

⁴Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura, Ambon 9723, Indonesia

e-mail*: dnggolaon@gmail.com

Diterima 19 Januari 2024

Disetujui 14 November 2024

Dipublikasikan 1 Desember 2024

<https://doi.org/10.33369/jkf.7.3.98-105>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan karakterisasi senyawa silika (SiO_2) berbahan dasar batuan vulkanik di Pulau Ambon yang diekstraksi menggunakan metode kopresipitasi. Hal ini dikarenakan material senyawa silika merupakan salah satu material maju yang saat ini berperan pesat dalam dunia industri karena memiliki banyak keunggulan. Proses analisis dilakukan terhadap hasil pengujian karakterisasi menggunakan beberapa instrumen, antara lain XRF, XRD, dan SEM. Berdasarkan hasil uji XRF, serbuk silika mampu dimurnikan menjadi sebesar 47,40 wt %. Hal ini dikarenakan metode kopresipitasi mampu menghilangkan impuritas pengotor yang terkandung didalam batuan vulkanik. Kemudian untuk mengetahui fasa, struktur morfologi, dan ukuran partikel dari serbuk silika maka dilakukan uji XRD dan SEM. Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa serbuk silika memiliki fasa amorf dengan posisi puncak yang paling kuat pada sudut $2\theta = 23.68^\circ$. Hasil citra SEM menunjukkan adanya aglomerasi dan menghasilkan distribusi ukuran partikel tertinggi berada pada rentang 11-15 nm dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 13,824 nm.

Kata kunci—Batuan Vulkanik, Kopresipitasi, nano-Silika Amorf

ABSTRACT

This research aims to analyze and characterize silica compounds (SiO_2) derived from volcanic rocks on the Ambon Island that were extracted using the co-precipitation method. This is because silica compound materials are one of the advanced materials that are currently playing a rapid role in the industrial world because they have many advantages. The analysis process was carried out on the results of characterization tests using several instruments, including XRF, XRD, and SEM. Based on the XRF test results, silica powder was able to be purified to 47.40 wt%. This is because the coprecipitation method is able to remove impurities contained in volcanic rocks. Then, to determine the phase, morphological structure and particle size of the silica powder, XRD and SEM tests were carried out. Based on the test results, it is known that silica powder has an amorphous phase with a strong board peak at at 2θ angles = 23.68° . The results of the SEM image show that there is agglomerate and produce the highest particle size distribution in the range of 11-15 nm with an average size of 13.824 nm.

Keywords—Volcanic rocks, Co-Precipitation, Amorphous nano-Silica

I. PENDAHULUAN

Maluku merupakan daerah kepulauan di Indonesia yang secara stratigrafi disusun oleh batuan vulkanik, sedimen, dan endapan muda (1,2). Batuan vulkanik tersebut tersebar di beberapa daerah salah satunya di Pantai Tanjung Nusaniwe, Kota Ambon. Batuan ini berasal dari formasi batuan gunungapi Pulau Ambon (3). Formasi batuan gunungapi di Pantai Tanjung Nusaniwe, Pulau Ambon, merupakan hasil erupsi gunungapi bawah permukaan air. Batuan ini diperkirakan memiliki umur

sekitar 3,78 juta tahun (4).

Pemanfaatan batu vulkanik dari formasi batuan gunungapi Pulau Ambon (Tpav) telah dilakukan ekstraksi senyawa besi oksida (Fe₂O₃) (5). Sedangkan batuan vulkanik yang berasal dari letusan gunung Soputan telah dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan beton (6). Padahal batuan vulkanik kaya akan kandungan silika (SiO₂) (7) dan hasil pengukuran geokimia batuan di wilayah Pantai Tanjung Nusaniwe memiliki kandungan silika sebesar 49,3% (4). Sehingga kandungan silika yang dimiliki batuan vulkanik memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai macam aplikasi.

Silika (SiO₂) merupakan salah satu material maju yang saat ini berperan pesat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan industri (8), terutama penggunaan silika dengan ukuran kecil mulai dari skala mikron sampai nano silika (9). Silika dapat disintesis dari beberapa material alami seperti pasir kuarsa (10,11) limbah sekam padi (12,13), dan tanah liat (14) atau tanah napa (15). Secara di alam silika dalam ukuran makro dan mikro terdiri dari tiga fasa yaitu kuarsa, tridimit, dan kristabolit (10). Namun pada ukuran nanometrik, partikel silika biasanya membentuk fasa amorf (16).

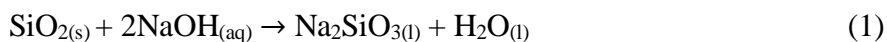
Silika umumnya digunakan sebagai prekursor seperti katalis biodiesel (17), pelapis material semikonduktor (18), pelapis bahan optik (15), material adsorben logam berat (19–21), adsorben zat warna (13), meningkatkan kekuatan beton (9), dan material hidrofobik (22,23). Sebagai material hidrofobik, silika memiliki struktur yang berpori dan mampu menyerap molekul air sehingga dapat memperlambat terjadinya korosi pada logam (24). Hal ini menyebabkan silika menjadi salah satu material yang sangat diminati dan telah disintesis dengan berbagai metode, salah satunya adalah metode kopresipitasi (16). Metode ini digunakan karena membutuhkan biaya operasional yang murah dan mudah dilakukan (25) dan menghasilkan ukuran partikel yang relatif kecil (26).

Metode kopresipitasi telah banyak dilakukan dalam mensintesis silika dari bahan pasir alam (16,24,27) namun masih belum dilakukan dari bahan batuan vulkanik. Berdasarkan peluang penelitian tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mensintesis senyawa silika dari batuan vulkanik di Pulau Ambon menggunakan metode kopresipitasi. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) agar bisa dianalisis komposisi unsur, fasa, dan morfologi permukaan dari senyawa silika yang dihasilkan.

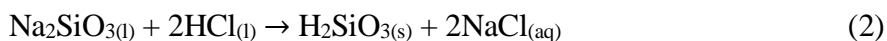
II. METODE PENELITIAN

Sampel batuan vulkanik yang diambil dari Pantai Tanjung Nusaniwe, Kota Ambon dipurifikasi dan menghasilkan serbuk silika menggunakan metode kopresipitasi. Langkah awal yang dilakukan adalah sampel batu vulkanik dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan. Kemudian di gerus agar lebih halus lalu diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Serbuk batu vulkanik ditimbang sebanyak 50 gram dan dilarutkan dalam HCl 7M sebanyak 250 ml. Proses pelarutan dilakukan dengan mengaduk serbuk selama 10 menit menggunakan magnetik stirrer dengan kecepatan 500 rpm pada suhu ruang dan didiamkan selama 24 jam. Endapan dipisahkan dari filtrat yang terbentuk menggunakan kertas saring. Endapan dicuci menggunakan aquades sebanyak 7 kali pengulangan hingga pH netral (pH 7) dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 50° C selama 48 jam.

Serbuk hasil endapan yang telah dikeringkan diambil 5 gram dan dilarutkan dalam 7M NaOH sebanyak 100 ml sambil diaduk dengan magnetik stirrer 700 rpm pada suhu 230° C selama 2 jam. Reaksi yang terjadi antara silika yang terkandung didalam serbuk hasil endapan dengan NaOH adalah sebagai berikut (15,28).



Filtrat yang dihasilkan berupa prekursor sodium silikat (Na₂SiO_{3(l)}) disaring dan dititrasi dengan HCl 2M menggunakan magnetik stirrer 500 rpm dengan suhu 45° C sampai terbentuk gel putih keruh dengan pH 7. Pembentukan gel terjadi akibat adanya reaksi ikatan siloksan -Si-O-Si- dari silikat (15,28):





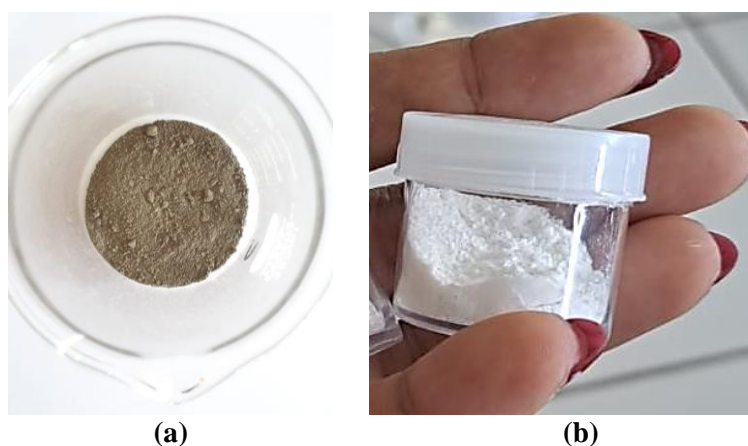
Larutan gel didiamkan selama 24 jam kemudian dicuci menggunakan aquades sebanyak 7 kali pencucian yang bertujuan untuk menghilangkan garam NaCl yang terbentuk dari hasil reaksi NaOH dengan HCl (29). Setelah pencucian, gel disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50° C. Sampel kering kemudian di gerus menggunakan mortar dan menghasilkan serbuk silika (SiO₂).

Instrumen karakterisasi yang digunakan antara lain: 1) *X-Ray Fluorescence* (XRF), 2) *X-Ray Diffraction* (XRD) dan 3) *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung didalam serbuk batu vulkanik dan serbuk silika. Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dan fasa serbuk silika, yang dilakukan pada sudut 2θ dengan rentang 0° hingga 90°. Sedangkan karakterisasi struktur mikro, bentuk dan ukuran partikel dilakukan menggunakan instrumen SEM dengan pembesaran 5.000 kali, 10.000 kali dan 15.000 kali.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis XRF Serbuk Silika (SiO₂)

Proses ekstraksi serbuk silika dari batuan vulkanik menggunakan metode kopresipitasi telah berhasil dilakukan. Hasil ekstraksi menunjukkan bahwa warna batuan vulkanik sebelum dan sesudah ekstraksi mengalami perubahan warna dari abu-abu menjadi putih (Gambar 1), seperti penelitian yang dilakukan oleh Hasanah et al (30). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan unsur silika. Peningkatan ini dikonfirmasi juga berdasarkan hasil analisis XRF yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Sampel (a) serbuk batuan vulkanik dan (b) serbuk silika (SiO₂) hasil ekstraksi.

Tabel 1. Karakterisasi XRF Serbuk Batuan Vulkanik dan Serbuk Silika

Sampel	Unsur (wt %)												
	Si	Al	Ca	Fe	Ti	Mn	Cu	Mg	K	P	Ni	Zn	Cd
Batuan Vulkanik	30.38	9.03	22.53	25.24	2.19	0.38	0.04	8.78	0.92	0.39	0.71	0.03	0.01
Serbuk Silika	47.40	4.20	0.08	0.67	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-

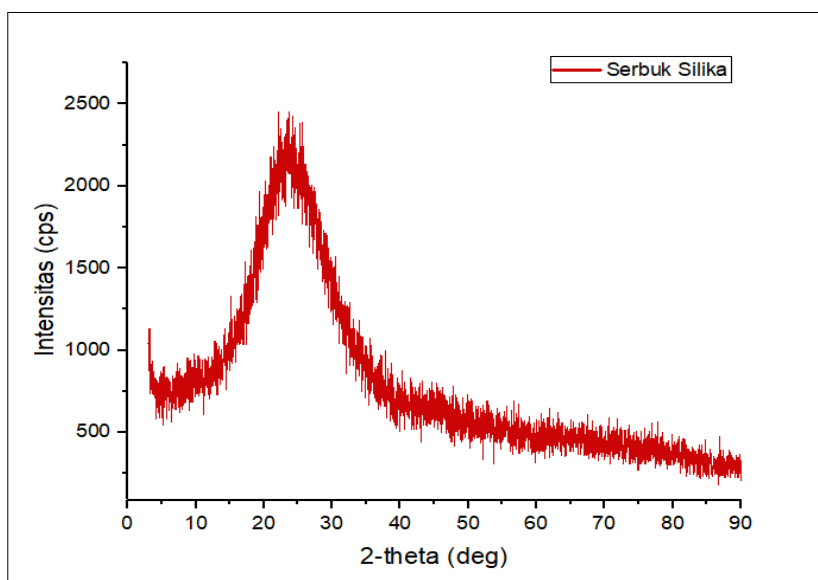
Data Tabel 1 menunjukkan kandungan batuan vulkanik dengan silika (SiO₂) paling tinggi yang ditunjukkan dengan kandungan unsur Si sebesar 30,38 wt %. Hal ini menunjukkan bahwa sampel batuan vulkanik dapat dijadikan sebagai bahan baku sintesis silika. Hasil ini menunjukkan bahwa metode kopresipitasi dapat meningkatkan kemurnian silika dari 30,38 wt % menjadi 47,40 wt % dengan peningkatan sebesar 17,02%. Peningkatan ini dikarenakan banyak unsur impuritas atau unsur pengotor yang hilang akibat direaksikan dengan larutan asam kuat HCl (29–31). Hal ini dibuktikan dengan adanya defisit massa serbuk batuan vulkanik dari 50 gram menjadi 45,24 gram atau sekitar 4,76 gram massa yang hilang, seperti penelitian yang dilakukan

oleh Ramadhan et al (29). Beberapa unsur impuritas yang hilang secara signifikan adalah unsur besi (Fe) dan kalsium (Ca), kemudian diikuti oleh unsur lainnya seperti pada Tabel 1.

Volume HCl dalam proses ekstraksi dengan metode kopresipitasi memiliki pengaruh terhadap berat silika. Semakin banyak volume HCl yang dititrasi pada larutan sodium silika ($\text{Na}_2\text{SiO}_3(l)$), semakin banyak gel silika yang terbentuk sehingga semakin banyak serbuk silika yang dihasilkan. Peningkatan silika disebabkan karena proses reaksi asam kuat-basa kuat antara HCl dengan sodium silikat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3(l)$) menuju pada fase kesetimbangan molekul atau titik ekuivalen, namun akan menurun ketika jumlah mol HCl melebihi jumlah mol larutan sodium silika ($\text{Na}_2\text{SiO}_3(l)$) (32).

3.2 Analisis XRD Serbuk Silika (SiO_2)

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan pada sampel serbuk silika dari sudut $2\theta = 0^\circ - 90^\circ$ dengan pola difraksi yang ditampilkan pada Gambar 2. Pola difraksi yang terbentuk memiliki intensitas yang rendah dan tidak menunjukkan adanya puncak tertentu sebagai indikasi fasa kristalin. Ketidakhadiran puncak kristal lain mengindikasikan kemurnian silika akibat terlarutnya unsur lain pada saat proses pelarutan menggunakan HCl (30) dan dibuktikan dengan hasil XRF. Data hasil XRD kemudian dilakukan perbandingan dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari serbuk silika hasil ekstraksi.



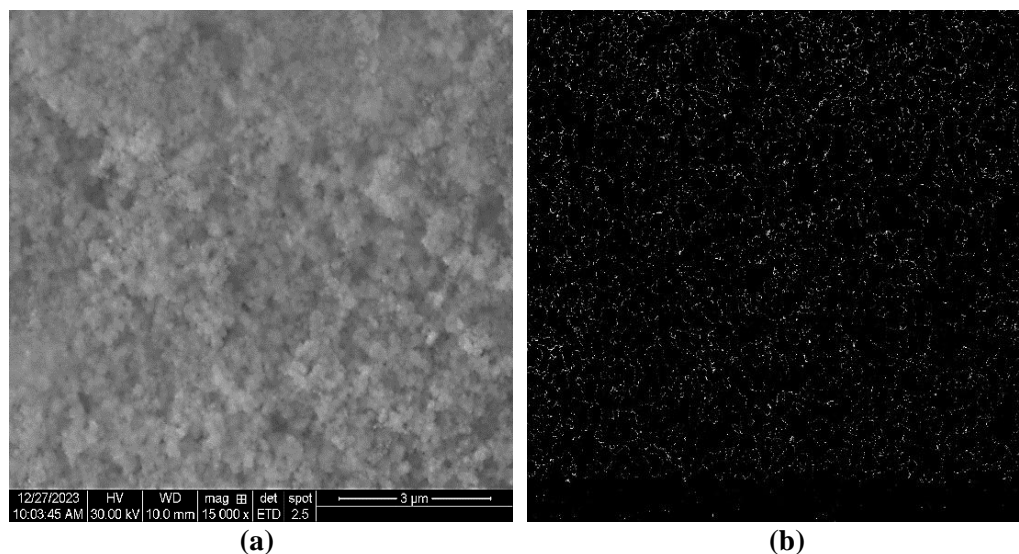
Gambar 2. Difraktogram serbuk silika (SiO_2) hasil ekstraksi.

Serbuk silika dari data XRD (Gambar 2) menghasilkan fasa amorf, hal ini dikarenakan pola difraksi berada pada rentang $2\theta = 20^\circ - 27^\circ$ (JCPDS No. 46-1045) (33,34) Pada penelitian ini puncak difraksi yang paling kuat (*strong board peak*) sudut $2\theta = 23,68^\circ$. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Scheneider et al (35) dan Lani et al (17) bahwa silika dengan ukuran nanopartikel adalah material amorf yang mulai membentuk pola puncak yang melebar pada $2\theta = 23^\circ$. Namun, beberapa peneliti menghasilkan silika dengan puncak difraksi yang paling kuat (*strong board peak*) pada sudut $2\theta = 22^\circ$ (36–38). Fasa kristal akan mulai terbentuk ketika dilakukan kalsinasi pada suhu diatas 1000°C dengan membentuk fasa kristabolit (16).

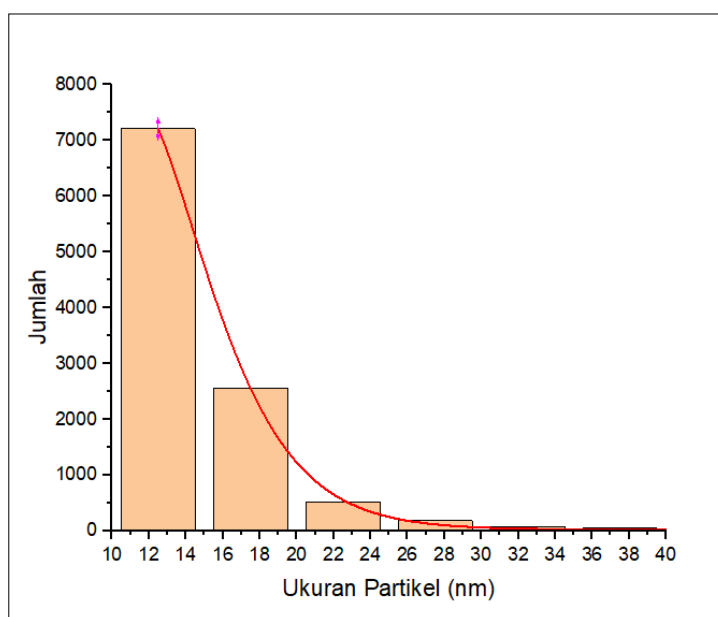
3.3 Analisis Morfologi dan Ukuran Partikel Serbuk Silika (SiO_2)

Morfologi serbuk silika (SiO_2) yang diperoleh dari hasil instrument *scanning electron microscope* (SEM) ditampilkan pada Gambar 3. Karakteristik mikrostruktur serbuk silika (SiO_2) dilakukan dengan beberapa macam pembesaran yang bertujuan untuk melihat dengan jelas distribusi partikel, batas butiran, dan keseragaman butiran. Adapun pembesaran tertinggi dengan

kualitas terbaik adalah pembesaran 15.000 kali. Berdasarkan Gambar 3a, tampak bahwa partikel-partikel saling beraglomerasi yang ditandai dengan bentuk butiran-butiran yang beragam (30). Hasil ini kemudian dianalisis menggunakan *software ImageJ* untuk mengetahui ukuran partikel dari serbuk silika (Gambar 3b).



Gambar 3. (a) Morfologi permukaan serbuk silika (SiO_2) hasil ekstraksi dengan perbesaran 15.000 kali dan (b) citra SEM hasil *threshold* menggunakan *software ImageJ*.



Gambar 4. Distribusi ukuran partikel serbuk silika (SiO_2) hasil ekstraksi.

Pengolahan data menggunakan *software ImageJ* dilakukan menggunakan beberapa tahapan yaitu kalibrasi skala gambar (*set scale*), *bandpass filter*, *threshold* dan tahap terakhir adalah melakukan pengukuran partikel (*analyze particle*). Hasil ini akan menampilkan data ukuran luas untuk seluruh area yang terdefinisi (30,39). Data tersebut kemudian diolah menggunakan *software Microsoft Excel* dan *software Origin* untuk memperoleh distribusi ukuran partikel serbuk silika (SiO_2). Berdasarkan hasil analisis diperoleh luas daerah rata-rata permukaan sampel sebesar $170,416 \text{ nm}^2$ dan ukuran partikel didominasi pada rentang 11-15 nm (Gambar 4) dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 13,824 nm, sehingga sampel akan memiliki karakteristik yang baik dalam pengaplikasian kedepannya.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dalam penelitian ini serbuk silika berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi dan dilakukan karakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan terjadi peningkatan kandungan silika dari 30,38 wt % menjadi 47,40 wt %. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa serbuk silika hasil ekstraksi memiliki fasa amorf dengan dua puncak sudut 2θ , yaitu $23,68^\circ$ dan $27,42^\circ$. Sedangkan hasil SEM menunjukkan bahwa tampak partikel-partikel beraglomerasi dengan distribusi ukuran partikel tertinggi berada pada rentang 11-15 nm dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 13,824 nm.

4.2 Saran

Untuk mendapatkan kajian yang lebih mendalam maka disarankan agar adanya beberapa kajian lainnya seperti: 1) Pengaruh suhu kalsinasi terhadap komposisi unsur, fasa, dan morfologi dari serbuk silika batuan vulkanik 2) Pengukuran ukuran partikel silika disarankan untuk menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA) 3) Penelitian lanjutan mengenai variasi volume NaOH dalam proses ekstraksi terhadap komposisi unsur, fasa dan morfologi dari serbuk silika batuan vulkanik 4) Pengaplikasian serbuk silika amorf sebagai inhibitor anti korosi material medium salinitas tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kepala Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura beserta seluruh perangkat yang telah memberikan fasilitas laboratorium sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hajianto MR. Working Fluids Study on Utilization of Low Temperature Geothermal in Ambon Island with Binary Cycle. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 2022 Nov;23(4):225–34.
2. Zikri AMM, Mayasari ED, Hastuti EWD. Karakteristik Batuan Vulkanik Berdasarkan Analisis Petrografi Daerah Tangkit Serdang, Tanggamus, Lampung. In: *Seminar Nasional AVoER XI 2019*. Palembang: AVoER 11 Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya; 2019. p. 135–40.
3. Tjokrosoepetro S, Rusmana E, Achdan A. Peta Geologi lembar Ambon, Maluku Skala 1:250.000 Lembar 2612-2613. *Puslitbang Geologi*. 1993;
4. Honthaas C, Maury R, Priadi B, Bellon H, Cotten J. The Plio – Quaternary Ambon arc , Eastern Indonesia. *Tectonophysics*. 1999;301:261–81.
5. Jaya GW, Nggolaon D, Hattu N. Ekstraksi dan Karakterisasi Senyawa Besi Oksida dari Batuan Vulkanik Pulau Ambon menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*. 2024 Jan;13(1):159–69.
6. Wakkary SED, Pandaleke R, Wallah S. Perilaku Mekanis Beton Menggunakan Batuan Vulkanik (Batu Angus dan Batu Apung). *Jurnal Tekno*. 2019;17(71):15–8.
7. Ramadhanty D, Reksatama KA, Kurniati E. Sintesa Dan Karakteristik Adsorben dari Abu Vulkanik. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 2021;2(2):52–6.
8. Sembiring S, Simanjuntak W. *Silika Sekam Padi; Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. 1st ed. Plantaxia, editor. Vol. 1. Yogyakarta: Plantaxia; 2015.

9. Saleh A, Attar A, Algburi S, Ahmed OK. Comparative study of the effect of silica nanoparticles and polystyrene on the properties of concrete. *Results in Materials*. 2023 Apr;1–7.
10. Munasir M. Synthesis of SiO₂ Nanopowders Containing Quartz and Cristobalite Phases from Silica Sands. *Material Science-Poland*. 2015;33(1):47–55.
11. Susanti, Widiarti N, Prasetya A. Sintesis Silika Gel Teraktivasi dari Pasir Kuarsa untuk Menurunkan Kadar ION Cu²⁺ dalam Air. *Jurnal MIPA*. 2017;40(1):39–42.
12. Handayani PA, Nurjanah E, Rengga WDP. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 2015;4(2):55–9.
13. Widyastuti H, Panggabean AS, Julia RD. Sintesis Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Termodifikasi Kitosan Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Methylene Blue. *Kimia FMIPA UNMUL*. 2021;63–5.
14. Putri SE, Pratiwi DE. Analisis Kandungan Mineral dalam Tanah Liat Alam Sulawesi Selatan sebagai Bahan Dasar Sintesis Keramik. *Jurnal Chemica Vo/ 18 Nomor 1 Juni 2017*, 35 - 38. 2017 Jun;18(1):35–8.
15. Hanawindy AS, Mawardi M. Ekstraksi Silika (SiO₂) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*. 2023;12(1):31–4.
16. Munasir, Rohmawati L, Taufiq A, Darminto. Amorphous SiO₂ Nanoparticles from Natural Sands: Structure and Porosity. *CMU J Nat Sci*. 2020 Apr;19(3):563–79.
17. Lani NS, Ngadi N, Yahya NY, Rahman RA. Synthesis, characterization and performance of silica impregnated calcium oxide as heterogeneous catalyst in biodiesel production. *J Clean Prod*. 2017 Mar;146:116–24.
18. Ismail LFM, Emara MM, El-Moselhy MM, Maziad NA, Hussein OK. Silica coating and photocatalytic activities of ZnO nanoparticles: Effect of operational parameters and kinetic study. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2014 Oct;131:158–68.
19. Hardyanti IS, Nurani I, Hardjono DS, Apriliani E, Wibowo EAP. Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik. *JURNAL SAINS TERAPAN*. 2017 Oct;3(2):37–41.
20. Rais IUN, Irawan DM, Syamsuddin YA, Murtyas SD. Analisis Mikro Struktur Absorptivitas Silika Gel Pada Kondisi Temperatur dan Relative Humidity (RH) Dinamis. *JURNAL MER-C*. 2018;1(7).
21. Ramadhanty D, Reksatama KA, Kurniati E. Sintesa Dan Karakteristik Adsorben dari Abu Vulkanik. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 2021 May;2(2):52–6.
22. Fathurrahman M, Suhendar U, Iryani A, Widiastuti D, Ahmad NS, Juniar E. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Eugenol-Silika dari Abu Tongkol Jagung serta Analisis antibakteri dan Daya Serap Terhadap Air. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 2022 Mar;18(1):10–8.
23. Zainuri M, Awathifi L, Silvia L, Triwikantoro, Subagyo BA. The Effect of Variation Concentration Cristobalite Silica From Natural Silica Sand to Hydrophobicity on Steel Plate Surface. *Materials Science Forum*. 2021 Apr;1028:397–402.
24. Munasir, Zuhri AA, Putri NP, Setiyarso P. Analisis Sifat Korosi Komposit PANi-SiO₂/Acrylic Paint pada Medium 3,5% NaCl. In: *Prosiding Seminar Nasional Science dan Pendidikan Sains IX*. Salatiga: Prosiding Seminar Nasional Science dan Pendidikan Sains IX; 2014. p. 499–505.

25. Permana B, Saragi T, Saputri M, Safriani L, Rahayu I, Risdiana. Sintesis Nanopartikel Magnetik Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 2017;07(02):17–20.
26. Muflihatun, Shofiah S, Suharyadi E. Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia* . 2015 Nov;19(55):20–5.
27. Silahooy S. Analisis Serbuk Silika Amorf (SiO₂) Berbahan Dasar Pasir. *Scie Map J*. 2020 Nov;2(2):75–8.
28. Mujiyanti DR, Ariyani D, Paujiah N. Kajian Variasi Konsentrasi Naoh Dalam Ekstraksi Silika Dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis “Pandak”. *Sains dan Terapan Kimia*. 2021 Jul;15(2):143–53.
29. Ramadhan NI, Munasir, Triwikantoro. Sintesis dan Karakterisasi Serbuk SiO₂ dengan Variasi pH dan Molaritas Berbahan Dasar Pasir Bancar, Tuban. *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol 3, No1, (2014) 2337-3520 (2301-928X Print)*. 2014;3(1):B15–7.
30. Hasanah M, Sembiring T, Sebayang K, Humaidi S, Rahmadsyah, Saktisahdan TJ, et al. Extraction Of Silica Dioxide (SiO₂) From Mount Sinabung Volcanic Ash with Coprecipitation Method. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2021;1156:1–5.
31. Sudarman S, Andriyani, Tamrin, Taufik M. Synthesis and application of nano-silicon prepared from rice husk with the hydrothermal method and its use for anode lithium-ion batteries. *Mater Sci Energy Technol*. 2024 Jan 1;7:1–8.
32. Wati J, Hasby. Analisis Aktivitas Antosianin dari Buah Senggani (*Melastoma Candidum* L.), Kulit Kopi (*Coffea Arabica* L.), dan Ubi Jalar Ungu (*Ipomea Batatas* L.) Sebagai Indikator Asam Basa. *KATALIS Jurnal Penelitian Kimia dan Pendidikan Kimia*. 2020 Dec;3(2):1–6.
33. Sanam PRR, Pote LL, Latumakulita G. Synthesis and Characterization of Silica Gel of Waste Agate From The Nian Village of Timor Tengah Utara Regency Using Sol Gel Method. *IJCR (Indonesian Journal of Chemical Research)*. 2022 Dec;7(2):9–17.
34. Susanti, Widiarti N, Prasetya AT. Sintesis Silika Gel Teraktivasi dari Pasir Kuarsa untuk Menurunkan Kadar ION Cu²⁺ dalam Air. *Jurnal MIPA*. 2017;40:39–42.
35. Schneider M, Cesca K, Amorim SM, Hotza D, Castellon ER, Moreira R. Synthesis and characterization of silica-based nanofluids for enhanced oil recovery. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023;24:4143–52.
36. Sompech S, Dasri T, Tahomola S. Preparation and Characterization of Amorphous Silica and Calcium Oxide from Agricultural Wastes. . *Oriental Journal of Chemistry*. 2016;32:1923-1928.
37. Kurmanbayeva I, Mentbayeva A, Sadykova A, Adi A, Mansurov Z, Bakenov Z. Silica from Kazakhstan Rice Husk as an Anode Material for LIBs. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 2019;21:75–81.
38. Banoth S, Babu VS, Raghavendra G, Rakesh K, Ojha S. Sustainable Thermochemical Extraction of Amorphous Silica from Biowaste. *Sustainable Thermochemical Extraction of Amorphous Silica from Biowaste*. 2021;14:5289–96.
39. Sasry R, Nurlina, Destiarti L, Syahbanu. Analisis Ukuran Partikel Silika Hasil Ekstraksi Dari Batu Padas Asal Kabupaten Ketapang Kalimantan Barat. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 2018;1(1):39–43.