

Karakterisasi Kelarutan Silika dari *Fly Ash* Pabrik Kelapa Sawit dalam Larutan Basa Kuat (NaOH) dan Asam Lemah (C₆H₈O₇)

Regna Tri Jayanti^{a*}, Annisa Aulia Furqana Ramzi^a, Muhammad Hanif^a

^aProgram Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Jalan Bungo Pasang Tabing, Padang, 25171, Indonesia

*Corresponding author: regnatj@poltekatipdg.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i2.67249>

Article History

Received: 13-11-2022, Accepted: 07-12-2022, Published: 09-12-2022

Kata kunci:

Kelarutan; Silika;
Asam Lemah;
Basa Kuat; NaOH;
(C₆H₈O₇)

ABSTRAK. Pertumbuhan industri pabrik kelapa sawit masih cukup potensial di Indonesia. Kajian produk samping hasil produksi pabrik kelapa sawit ini masih belum diolah dengan optimal. Pemanfaatan *fly ash* sebagai salah satu produk samping masih sangat perlu dikembangkan. Silika merupakan komposisi penyusun *fly ash* pabrik kelapa sawit yang sangat diminati saat ini karena memiliki potensi aplikasi dalam berbagai tujuan seperti pengolahan limbah, material semikonduktor, dan bahan aditif pertanian. Penelitian pengolahan silika dari abu hasil proses pembakaran tidak terlepas dari metode ekstraksi yang sangat bergantung dari karakteristik kelarutan silika terhadap pelarutnya. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi karakteristik kelarutan silika yang berasal dari *fly ash* pabrik kelapa sawit dalam larutan berupa basa kuat (NaOH) dan asam lemah (C₆H₈O₇). Aktivitas kelarutan silika dalam pelarut asam dan basa dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi pelarut yaitu 1 M, 2 M, dan 3 M. Proses pelarutan silika dilakukan pada temperatur 60°C dalam waktu 60 menit. Karakterisasi *fly ash* dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD, XRF, dan SEM yang menunjukkan bahwa senyawa penyusun utama *fly ash* adalah CaO 68,894% dan SiO₂ 19,189 % yang terkandung dalam mineral kalsit, portlandite, dan kuarsa dengan morfologi yang heterogen serta ukuran partikel berkisar 200 μm – 300 μm. Hasil pelarutan menunjukkan bahwa kelarutan silika tertinggi diperoleh dalam pelarut asam sitrat 2 M yaitu sebesar 26,35 %.

Keywords:

Solubility; Silica;
Weak Acid;
Strong Base;
NaOH; (C₆H₈O₇)

ABSTRACT. The growth of the palm oil mill industry still has quite potential in Indonesia, but the study of by-products produced by palm oil mills is immobile and not managed optimally. The use of *fly ash* as one of the by-products urgently necessities to be developed. Silica is a constituent composition of palm oil *fly ash* that is in great demand today because it has potential applications in various purposes such as sewage treatment, semiconductor materials, and agricultural additives. Research on silica processing from ash from the combustion process is inseparable from the extraction method which is highly dependent on the characteristics of silica solubility to the solvent. This study aims to provide information on the characteristics of silica solubility derived from palm oil mill *fly ash* in a solution in the form of strong bases (NaOH) and weak acids (C₆H₈O₇). The solubility activity of silica in acidic and alkaline solvents is carried out by varying the solvent concentration of 1 M, 2 M, and 3 M. Silica dissolution process is carried out at a temperature of 60°C within 60 minutes. *Fly ash* characterization was carried out using XRD, XRF, and SEM instruments which showed that the main constituent compounds of *fly ash* were CaO 68.894% and SiO₂ 19.189% contained in calcite, portlandite, and quartz minerals with heterogeneous morphology with particle size between 200 μm – 300 μm. The dissolution results showed that the highest silica solubility was obtained in a 2 M citric acid solvent, which was 26.35%.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan nilai tambah produk samping dari industri terus diupayakan dalam rangka menciptakan lingkungan industri yang *zero waste*. *Fly ash* pabrik kelapa sawit merupakan salah satu produk samping yang masih belum dimanfaatkan secara maksimal padahal produksinya semakin bertambah seiring pertumbuhan industri kelapa sawit. Beberapa unsur kimia yang bernilai ekonomis terdapat dalam *fly ash* kelapa sawit masih dapat diekstrak dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan material baru. Silika adalah unsur kimia yang sangat diminati saat ini karena aplikasinya yang cukup luas dalam memproduksi material baru, khususnya di bidang industri material semikonduktor.

Beberapa penelitian telah mencoba mengekstraksi silika dari berbagai sumber bahan baku seperti sekam padi, ampas tebu, tempurung kelapa, kulit pisang, dan lain sebagainya [1-3]. Metode-metode ekstraksi yang dilakukan

sangat bergantung pada tingginya kelarutan silika amorf dalam larutan alkalis seperti KOH, Na_2CO_3 , atau NaOH serta pengendapannya menggunakan asam seperti asam klorida, asam sitrat, asam asetat, atau asam oksalat [4]. Umumnya kegiatan pelarutan silika dilakukan dengan melalui berbagai proses *pretreatment* yang rumit pada bahan baku seperti direndam dengan larutan asam organik kuat serta dibakar dalam furnace pada temperatur diantara 600-800°C[5-7].

Jenis dan konsentrasi pelarut alkali sangat mempengaruhi kelarutan silika dalam *fly ash*. Pelarutan ion Si^{4+} umumnya sangat tinggi terhadap larutan NaOH dibandingkan dengan KOH [8]. Penggunaan asam organik sebagai alternatif pelarut dalam melarutkan silika dari limbah pertanian telah dicoba oleh beberapa peneliti dalam rangka mengurangi dampak terhadap lingkungan [9]. Menurut Wardhani,dkk (2017), asam sitrat merupakan asam organik yang mampu meningkatkan produksi silika [10]. Informasi hasil uji ekstraksi dan kelarutan silika dalam *fly ash* khususnya yang berasal dari pabrik kelapa sawit menggunakan pelarut asam dan basa masih terus dikembangkan dalam upaya menemukan parameter serta metode yang efektif dan efisien.

Berdasarkan hal tersebut, kajian mengenai karakteristik kelarutan silika dari *fly ash* kelapa sawit dalam larutan basa kuat dan asam lemah perlu dilakukan karena proses pelarutan memungkinkan dampak tingginya biaya operasional dan kerusakan lingkungan sehingga diperlukan modifikasi baik dari karakteristik material maupun parameter sintesisnya [11]. Penelitian ini bermaksud memberikan informasi perbandingan karakteristik kelarutan silika amorf dalam larutan NaOH sebagai agen basa kuat dan larutan ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) sebagai agen asam lemah. Pengetahuan mengenai prosedur pencampuran *fly ash* dengan pelarut basa kuat dan asam lemah ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang reaksi yang terjadi serta pengembangan penelitian yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut di masa datang.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari pabrik kelapa sawit Sumatera Barat. Pelarut yang digunakan adalah basa kuat *Sodium Hydroxide* (NaOH) dan asam lemah ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), dan *aquadest* untuk pengenceran. Adapun peralatan yang digunakan adalah *magnetic stirrer* dengan *hotplate* (Heidolph MR 3001) serta seperangkat peralatan gelas laboratorium (Pyrex).

2.1 Preparasi

Tahapan penelitian dimulai dengan preparasi *fly ash* terlebih dahulu dengan memperkecil ukuran partikel sekaligus membersihkan *fly ash* dari unsur pengotor yang berukuran lebih besar menggunakan *sieving* hingga *fly ash* berukuran ± 70 mesh guna mempermudah proses pengadukan. Setelah itu, dilanjutkan dengan *sampling* menggunakan metode *cone quartering* untuk menghasilkan sampel yang homogen dan representatif dimana distribusi penyebaran komposisi kimia penyusun *fly ash* tersebar secara merata.



Gambar 1. *Fly ash* pabrik kelapa sawit Sumatera Barat

2.2 Karakterisasi Fly Ash

Selanjutnya, untuk mengetahui karakteristik dari *fly ash* kelapa sawit, dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) guna mengetahui struktur kristal dan senyawa dominan penyusun *fly ash*. Analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan dalam rangka mengetahui kadar senyawa oksida penyusun *fly ash*. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bermanfaat untuk mengetahui morfologi, keseragaman partikel dan ukuran butir *fly ash*. Selain preparasi *fly ash*, dilakukan persiapan pelarut basa kuat dan asam lemah. Pelarut NaOH dan asam sitrat dikondisikan dengan variasi konsentrasi 1 M, 2 M, dan 3 M dengan metode pengenceran.

3.2 Karakterisasi XRF

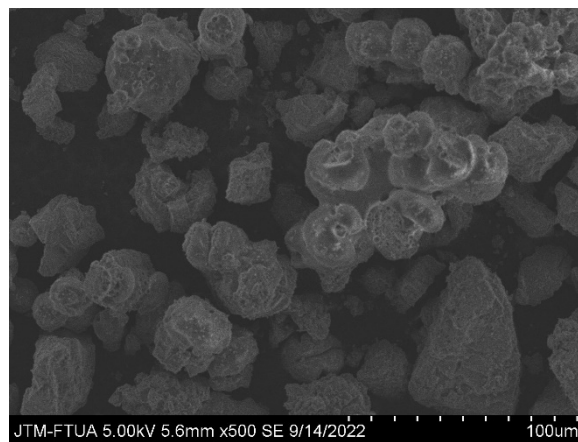
Karakterisasi XRF sangat penting dilakukan untuk mengetahui jumlah senyawa oksida yang ada pada *fly ash* sebagai pembanding berapa banyak produk hasil kelarutan silika dalam pelarutan pada larutan asam lemah dan basa kuat. Berdasarkan hasil uji pada tabel 1, diketahui bahwa komposisi kimia *fly ash* kelapa sawit memperlihatkan bahwa senyawa oksida kalsium sangat dominan dibandingkan dengan silikon dioksida. Banyaknya kandungan CaO sangat dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia *fly ash* pada kondisi pembakaran, suhu boiler, ukuran partikel dan jenis kelapa sawit yang digunakan.

Tabel 1. Komposisi Kimia *Fly Ash*

<i>Fly Ash</i>	
Elemen	Konsentrasi (%)
SiO ₂	19,189
P ₂ O ₅	3,217
K ₂ O	4,401
CaO	68,894
TiO ₂	0,147
Fe ₂ O ₃	1,78
ln ₂ O ₃	1,564
Unsur lainnya	0,81

3.3 Karakterisasi SEM

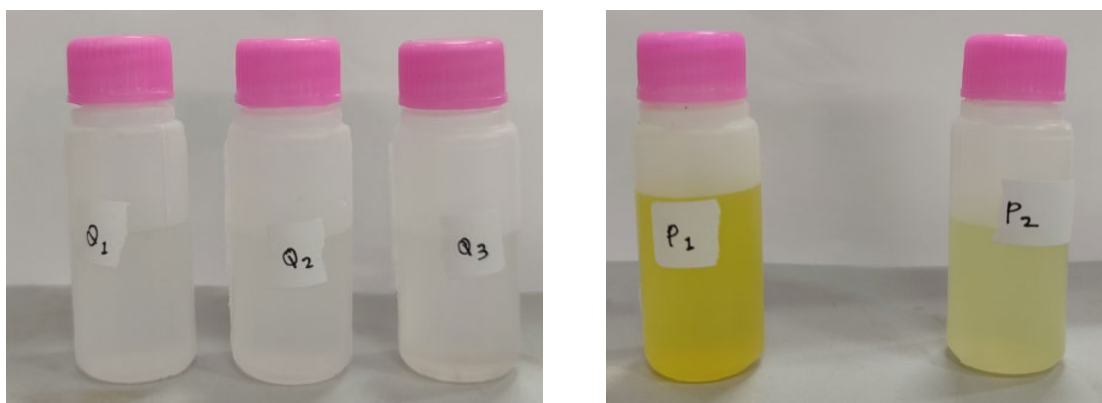
Gambar 4 memperlihatkan pencitraan analisis SEM yang menunjukkan bahwa *fly ash* tersebar secara merata dan tersusun dari material yang heterogen. Secara umum, tampak *fly ash* berbentuk bulat dengan partikel – partikel cukup halus. Namun, sebagian besar berbentuk *amorfi* dengan ukuran partikel berkisar antara 200 μm – 300 μm .



Gambar 4. Morfologi *Fly Ash*

3.4 Analisa Kelarutan Silika

Berdasarkan hasil pelarutan dengan pelarut NaOH didapatkan filtrat dengan warna jernih (Gambar 5). Sifat NaOH yang merupakan senyawa basa kuat yang apabila dilarutkan dalam air dapat memisahkan dan melepaskan ion OH⁻. Disisi lain, elektronegatifitas atom O yang tinggi pada SiO₂ mengakibatkan Si lebih elektropositif dan membentuk [SiO₂OH]⁻ yang tidak stabil sehingga terjadi dehidrogenasi serta ion hidroksil kedua berikatan dengan hidrogen untuk membentuk air. Dengan demikian, dua ion Na⁺ dapat menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion SiO₃²⁻ dan terbentuklah natrium silikat [12]. Reaksi tersebut dapat menghasilkan *disperse* pekat yang mampu memisahkan partikel dari silika terhidrat, sehingga dapat meningkatkan nilai silika terlarut [13]. Namun pada percobaan yang dilakukan, peningkatan nilai silika tidak begitu progresif seiring bertambahnya konsentrasi. Ini diperkirakan terjadi karena temperatur yang digunakan pada proses pelarutan terlalu rendah.

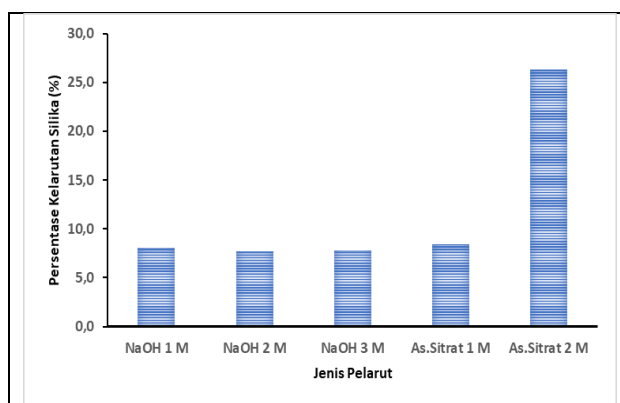


Gambar 5. Silika terlarut pada (a) pelarut NaOH dan (b) pelarut asam sitrat ($C_6H_8O_7$)

Gambar 5 memperlihatkan hasil silika terlarut dari proses pelarutan silika dalam masing-masing pelarut NaOH dan asam sitrat. Kode Q₁, Q₂, dan Q₃ berturut-turut adalah silika terlarut dalam larutan NaOH 1 M, 2 M, dan 3 M. Sedangkan kode P₁ dan P₂ pada gambar 5.b menunjukkan silika terlarut dalam larutan asam sitrat pada konsentrasi 1 M dan 2 M. Pelarutan dengan asam sitrat pada konsentrasi 3 M tidak menghasilkan filtrat sehingga *fly ash* membentuk *slurry* yang kental dan tertinggal di kertas saring. Ini diperkirakan akibat keberadaan $Ca(OH)_2$ yang dominan pada *fly ash* dapat mempengaruhi produk hasil kelarutan silika karena $Ca(OH)_2$ mampu meningkatkan C–S–H yang ikut larut dalam asam [3]. Pada larutan asam sitrat konsentrasi 1 M diperoleh silika terlarut berwarna kuning kehijauan dan pada pelarut konsentrasi 2 M kelarutan silika berwarna hijau muda. Hal ini kemungkinan menandakan adanya unsur selain silika juga ikut terlarut. Asam sitrat mempunyai gugus karboksil yang dapat bertindak sebagai zat pengkelat (*chelating agent*) yang dapat mendonasikan proton H^+ yang menyebabkan muatan gugus negatif karboksil beberapa ion logam membentuk senyawa kompleks yang stabil. Namun, muatan negatif gugus karboksil ini juga memungkinkan membentuk senyawa kompleks yang stabil jika bertemu dengan kation Ca^+ dan K^+ sehingga konsentrasi asam sitrat yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan kelarutan silika tidak efektif karena kemungkinan K_2O dan CaO ikut terlarut [15].

Tabel 2. Hasil Analisa Kelarutan Silika

Jenis Pelarut	Densitas (gr/ml)	pH	Kadar Silika Terlarut (ppm)	Kelarutan Silika (%)
NaOH 1 M	1,08	11,73	4,5	8,1
NaOH 2 M	1,09	12	4,3	7,72
NaOH 3 M	1,14	12,89	4,39	7,83
($C_6H_8O_7$) 1M	1,07	3,39	4,73	8,44
($C_6H_8O_7$) 2 M	1,14	2,85	14,77	26,35
($C_6H_8O_7$) 3 M	1,21	-	-	-



Gambar 6. Kelarutan silika dalam variasi pelarut

Kelarutan silika pada penelitian melibatkan proses perpindahan massa antar fasa yaitu fasa padat *fly ash* dan fasa cair dari pelarut dalam hal ini basa kuat NaOH dan asam lemah ($C_6H_8O_7$). Persentase kelarutan silika SiO_2 terlarut dalam *fly ash* dianalisa terlebih dahulu dengan instrumen yang sama dengan filtrat hasil pelarutan yaitu menggunakan *UV-Vis Spectrophotometer*. Nilai kadar silika dalam *fly ash* adalah sebesar 56,06 ppm dan kelarutan silika tertinggi dicapai oleh pelarut asam sitrat dengan konsentrasi 2 M yaitu 14,77 ppm.

Berdasarkan hasil uji, terlihat bahwa konsentrasi pelarut asam sitrat memberikan dampak kelarutan yang lebih signifikan dibandingkan dengan pelarut NaOH. Hal ini dikarenakan asam sitrat bersifat sebagai agen pengkelat yang dapat mengikat ion logam bervalensi dua atau lebih seperti Mn, Fe, Cu, Ni, Mg, Si, dan sebagainya [16]. Pelarut NaOH tidak memberikan peningkatan silika terlarut yang cukup berarti seiring peningkatan konsentrasi larutan. Hal ini disebabkan karena kelarutan silika dalam NaOH dilakukan pada temperatur rendah sehingga silika yang terbentuk sedikit [17]. Selain itu, kemurnian dan unsur pengotor dipengaruhi oleh temperatur dan waktu kontak antara *fly ash* dan pelarut. Pemilihan temperatur pelarutan pada penelitian ini didasarkan pada rendahnya titik didih asam sitrat, sehingga perlu diadakan penelitian kelarutan silika lebih lanjut terhadap pengaruh temperatur dan waktu pelarutan silika dari *fly ash* pabrik kelapa sawit.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa karakteristik *fly ash* pabrik kelapa sawit Sumatera Barat yang digunakan dominan mengandung CaO dalam bentuk mineral kalsit dan *portlandite* yang cukup heterogen dan berukuran antara 200 μm – 300 μm . Kelarutan silika dalam pelarut asam lemah ($C_6H_8O_7$) pada konsentrasi 2 M dengan kondisi pelarutan di temperatur 60°C dan dalam waktu 60 menit mampu memberikan nilai kelarutan silika dari *fly ash* pabrik kelapa sawit yang lebih tinggi dibandingkan NaOH sebagai pelarut basa kuat. Sehingga asam sitrat yang merupakan asam organik dan asam lemah dapat menjadi alternatif pilihan yang baik dalam melarutkan silika dari *fly ash* pabrik kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama penulis tujukan kepada Politeknik ATI Padang melalui Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat selaku penyedia dana dan fasilitas terkait penelitian ini sehingga kegiatan penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar

PUSTAKA

- [1] D. Dhaneswara, J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and A. N. Haqoh, "Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH_3COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations," *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 200–208, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i1.3335.
- [2] M. Mupa, C. B. Hungwe, S. Witzleben, C. Mahamadi, and N. Muchanyereyi, "Extraction of silica gel from Sorghum bicolor (L.) moench bagasse ash," *African J. Pure Appl. Chem.*, vol. 9, no. 2, pp. 12–17, 2015, doi: 10.5897/ajpac2015.0603.
- [3] A. Ti-Iatyor, T. Kongkue, and T. Chanadee, "Extraction and characterization of silica powders from natural waste for environmental remediation," *Mater. Sci. Forum*, vol. 934 MSF, pp. 147–153, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.934.147.
- [4] P. A. Handayani, E. Nurjanah, and W. D. P. Rengga, "Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 55–59, 2014, doi: 10.15294/jbat.v3i2.3698.
- [5] V. H. Le, C. N. H. Thuc, and H. H. Thuc, "Synthesis of Silica Nanoparticles from Vietnamese Rice Husk by Sol–Gel Method," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2013, doi: 10.1186/1556-276x-8-58.
- [6] M. L. Firdaus et al., "Silica Extraction from Beach Sand for Dyes Removal: Isotherms, Kinetics and Thermodynamics," *Rasayan J. Chem.*, vol. 13, no. 1, pp. 249–254, 2020, doi: 10.31788/RJC.2020.1315496.
- [7] A. Daulay, Andriyani, Marpongahtun, and S. Gea, "Extraction Silica from Rice Husk With NaOH Leaching Agent with Temperature Variation Burning Rice Husk," *Rasayan J. Chem.*, vol. 14, no. 3, pp. 2125–2128, 2021, doi: 10.31788/RJC.2021.1436351.
- [8] U. Rattanasak and P. Chindaprasirt, "Influence of NaOH Solution On The Synthesis of *Fly Ash* Geopolymer," *Miner. Eng.*, vol. 22, no. 12, pp. 1073–1078, 2009, doi: 10.1016/j.mineng.2009.03.022.
- [9] F. C. Pa, A. Chik, and M. F. Bari, "Palm Ash as an Alternative Source for Silica Production," *MATEC Web Conf.*, vol. 78, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20167801062.
- [10] G. A. P. K. Wardhani, N. Nurlala, and M. Azizah, "Silica Content and Structure from Corn cob Ash with

- Various Acid Treatment (HCl, HBr, and Citric Acid),” *Molekul*, vol. 12, no. 2, p. 174, 2017, doi: 10.20884/1.jm.2017.12.2.382.
- [11] M. E. Aphane, F. J. Doucet, R. A. Kruger, L. Petrik, and E. M. van der Merwe, Preparation of Sodium Silicate Solutions and Silica Nanoparticles from South African Coal Fly Ash, vol. 11, no. 8. 2020.
- [12] D. R. Mujiyanti, D. Ariyani, and N. Paujiah, “Kajian Variasi Konsentrasi NaOH dalam Ekstraksi Silika dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis ‘PANDAK,’” *J. Sains dan Terap. Kim.*, vol. 15, no. 2, p. 143, 2021, doi: 10.20527/jstk.v15i2.10373.
- [13] Z. M. Ulfa, P. Manurung, and P. Karo Karo, “Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH Optimum pada Pembuatan Nanosilika dari Batu Apung,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 8, no. 1, pp. 11–16, 2020, doi: 10.23960/jtaf.v8i1.2262.
- [14] E. M. Opiso, C. B. Tabelin, C. V. Maestre, J. P. J. Aseniero, I. Park, and M. Villacorte-Tabelin, “Synthesis And Characterization Of Coal *Fly Ash* and Palm Oil Fuel Ash Modified Artisanal and Small-Scale Gold Mine (ASGM) Tailings Based Geopolymer Using Sugar Mill Lime Sludge as Ca-Based Activator,” *Heliyon*, vol. 7, no. 4, p. e06654, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06654.
- [15] C. P. Faizul, C. Abdullah, and B. Fazlul, “Extraction of Silica from Palm Ash via Citric Acid Leaching Treatment,” *Adv. Environ. Biol.*, vol. 7, no. SPEC. ISSUE 12, pp. 3690–3695, 2013, doi: 10.13140/RG.2.1.1442.5047.
- [16] S. Kristianingrum, E. D. Siswani, and A. Fillaeli, “Pengaruh Jenis Asam Pada Sintesis Silika Gel Dari Abu Bagasse dan Uji Sifat Adsorptifnya Terhadap Ion Logam Tembaga (II),” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*, 2011, no. November, pp. 281–292.
- [17] D. H. Astuti, R. N. Fadhilah, R. Baskara, F. Teknik, and G. Anyar, “Kajian Temperatur Ekstraksi Silika dari Abu Bagasse terhadap Karakteristik Silika Xerogel,” *Semin. Nas. Tek. Kim. Soebardjo Brotohardjono XV*, vol. DJONO XV P, no. 24 July 2019, pp. 1–5, 2019.