

Ekstraksi Silika dari *Fly Ash* Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Variasi Pelarut Karbonat

Silica Extraction from Palm Oil Mill Fly Ash Using Various Carbonate Solvents

Regna Tri Jayanti^{1*}, Jerry², Miftahurrahmah²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Jalan Bungo Pasang Tabing, Padang, 25171, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Jalan Bungo Pasang Tabing, Padang, 25171, Indonesia

*Email: regnatj@poltekatipdg.ac.id

Article history:

Diterima : 10 Oktober 2022
Direvisi : 16 November 2022
Disetujui : 13 Desember 2023
Mulai online : 24 Maret 2023

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Regna Tri Jayanti, Jerry, Miftahurrahmah. (2023). Ekstraksi Silika dari *Fly Ash* Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Variasi Pelarut Karbonat. Jurnal Teknik Kimia USU, 12(1), 9-17.

ABSTRAK

Pemilihan katalis sangat penting dalam mengekstrak silika. Kalsium adalah katalis basa heterogen yang banyak terdapat pada batuan karbonat. Studi ini mencoba mengekstraksi silika menggunakan pelarut karbonat buatan dengan variasi asam kuat HCl (1 M, 3 M, 5 M), garam NaCl (1 : 2, 1 : 4) w/w rasio terhadap H₂O (1 : 4) w/w rasio terhadap karbonat. Karakteristik *fly ash* dianalisa menggunakan XRF dan XRD untuk mengetahui komposisi unsur, struktur kristal dan senyawa penyusun dominan. Pengaruh konsentrasi dan pH pelarut dalam mengekstraksi silika dari *fly ash* ditinjau dengan menetapkan parameter temperatur pada 60 °C, waktu ekstraksi 120 menit, dan perbandingan antara *fly ash* dan pelarut karbonat 20 % w/v. Filtrat diuji menggunakan UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi silika terlarut (SiO₂) dalam pelarut karbonat. Hasil uji menunjukkan bahwa pelarut karbonat dengan asam kuat HCl 3 M mampu mengekstrak silika lebih baik dibandingkan kelima pelarut lain sebesar 68,17 ppm.

Kata kunci: ekstraksi, silika, *fly ash*, karbonat, kelapa sawit

ABSTRACT

The selection of a catalyst is imperative in extracting silica. Calcium is a heterogeneous base catalyst that is abundant in carbonate rocks. This study attempts to extract silica using an artificial carbonate solvent with variations of strong acid HCl (1 M, 3 M, 5 M), NaCl salt (1: 2, 1: 4) w/w ratio to distilled water, and H₂O (1: 4) w/w ratio to carbonate. Characteristics of fly ash were analyzed using XRF and XRD to determine the elemental composition, crystal structure, and dominant constituent compounds. The solvent concentration and pH effect in extracting silica from fly ash is reviewed by setting the temperature parameter at 60 C, 120 minutes extraction time, and the ratio between fly ash and carbonate solvent 20 % w/v. The filtrate was verified using UV-Vis to determine the concentration of dissolved silica (SiO₂) in the carbonate solvent. The examination results showed that the carbonate solvent with 3 M HCl was able to extract silica better than the other five solvents at 68.17 ppm.

Keyword: extraction, silica, *fly ash*, carbonate, palm oil



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.9850>

1. Pendahuluan

Tingginya produksi kelapa sawit mengindikasikan banyaknya proses pengolahan kelapa sawit di Indonesia. Pengolahan kelapa sawit tidak lepas dari memanfaatkan sumber energi yang berasal dari cangkang dan fiber, namun dampak dari pengolahan kelapa sawit ini menghasilkan *fly ash* yang merupakan sisa hasil pembakaran

dalam ruang bakar boiler. Setidaknya, satu unit pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam membutuhkan kurang lebih 3 ton bahan bakar berupa cangkang dan fiber kelapa sawit dalam menghasilkan $\pm 5\%$ abu boiler berupa *fly ash* [1].

Debu terbang sawit atau *fly ash* merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan dengan optimal dari hasil pengolahan industri minyak sawit dan mengandung komponen penting seperti silika [2]. *Fly ash* umumnya diletakkan di belakang tempat penggilingan atau tempat pembuangan. *Fly ash* dapat tertiuap angin dan menyebar ke seluruh tempat dan menyebabkan polusi udara dengan massanya yang ringan, terpapar polusi udara ini terlalu lama dapat menyebabkan gangguan pernapasan, serta pembuangan limbah ini jika dilakukan secara berkelanjutan dapat menyebabkan pencemaran air tanah [3].

Silika yang terkandung di dalam *fly ash* sawit dapat digunakan menjadi bahan yang bernilai ekonomis sesuai dengan kebutuhan industri. Pemanfaatan produk samping sebagai bahan baku industri menjadi salah satu pilihan yang dapat digunakan dalam rangka membantu memotong biaya produksi dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan [4]. Silika bernilai ekonomis tinggi pada pembuatan keramik, pembuatan gigi tiruan, nanokomposit dan lain sebagainya [5]. Kebutuhan pasar global khususnya silika mencapai \$ 1,7 juta hingga akhir 2002 dan terus meningkat sebanyak 4 % pertahun. Silika ini digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk dalam produksi nanomaterial, karet, plastik, pelapisan, pengecatan, tinta printer, adsorben, pestisida, katalis bahkan kosmetik [6].

Kemajuan teknologi membawa beberapa penelitian untuk mencoba mengekstraksi silika dengan menggunakan asam dan basa kuat seperti Natrium Hidroksida (NaOH) dan Kalium Hidroksida (KOH) dan Hydrochloride Acid (HCl) sebagai pelarut dari abu sekam padi, abu kelapa sawit dan panas hidrotermal dengan berbagai teknik dan metode seperti ekstraksi dengan asam, gasifikasi, metode presipitasi dan metode sol-gel [7-10]. Proses ekstraksi akan membantu dengan adanya katalis. Pemilihan katalis yang tepat dapat memberikan produk yang berkualitas dan ramah lingkungan. Katalis heterogen basa lebih efektif daripada katalis heterogen asam karena kemampuannya beroperasi dalam proses kontinu dan ramah lingkungan.

Kalsium merupakan katalis logam yang bersifat basa dan banyak tersedia di alam. Karbonat alam atau batuan gamping adalah batuan sedimen yang secara metamorphosis membentuk kalsium karbonat (CaCO_3) [11]. Kalsium karbonat Sumatera Barat khususnya Kecamatan Kamang Magek Kabupaten Agam termasuk dalam wilayah yang memiliki potensi batuan gamping yang cukup tinggi, masyarakat sekitarnya telah sejak lama memanfaatkan dan mengolah batuan ini menjadi bahan kapur pertanian, pupuk dolomit, kapur tohor, bahan baku kertas, pasta gigi, dan cat [12].

Beberapa peneliti telah mencoba mengekstraksi silika dari berbagai sumber dengan beberapa pelarut. Pratomo et al (2013) menyatakan dalam penelitiannya bahwa HCl tidak berpengaruh nyata pada rendemen dan kadar silika [13]. Fatriansyah, et al (2018) berhasil mengekstraksi silika dari sekam padi sebanyak 84 % menggunakan NaOH dan asam klorida dengan metode refluks, namun konsentrasi yang digunakan masih cukup tinggi yaitu 5 dan 10 % [14]. Daulay, et al (2021) melakukan eksperimen pada sekam padi dengan menggunakan NaOH dengan variasi temperatur pembakaran, namun penelitiannya menunjukkan tidak semua silika dapat larut dalam larutan NaOH meskipun konsentrasi sudah cukup tinggi yaitu 10 % [15]. Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan kajian mengenai pelarut yang sesuai dalam mengekstraksi silika. Penelitian ini bertujuan untuk mencoba mengevaluasi secara sistematis pengaruh penggunaan berbagai pelarut buatan dari karbonat alam yang mengandung kalsium yang tinggi terhadap kemampuannya sebagai katalis dalam mengekstraksi silika dari *fly ash* dalam upaya meningkatkan nilai produk samping *fly ash* pabrik kelapa sawit.

Silika secara kimia merupakan silikon oksida dengan ciri tidak berwarna ataupun berwarna putih serta tidak larut dalam air. Ketika berasosiasi dalam logam atau mineral akan membentuk senyawa silikat. Beberapa peneliti sebelumnya telah berupaya mengekstraksi silika pada abu sekam padi. Mujiyanti, et al. (2021) telah mencoba mengekstraksi silika menggunakan pelarut NaOH pada variasi konsentrasi 1 M, 1,5 M, 2,0 M, 2,5 M dan 3 M dengan hasil rendemen optimum sebesar 61.3764% pada konsentrasi NaOH 2 M [16]. Sementara Pratomo, et al. (2013) membuktikan bahwa silika dapat diekstrak dengan perlakuan asam seperti HCl [17]. Keberadaan silika dalam bentuk mineral akan mengkonsumsi pelarut yang cukup banyak, sehingga dibutuhkan suatu katalis yang dapat membantu kelarutan silika menjadi rendah. Amalia et al. (2013) berhasil menurunkan kelarutan silika dengan menggunakan kalsium dalam bentuk Ca(OH)_2 dan CaCl_2 [18].

2. Metode

Bahan baku utama penelitian adalah *fly ash* yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit di daerah Lubuk Begalung Kota Padang dan karbonat yang berasal dari lokasi pertambangan batu kapur di Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Asam klorida (HCl), garam NaCl dan *aquadest* (H_2O) digunakan sebagai bahan pembuatan pelarut karbonat dengan variasi konsentrasi dan rasio pelarutan terhadap karbonat. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah magnetic stirrer, hotplate, neraca analitik, termometer, gelas kimia, corong, kertas

saring, erlenmeyer, dan pipet tetes. *Fly ash* dikarakterisasi menggunakan X-ray fluorescence (XRF) untuk mengetahui komposisi, karbonat dikarakterisasi menggunakan X-ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui struktur penyusunnya, dan filtrat hasil ekstraksi dianalisa menggunakan Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy untuk menganalisa silika terlarut.

Preparasi *Fly Ash*

Fly ash diberi perlakuan awal berupa pengurangan kadar air yaitu dengan cara dipanaskan dalam oven 110 °C selama 4 jam, lalu *fly ash* dihaluskan dengan cara disaring menggunakan siever hingga diperoleh partikel sampel yang diinginkan berukuran ± 100 mesh. Ukuran partikel yang kecil ini akan memberikan area kontak permukaan sampel dengan pelarut lebih luas sehingga memudahkan proses pelarutan. *Fly ash* selanjutnya diberi perlakuan sampling dengan menggunakan metode cone quartering yaitu dengan menumpuk dan membagi empat sampel yang diletakkan pada suatu alas secara berulang guna mendapatkan sampel yang representatif dan dengan penyebaran komposisi *fly ash* yang homogen. Selanjutnya sampel dianalisa dengan menggunakan X-ray Fluorescence (XRF) dan X-ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui senyawa dan struktur kristal yang terkandung dalam *fly ash*.

Preparasi Pelarut Karbonat

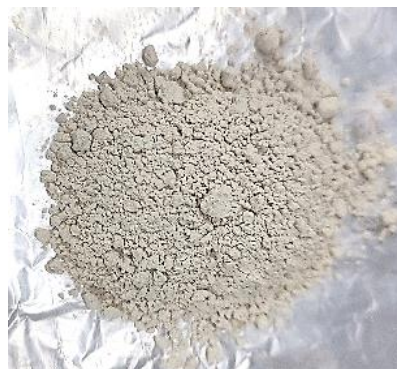
Untuk mengetahui jenis pelarut karbonat yang dapat mengekstraksi silika dengan optimal, digunakan variasi jenis larutan dengan konsentrasi yang berbeda. Pelarut karbonat diperoleh dengan melarutkan karbonat dalam variasi asam klorida (HCl), natrium klorida (NaCl), dan *aquadest* (H₂O). Pertama-tama karbonat dikondisikan sama seperti pada tahapan preparasi *fly ash* yaitu disaring dengan *siever* dan dilakukan *cone quartering sampling*. Pelarut karbonat dibuat dengan memanaskan 250 mL masing-masing asam klorida (HCl) 1 M, 3 M, dan 5 M, garam NaCl dengan rasio 1 : 2 dan 1 : 4 terhadap *aquadest* di atas *hotplate* hingga mencapai temperatur 30 °C dalam gelas kimia yang telah dimasukkan *stirrer bar* terlebih dahulu. Karbonat yang telah dipreparasi dimasukan sebanyak 50 g lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm selama 5 jam. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring whatmann 42 hingga diperoleh filtrat yang selanjutnya akan dipakai sebagai pelarut karbonat.

Ekstraksi Silika

Proses ekstraksi dilakukan dengan memasukkan sampel *fly ash* ke dalam pelarut karbonat yang telah dipreparasi sebelumnya menggunakan perbandingan berat sampel per volume pelarut yaitu 20% b/v. Ekstraksi silika dari *fly ash* dimulai dengan menambahkan 20 g *fly ash* yang telah dipreparasi ke dalam gelas kimia 500 mL berisi 100 mL pelarut karbonat. Gelas kimia selanjutnya ditutup dengan aluminium foil dan dipanaskan diatas *hotplate* pada temperatur 60 oC lalu diaduk secara konstan dengan kecepatan 500 rpm selama 120 menit menggunakan *magnetic stirrer* untuk melarutkan silika. Selanjutnya, larutan disaring hingga diperoleh residu dan filtrat. Filtrat kemudian dianalisa dengan menggunakan Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy untuk mengetahui konsentrasi silika (SiO₂) yang terekstrak dalam masing-masing pelarut karbonat

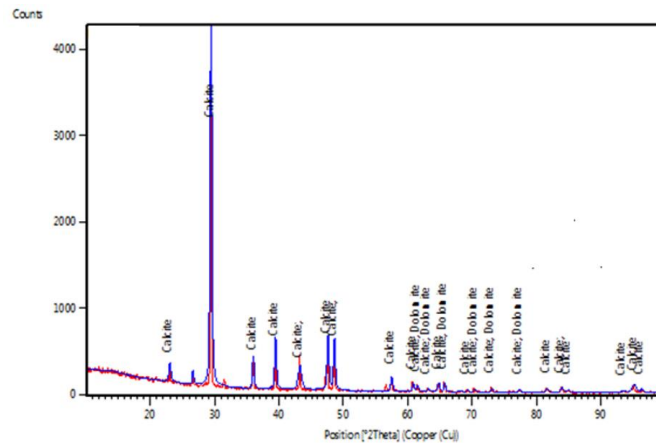
3. Hasil

Batuan karbonat merupakan batuan sedimen yang terbentuk pada lapisan dekat dengan permukaan bumi akibat proses pengendapan sederhana dan proses diagenesis yang kompleks serta memiliki komposisi utama berupa mineral karbonat [19].



Gambar 1. Batuan karbonat *Fly Ash*

Bahan baku batuan karbonat yang digunakan pada penelitian ini memiliki warna putih keabu-abuan yang menandakan ciri dari kristal dolomit (gambar 1).



Gambar 2. Karakterisasi XRD batuan karbonat

Karakterisasi XRD sampel batuan karbonat menunjukkan adanya kandungan CaO relatif tinggi yang berasal dari mineral kalsium karbonat sebagai komponen penyusun utama batuan. Hal ini diharapkan dapat membantu mempercepat reaksi pada proses ekstraksi CaO yang memiliki kereaktifan tinggi dapat bertindak sebagai katalis. Dalam grafik juga terdapat senyawa MgO yang memperlihatkan bahwa terdapat proses dolomitisasi batuan karbonat di lokasi penambangan yang belum intensif. Kandungan MgO diperkirakan dapat membantu menghambat proses peningkatan pH dan banyaknya jumlah endapan CaO setelah ekstraksi.

Karakterisasi *Fly Ash*

Fly ash sebagai hasil sampingan dari proses pembakaran cangkang dan fiber dalam boiler memiliki karakteristik yang cukup kompleks karena tersusun dari berbagai komposisi mineral.



Gambar 3. *Fly Ash*

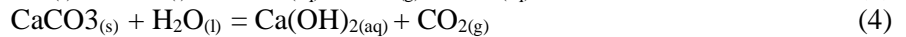
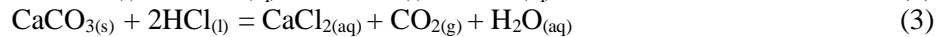
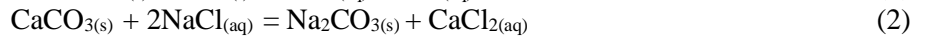
Terlihat pada gambar 3, *fly ash* dari pabrik kelapa sawit di daerah Lubuk Begalung Kota Padang memiliki warna hitam keabu-abuan dan terdapat beberapa butiran kecil menggumpal berwarna hitam pekat yang menandakan masih adanya sisa karbon dari pembuangan dan warna putih gading dengan ukuran sudah cukup halus yang diperkirakan berasal dari CaO. Karakterisasi *fly ash* menggunakan X-ray fluorescence (XRF) dapat dilihat dari tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan senyawa oksida silika (SiO_2) penyusun pada *fly ash* adalah 19,189%.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi XRF *Fly Ash*

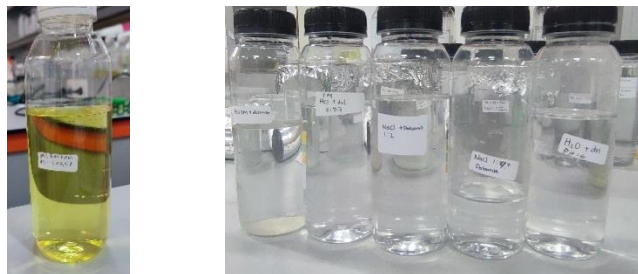
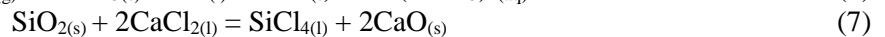
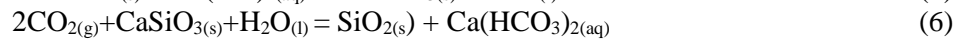
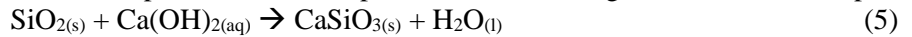
Elemen	Konsentrasi (%)
SiO ₂	19.189
P ₂ O ₅	3.217
K ₂ O	4.401
CaO	68.894
TiO ₂	0.147
V ₂ O ₅	0.002
Cl	0.225
MnO	0.241
Fe ₂ O ₃	1.78
CuO	0.089
ZnO	0.037
Rb ₂ O	0.087
SrO	0.068
Y ₂ O ₃	0.001
ZrO ₂	0.011
Ag ₂ O	0.041
In ₂ O ₃	1.564
OsO ₄	0.001
Br	0.007

Pengaruh Konsentrasi

Pelarut karbonat yang dibuat dengan cara melarutkan karbonat dengan beberapa larutan yaitu HCl, NaCl, dan H₂O didasari oleh kemungkinan reaksi yang akan dihasilkan antara karbonat dan pH larutan dalam mengekstraksi silika. Reaksi-reaksi yang diperkirakan terjadi dalam pembuatan pelarut karbonat antara lain [20-22] :

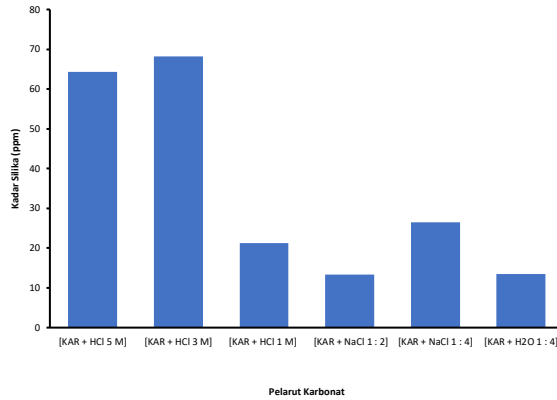


Jika silika dalam *fly ash* dilarutkan dalam proses ekstraksi diperkirakan akan menghasilkan reaksi berupa :



Gambar 4. Pelarut karbonat buatan dari larutan HCl, NaCl, dan H₂O

Hasil pembuatan larutan karbonat yang ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa hanya larutan HCl 5 M yang menghasilkan warna hijau kekuningan. Kemungkinan hal ini terjadi akibat adanya kandungan Fe₂O₃ dalam *fly ash*, ion Fe yang merupakan logam transisi cenderung memiliki warna disaat orbital 3d mengalami pemisahan menjadi dua kelompok tingkat energi.



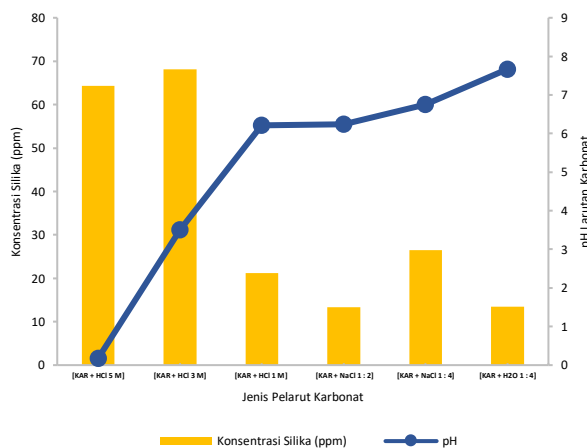
Gambar 5. Grafik perolehan silika dalam variasi pelarut karbonat

Berdasarkan grafik hubungan konsentrasi pelarut karbonat pada Gambar 5, diketahui bahwa pelarut karbonat dengan menggunakan larutan asam kuat HCl konsentrasi 3 M dan 5 M mampu mengekstraksi silika sebesar 68,17 ppm dan 64,37 ppm. Kemudian, pelarut karbonat dengan larutan HCl 1 M memiliki kemampuan yang tidak berbeda jauh dengan pelarut karbonat NaCl 1 : 4, perolehan silika dari keduanya berada pada nilai 21,23 ppm dan 26,48 ppm. Sedangkan pelarut karbonat dengan bantuan larutan NaCl 1 : 2 dan H₂O 1 : 4 hanya mampu mengekstraksi silika sebesar 13,31 ppm dan 13,47 ppm.

Kelarutan silika dalam pelarut karbonat dengan larutan pendukung HCl 3 menunjukkan tingkat kelarutan yang cukup tinggi dibandingkan kelima pelarut lain. Pelarut karbonat dengan konsentrasi HCl 5 M kurang optimal dalam mengekstraksi silika dari *fly ash* kelapa sawit dikarenakan mampu melarutkan Fe₂O₃ yang cukup banyak sehingga kemurnian silika berkurang [23]. NaCl merupakan senyawa yang terikat secara ionik, sehingga ketika dilarutkan dengan molekul air yang bersifat polar menghasilkan muatan positif yang lebih terpusat pada atom hidrogen dan muatan negatif terpusat pada oksigen. Kutub negatif oksigen dari molekul air akan mengepung dan menarik kation natrium dan kutub positif atom hidrogen akan menarik anion klorida sehingga kereaktifan ion Na berkurang [24]. Adapun pelarut karbonat dengan larutan dukung H₂O kurang optimal dikarenakan kelarutan SiO₂ cukup rendah, kadar silika dalam *fly ash* kelapa sawit akan meningkat seiring tekanan dan temperatur yang diberikan.

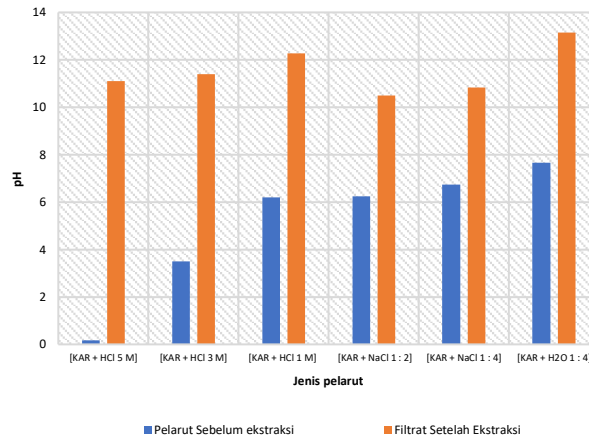
Pengaruh pH

Parameter konsentrasi dan pH merupakan faktor penting dalam proses pelarutan karena memberikan dampak yang nyata terhadap jumlah silika yang terekstrak. Gambar 6 menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai pH sebelum dan sesudah proses ekstraksi *fly ash* pabrik kelapa sawit. Nilai pH yang terbentuk saat pelarut karbonat bereaksi dengan *fly ash* berada di antara 10 – 13 sedangkan larutan karbonat yang dibuat dengan variasi larutan terletak pada interval pH 0.18 – 7.67.



Gambar 6. Nilai pH pada pelarut karbonat dan filtrat hasil ekstraksi

Peningkatan pH terjadi diduga akibat adanya kandungan CaO yang tinggi dalam *fly ash* yang mampu menyebabkan disosiasi gugus fungsional karbositat (-COOH) sehingga meningkatkan muatan negatif *fly ash*. CaO disini bertindak sebagai katalis heterogen dengan aktivitas katalitik dan kebasaaan yang cukup tinggi dan kelarutan yang rendah. Rendahnya kadar MgO juga berperan dalam peningkatan pH tersebut yang menyebabkan terjadinya pembentukan material pada permukaan CaO. Selain itu, CaO sangat mudah bereaksi dengan CO₂ dan H₂O di udara sehingga menyebabkan aktivitas katalitiknya menjadi kurang efektif [25]. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui hubungan nilai pH dengan konsentrasi silika hasil ekstraksi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan pH larutan karbonat terhadap hasil ekstraksi silika

Nilai pH pelarut karbonat dengan bantuan larutan HCl 5 M dan 3 M adalah 0,18 dan 3,51 dan mampu mengekstraksi silika sebanyak 64,37 dan 68,17 ppm. Sedangkan pelarut karbonat dengan bantuan larutan HCl 1 M dan NaCl 1 : 4 yang berada pada pH 6,21 dan 6,75 mampu mengekstraksi silika sebesar 21,23 dan 26,48 ppm. Kemudian, pelarut karbonat dengan bantuan larutan NaCl 1 : 2 dan H₂O 1 : 4 dalam hal ini memiliki pH 6,24 dan 7,67 memberikan jumlah ekstraksi silika cukup rendah yaitu 10,84 dan 13,15 ppm. Ini membuktikan bahwa larutan karbonat dengan pH ± 3 mampu mengekstraksi silika lebih baik dibandingkan dengan pelarut karbonat dengan pH > 6. Ini dapat disebabkan karena ekstraksi pada pH asam berlangsung lambat akan tetapi menyebabkan jumlah partikelnya meningkat dan memperkecil ukuran endapan serta memiliki muatan sedikit yang memungkinkan terjadi tumbukan dan agregasi semakin besar, dengan demikian proses difusi ion natrium dan anion lain lebih mudah sehingga kadar silikanya lebih tinggi [26].

4. Kesimpulan

Berdasarkan karakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence, diketahui kadar silika pada sampel *fly ash* pabrik kelapa sawit adalah 19,189% dengan kandungan CaO yang dominan. Pelarut karbonat dengan menggunakan larutan asam kuat HCl konsentrasi 3 M mampu mengekstraksi silika sebesar 68,17 ppm lebih baik dibandingkan kelima pelarut lainnya. Nilai pH pelarut karbonat yang optimal dalam melarutkan silika dari *fly ash* pabrik kelapa sawit adalah 3.51

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya 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.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Tugiman, Suprianto, and R. Daulay, "Analisa pemanfaatan palm oil *fly ash* sebagai bahan alternatif pada pembuatan metal matrix composite (MMC) menggunakan metode stir casting," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII)*, vol. 3, no. 23-24 pp.

- 1246–1251, 2013.
- [2] Bahruddin, A. Ahmad, A. Prayitno, and R. Satoto, “Morphology and mechanical properties of palm based fly ash reinforced dynamically vulcanized natural rubber/polypropylene blends,” *Procedia Chem.*, vol. 4, pp. 146–153, 2012.
- [3] K. Muthusamy, N. Zamri, M. A. Zubir, A. Kusbiantoro, and S. W. Ahmad, “Effect of mixing ingredient on compressive strength of oil palm shell lightweight aggregate concrete containing palm oil fuel ash,” *Procedia Eng.*, vol. 125, pp. 804–810, 2015.
- [4] A. Munir, Abdullah, Huzaim, Sofyan, Irfandi, and Safwan, “Utilization of palm oil fuel ash (POFA) in producing lightweight foamed concrete for non-structural building material,” *Procedia Eng.*, vol. 125, pp. 739–746, 2015.
- [5] Y. Pausa, “Optimasi tingkat kemurnian silika, SiO₂, dari abu cangkang sawit berdasarkan konsentrasi pengasaman,” *Prism. Fis.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–4, 2015.
- [6] V. Devra *et al.*, “Pure Silica Extraction from Perlite: Its Characterization and affecting factors,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, 2013.
- [7] P. S. Utama, R. Yamsaengsung, and C. Sangwichien, “Production and characterization of precipitated silica from palm oil mill fly ash using CO₂ impregnation and mechanical fragmentation,” *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 36, no. 1, pp. 523–530, 2019.
- [8] D. Dhaneswara, J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and A. N. Haqoh, “Synthesis of amorphous silica from rice husk ash: comparing HCl and CH₃COOH acidification methods and various alkaline concentrations,” *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 200–208, 2020.
- [9] A. F. Fadli, R. T. Tjahjanto, and Darjito, “Ekstraksi silika dalam lumpur lapindo menggunakan metode kontinyu,” *Kim. Student J.*, vol. 1, no. 2, pp. 182–187, 2013.
- [10] V. V. Potapov, A. A. Cerdan, D. S. Gorev, S. V. Zubaha, and E. V. Shunina, “Silica extraction from hydrothermal heat carrier by coagulation,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 367, no. 1, 2019.
- [11] M. M. H. Al Omari, I. S. Rashid, N. A. Qinna, A. M. Jaber, and A. A. Badwan, “Calcium carbonate,” in *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology*, vol. 41, pp. 31–132, 2016.
- [12] Khalil and A. S, “Studi komposisi mineral tepung batu bukit kamang sebagai bahan baku pakan sumber mineral,” *Media Peternak.*, vol. 30, no. 1, pp. 18–25, 2007.
- [13] I. Pratomo, S. Wardhani, and D. Purwonugroho, “Pengaruh teknik ekstraksi dan konsentrasi hcl dalam ekstraksi silika dari sekam padi untuk sintesis silika xerogel,” *Kim. Studentjournal*, vol. 2, no. 1, pp. 358–364, 2013.
- [14] J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and D. Dhaneswara, “Ekstraksi silika dari sekam padi: metode refluks dengan NaOH dengan pengendapan menggunakan asam kuat (HCl) dan asam lemah (CH₃COOH),” *Pros. Semin. Nas. Fis. Univ. Riau ke-3*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] N. A. Zarib, S. A. Abdullah, and N. A. Jusri, “Effect of acid treatment on extraction of silica from cogon grass by using C₆H₈O₇ and HCL acid,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 834, no. 1, 2020.
- [18] D. Amalia, M. Aziz, and Yuhelda, “Pengaruh penambahan kalsium klorida, kalsium hidroksida dan karbon aktif terhadap penurunan silika terlarut dalam larutan sodium aluminat,” *Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 9, no. September, pp. 157–164, 2013.
- [19] M. Mehmood, “Dolomite and dolomitization model - a short review,” *Int. J. Hydrol.*, vol. 2, no. 5, pp. 549–553, 2018.
- [20] T. Tsuzuki, K. Pethick, and P. G. McCormick, “Synthesis of CaCO₃ Nanoparticles by mechanochemical processing,” *J. Nanoparticle Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 375–380, 2000.

- [21] R. Revisdah and S. Mira, “Pengaruh air soda terhadap kuat tekan beton,” *Pros. SEMNASTEK Fak. Tek.*, vol. 4, no. November, p. 5, 2015.
- [22] H. Panggabean and D. Onggo, “Sintesis gas karbondioksida menggunakan alat sintesis gas skala kecil,” *Snips*, no. 2, pp. 366–370, 2017.
- [23] A. Royani, “Proses pelarutan bijih dolomit dalam larutan asam klorida,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2016.
- [24] W. Sumarni, D. Suhendar, and E. P. Hadisantoso, “Rekristalisasi natrium klorida dari larutan natrium klorida dalam beberapa minyak yang dipanaskan,” *al-Kimiya*, vol. 4, no. 2, pp. 100–104, 2019.
- [25] S. Annisa, G. Rachim, I. Raya, and M. Zakir, “Modifikasi katalis CaO untuk produksi biodiesel dari minyak bekas,” *Indo. J. Chem.*, vol. 5, no. 1, pp. 459–464, 2017.
- [26] M. H. A. Fatony, T. Haryati, and M. Mintadi, “Ekstraksi silika dari *fly ash* batubara (studi pengaruh variasi waktu ekstraksi, jenis asam dan pH),” *Pros. Semin. Nas. Kim.*, pp. 54–59, 2015.