

Analisis dan Karakterisasi Potensi Pozzolan Sebagai Sumber Silika (SiO_2) Untuk Meningkatkan Nilai Sumber Daya Lokal

Erda Rahmilaila Desfitri¹, Reni Desmiarti¹, Munas Martynis¹, Suci Rahma Dhani¹

¹ Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email: rahmilaila@bunghatta.ac.id

Received 30 Mei 2022 | Revised 10 Juni 2022 | Accepted 18 Juni 2022

ABSTRAK

Kabupaten Padang Pariaman memiliki sumber daya pozzolan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Untuk pemanfaatan yang optimal dilakukan analisis dan karakterisasi potensi pozzolan sebagai sumber silika. Silika bisa dimanfaatkan untuk bahan baku utama diberbagai industri, seperti industri gelas, keramik, katalis, pertanian dan untuk pengolahan limbah. Untuk mengetahui potensi pozzolan sebagai sumber silika dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif menggunakan XRD dan XRF. Berdasarkan hasil analisis pola difraksi sinar-X dengan measurement program PANalitycal ditemukan senyawa SiO_2 yang tertinggi teramati pada posisi 2θ sebesar 20° dan 26° . Sedangkan analisis XRF dilakukan untuk mendapatkan informasi jumlah elemen dan oksida logam yang terkandung pada pozzolan. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa kadar SiO_2 yang terdapat pada pozzolan adalah sejumlah 62,56%. Senyawa lain yang ditemukan pada pozzolan diantaranya Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO dan Fe_2O_3 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pozzolan sangat berpotensi untuk dijadikan sumber silika.

Kata Kunci: Pozzolan, Silika, XRD, XRF

ABSTRACT

Padang Pariaman regency has pozzolanic resources that have not been utilized optimally. Pozzolan is a material containing silica and alumina. For optimal utilization, analysis and characterization of the potential of pozzolan as a source of silica have been done. Silica can be used as a raw material in several industries, for example, glass, ceramic, catalyst industry, farm, and waste treatment. Qualitative and quantitative analyses by XRD and XRF were carried out to investigate pozzolan as a source of silica. Based on x-ray diffraction pattern with measurement of PANalitycal program was found SiO_2 compound on 2θ position, 20° dan 26° degree. XRF analysis is used to get information chemical composition of pozzolan. XRF analysis found silica composition is 62,56%. Other compounds also found in pozzolans such as Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , and Fe_2O_3 . The result shows that pozzolan in Padang Pariaman Regency has the potential as a source of silica.

Keyword: Pozzolan, Silica, XRD, XRF

1. PENDAHULUAN

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen [1,2,3]. Menurut sumbernya pozzolan ada yang berasal dari alam (natural) dan ada yang sintetis. Pozzolan alam dapat berupa batuan tufa, abu vulkanik, batu apung, pasir alami dan tanah diatomae. Pozzolan yang berasal dari alam dikenal dengan istilah trass. Sedangkan pozzolan sintetis adalah pozzolan yang berasal dari hasil pembakaran tanah liat dan batu bara atau dikenal juga dengan istilah fly ash.

Komponen utama penyusun pozzolan adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) [4,5,6]. Bouyahyaoui dkk. [7] dalam penelitiannya menemukan masing-masing konsentrasi silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) secara berturut-turut adalah 37,47%, 11,4%, dan 17,7%. Di penelitian lain Seynou dkk. [8] memperoleh kandungan silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) dalam sampel pozzolan berkisar antara 53,88% - 72,75%; 19,06% - 29,51%; dan 0,35% - 3,71%. Sedangkan Akgün, Y [9] menemukan kandungan silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) secara berturut-turut adalah 64,70%, 11,21% dan 1,38%. Kandungan ini tidak berbeda jauh dengan kadar silika dan alumina yang terdapat pada fly ash. Fly Ash mengandung silika dengan kisaran 51,42%-74,78% [10, 11, 12].

Di provinsi Sumatera Barat khususnya Kabupaten Padang Pariaman terdapat daerah pegunungan yang dijadikan sumber pozzolan dengan kapasitas potensi 5.940.000 ton [13]. Melihat potensi ini, sudah selayaknya dilakukan pengembangan sumber daya pozzolan, sehingga apabila dikelola dan dimanfaatkan secara baik dan tepat akan dapat meningkatkan perekonomian masyarakat. Saat ini pemanfaatan pozzolan di wilayah Kabupaten Padang Pariaman belum begitu maksimal dimanfaatkan. Penggunaannya masih terbatas sebagai pasir timbunan, bahan pengganti semen, dan bahan pembuatan batako. Sedangkan jika dimurnikan, kandungan silika di dalam pozzolan dapat digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri gelas, keramik, sebagai katalis, bahan tambahan pada industri pertanian, sebagai bahan penyegel sel bahan bakar dan bahan pengolahan limbah [14, 15, 16, 17].

Untuk pengembangan penggunaan pozzolan dan pengolahan lebih lanjut perlu dilakukan penelitian pendahuluan tentang potensi dan karakterisasi pozzolan yang ada yang ada di daerah tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan karakterisasi pozzolan yang berlokasi di Kabupaten Padang Pariaman Sumatera Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar Kandungan Silika (SiO₂) yang ada pada pozzolan di daerah tersebut.

2. METODOLOGI

2.1. Alat dan Bahan

Pozzolan yang dianalisis pada penelitian ini berasal dari bukit yang berada di Nagari Koto Mambang Kabupaten Padang Pariaman Sumatera Barat. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik penyamplingan pada lima titik yang representative, seperti pada Gambar 1. Jarak antar titik berkisar 10-20 meter. Kemudian sampel ditandai dengan kode S1, S2, S3, S4 dan S5 untuk masing-masing titik pengambilan seperti Gambar 2. Karakterisasi terhadap sampel pozzolan ini dilakukan dengan menyimpulkan hasil analisis dari dua jenis alat instrument yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD dan *X-Ray Fluorescence* (XRF).



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel



Gambar 2. Sampel Pozzolan

2.2. Metode

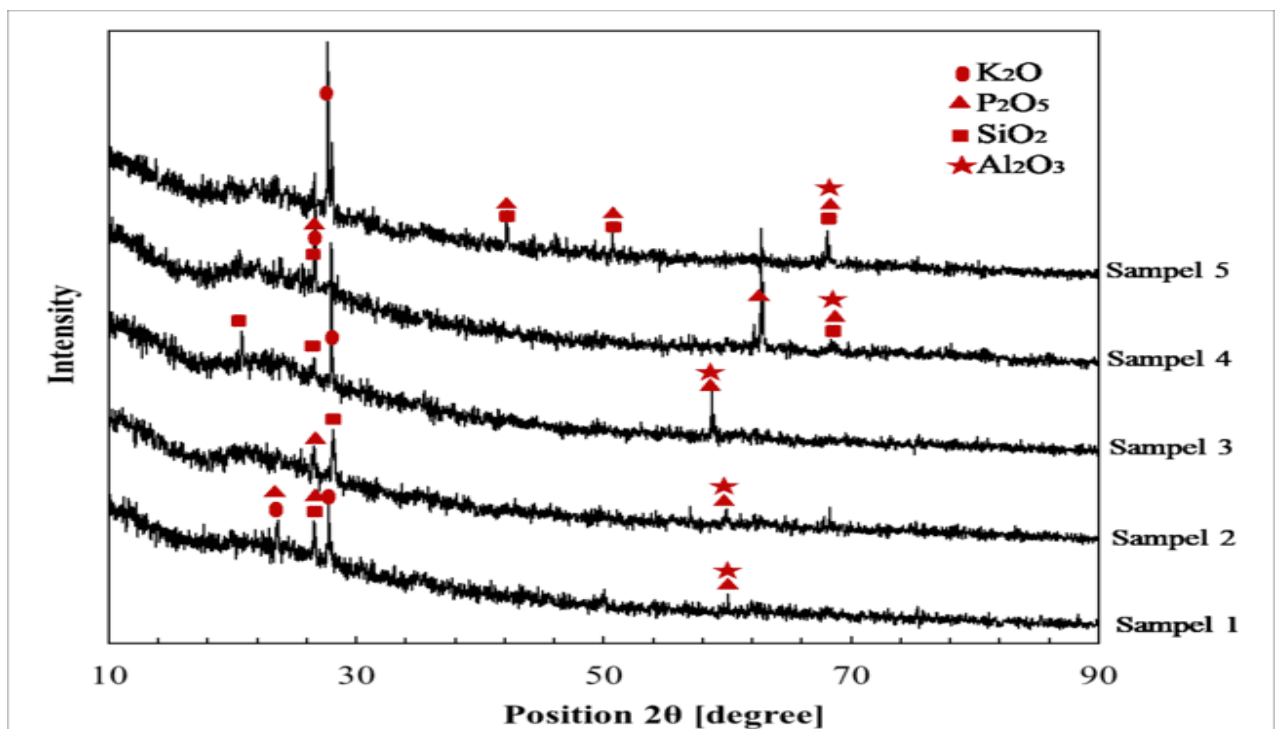
Karakterisasi terhadap sampel pozzolan ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis secara kualitatif menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan secara kuantitatif menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis menggunakan XRD dilakukan untuk melihat struktur oksida pada sampel. Pengujian menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Universitas Negri Padang dengan menggunakan radiasi Cu sebagai anode material pada posisi start 10° dan berakhir di posisi 90° (2θ). Analisis dilakukan pada ukuran sampel 10 mm dengan suhu 25°C . Data yang dikeluarkan oleh analisis XRD adalah berupa pola difraksi sinar-x yang merupakan

plot intensitas yang terbentuk ketika sampel menghamburkan sinar-x yang bersangkutan pada berbagai derajat intensity [18]. Analisis XRF dilakukan untuk mengetahui jumlah dan komposisi elemen yang terkandung di dalam pozzolan juga dilakukan dilaboratorium yang sama. Prinsip kerja XRF berdasarkan perilaku interaksi antara berkas electron dan sinar-x dengan sampel. Hasil XRF berupa spektrum hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar-x. Energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kualitas dari unsur tersebut. Semakin tinggi intensitasnya maka semakin tinggi pula persentase unsur tersebut dalam sampel [19, 20].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Kualitatif Menggunakan X-Ray Diffraction

Hasil analisis dengan menggunakan XRD dari lima sampel pozzolan diperoleh seperti pada Gambar 3. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relative sepanjang posisi 2θ . Besarnya intensitas puncak difraksi bergantung pada jumlah atom yang ada dan distribusinya dalam suatu material [18, 21]. Pola difraksi material pada Gambar 3 menunjukkan tidak adanya perbedaan pola yang signifikan di antara kelima sampel pozzolan. Berdasarkan hasil analisis pola difraksi sinar-x dengan *measurement program PANalytical* ditemukan senyawa SiO_2 yang tertinggi teramati pada posisi 2θ sebesar 20° dan 26° . Hasil ini hampir berdekatan dengan posisi SiO_2 yang masih berupa amorf pada batu apung (pumice) yang terletak pada posisi 2θ sebesar 22° [22]. Senyawa lain yang teramati adalah K_2O , P_2O_5 , SiO_2 dan Al_2O_3 . Adanya fasa silika yang ditunjukkan oleh XRD menandakan bahwa pozzolan berpotensi sebagai sumber silika. Untuk mengetahui jumlah silika yang terdapat pada pozzolan tersebut dilakukan analisis menggunakan XRF.



Gambar 3. Pola Difraksi Sinar-X (XRD) dari Sampel Pozzolan

3.2. Analisa Kuantitatif Menggunakan X-Ray Fluorescence

Analisis XRF ini dilakukan untuk mendapatkan informasi jumlah elemen dan oksida logam yang terkandung pada pozzolan. Tabel 1-5 menunjukkan komponen utama hasil analisis dengan metode x-ray fluorescence spectrometer (XRF) pada sampel pozzolan.

Table 1. Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Sampel 1

Elemen	Jumlah [%]	Oksida	Jumlah [%]
Al	9,09	Al ₂ O ₃	11,73
Si	38,25	SiO ₂	51,26
P	4,64	P ₂ O ₅	6,01
K	15,90	K ₂ O	10,09
Ca	9,55	CaO	6,54
Ti	1,34	TiO ₂	1,05
Mn	0,49	MnO	0,29
Fe	18,06	Fe ₂ O ₃	11,59
Zn	0,10	ZnO	0,05
Rb	0,31	Rb ₂ O	0,14
Sr	0,29	SrO	0,14
Ag	1,16	Ag ₂ O	0,66
Ba	0,66	BaO	0,35
Cl	0,17	ClO	0,09
Total	100,00		100,00

Tabel 2. Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Sampel 2

Elemen	Jumlah [%]	Oksida	Jumlah [%]
Al	14,26	Al ₂ O ₃	16,81
Si	65,56	SiO ₂	72,48
P	1,65	P ₂ O ₅	1,58
K	8,84	K ₂ O	4,25
Ca	3,30	CaO	1,73
Ti	0,42	TiO ₂	0,26
Mn	0,15	MnO	0,07
Fe	4,59	Fe ₂ O ₃	2,31
Zn	0,02	ZnO	0,01
Rb	0,08	Rb ₂ O	0,03
Sr	0,06	SrO	0,02
Ag	0,70	Ag ₂ O	0,30
Ba	0,24	BaO	0,10
Cl	0,12	ClO	0,05
Total	100,00		100,00

Tabel 3. Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Sampel 3

Elemen	Jumlah [%]	Oksida	Jumlah [%]
Al	12,47	Al ₂ O ₃	14,77
Si	66,31	SiO ₂	73,92
P	1,78	P ₂ O ₅	1,71
K	9,33	K ₂ O	4,50
Ca	3,67	CaO	1,92
Ti	0,42	TiO ₂	0,25
Mn	0,15	MnO	0,07
Fe	4,66	Fe ₂ O ₃	2,35
Zn	0,02	ZnO	0,01
Rb	0,08	Rb ₂ O	0,03
Sr	0,08	SrO	0,03
Ag	0,67	Ag ₂ O	0,29
Ba	0,25	BaO	0,10
Cl	0,12	ClO	0,05
Total	100,00		100,00

Tabel 4. Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Sampel 4

Elemen	Jumlah [%]	Oksida	Jumlah [%]
Al	8,90	Al ₂ O ₃	10,52
Si	37,70	SiO ₂	61,75
P	3,43	P ₂ O ₅	5,36
K	19,34	K ₂ O	9,18
Ca	9,77	CaO	4,61
Ti	1,29	TiO ₂	0,67
Mn	0,50	MnO	0,19
Fe	15,97	Fe ₂ O ₃	6,63
Zn	0,08	ZnO	0,03
Rb	0,35	Rb ₂ O	0,09
Sr	0,30	SrO	0,09
Ag	1,22	Ag ₂ O	0,52
Ba	0,77	BaO	0,27
Cl	0,39	ClO	0,11
Total	100,00		100,00

Tabel 5. Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Sampel 5

Elemen	Jumlah [%]	Oksida	Jumlah [%]
Al	9,26	Al ₂ O ₃	12,87
Si	49,58	SiO ₂	53,39
P	4,31	P ₂ O ₅	4,41
K	15,30	K ₂ O	11,39
Ca	7,89	CaO	6,69
Ti	0,86	TiO ₂	0,86
Mn	0,34	MnO	0,26
Fe	10,22	Fe ₂ O ₃	8,65
Zn	0,05	ZnO	0,04
Rb	0,21	Rb ₂ O	0,13
Sr	0,17	SrO	0,12
Ag	1,03	Ag ₂ O	0,68
Ba	0,55	BaO	0,37
Cl	0,21	ClO	0,13
Total	100,00		100,00

Dari hasil analisis, XRF mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat pada kelima sampel diantaranya, Al (alumina), Si (silika), P (pospor), K (kalium), Ca (kalsium) dan Fe (besi). Unsur-unsur tersebut kemudian membentuk senyawa-senyawa oksida seperti Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO dan Fe₂O₃. Jika dirata-ratakan, komposisi pozzolan yang terletak di bukit yang berada di Nagari Koto Mambang Kabupaten Padang Pariaman Sumatera Barat adalah seperti yang terdapat pada Tabel 6.

Table 6. Komposisi Kimia Sampel Pozzolan

Komposisi	Satuan	Kode Sampel					Rata-Rata
		S1	S2	S3	S4	S5	
Al ₂ O ₃		11,73	16,81	14,77	10,52	12,87	13,34
SiO ₂		51,26	72,48	73,92	61,75	53,39	62,56
P ₂ O ₅		6,01	1,58	1,71	5,36	4,41	3,81
K ₂ O		10,09	4,25	4,50	9,18	11,39	7,88
CaO		6,54	1,73	1,92	4,61	6,69	4,30
TiO ₂	%	1,05	0,26	0,25	0,67	0,86	0,62
MnO		0,29	0,07	0,07	0,19	0,26	0,18
Fe ₂ O ₃		11,59	2,31	2,35	6,63	8,65	6,31
ZnO		0,05	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03
Rb ₂ O		0,14	0,03	0,03	0,09	0,13	0,08
SrO		0,14	0,02	0,03	0,09	0,12	0,08
Ag ₂ O		0,66	0,30	0,29	0,52	0,68	0,49
BaO		0,35	0,10	0,10	0,27	0,37	0,24
ClO		0,09	0,05	0,05	0,11	0,13	0,09

Pada Tabel 6 dapat terlihat komposisi rata-rata kimia yang terdapat pada pozzolan. Walaupun sampel diambil dari daerah yang sama, namun komposisi pozzolan berbeda di setiap titik pengambilannya. Oleh karena itu untuk pengolahan sampel untuk selanjutnya harus melakukan pengambilan di beberapa titik. Supaya sampel yang dianalisis bersifat representative.

Komponen terbesar pada pozzolan adalah SiO₂, Al₂O₃, K₂O, CaO, P₂O₅ dan Fe₂O₃. Keberadaan senyawa ini juga didukung oleh hasil analisis pada XRD yang menemukan pola-pola difraksi senyawa-senyawa tersebut. Dari sini terlihat bahwa komponen terbesar pada pozzolan adalah SiO₂ dengan jumlah rata-rata 62,56% diikuti oleh Al₂O₃ dan K₂O dengan rata-rata 13,34% dan 7,88% masing-masingnya. Kandungan SiO₂ ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan SiO₂ yang ada pada pasir tablolong yang hanya mengandung 36,47% [23], batuan trass 40%-56% [24], fly ash 45,38% [25] dan batu apung 48% [26]. Begitu juga dengan kandungan silika pada pozzolan yang ditemukan oleh Bouyahayaoui dkk hanya berjumlah 37,47% [7]. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa pozzolan yang berasal dari kabupaten Padang Pariaman ini didominasi oleh silika.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kualitatif dan kuantitatif menggunakan XRD dan XRF pada pozzolan di Kabupaten Padang Pariaman maka dapat disimpulkan bahwa pozzolan yang berada di daerah tersebut memiliki potensi untuk dijadikan sebagai sumber silika. Berdasarkan hasil analisis XRF kandungan SiO₂ yang ada pada pozzolan ini adalah 62,56%. Untuk penggunaan lebih lanjut perlu dilakukan pemisahan dan pemurnian silika sehingga pemanfaatan bisa dioptimalkan. Informasi pada tulisan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengolahan pozzolan sebagai sumber silika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siswati, N. D., Ardiantono, F. A., & Putri, L. K. (2018). Karakterisasi Komponen Aktif Pozzolan Untuk Pengembangan Portland Pozzolan Cement (Ppc). *Jurnal Teknik Kimia*, 12(2), 52–56. <https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i2.1085>
- [2] Hendrawati, N., Rahmayanti, E. D., & Priapnasar, E. D. (2018). Study Pembuatan Durable Cement dengan Penambahan Pozzolan Silica Fume. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v2i1.68>
- [3] Menéndez, E., Sanjuán, M. Á., García-Roves, R., Argiz, C., & Recino, H. (2020). Sustainable and durable performance of pozzolanic additions to prevent alkali-silica reaction (ASR) promoted by aggregates with different reaction rates. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(24), 1–24. <https://doi.org/10.3390/app10249042>
- [4] Akabiluru, K., Lima, K., Kota, P., & Barat, P. S. (n.d.). *Analisis Potensi Batuan Trass (Pozolan) Untuk Bahan Baku Pembuatan Semen di PT . Bumi Hijau Citra Andalas Site Batu*. 5(1), 106–115.
- [5] Alp, I., Devenci, H., Süngün, Y. H., Yilmaz, A. O., Kesimal, A., & Yilmaz, E. (2009). Pozzolan characteristics of a natural raw material for use in blended cements. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering*, 33(4), 291–300.
- [6] Rafia F, Dietmar S, Jean NYD, 2018, Natural pozzolan based geopolymers: A review on mechanical, microstructural and durability characteristics, *j.con.build.mat* Vol.190. Page1251-1265

- [7] Bouyahayaoui, A., Cherkaoui, M., Abidi, L., & Cherradi, T. (2018). Mechanical and chemical characterisation of pozzolan of middle atlas in Morocco. *International Journal of GEOMATE*, 14(41), 126–134. <https://doi.org/10.21660/2018.41.91013>
- [8] Seynou, M., Millogo, Y., Zerbo, L., Sanou, I., Ganon, F., Ouedraogo, R., & Kaboré, K. (2016). Production and Characterization of Pozzolan with Raw Clay from Burkina Faso. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 04(03), 195–209. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2016.43018>
- [9] Akgün, Y. (2017). Determination of pozzolanic activity for using natural zeolite analcime in sustainability additive cement products. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(2), 187–193. <https://doi.org/10.21533/pen.v5i2.114>
- [10] Desfitri, E. R., Sutopo, U. M., Hayakawa, Y., & Kambara, S. (2020). Effect of additive material on controlling chromium (Cr) leaching from coal fly ash. *Minerals*, 10(6), 1–12. <https://doi.org/10.3390/min10060563>
- [11] Sutopo, U. M., Desfitri, E. R., Hanum, F. F., Hayakawa, Y., & Kambara, S. (2021). An experimental and thermodynamic equilibrium analysis on the leaching process of arsenic (As) from coal fly ash. *Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy*, 100(8), 102–109. <https://doi.org/10.3775/jie.100.102>
- [12] Sutopo, U. M., Desfitri, E. R., Hayakawa, Y., & Kambara, S. (2021). A role of mineral oxides on trace elements behavior during pulverized coal combustion. *Minerals*, 11(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/min11111270>
- [13] <https://padangpariamankab.go.id/2013/07/15/bahan-galian-trass/> Website Resmi Padang Pariaman, dikunjungi tanggal 27 April 2022.
- [14] Dewa, E., Musyarofah, Nurbaiti, U., Triwikantoro, Firdaus, S., & Pratapa, S. (2015). Enhancing the Value of Local Silica Sand from Bancar as a Fuel-Cell Sealing Material. *Advanced Materials Research*, 1112(May 2016), 262–265. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1112.262>
- [15] Musyarofah, Nurbaiti, U., Dewa, E., Triwikantoro, Mashuri, Firdaus, S., & Pratapa, S. (2015). Use of Natural Silica Sand as a Component for Prospective Fuel Cell Sealing Materials. *Advanced Materials Research*, 1123(October), 383–386. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1123.383>
- [16] Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi Pemanfaatan dan Metode Pemisahan Silika dari Coal Fly Ash: A Study for Silika Utilization and Its Separation Method from Coal Fly Ash. *Open Science and Technology*, 2(1), 26-32.
- [17] Rahayu, A., Fadhillah Hanum, F., Aldilla Fajri, J., Dwi Anggraini, W., & Khasanah, U. (2021). Pengolahan Limbah cair Industri dengan Menggunakan Silika: A Review: Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica. *Opscitech.Com*, 02(01), 2776–169. <https://www.opscitech.com/journal/article/view/38>
- [18] To, P. S. (1999). Chapter 7: Basics of X-ray Diffraction. *Solutions*, 1–25. <http://epswww.unm.edu/xrd/xrdbasics.pdf>
- [19] Jamaludin, A., & Adiantoro, D. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *Issn 1979-2409*, V(09–10), 19–28. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/view/1130>
- [20] Jamaluddin, Darwis, A., & Massinai, M. A. (2018). X-Ray Fluorescence (XRF) to identify chemical analysis of minerals in Buton island, SE Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012070>

- [21] Alimin, Maryono, & Putri, S. E. (2016). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Losari Kota Makassar Menggunakan XRF dan XRD. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 17(2), 19–23.
- [22] Trianasari., Manurung, P., & Karo-karo, P. (2017). Analisis dan karakterisasi kandungan silika (SiO₂) sebagai hasil ekstraksi batu apung (pumice). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 05(1), 9–14.
- [23] Sital, Y., Pingak, R. K., Ahab, A. S., & Baunsele, S. D. (2019). Kajian Awal Ekstraksi Silika Dari Pasir Noeltoko Menggunakan X-Ray Fluorescence. *Seminar nasional sains dan teknik fst undana (sainstek)*, June, 278–289.
- [24] Siswanto & Kurniati, E. (2020). Karakteristik Silika Powder Berbasis Batuan Tras dengan Proses Ekstraksi dan Presipitasi. *Journal of Research and Technology* 6(1), 1–6.
- [25] Hanum, F. F., & Rahayu, A., Sutopo, U.M., Mufrodi, Z. (2020). Coal Fly Ash Characterization from Cement Industry “X” as an Initial Study in Its Utilization. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 57–62.
- [26] Mourhly, A., Khachani, M., El Hamidi, A., Kacimi, M., Halim, M., & Arsalane, S. (2015). The synthesis and characterization of low-cost mesoporous silica SiO₂ from local pumice rock. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 5. <https://doi.org/10.5772/62033>