

ANALISIS X-RAY DIFFRACTION (XRD) TERHADAP VARIASI CAMPURAN ABU VULKANIK DAN SEMEN SEBAGAI BAHAN PEMBENTUK BETON

JANA HAFIZA¹, ASIYA NURHASANAH HABIRUN²,
ZUHELDI³, DEDDY KURNIAWAN⁴

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
email: janahafizaumsb@gmail.com¹, asiya2021ce@gmail.com²,
zhd.704@gmail.com³, deddydk22@gmail.com⁴

Abstract: Volcanic ash contains mineral chemical elements such as Aluminum (Al), Silica (Si), Iron (Fe), Calcium (Ca), and Magnesium (Mg) which have bonding force when mixed with cement. This research aims to look at the presentation of the use of volcanic ash as a concrete construction material. The volcanic ash used was obtained from the eruption of Mount Marapi, West Sumatra, which was then mixed with Portland cement with a composition of mixing volcanic ash and cement 10% + 90%, 20% + 80%, and 30% + 70%, those characteristics were then seen based on spectrometric analysis. X-ray Diffraction (XRD). Based on the XRD test results, it can be seen that the volcanic ash from Mount Marapi, West Sumatra, has a composition of silica (SiO₂) and alumina (Al₂O₃) which is proven to have pozzolanic properties. From the three mixtures, it can be seen that the highest XRD's peak is quartz because of the high content of silica and oxide. These three mixing variables have been proven to be used as the basis for mixing for concrete formation.

Keywords: Volcanic Ash, Mixing, Cement, XRD

Abstrak: Abu vulkanik memiliki unsur kimia mineral seperti Aluminium (Al), Silika (Si), Besi (Fe), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg) yang memiliki daya ikat jika dicampurkan dengan semen. Penelitian ini bertujuan untuk melihat presentasi penggunaan abu vulkanik untuk bahan konstruksi beton. Abu vulkanik yang digunakan didapat dari erupsi Gunung Marapi Sumatera Barat yang kemudian dicampurkan dengan Semen Portland dengan komposisi pencampuran Abu Vulkanik dan Semen yaitu 10% + 90%, 20% + 80%, dan 30% + 70% yang kemudian dilihat karakteristiknya berdasarkan analisa Spectrometri X-ray Diffraction (XRD). Berdasarkan hasil pengujian XRD terlihat abu vulkanik gunung Marapi Sumatera Barat memiliki komposisi silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang terbukti memiliki sifat pozzolan. Dari ketiga campuran tersebut dapat dilihat puncak tertinggi XRD adalah kuarsa karena tingginya kandungan silika dan oksida. Tiga variabel pencampuran ini terbukti digunakan sebagai dasar pencampuran untuk pembentukan beton.

Kata Kunci: Abu Vulkanik, Pencampuran, Semen, XRD

A. Pendahuluan

Gunung Marapi secara administratif terdapat di dalam wilayah Kabupaten Agam dan Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat. Puncak tertinggi gunung api ini berada pada koordinat 0° 22' 47,72" LS - 100° 28' 16,71" BT (2891 mdpl). Pascaerupsi utama pada 3 Desember 2023, erupsi berikutnya masih berlanjut sampai sekarang secara tidak kontinyu dengan jumlah harian yang fluktuatif. Selama bulan Maret 2024, Gunung Marapi mengalami erupsi 66 kali dan 1.561 kali hembusan. Hal ini menyebabkan abu vulkanik berterbangan hingga penuh langit Sumatera Barat. Ketinggian abu tersebut mencapai 5.891 meter. Hujan abu vulkanik juga melanda beberapa daerah yang berada di area kaki gunung Marapi [1].

Abu vulkanik yang dihasilkan dari letusan gunung berapi bisa dijadikan alternatif sebagai sumberdaya terbarukan [2]. Abu vulkanik memiliki sifat *pozzolonic* yang sangat baik karena ketersediaannya yang alami dan melimpah. Adanya pengaruh abu vulkanik terhadap peningkatan kuat tekan bersesuaian dengan pendapat para peneliti, yang menyatakan bahwa secara mekanik pozzolan akan mengisi rongga diantara semen. Ketika abu vulkanik dijadikan sebagai campuran pada semen, dimana komposisi utama semen adalah SiO₂, maka bereaksi dengan Ca(OH)₂, dan setelah dicampurkan membentuk *calcium silicate hydrate gel* (C-S-H). Reaksi ini menghasilkan struktur mikro dan sifat mekanik yang lebih baik [3]. Berdasarkan

analisis tersebut bahwa kombinasi semen dan abu vulkanik yang memungkinkan dijadikan sebagai bahan pengikat pada beton [2] [6].

Tabel 1. Komposisi Kimia Semen dan Abu Vulkanik [6]

Oksida	Semen (%)	Abu Vulkanik (%)
CaO	66.3	10.1
SiO ₂	21.5	58.6
Al ₂ O ₃	4.0	19.4
Fe ₂ O ₃	2.7	7.6
SO ₃	2.7	1.7
K ₂ O	0.6	1.6
Lainnya	0.3	0.4
LOI	1.9	0.6

Penelitian mengenai pengaruh pencampuran semen dengan abu vulkanik telah dilakukan. Mengganti semen sebanyak 50% dengan abu vulkanik terbukti dapat menurunkan panas hidrasi dan meningkatkan waktu pembekuan hingga 60% [7]. Mencampurkan 20% abu vulkanik juga meningkatkan nilai *slump* pada rasio air dan semen yang berbeda [8]. Penelitian serupa juga menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kuat tekan jika mencampurkan abu vulkanik hingga 40% ke dalam semen dapat meningkatkan kuat tekan hingga 60 Mpa [9]. Penggantian abu vulkanik dapat menghasilkan beton yang memiliki kuat tekan sebanding pada umur beton 91 hari [10].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan potensi pemanfaatan abu vulkanik ini menggantikan peranan dari semen sebagai bahan pengikat beton. Penelitian ini melihat efek pencampuran dari abu vulkanik dan semen. Komposisi kimia dan pengaruh pencampuran dilihat dengan X-Ray Diffraction (XRD). Tujuan dari penelitian ini diharapkan abu vulkanik dari letusan Gunung Marapi dapat menjadi sumberdaya alternatif khususnya untuk daerah Sumatera Barat sebagai bahan baku pembentuk beton.

B. Metodologi Penelitian

Abu vulkanik yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari hasil erupsi Gunung Marapi Sumatera Barat. Karakteristik abu dan pasir vulkanik dapat berbeda-beda dan berubah tergantung dari lokasi pengambilan sampel, yang disebabkan dari beberapa faktor seperti laju pendinginan dan suhu yang berbeda. Abu vulkanik mengandung sekitar 53% silika dan 18 alumina. Abu yang terkumpul dikeringkan untuk menghilangkan kadar air selama satu hari pada temperatur pengeringan 25^oC. Abu vulkanik yang telah kering kemudian diayak untuk mendapatkan keseragaman ukuran butir dengan ukuran ayakan 200 *mesh*. Abu Vulkanik ini seterusnya dicampurkan dengan semen dengan tiga variasi pencampuran.

Komposisi kimia dan bentuk fasa dari pencampuran abu vulkanik dan semen didapatkan dengan metode *X-ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRD ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang. Sebelum dilakukan pencampuran dengan semen, abu vulkanik terlebih dahulu diuji komposisi kimianya. Variabel pencampuran yang digunakan pada penelitian ini adalah abu vulkanik 10% semen 90%, abu vulkanik 20% semen 80%, dan abu vulkanik 30% semen 70%. Sampel diuji dalam bentuk *powder* dan dianalisis melalui hasil pengujian XRD. Preparasi sampel dan pencampuran bahan dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

C. Pembahasan dan Analisa

1. Karakteristik Semen Portland

Semen *Portland* dibuat dengan mengkalsinasi campuran batu kapur (*limestone*) dengan tanah liat (*clay*) pada suhu tinggi untuk menghasilkan suatu produk sinter klinker, yang kemudian dihaluskan untuk menghasilkan semen. Semen *Portland* terdiri berbagai senyawa oksida yang disajikan didalam Tabel 1. Pada saat *setting* dan pengerasan, oksida bereaksi dengan air untuk membentuk sedikit kalsium silikat hidrat (C₃S₂H₃) dan kapur [Ca(OH)₂]. Oksida C₃S dan C₃A bertanggung jawab terhadap kekuatan awal, sementara C₂S mengeras

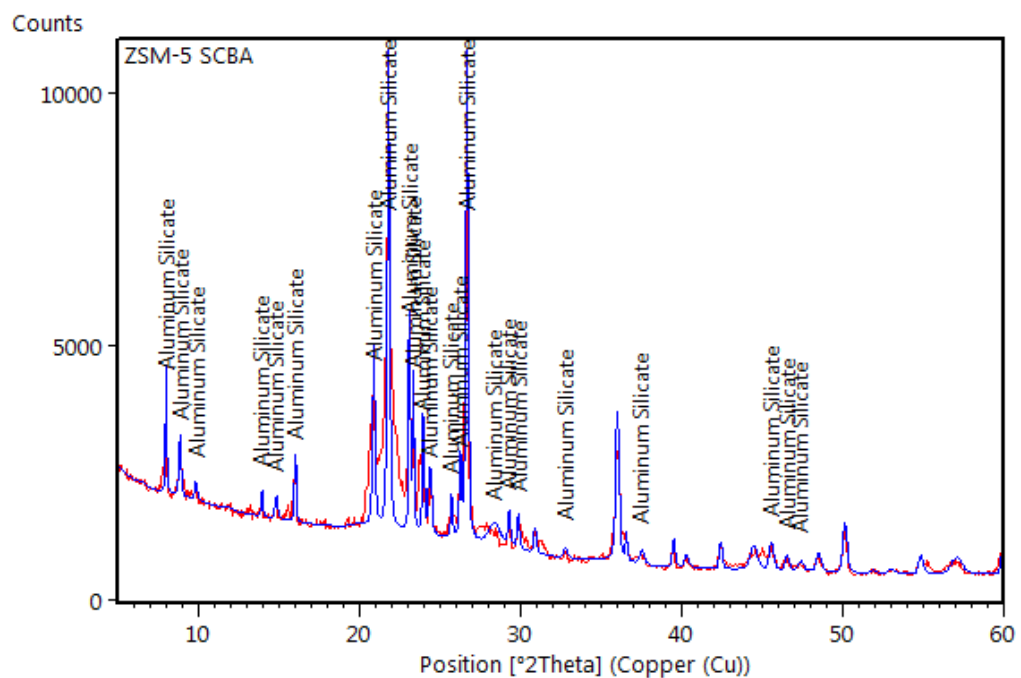
pada laju yang lebih lambat dan bertanggung jawab terhadap sebagai besar kekuatan akhir semen [11].

Tabel 2. Komponen utama semen Portland [11]

Nama senyawa	Komposisi oksida	Singkatan oksida
<i>Tri-calcium silicate</i>	3CaO.SiO ₂	C3S
<i>Di-calcium silicate</i>	2CaO.SiO ₂	C2S
<i>Tri-calcium aluminat</i>	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A
<i>Tetra-calcium aluminoferrate</i>	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF

2.Pengujian XRD Abu Vulkanik

Data yang dihasilkan melalui pengujian XRD mencapai ribuan data namun hanya diambil beberapa data yang memiliki puncak tertinggi yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 3, dengan tujuan mempermudah dalam menganalisis senyawa yang terkandung di dalam abu vulkanik. Data hasil pengujian XRD abu vulkanik disajikan pada pada Gambar 1.



Gambar 1. XRD Komposisi Abu Vulkanik

Dari Gambar 1 terlihat komponen utama dari abu vulkanik adalah silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃). Komposisi fasa dan struktur kristal abu vulkanik yang diperlihatkan oleh pola XRD adalah Mutinaite, dengan komposisi kimia Aluminium Silicate dengan sistem kristal tetragonal. Pola XRD juga memperlihatkan struktur zeolit dan *empirical formula* Abu Vulkanik ini adalah Al₂O₁₁Si₅₄ dengan formula kimia Al₂O_{3.54}SiO₂. Hasil ini membuktikan bahwa abu vulkanik memiliki sifat pozzolan yang dapat menggantikan peran semen dalam pembentukan semen.

Tabel 3. Peak List Tertinggi Abu Vulkanik

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.9501	1808.02	0.0974	11.12110	24.38
15.9770	1010.90	0.1299	5.54735	13.63
20.8549	2678.62	0.1624	4.25955	36.12
21.7655	7001.44	0.1624	4.08335	94.41
23.0615	3688.97	0.0974	3.85673	49.75
23.3036	2645.63	0.0974	3.81721	35.68
23.9217	1849.33	0.1299	3.71997	24.94
26.2273	1245.63	0.1299	3.39794	16.80
26.6335	7415.61	0.1624	3.34704	100.00
35.9777	2213.04	0.2273	2.49630	29.84

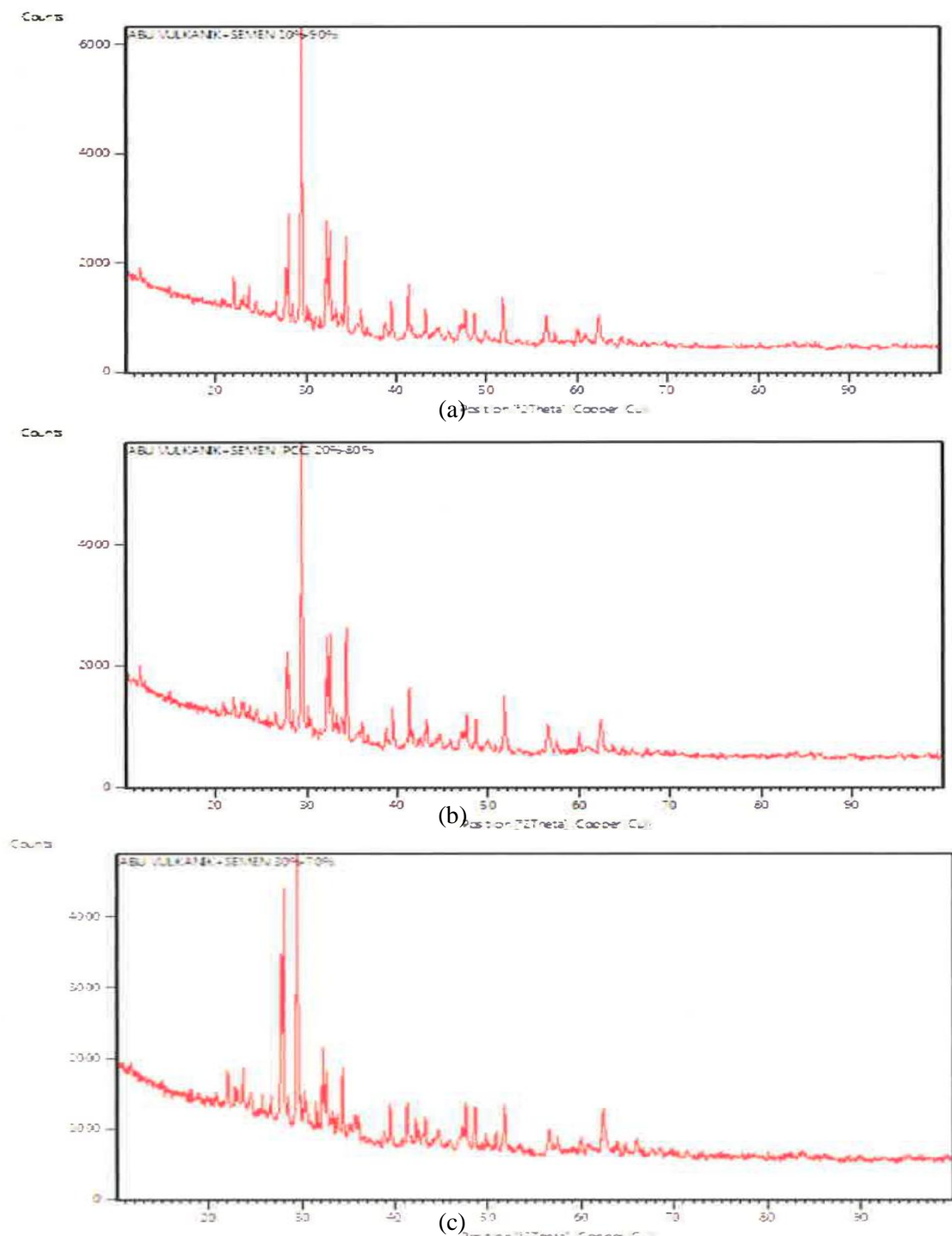
50.1011	811.91	0.2598	1.82075	10.95
---------	--------	--------	---------	-------

Pengujian Abu Vulkanik dan Semen

Pada penelitian ini terdapat tiga variasi pencampuran abu vulkanik dan semen. Pencampuran pertama yaitu abu vulkanik 10% dan 90% semen, yang kedua 20% abu vulkanik dicampurkan dengan semen 80%, dan yang ketiga mencampurkan 30% abu vulkanik ke dalam semen 70%. Hasil pengujian fasa dengan analisis XRD dari pencampuran ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 4. *Peak List* XRD Abu Vulkanik dan Semen

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.9094	1113.97	0.0974	11.17822	13.87
9.7713	3825.63	0.1299	9.05206	47.65
13.4625	2924.47	0.1299	6.57728	36.42
13.8608	1344.43	0.1299	6.38913	16.74
15.3030	1233.85	0.0974	5.79012	15.37
19.6322	2604.29	0.1299	4.52198	32.44
22.2506	5372.30	0.1299	3.99541	66.91
22.9633	3300.48	0.0974	3.87300	41.11
23.2094	3909.04	0.0974	3.83249	48.69
23.6396	2373.61	0.1299	3.76371	29.56
23.8555	1833.94	0.0974	3.73014	22.84
24.3169	1132.69	0.1299	3.66040	14.11
25.6693	8028.92	0.1299	3.47053	100.00
26.2939	5760.43	0.0974	3.38949	71.75
26.6178	1623.60	0.0974	3.34897	20.22
27.6732	5282.92	0.1299	3.22360	65.80
27.8981	3527.15	0.0974	3.19813	43.93
30.9265	2539.02	0.1299	2.89152	31.62
35.6555	1549.70	0.1624	2.51811	19.30
48.4384	1054.88	0.1299	1.87928	13.14



Gambar 2. Hasil Uji XRD Abu Vulkanik dan Semen
(a)10% + 90%, (b) 20% + 80%, (c) 30% + 70%

Kandungan mineral dari material hasil pencampuran abu vulkanik dan semen dapat diketahui dengan membandingkan *peak* yang dihasilkan dari pengujian XRD yang disajikan dalam Gambar 2. Semen yang terdiri dari kalsium oksida (CaO) dan silikon dioksida (SiO₂), kemudian dicampurkan dengan abu vulkanik yang mengandung silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃) yang bersifat pozzalon. Pola XRD juga memperlihatkan mineral fasa yang teridentifikasi yaitu anorthite (CaAl₂Si₂O₈), kuarsa (SiO₂), dan albite (NaAlSi₃O₈) yang ada pada setiap campuran. Dari ketiga campuran dapat dilihat puncak tertinggi adalah kuarsa karena tingginya kandungan silika dan oksida. Berdasarkan hasil analisis pengujian XRD, abu vulkanik dapat dijadikan bahan campuran semen pembentuk beton. Ketiga variasi

pencampuran abu vulkanik dan semen ini dapat digunakan dan selanjutnya bisa dilakukan penelitian uji fisik dan mekanik dari ketiga pencampuran ini untuk mengetahui kekuatan yang terbaik.

D. Penutup

Komposisi fasa dan struktur kristal abu vulkanik yang diperlihatkan oleh pola XRD adalah Mutinaite, dengan komposisi kimia Aluminium Silikat dengan sistem kristal tetragonal yang terbukti memiliki sifat pozzolan. Ketiga variasi pencampuran abu vulkanik dan semen ini dapat digunakan. Pola XRD juga memperlihatkan mineral fasa yang teridentifikasi yaitu anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), kuarsa (SiO_3), dan albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) yang ada pada setiap campuran. Penelitian selanjutnya akan dilakukan uji SEM untuk melihat struktur mikro pengaruh dari ketiga variasi ini, selanjutnya juga akan dilakukan uji sifat fisik dan uji sifat mekanik untuk mengetahui pencampuran yang terbaik.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2024. *Update Aktivitas Terkini G. Marapi Sumatera Barat*. <https://geologi.esdm.go.id/media-center/update-aktivitas-terkini-g-marapi-sumatera-barat>. Diakses 19 Mei 2024.
- [2] Hossain. K.M.A. 2003. *Blended cement using volcanic ash and pumice*. Cem. Concr. Res. 33, 1601–1605. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00127-3).
- [3] Czigler, T., Reiter, S., Schulze, P., Somers, K. 2020. *Laying the Foundation for Zero-Carbon Cement*. McKinsey Co, May 14.
- [4] C. Stewart, D.E. Damby, et.al. 2022. *Volcanic air pollution and human health: recent advances and future directions*. Bull. Volcanol. 84, <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01513-9>.
- [5] Jad Bawab, Hilal El-Hassan, et.al. 2023. *Effect of Mix design parameters on the properties of cementitious composites incorporating volcanic ash and dune sand*. Developments in the Built Environment 16, 100258
- [6] Fadi Althoey, et.al. 2019. *The effect of using supplementary cementitious materials on damage development due to the formation of a chemical phase change incementitious materials exposed to sodium chloride*. Construction and Building Materials, Volume 210, pages 685-695
- [7] Neville, A.M. (2004). *Properties of Concrete*. Fourth Edition. Pearson Education Limited, UK.
- [8] Mashrafi Bin Mobarak, et.al. 2022. *Synthesis and characterization of CuO nanoparticles utilizing waste fish scale and exploitation of XRD peak profile analysis for approximating the structural parameters*. Arabian Journal of Chemistry Volume 15, Issue 10, 104117.
- [9] Hussein M. Hamada, et.al. 2023. *Effect of Volcanic Ash and Natural Pozzolana on mechanical properties of sustainable cement concrete*. A comprehensive review. Case Studies in Construction Materials 19, e02425.
- [10] Miguel Angel Sanjuán, et.al. 2023. *Volcanic ash from La Palma (Canary Islands, Spain) as Portland cement constituent*. Journal of Building Engineering 78, 107641.
- [11] Emad Benhelal, et.al. 2013. *Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement Industry*. Journal of Cleaner Production 51, 142e161.
- [12] Andrés Játiva, Evelyn Ruales and Miren Etxeberria. 2021. *Volcanic Ash as a Sustainable Binder Material*. An Extensive Review Materials, 14, 1302. <https://doi.org/10.3390/ma14051302>.
- [13] Gaochuang Cai 1,2 & Takafumi Noguchi² & Hervé Degée¹ & Jun Zhao³ & Ryoma Kitagaki. (2016). *Volcano-related materials in concretes: a comprehensive review*. Environ Sci Pollut Res. DOI 10.1007/s11356-016-6161-z.
- [14] Jawad Ahmad, Fadi Althoey, Mohammed Awad Abuhussain, Ahmed Farouk Deifalla, Yasin Onuralp Özkılıç and Cut Rahmawati. 2023. *Durability and microstructure analysis of concrete made with volcanic ash: A review (Part II)*. Science and Engineering of Composite Materials; 30: 20220211