

## PEMBUATAN SEMEN INSTAN GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH DENGAN SODIUM SILIKAT DARI PASIR SILIKA

M. ADITIA<sup>1</sup>, FIRDAUS<sup>2</sup>

Falkutas Sains Teknologi, Universitas Bina Darma

Email: m.aditia1707@gmail.com<sup>1</sup>, email: firdaus.dr@binadarma.ac.id<sup>2</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v9i2.7904>

**Abstract:** *The global construction industry faces major challenges related to sustainability and environmental impact, particularly from the use of conventional Portland cement, which emits approximately 0.8 tons of CO<sub>2</sub> per ton of cement produced. As an environmentally friendly alternative, geopolymers have emerged as inorganic polymeric materials formed through the reaction of aluminosilicates with alkaline activators, offering the advantage of utilizing industrial by-products such as fly ash. Fly ash, which is rich in silica (SiO<sub>2</sub>) and alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), has been proven to produce materials with high compressive strength, chemical resistance, and excellent thermal stability. However, geopolymerization requires sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), which is often costly and dependent on imports in developing countries. The local synthesis of sodium silicate from silica sand is therefore an essential solution, as previous studies have shown comparable effectiveness to commercial sodium silicate. Moreover, the development of instant geopolymer cement in the form of ready-to-use dry powder offers greater efficiency, longer shelf life, and ease of distribution. Based on these considerations, this research was conducted under the title “Development of Instant Geopolymer Cement Based on Fly Ash with Sodium Silicate from Silica Sand” to explore the potential of an environmentally friendly and practical construction material innovation.*

**Keywords:** Geopolymer Cement, Fly Ash, Sodium Silicate, Silica Sand, Sustainable Construction..

**Abstrak:** Industri konstruksi global menghadapi tantangan besar terkait keberlanjutan dan dampak lingkungan, salah satunya berasal dari penggunaan semen Portland konvensional yang menghasilkan emisi sekitar 0,8 ton CO<sub>2</sub> per ton semen. Sebagai alternatif ramah lingkungan, geopolimer hadir sebagai material polimer anorganik yang terbentuk dari reaksi aluminosilikat dengan aktivator alkali, dengan keunggulan memanfaatkan limbah industri seperti fly ash. Fly ash, yang kaya akan silika (SiO<sub>2</sub>) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), terbukti mampu menghasilkan material dengan kekuatan tekan tinggi, ketahanan kimia, serta stabilitas termal yang baik. Namun, reaksi geopolimerisasi memerlukan natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) yang umumnya masih bergantung pada produk impor dan berbiaya tinggi. Upaya sintesis natrium silikat dari pasir silika secara lokal menjadi solusi penting, karena penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitasnya sebanding dengan natrium silikat komersial. Selain itu, pengembangan semen geopolimer dalam bentuk instan berupa bubuk kering siap pakai memberikan efisiensi, umur simpan panjang, serta kemudahan distribusi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul “Pembuatan Semen Geopolimer Instan Berbasis Fly Ash dengan Sodium Silikat dari Pasir Silika” untuk mengeksplorasi potensi inovasi material konstruksi yang ramah lingkungan dan aplikatif.

**Kata Kunci:** Semen Geopolimer, Fly Ash, Sodium Silikat, Pasir Silika, Ramah Lingkungan

### A. Pendahuluan

Industri konstruksi global berada di bawah tekanan yang semakin besar untuk melakukan dekarbonisasi, mengingat industri semen Portland konvensional masih menyumbang sekitar 7-8% dari total emisi CO<sub>2</sub> antropogenik dunia, sebagaimana dilaporkan oleh lembaga internasional terkini [1, 2]. Emisi ini terutama berasal dari proses kalsinasi batu kapur dan pembakaran bahan bakar fosil yang membutuhkan energi sangat intensif. Sebagai respons atas tantangan lingkungan ini, geopolimer telah naik daun sebagai material pengikat alternatif yang berkelanjutan.

Geopolimer adalah material anorganik yang dihasilkan dari reaksi alkali-aktivasi terhadap material sumber aluminosilikat, seperti fly ash, pada suhu ruang atau dengan curing ringan, yang menghasilkan rantai polimer tiga dimensi yang keras [3, 4]. Keunggulan utama material ini tidak hanya terletak pada pengurangan jejak karbon hingga 80% dibandingkan semen Portland, tetapi juga pada performa unggulannya, seperti kekuatan tekan awal yang tinggi, ketahanan yang excellent terhadap bahan kimia korosif, dan stabilitas termal yang baik [5, 6]. Fly ash, sebagai limbah padat dari pembakaran batu bara di PLTU, merupakan prekursor yang ideal karena ketersediaannya yang melimpah dan komposisi kimiawinya yang kaya akan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), meskipun reaktivitasnya sangat bergantung pada konsistensi dan karakteristik morfologinya [7, 8]. Untuk mengaktivasi material ini, diperlukan activator alkali yang umumnya berupa campuran sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

Dalam campuran ini, sodium silikat berperan krusial sebagai penyedia silika terlarut yang mempercepat proses polikondensasi dan membentuk matriks gel polysialate-siloxo yang kuat [9]. Namun, ketergantungan pada sodium silikat komersial (waterglass) menjadi titik lemah utama dalam aspek ekonomi teknologi geopolimer, karena harganya yang mahal dan sangat fluktuatif, sehingga berkontribusi signifikan terhadap biaya produksi akhir [10]. Inovasi untuk mengatasi hambatan ini adalah dengan mensintesis sodium silikat secara mandiri dari bahan baku lokal yang melimpah, seperti pasir silika. Sintesis ini umumnya dilakukan melalui proses fusi antara soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dan pasir silika murni pada suhu tinggi ( $>1100^\circ\text{C}$ ), yang menghasilkan sodium silikat padat (glass lump) yang kemudian dapat dilarutkan dan dimodifikasi konsentrasinya [11]. Studi mutakhir membuktikan bahwa sodium silikat hasil sintesis dari sumber silika lokal, termasuk pasir silika, menunjukkan efektivitas yang setara atau bahkan lebih baik dibandingkan produk komersial dalam mengaktivasi material geopolimer [12]. Melangkah lebih jauh, untuk meningkatkan kelayakan komersial dan kemudahan aplikasi di lapangan, pengembangan formulasi menjadi semen instan geopolimer (berbentuk pre-mixed dry powder) merupakan terobosan yang strategis. Produk inovatif ini hanya memerlukan penambahan air pada saat pengaplikasian, menawarkan kemudahan penggunaan layaknya semen instan konvensional namun dengan keunggulan performa dan keberlanjutan material geopolimer, sehingga sangat potensial untuk aplikasi repair, precast, dan infrastruktur hijau [13, 14]. Berdasarkan urgensi dan celah inovasi tersebut, penelitian mengenai pembuatan semen instan geopolimer berbasis fly ash dengan memanfaatkan sodium silikat hasil sintesis dari pasir silika lokal menjadi sangat relevan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi konkrit bagi terwujudnya material konstruksi hijau yang tidak hanya ramah lingkungan dan berkinerja tinggi, tetapi juga ekonomis dan mudah diaplikasikan.

## B. Metodologi Penelitian

Metode penelitian adalah pendekatan yang digunakan dalam suatu penelitian agar pelaksanaan dan hasilnya dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu metode yang melibatkan kegiatan percobaan untuk memperoleh hasil yang menunjukkan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel lainnya.

Variabel adalah segala sesuatu yang akan menjadi obyek pengamatan penelitian. Variabel juga dapat diartikan sebagai faktor-faktor yang berperan penting dalam peristiwa atau gejala yang akan diteliti. Variabel dalam penelitian ini adalah dalam berikut :

Tabel 1. Variabel Penelitian

No	Kode Benda Uji	Umur Benda Uji	AK/F A	NN	W/C	Jumlah Benda Uji
1	V1	7	0,25	1:2, 5	0,25	3
		14				3
		28				3
2	V2	7	0,3	1:2, 5	0,25	3
		14				3

		28				3
3	V3	7	0,35	1:2, 5	0,25	3
		14				3
		28				3
4	V4	7	0,4	1:2, 5	0,25	3
		14				3
		28				3
5	V5	7	0,45	1:2, 5	0,25	3
		14				3
		28				3
<b>TOTAL</b>						<b>45</b>

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2025 hingga Juli 2025. Kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Kampus C, Universitas Bina Darma, Palembang.

### C. Pembahasan dan Analisa

#### Komposisi Campuran Mortar (Mix Design)

Tabel 2. Hasil Perancangan Campuran Semen Geopolimer

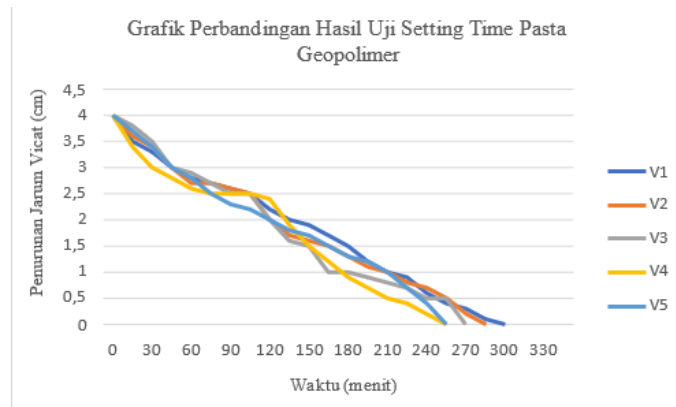
NO	Pasir	Air	Fly Ash	Soda Api	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
V1	0,976752 (g)	Kondisional	0,660744 (g)	0,062928 (g)	0,15732 (g)
V2	0,976752 (g)	Kondisional	0,6166944 (g)	0,0755136 (g)	0,188784 (g)
V3	0,976752 (g)	Kondisional	0,5726448 (g)	0,0880992 (g)	0,220248 (g)
V4	0,976752 (g)	Kondisional	0,5785952 (g)	0,1006848 (g)	0,251712 (g)
V5	0,976752 (g)	Kondisional	0,4845456 (g)	0,1132704 (g)	0,283176 (g)

#### Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Kampus C Universitas Bina Darma. Objek yang dipakai dalam penelitian ini adalah Sodium Silikat dari Pasir Silika, Dalam pembuatan Mortar Geopolimer. Proses yang dilakukan antara lain yaitu pengujian setting time, pengujian agregat halus yang meliputi percobaan analisa saringan, berat jenis agregat halus (SSD), berat isi dan kadar lumpur agregat halus. Setelah dilakukan pengujian agregat halus, barulah didapat persentase agregat halus yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji berbentuk mortar 5 x 5 x 5 cm, sesuai dengan SNI, setelah pembuatan benda uji selesai, maka dilakukan perawatan (curing) dengan cara meletakkan benda uji pada suhu ruang 32°C, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan sesuai dengan umur rencana.

#### Pengujian Setting Time

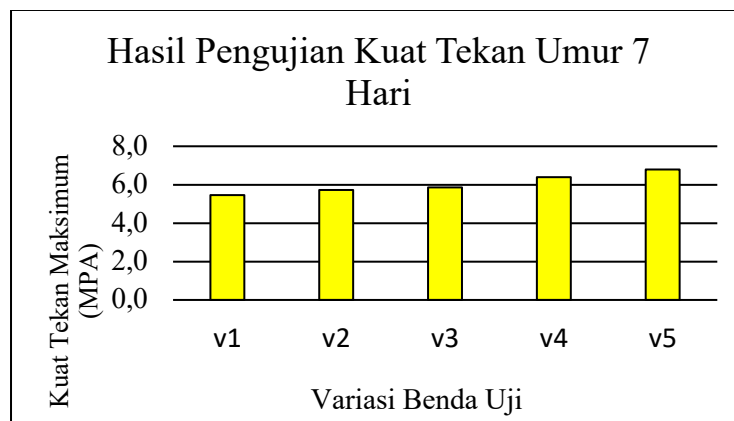
Setelah dilakukan pengujian waktu ikat dan mencatat setiap penurunan jarum vicat setiap 15 menit sekali, maka didapatkan hasilnya sebagai berikut :



Gambar 1 Grafik Perbandingan Hasil Uji Setting Time Pasta Geopolimer

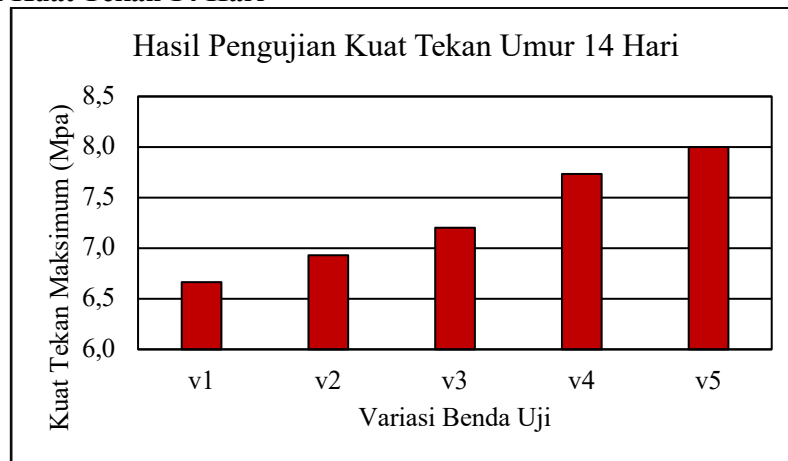
Grafik diatas menunjukkan perbandingan hasil setting time pasta geopolimer pada setiap variasi. Pada hasil setting time pasta geopolimer variasi 0,25 didapatkan pengikatan awal (initial set) pada menit ke 105 atau dalam waktu 1 jam 75 menit, dan mencapai pengikatan akhir (final set) pada menit 300 atau dalam waktu 5 jam. Pada variasi 0,30 didapatkan pengikatan awal (initial set) pada menit ke 105 atau dalam waktu 1 jam 75 menit, dan mencapai pengikatan akhir (final set) pada menit 285 atau dalam waktu 4 jam 75 menit. Pada variasi 0,35 didapatkan pengikatan awal (initial set) pada menit ke 90 atau dalam waktu 1 jam 50 menit, dan mencapai pengikatan akhir (final set) pada menit 270 atau dalam waktu 4 jam 50 menit. Sedangkan pada variasi 0,40 didapatkan pengikatan awal (initial set) pada menit ke 75 atau dalam waktu 1 jam 25 menit, dan mencapai pengikatan akhir (final set) pada menit 255 atau dalam waktu 4 jam 25 menit. Dan pada variasi 0,45 didapatkan pengikatan awal (initial set) pada menit ke 75 atau dalam waktu 1 jam 25 menit, dan mencapai pengikatan akhir (final set) pada menit 255 atau dalam waktu 4 jam 25 menit. Jadi semakin banyak aktivator atau semakin tinggi variasi yang digunakan maka waktu pengikatan (setting time) akan semakin cepat.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari



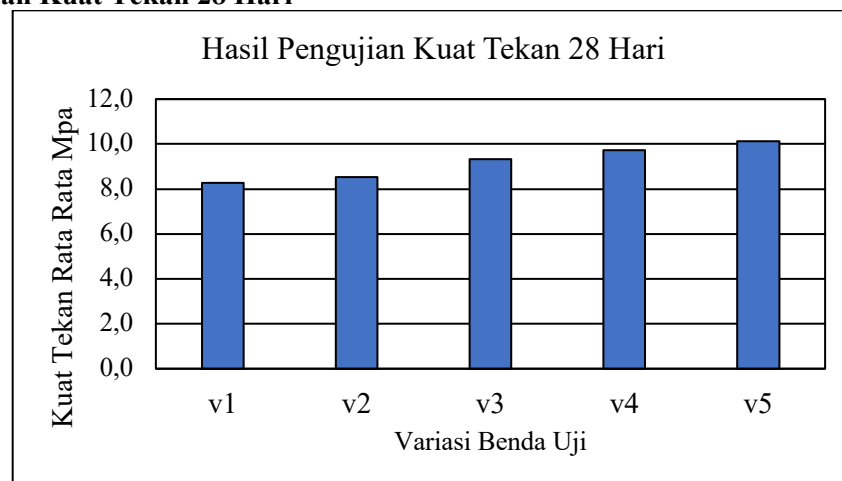
Gambar 2. grafik kuat tekan 7 hari

Grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan mortar semen geopolimer pada umur 7 hari untuk lima variasi campuran (v1–v5). Terlihat bahwa kuat tekan meningkat dari v1 (5,6 MPa) hingga v5 (6,8 MPa). Ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi campuran berpengaruh positif terhadap kekuatan mortar, dengan variasi v5 memberikan hasil terbaik.

**Hasil Pengujian Kuat Tekan 14 Hari**

Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 14 hari

Grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan mortar semen geopolimer pada umur 14 hari untuk lima variasi campuran (v1–v5). Nilai kuat tekan meningkat dari 6,6 MPa (v1) hingga 8,1 MPa (v5), menandakan perkembangan kekuatan seiring waktu dan bahwa variasi v5 tetap memberikan performa terbaik

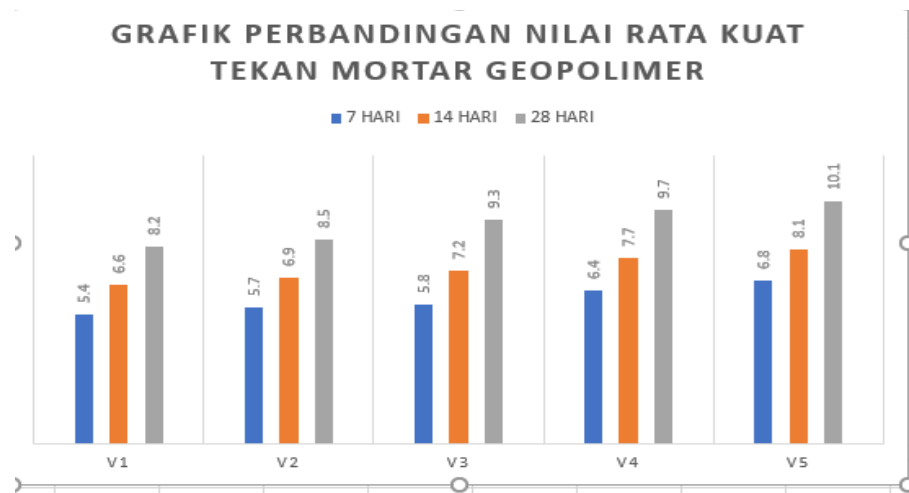
**Hasil Pengujian Kuat Tekan 28 Hari**

Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 hari

Grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan mortar semen geopolimer pada umur 28 hari untuk variasi v1–v5. Terjadi peningkatan kuat tekan dari 8,2 MPa (v1) hingga 10,1 MPa (v5). Ini menunjukkan perkembangan kekuatan yang signifikan seiring waktu, dengan variasi v5 tetap menjadi yang terkuat.

**Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geoplimer**

Perbandingan hasil uji kuat tekan mortar geopolimer yang berbahan dasar pasir silika sebagai bahan pengganti water glass dengan variasi mulai dari 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 dapat dilihat dari tabel dan grafik berikut ini :



Gambar 5. Analisis Hasil Pengujian Benda Uji

Dari hasil analisis perbandingan nilai kuat tekan pada mortar geopolymer yang berbahan pasir silika sebagai bahan pengganti water glass antar variasi 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, dengan umur 7, 14 dan 28 hari dapat diperoleh nilai kuat tekan yang meningkat pada setiap variasinya. Hasil kuat tekan mortar geopolimer umur 7 hari pada variasi 0,25 dengan nilai kuat tekan 5,4 Mpa, variasi 0,30 dengan hasil kuat tekan 5,7 Mpa, variasi 0,35 dengan hasil kuat tekan 5,8, sedangkan pada variasi 0,40 dengan hasil kuat tekan 6,4, dan pada variasi 0,45 dengan hasil kuat tekan 6,8. Sedangkan pada hasil kuat tekan mortar geopolimer umur 14 hari pada variasi 0,25 dengan nilai kuat tekan 6,6 Mpa, variasi 0,30 dengan hasil kuat tekan 6,9 Mpa, variasi 0,35 dengan hasil kuat tekan 7,2, sedangkan pada variasi 0,40 dengan hasil kuat tekan 7,7, dan pada variasi 0,45 dengan hasil kuat tekan 8,1. Sedangkan pada hasil kuat tekan mortar geopolimer umur 28 hari pada variasi 0,25 dengan nilai kuat tekan 9,2 Mpa, variasi 0,30 dengan hasil kuat tekan 8,5 Mpa, variasi 0,35 dengan hasil kuat tekan 9,3, sedangkan pada variasi 0,40 dengan hasil kuat tekan 9,7, dan pada variasi 0,45 dengan hasil kuat tekan 10,1. Jadi, dapat dilihat dari hasil uji kuat tekan bahwa semakin banyak aktivator yang digunakan pada setiap variasi umur 7, 14 dan 28 hari, maka akan semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan.

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, setting time pasta geopolimer berbahan dasar Fly Ash dengan Sodium Silikat dari pasir silika berlangsung dengan rentang pengikatan awal (initial set) antara 75–105 menit dan pengikatan akhir (final set) antara 255–300 menit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa waktu setting time yang terjadi adalah sekitar 1 jam 25 menit hingga 1 jam 75 menit untuk pengikatan awal, dan 4 jam 25 menit hingga 5 jam untuk pengikatan akhir.

Beton geopolimer berbasis fly ash dengan sodium silikat dari pasir silika memiliki kuat tekan tinggi, ketahanan baik terhadap sulfat dan asam, permeabilitas rendah, serta panas hidrasi rendah. Kandungan silika dan alumina tinggi mempercepat reaksi geopolimerisasi

Dari hasil uji kuat tekan didapatkan bahwa hasil kuat tekan rata – rata tertinggi mortar geopolimer sudah mendekati dengan hasil keinginan yang sudah di rencanakan yaitu 12,5 MPa adapun hasil dari penelitian uji kuat tekan mortar geopolimer pada campuran semen geopolimer variasi 0,45 diumur 28 hari tercapai di kuat tekan 10,1 MPa. Semakin tinggi persentase yang digunakan, maka akan mempengaruhi hasil kuat tekan yang akan meningkat. Adapaun beberapa saran peneliti pada penelitian ini adalah : 1) Persentase campuran semen geopolimer sebanyak 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 hanya mengalami sedikit penambahan pada nilai kuat tekannya, jadi disarankan untuk menambah persentase campuran agar semakin tinggi nilai kuat tekannya. 2) Variasi campuran semen geopolymer berbasis fly ash metode campuran kering dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang dibuat dari pasir silika

ini masih perlu dilakukan percobaan - percobaan lebih lanjut dengan variasi campuran yang berbeda-beda dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang paling

#### Daftar Pustaka

- [1] IEA (International Energy Agency). (2023). *Cement*. IEA, Paris <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement>
- [2] Global Cement and Concrete Association (GCCA). (2023). *Our Roadmap to Net Zero Concrete*. <https://gccassociation.org/concretetofuture/>
- [3] Provis, J. L. (2018). *Alkali-activated materials*. *Cement and Concrete Research*, 114, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>
- [4] Singh, N. B., & Middendorf, B. (2020). *Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview*. *Construction and Building Materials*, 237, 117455. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117455>
- [5] Turner, L. K., & Collins, F. G. (2013). *Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete*. *Construction and Building Materials*, 43, 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- [6] Zhang, P., Zheng, Y., Wang, K., & Zhang, J. (2021). *A review on properties of fresh and hardened geopolymer mortar*. *Composites Part B: Engineering*, 215, 108854. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108854>
- [7] Thomas, J., & Thaarrini, J. (2022). *A comparative review on fly ash-based geopolymer concrete and conventional concrete*. *Materials Today: Proceedings*, 60, 554-559. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.290>
- [8] Dhandapani, Y., & Santhanam, M. (2020). *Investigation on the changes in composition and morphology of fly ash due to grinding and its effect on the early age strength of geopolymer mortar*. *Construction and Building Materials*, 263, 120655. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120655>
- [9] Almutairi, A. L., Tayeh, B. A., Adesina, A., Isleem, H. F., & Zeyad, A. M. (2021). *Potential applications of geopolymer concrete in construction: A review*. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00733. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00733>
- [10] Tchakouté, H. K., & Rüscher, C. H. (2021). *The cost of geopolymer precursors: A systematic review*. *Cleaner Engineering and Technology*, 2, 100077. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100077>
- [11] Firdaus, M. L., Elvia, R., & Alwi, W. (2022). *Synthesis of sodium silicate from rice husk ash and silica sand as an activator for geopolymer production*. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 59(1), 108-118. <https://doi.org/10.1007/s43207-021-00167-9>
- [12] Nurrudin, M. F., et al. (2021). *Performance of geopolymer concrete activated by sodium silicate synthesized from rice husk ash and silica fume*. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00606. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00606>
- [13] Nematollahi, B., et al. (2019). *Application of geopolymer precast concrete in construction: A review*. *Structures*, 20, 213-224. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.03.002>
- [14] Panda, B., & Tan, M. J. (2021). *Rheological behavior of high-volume fly ash geopolymer concrete for 3D printing*. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127213>