

## KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER DENGAN BAHAN UTAMA FLY ASH SEBAGAI PEMBENTUK PASTA

Syamsul Bahri Ahmad<sup>1)</sup>, Muh.Suradi<sup>2)</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan  
Km. 10, Makassar, 90245

E-mail: [syamba\\_68@yahoo.co.id](mailto:syamba_68@yahoo.co.id) atau [syamba\\_68@poliupg.ac.id](mailto:syamba_68@poliupg.ac.id)

abstract : The concrete industry is currently the second largest user of natural resources in the world. Recently, an aggregate binder that does not use portland cement has been developed which known as geopolymer. The main component of this geopolymer is the presence of high SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compounds in industrial waste materials with alkaline NaOH or KOH solutions as polymerization activators. This study aims to analyze the compressive strength of geopolymer concrete with the main ingredient of fly ash as a geopolymer paste with the activator ratio of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> and NaOH is 2 at molarities of NaOH 8M, 12M, and 16M, then compare it with the compressive strength of conventional concrete using PCC cement. The research results show that the average concrete compressive strength (f<sub>cr</sub>) of conventional concrete, NaOH 8M, 12M and 16M geopolymer concrete is 22.21 Mpa, 9.37 Mpa, 11.89 Mpa and 13.10 Mpa respectively. The compressive strength of geopolymer concrete obtained is still lower than conventional concrete. This can be caused by the molarity value of NaOH and the activator ratio which require more variation.

**Key word:** *Conventional concrete, geopolymer concrete, fly ash, compressive strength*

Abstrak : Industri beton saat ini merupakan pengguna sumber daya alam kedua terbesar di dunia. Dewasa ini telah dikembangkan bahan pengikat agregat yang tidak menggunakan semen portland yang dikenal dengan nama geopolymer. Komponen utama dari geopolimer ini adalah adanya senyawa SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi dalam material limbah industri dengan larutan alkalin NaOH atau KOH sebagai aktivator polimerisasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis kuat tekan beton geopolimer dengan bahan utama fly ash sebagai pembentuk pasta geopolimer dengan rasio aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan NaOH adalah 2 pada molaritas NaOH 8M, 12M dan 16M, kemudian membandingkan dengan kuat tekan beton konvensional yang menggunakan semen PCC dengan target mutu beton f'c 20 Mpa. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton rata-rata (f<sub>cr</sub>) beton konvensional, beton geopolimer NaOH 8M, 12M dan 16M masing-masing adalah 22.21 Mpa, 9.37 Mpa, 11.89 Mpa dan 13.10 Mpa. Kuat tekan beton geopolimer yang diperoleh terlihat masih lebih rendah dari beton konvensional. Hal ini dapat disebabkan oleh nilai molaritas NaOH dan rasio aktivator sebagai dua variabel penting yang mempengaruhi kekuatan beton sehingga perlu variasi lanjutan.

**Kata kunci :** *Beton konvensional, beton geopolimer, fly ash, kuat tekan*

### PENDAHULUAN

Industri beton terus menunjukkan trend peningkatan produksi sebagai indikasi pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah bangunan infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Hal tersebut tentu berdampak pada peningkatan jumlah produksi semen sebagai bahan utama pengikat agregat dalam pembuatan beton. Produksi semen global diperkirakan terus meningkat dari 3,27 miliar metrik ton pada 2010 menjadi 4,83 miliar metrik ton pada 2030 (Garside, M.,

2021). Meningkatnya produksi semen diketahui sebagai penyebab yang dominan pada kerusakan lapisan ozon. Meyer, C.(2002) menyatakan produksi satu ton semen membebaskan sekitar satu ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Sementara setiap tahun lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi yang menghasilkan sekitar 8 % emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dunia (Lehne, J. dkk, 2018). Kebutuhan beton yang semakin tinggi, mendorong teknokrat beton untuk terus mengkaji peningkatan kinerja beton dengan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*, *silica fume*, *blast-furnace slag* maupun limbah pertanian seperti abu sekam padi (*rice husk ash*) dan agregat daur ulang dalam menghasilkan beton yang ramah lingkungan (Reddy, S.G.V.,2017, Tajra, F. dkk. 2019, AlArab, A., dkk. 2022, Kanthe, V., dkk. 2018, Elchalakani, M., dkk. 2017). Isu *global warming* dan lingkungan menjadi tujuan utama untuk membatasi penggunaan semen sebagai pengikat utama pada beton.

Dalam perkembangan terbaru teknologi beton, telah dikembangkan bahan pengikat agregat yang tidak menggunakan semen yang dikenal dengan nama *geopolymer*. Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Davidovits pada tahun 1978 sebagai binder yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi unsur Silika dan Alumina dengan aktivator larutan alkalin. Komponen utama dari geopolimer ini adalah adanya senyawa SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi dalam material dengan larutan alkalin NaOH atau KOH sebagai aktivator polimerisasi (Davidovits, J.,1999). Penelitian di level international terhadap geopolimer ini terus dilakukan untuk mengkaji karakteristik dan keunggulan yang dimilikinya dibandingkan binder konvensional dari semen (*portland cement*), meskipun belum ada pedoman yang baku seperti pada desain beton berbasis semen untuk mendapatkan kekuatan beton geopolimer yang lebih baik (Adak, D., dkk,2019, Ren, X., 2019, Bhavsar, J.K., dkk. 2022, Ali A.A., dkk 2022, Jain, D., dkk. 2021). Hasil penelitian itu menunjukkan kinerja dan durabilitas yang lebih baik dari beton geopolimer dibanding dengan beton konvensional yang menggunakan semen sebagai sebagai pengikat dengan metode perawatan yang berbeda.

Pada lingkup penelitian yang telah kami lakukan, sejumlah penelitian yang mencakup geopolimer masih terbatas pada mortar (Ahmad, S.B., dkk 2019,2020). Penelitian ini menyimpulkan adanya kecenderungan kekuatan mortar geopolimer yang lebih tinggi dengan fly ash lokal dari PLTU Jeneponto dibandingkan mortar

konvensional. Beberapa peneliti terdahulu menyebutkan tentang sifat mekanik mortar maupun beton geopolimer yang dipengaruhi sumber fly ash yang berbeda. Hal ini karena kandungan unsur-unsur atau senyawa dan *properties* dari material utama fly ash berbeda-beda pada setiap sumber (Zuhua Zhang,2014). Data yang tersedia terkait fly ash dari PLTU jenepono sebagai material utama dalam pembuatan beton geopolimer masih terbatas dan pedoman yang baku dalam perencanaan campuran belum ada. Oleh karena itu, penelitian ini juga secara khusus bertujuan untuk menggali potensi fly ash asal PLTU jenepono yang dalam penelitian sebelumnya sebagai bahan utama pasta geopolimer dalam pembuatan mortar geopolimer..

Dari uraian di atas yang menjadi permasalahan adalah bagaimana menghasilkan beton geopolimer dengan binder utama fly ash PT Semen Tonasa yang memiliki kuat tekan beton setara dengan beton konvensional yang menggunakan semen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi untuk menghasilkan beton geopolimer berbasis fly ash dari sumber PLTU Jenepono dengan kekuatan yang minimal setara beton konvensional sehingga penggunaan semen dalam produksi beton dapat diminimalisir.

## **METODE PENELITIAN**

Pengujian karakteristik material dilakukan sebelum merancang komposisi beton konvensional dan beton geopolimer. Kajian eksperimental kuat tekan beton dengan menguji kuat tekan beton terhadap sejumlah benda uji berbentuk silinder beton ukuran 10cmx20cm. Penelitian dilakukan di laboratorium bahan jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang sejak bulan Juni sampai September 2023. Rancangan campuran beton konvensional dengan mutu  $f'c$  20 Mpa dibuat berdasarkan SNI 2834-2000. Berdasarkan rancangan ini, maka dibuat rancangan beton geopolimer dengan mengambil komposisi agregat yang digunakan pada beton konvensional. Sebagai pendekatan awal maka dilakukan pengujian kuat tekan pasta geopolimer pada rasio w/c dalam range 0.22 – 0.33 ukuran 5x5x5 cm dengan kuat tekan rata-rata tertinggi 14.80 Mpa pada umur 21 hari. Pembuatan benda uji dan perawatan benda uji silinder beton mengacu pada standar SNI 2493-2011 dan pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik batu pecah dan pasir yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan dalam Tabel 1. Hasil ini menunjukkan bahwa material secara umum memenuhi syarat sebagai bahan beton

**Tabel 1**  
**Karakteristik Agregat Batu Pecah dan Pasir**

N0	Uraian	Hasil	Spesifikasi	Standar	Keterangan
1.	Kadar air bt.pecah	1,87%	0,5% - 2%	ASTMC566	Memenuhi
2.	Penyerapan bt.pecah	2.64 %	0,2% - 2%	ASTMC129	Penyesuain
3.	Berat jenis SSD bt.pecah	2,48	1,6 – 3,2	ASTMC129	Memenuhi
4.	Berat volume bt.pecah	1,64 kg/lt	1,6–1,9 kg/lt	ASTM C29	Memenuhi
5	Kadar lumpur bt.pecah	1.02 %	0 – 1 %	ASTMC289	Memenuhi
6	Modulus kehalusan bt.pecah	7.65	5.5 – 8.5 %	SNI 03 1968 1990	Memenuhi
7	Keausan	20.77 %	15 – 50 %	ASTM	Memenuhi
8.	Kadar air pasir	4,54 %	3% - 5 %	ASTMC566	Memenuhi
9.	Penyerapan pasir	1,23 %	0,2% - 2%	ASTMC129	Memenuhi
10	Berat jenis SSD pasir	2,56	1,60 – 3,20	ASTMC129	Memenuhi
11.	Berat volume pasir	1,42 kg/lt	1,4–1,9 kg/lt	ASTMC29	Memenuhi
12.	Kadar lumpur pasir	5,21 %	0.2 – 6 %	ASTMC289	Memenuhi
13.	Modulus Kehalusan pasir	2,20	2,2 - 3,10	ASTMC136	Memenuhi
14.	Berat volume fly ash	1.15 kg/lt	-	-	-

Selanjutnya pemeriksaan senyawa fly ash seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2, menunjukkan bahwa fly ash tergolong dalam fly ash kelas C berdasarkan ASTM C618-03 yang menyatakan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah minimal 50% .

**Tabel 2**  
**Senyawa Kimia Fly Ash (Quality control PLTU Punagaya, Jenepono)**

Senyawa	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	R.45
%	34.9	10.9	12.41	20.5	5.36	0.9	0.71	0.12	4.8

### Rancangan Campuran Beton

Rancangan campuran beton f'20 Mpa yang mengambil kadar semen 400 kg/m<sup>2</sup> dibuat berdasarkan metode SNI 03- 2834-2000 yang mengadopsi Development of the Environment (DOE) 1975. Berdasarkan komposisi beton konvensional (BK) dengan jumlah agregat yang diperoleh dalam mix desain beton normal seperti pada Tabel 3, maka dilakukan perhitungan pasta geopolimer untuk mendapatkan komposisi beton geopolimer dengan rasio aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> / NaOH adalah 2 pada molaritas NaOH 8M (BG8), 12M (BG12) dan 16M (BG16) dalam 1 m<sup>3</sup> beton dengan komposisi masing-masing seperti pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

**Tabel 3**  
**Komposisi Campuran BK dalam 1 m<sup>3</sup>**

Volume (m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Total (kg/m <sup>3</sup> )
1	400	758	935	203	2300

**Tabel 4**  
**Komposisi Beton Geopolimer BG8 dalam 1 m<sup>3</sup> Beton**

Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Air tambahan (kg/m <sup>3</sup> )	NaOH padat (kg/m <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Total (kg/m <sup>3</sup> )
472	758	935	41,8	37.5	13.2	110,1	7,55	2330

**Tabel 5**  
**Komposisi Beton Geopolimer BG12 dalam 1m<sup>3</sup> Beton**

Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Air tambahan (kg/m <sup>3</sup> )	NaOH (kg/m <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Total (kg/m <sup>3</sup> )
472	758	935	37,2	37.2	17.8	110,1	7,55	2330

**Tabel 6**  
**Komposisi Beton Geopolimer BG16 dalam 1m<sup>3</sup> Beton**

Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Air tambahan (kg/m <sup>3</sup> )	NaOH (kg/m <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Total (kg/m <sup>3</sup> )
472	758	935	37,2	33.6	21.5	110,1	7,55	2330

**Kuat Tekan Pasta Geopolimer**

Sebelum pembuatan benda uji beton geopolimer berdasarkan komposisi yang diperlihatkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6, maka dilakukan pengujian kuat tekan pasta geopolimer pada rasio w/c yang berbeda seperti dalam Tabel 7. Hal tersebut dilakukan sebagai pendekatan awal dalam merancang komposisi beton geopolimer dengan mengambil rasio pasta geopolimer w/c pada range 0,23 – 0,33

**Tabel 7**  
**Kuat Tekan Pasta Geopolimer**

No	w/c	Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban P (N)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>cr</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1	0,33		0.229	33800	13.52	12.52
			0.220	28900	11.56	
2	0,22	21	0.227	40600	16.24	14.80
			0.230	33400	13.36	
3	0,26		0.225	33500	13.40	14.26
			0.232	37800	15.12	

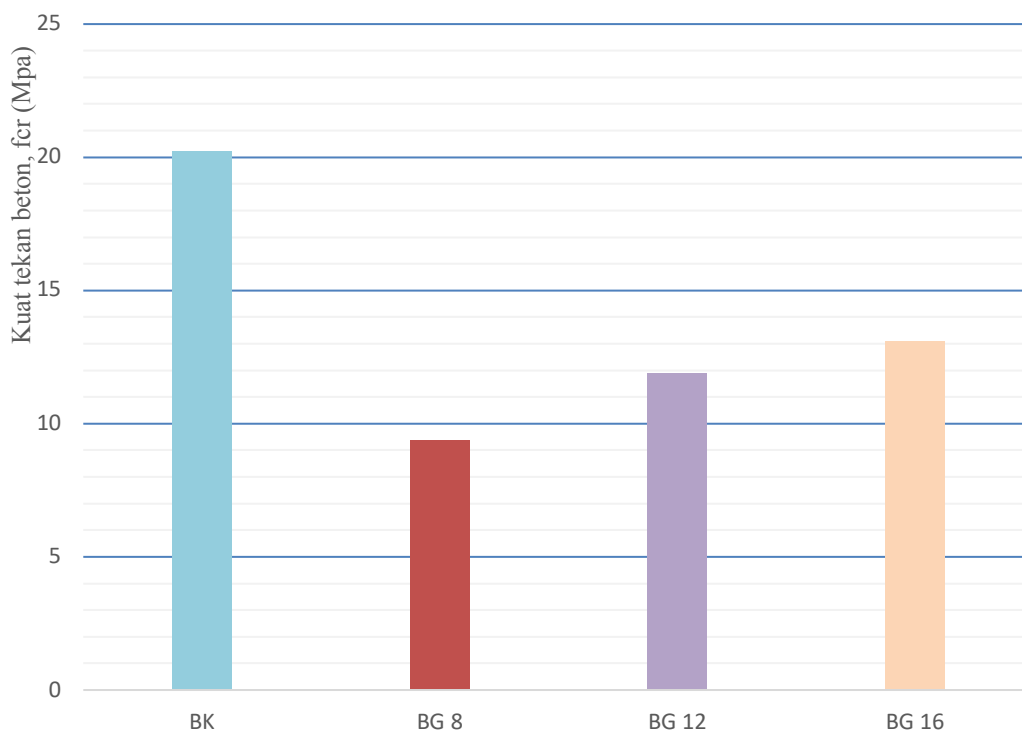
**Kuat Tekan Beton rata-rata, f<sub>cr</sub>**

Pengujian kuat tekan beton BK maupun BG dilakukan pada umu 28 hari. Khusus beton geopolimer BG, perawatan dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 60<sup>0</sup> C selama 24 jam kemudian dilakukan perawatan kering suhu kamar hingga umur 28 hari. pengujian kuat tekan beton yang mengacu pada SNI 1974-2011. Hasil analisis kuat tekan beton rata-rata f<sub>cr</sub> (BK, BG8, BG12, BG16) diperlihatkan pada Tabel 8.

**Tabel 8**  
**Kuat Tekan Beton**

No	Kode	Kuat Tekan Beton rata-rata fcr (Mpa)
1	BK	20.21
2	BG8	9.37
3	BG12	11.89
4	BG16	13.10

Berdasarkan tabel 8 dapat dibuat diagram batang nilai kuat tekan rata-rata fcr seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kuat tekan beton

Gambar 1 menunjukkan kuat tekan beton geopolimer rata-rata fcr pada molaritas NaOH 8M, 12M dan 16M masing-masing 9,37 Mpa, 11,89 Mpa dan 13,10 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton konvensional 20,21 Mpa. Kuat tekan beton geopolimer tertinggi ditunjukkan pada molaritas NaOH 16M sebesar 13.10 Mpa,

meskipun nilai kuat tekan beton ini masih lebih rendah dari kuat tekan beton konvensional. Namun terlihat kuat tekan beton geopolimer terlihat cenderung meningkat seiring peningkatan molaritas NaOH. Hal ini dapat disebabkan oleh nilai molaritas NaOH dan rasio aktivator beton geopolimer yang merupakan dua variabel yang cukup berpengaruh pada kuat tekan beton. (Nikhil Kumar Verma, dkk, 2022)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton geopolimer pada molaritas NaOH 8M, 12M dan 16M dengan rasio aktivator 2 menghasilkan kuat tekan beton yang masih lebih rendah dari kuat tekan beton konvensional yang menggunakan semen 400 kg/m<sup>3</sup>.
2. Kuat tekan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh nilai molaritas dan rasio aktivator sehingga perlu penelitian lanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adak, D. & Mandal, Saroj. (2019). Strength and Durability Performance of Fly Ash–Based Process-Modified Geopolymer Concrete, *American Society of Civil Engineers /ASCE*
- Ahmad,SB & Ramlan S. (2020). Studi Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis Fly Ash-Slag dengan Rasio Aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH Berbeda, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, PNUP* , ISBN. 978-602-60766-9-4, pp7-12
- Ali A.A, Tareq S. Al-Attar , WaleedA. Abbas, (2022). A Statistical Model to Predict the Strength Development of Geopolymer Concrete Based on SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ratio Variation, *Civil Engineering Journal*(E-ISSN: 2476-3055; ISSN: 2676-6957)Vol. 8, No. 03.
- AlArab, A., Hamad, B., & Assaad, J. J. (2022). Strength and Durability of Concrete Containing Ceramic Waste Powder and Blast Furnace Slag, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(1). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0004031
- Bhavsar, J.K.& Panchal ,V., (2022). Ceramic Waste Powder as a Partial Substitute of Fly Ash for Geopolymer Concrete Cured at Ambient Temperature, *Civil Engineering Journal*, E-ISSN: 2476-3055; ISSN: 2676-6957, Vol. 8, No. 07



- Davidovits, J. (1999). Chemistry of geopolymeric systems, terminology, '99 *Geopolymer International Conference Proceeding*, France
- Elchalakani, M., Basarir, H., & Karrech, A. (2017). Green Concrete with High-Volume Fly Ash and Slag with Recycled Aggregate and Recycled Water to Build Future Sustainable Cities. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(2). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001748.
- Garside, M. <https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment/913/m-garside>, [diakses September 2021].
- Jain, D., Sharma, R. & Bansal, P.P. (2021). Potential Use of Sillimanite Sand in Sustainable Geopolymer Concrete *Productio*, *Journal of Materials in Civil Engineering*/ Volume 33 Issue 8
- Kanthe, V., Deo, S., & Murmu, M. (2018). Combine use of fly ash and rice husk ash in concrete to improve its properties. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 31(7), 1012–1019. doi:10.5829/ije.2018.31.07a.02
- Lehne, J. & Preston, F. (2018). Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. *Chatham House Report*, London.
- Meyer, C. (2002). Concrete and Sustainable Development. *Special Publication ACI 206, Concrete Materials Science to Application – A Tribute to Surendra P. Shah*.
- Mindess, S., & Young, J. F. (1981). Concrete. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall
- Nagalia, G. Park, Y. Abolmaali, A. & Aswath P. (2016). Compressive Strength and Microstructural Properties of Fly Ash–Based Geopolymer Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*/Volume 28 Issue 12, ASCE
- Nikhil Kumar Verma, M. Chakradhara Rao & Shailendra Kumar, (2022). Effect of molarity of NaOH and alkalinity ratio on compressive strength of geo-polymer concrete, *materialstoday : Proceedings*, scindirect, vol.46, p.940-947
- Patankar, S.V., Ghugal Y. M. & Jamkar S.S., 2015, *Mix Design of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*,
- Pasupathy, K., Berndt, M., Sanjayan, J., & Rajeev, P., (2018), *Durability Performance of Precast Fly Ash–Based Geopolymer Concrete under Atmospheric Exposure Conditions*, *Journal of Materials in Civil Engineering*/Volume 30 Issue 3

- Rahman Sk.S. & Khattak, M.J., (2021), *Feasibility of Roller Compacted Geopolymer Concrete Containing Recycle Concrete Aggregate*, Tran-SET 2020, Journal of Materials in Civil Engineering/ ASCE
- Reddy, S.G.V., & Ranga Rao, V. (2017). Eco-friendly blocks by Blended Materials. International Journal of Engineering, Transactions B: Applications, 30(5), 636–642. doi:10.5829/idosi.ije.2017.30.05b.02
- Ren, X. & Zhang L.,(2019), *Experimental Study of Geopolymer Concrete Produced from Waste Concrete*, American Society of Civil Engineers /ASCE
- Zuhua Zhang, (2014), *The Effects of Physical and Chemical Properties of Fly ash on the Manufacture of Geopolymer Foam Concretes*, A Thesis Submitted in Total Fulfilment for the Requirements of the Degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Health, Engineering and Sciences University of Southern Queensland Australia