

STUDI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER MOLARITAS RENDAH DENGAN VARIASI ALKALI AKTIVATOR 1,5 DAN 2,5

Dewi Sulistyorini^{1)}, Dimas Langga Chandra Galuh¹⁾, Yobhy Oktaviandre Prayogi¹⁾, Mohammad Tegar Ardiansyah¹⁾, Abdu Rasyid Hakim¹⁾*

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa
Jln. Miliran No.16, Yogyakarta 547042
*E-mail: dewi.sulistyorini@ustjogja.ac.id

ABSTRAK

Semen sebagai salah satu material beton yang menghasilkan polusi CO₂ setara dengan produksinya. Dibutuhkan bahan alternatif ramah lingkungan dalam pembuatan beton untuk mengurangi emisi CO₂. Beton geopolimer merupakan jenis beton inovasi yang materialnya sangat bersih dari penggunaan semen kemudiandiganti fly ash sehingga beton tersebut ramah lingkungan. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh molaritas rendah (2M, 3M, 4M) dengan variasi alkali aktivator atau SS/SH (1,5 dan 2,5) terhadap kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, dengan menggunakan benda uji silinder 15/30 sebanyak 18 silinder. Perawatan dengan suhu ruang. Hasil kuat tekan rata-rata beton geopolimer rasio SS/SH 1,5 pada molaritas 2M, 3M dan 4M berturut-turut sebesar 21,08 MPa, 26,68 MPa, dan 29,72 MPa. Kuat tekan rata-rata beton geopolimer rasio SS/SH 2,5 pada molaritas 2M, 3M, 4M sebesar 27,02 MPa, 29,67 MPa dan 33,47 MPa.

Kata kunci: Kuat tekan, fly ash, beton geopolimer, molaritas, alkali aktivator.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam industri konstruksi di Indonesia terus meningkat, hal ini tidak lepas dari tuntutan serta kebutuhan rakyat akan sarana infrastruktur yang semakin maju. Beton merupakan salah satu alternatif sebagai bahan bangunan untuk membangun rumah. Beton banyak diminati sebab mempunyai banyak keunggulan dibanding bahan lainnya, diantaranya cukup murah, kuat, bahan mudah didapat, serta tidak mengalami degradasi. Bahan baku pembuatan beton umumnya terdiri dari kerikil, pasir, semen dan air, menggunakan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 7656 2012).

Menurut Lea (1998), dalam pembentukan beton melibatkan beberapa bahan kimia yang penting, termasuk

semen, air, agregat, serta aditif agar mampu membentuk struktur beton yang kuat. Beton menjadi bahan konstruksi buatan yang terdiri dari campuran agregat, semen, air, serta bahan tambahan lainnya, dan beton memiliki sifat mekanik yang kuat serta ketahanan terhadap beban yang diterapkan (SNI 2837 2013).

Menurut Asroni (2010) menggambarkan beton lebih sederhana bahwa beton terbentuk oleh pengerasan campuran air, semen, agregat halus, agregat kasar. Untuk memperoleh kualitas beton yang lebih baik terkadang perlu diberi tambahan bahan lain (*admixture*).

Semen adalah bahan yang sangat penting dan seringkali dipergunakan karena menjadi pengikat dalam pembuatan beton. Semen sebagai salah satu bahan pembentuk utama pembuatan

beton dalam produksinya menghasilkan polusi berupa gas karbondioksida (CO_2) yang jumlahnya itu setara dengan produksi semen, oleh sebab itu sangat diharapkan sebuah bahan alternatif untuk menggantikan semen agar menghasilkan suatu beton ramah lingkungan.

Batu bara di Indonesia digunakan untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pada pengolahan pembakaran batu bara di PLTU menghasilkan limbah B3 yaitu flyash yang termasuk pada jenis limbah berbahaya sehingga tidak dimanfaatkan. *Fly ash* mengandung sejumlah unsur kimia diantaranya oksida silikon (SiO_2), oksida aluminium (Al_2O_3), oksida besi (Fe_2O_3), dan oksida kalsium (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain diantaranya magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon (Budiningrum et al., 2021).

Pengolahan yang tepat serta sedikit tambahan, *fly ash* bisa dipergunakan sebagai bahan alternatif untuk berbagai keperluan, seperti sebagai pengganti semen, produksi bata, pengeras jalan, dan sebagainya.

Upaya memanfaatkan limbah *fly ash* yang tidak digunakan menjadi lebih bermanfaat, yaitu dipergunakan sebagai campuran beton. Salah satu jenis beton yang memakai *fly ash* sebagai bahan pengikatnya ialah beton geopolimer. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer adalah bahan - bahan yang banyak mengandung unsur - unsur silika dan alumina. Unsur - unsur ini banyak didapati, di antaranya pada material hasil sampingan industri, seperti misalnya *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara (Riger Manuahe, et al, 2014).

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui *slump* beton geopolimer, berat satuan, dan kuat tekan beton geopolimer dengan molaritas rendah (2M, 3M, 4M) dengan variasi alkali aktivator atau SS/SH sebesar 1,5 dan 2,5.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan jenis beton inovasi yang materialnya sangat bersih dari penggunaan semen sehingga beton tersebut sangat ramah lingkungan. Bahan dasar dari beton geopolimer merupakan bahan yang banyak mengandung silika (Si) dan aluminium (Al). Beton geopolimer ini dipelopori pertama kali oleh ilmuan Prancis bernama Profesor Davidovits pada tahun 1978.

Ada dua sumber utama dalam geopolimer yaitu sumber material dan cairan alkali. Sumber material geopolimer berdasar pada alumina - silika sehingga material harus kaya akan silika (Si) dan aluminium (Al). Bahan ini bisa berupa mineral alami seperti kaolinit, tanah liat dan lain-lain. Alternatifnya, material dari produk sampingan seperti *fly ash*, silika fume, slag, red mud, abu sekam padi dan sebagainya. (Vijaya Rangan, 2011)

Fly ash (Abu Terbang)

Abu terbang adalah produk limbah batubara yang dibakar di tungku pembangkit listrik tenaga uap yang bersifat halus, bulat, dan pozzolanik. Pozzolan adalah bahan alami atau buatan manusia yang sebagian besar terdiri dari unsur silikat dan aluminat reaktif, dalam keadaan sendiri tidak memiliki sifat seperti semen, tetapi ketika dalam bentuk bahan halus dan kemudian dicampur dengan kapur mati dan air untuk beberapa waktu dapat mengeras pada suhu kamar dan membentuk massa

padat yang sulit larut dalam air (SNI-03 6863-2002).

Subhash V, dkk (2015) meneliti beton geopolimer dengan variasi kehalusan *fly ash*, hasil penelitian diperoleh peningkatan kuat tekan beton geopolimer sering dengan peningkatan jumlah *fly ash* pada berbagai kehalusan.

Alkali Aktivator

Pemakaian alkali aktivator untuk pembuatan beton geopolimer memiliki peran penting sebagai bahan pemicu reaksi komponen kimia yang ada pada *fly ash* agar binder geopolimer bisa mengikat angregatnya (Hertianisya & Prasetya, 2023). Pada umumnya aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3), (Davidovits, 1994). Untuk mendapatkan massa NaOH yang diperlukan dipergunakan rumus perhitungan seperti berikut:

$$\text{Massa NaOH} = n \text{ mol} \times \text{Mr NaOH}$$

Contoh :

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= 2 \text{ mol} \times 40 \text{ gr/mol} \\ &(\text{Didapat dari tabel periodik}) \\ &= 80 \text{ gr} \end{aligned}$$

Cara memperoleh 2M NaOH dalam bentuk cairan, 80 gram NaOH dicampur dengan aquades hingga mencapai 1000 cc.

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton ialah besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan benda uji beton hancur jika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (Manuahe et al., 2014). Untuk menghitung kuat tekan beton bisa dipergunakan rumus sebagai berikut:

$$f'c = P/A$$

dimana :

$$f'c = \text{Kuat Tekan Beton (MPa)}$$

$$\begin{aligned} P &= \text{Beban Maksimum (N)} \\ A &= \text{Luas Penampang (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

METODE PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan penelitian seperti berikut :

1. Persiapan alat dan bahan
2. Pengujian karakteristik material untuk agregat kasar dan agregat halus
3. Perencanaan *mix design* beton menggunakan SNI-7656-2012
4. Menyiapkan alkali aktivator
5. Pembuatan benda uji
 - a. Pembuatan campuran beton
 - b. Pemeriksaan *slump*
 - c. Pencetakan menggunakan silinder ukuran 150 x 300 mm
6. Perawatan menggunakan suhu ruang dengan cara di tutup dengan plastik
7. Pemeriksaan berat volume benda uji
8. Pengujian kuat tekan setiap benda uji
9. Menganalisa data hasil pengujian benda uji
10. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian.

Material *Fly ash* yang dipergunakan pada penelitian ini dari limbah batu bara PLTU Tanjung Jati B diperoleh dari PT. Aneka Dharma Persada, *fly ash* nya seperti pada Gambar 1. Proses pengambilan dan pengangkutan *fly ash* memerlukan ijin dari pihak PT. Aneka Dharma Persada.



Gambar 1. Fly Ash

Alkali aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) yang berbentuk kepingan dan sodium silikat (Na_2SiO_3) yang berbentuk gel. Kedua bahan tersebut di dapat dari toko kimia, seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Penelitian pembuatan beton geopolimer ini menggunakan *mix design* beton normal target mutu 25 MPa dengan mengganti semen dan air ke *fly ash* dan alkali aktivator sesuai dengan beton normal. Sedangkan untuk kebutuhan agregat kasar dan agregat halus sama juga dengan beton normal.



Gambar 2. Sodium Hidroksida Dalam Bentuk Kepingan



Gambar 3. Sodium Silikat Dalam Bentuk Gel

Pada penelitian ini nilai molaritas NaOH yang digunakan adalah 2M, 3M dan 4M, untuk kebutuhan NaOH setiap molaritasnya sebanyak 80 gram, 120 gram dan 160 gram.

Rasio aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ atau SS/SH yang digunakan yaitu 1,5 dan 2,5. Selanjutnya untuk mendapatkan kebutuhan SS/SH dipergunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

Massa Aktivator = massa NaOH + massa Na_2SiO_3 .

Jika perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1,5:1$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 1,5/1$$

Contoh:

Kebutuhan air sesuai mix desain sebesar 205 kg, maka kebutuhan alkali aktivator dihitung seperti berikut:

$$\begin{aligned} 205 &= 1 \text{ NaOH} + 1,5 \text{ Na}_2\text{SiO}_3 \\ \text{NaOH} &= 205 / 2,5 \\ &= 82 \text{ kg} \\ \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= 82 \times 1,5 = 123 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kebutuhan material untuk pembuatan benda uji dan jumlah benda uji yang diperlukan pada penelitian ini bisa dilihat rinciannya pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1.
Kebutuhan Material Beton Geopolimer Untuk 1 m³.

Material	2M		3M		4M	
	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5
Sodium Hidroksida (kg)	82	59	82	59	82	59
Sodium Silikat (Kg)	123	146	123	146	123	146
Fly Ash (Kg)	367	367	367	367	367	367
Agregat Kasar (Kg)	1186	1186	1186	1186	1186	1186
Agregat Halus (Kg)	737	737	737	737	737	737
Jumlah Material	2495	2495	2495	2495	2495	2495

Tabel 2.
Jumlah Benda Uji

Molaritas	SS / SH	Jumlah Benda Uji
2	1,5	3
	2,5	3
3	1,5	3
	2,5	3
4	1,5	3
	2,5	3

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan di laboratorium Universitas Negeri Yogyakarta, untuk mesin kuat tekannya bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mesin Kuat Tekan Beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan

Material agregat halus dan agregat kasar berasal dari Gunung Merapi di Yogyakarta. Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Gradasi agregat halus sesuai dengan gradasi pasir daerah 2 seperti pada Gambar 5. Gradasi agregat kasar sesuai dengan gradasi ukuran maksimum 40 mm dapat dilihat pada Gambar 6.

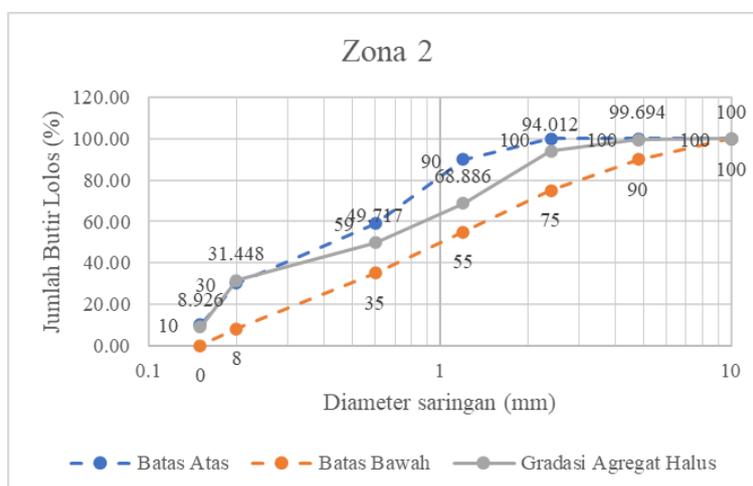
Tabel 3.
Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Uji
Kadar Air (%)	3,16
Kadar Lumpur (%)	4,11
Berat Jenis	2,61

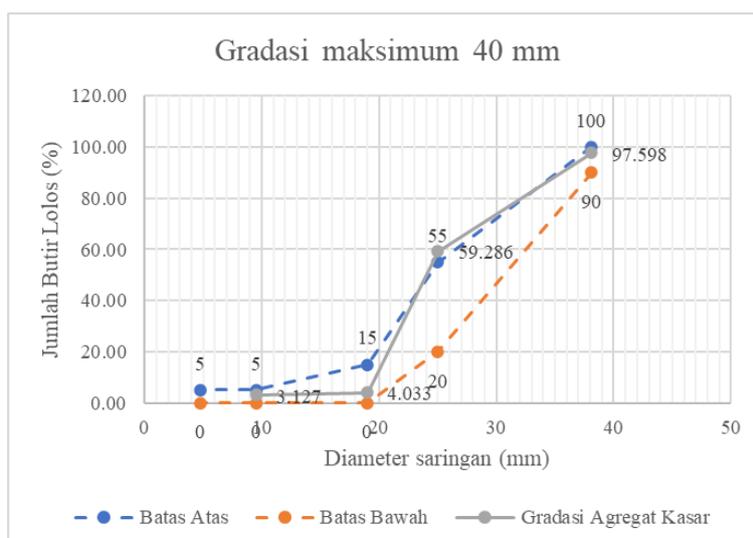
Penyerapan (%)	5,50
Zat Organik	Warna Coklat Muda
Gradasi	Zona 2
Modulus Halus Butir	3,38

Tabel 4.
Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Uji
Kadar Air (%)	3,29
Kadar Lumpur (%)	2,19
Berat Jenis	2,13
Gradasi (mm)	Maksimum 40
Modulus Halus Butir	5,22



Gambar 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

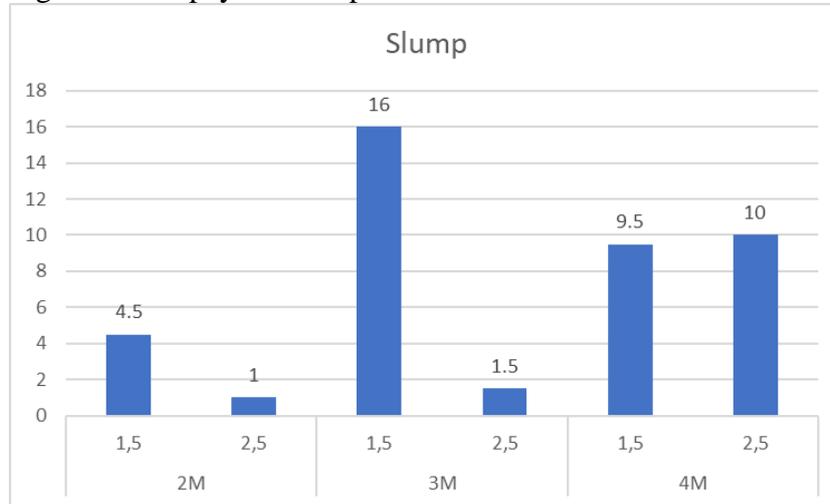


Gambar 6. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Slump Beton Geopolimer

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui kekentalan adukan beton yang akan digunakan supaya mencapai

kekuatan mutu beton dan nilai slump yang baik. Hasil dari slump beton geopolimer untuk rasio 1,5 dan 2,5 bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Slump Beton Geopolimer Rasio 1,5 dan 2,5

Gambar 7. menunjukkan bahwa nilai slump tertinggi pada rasio 1,5 molaritas 3M dan nilai slump terendah pada rasio 2,5 molaritas 2M, sehingga campuran terlihat encer.

Berat Volume

Berat volume beton merupakan perbandingan dari berat beton terhadap volumenya. Berat volume rata-rata beton geopolimer seperti pada Tabel 5.

Tabel 5.
Berat Volume Rata-rata

Molaritas	SS/SH	Berat Volume
		kg/m ³
2M	1,5	2346.2
	2,5	2349.6
3M	1,5	2352.9
	2,5	2349.6
4M	1,5	2342.6
	2,5	2330.1

Berdasarkan Tabel 5. berat volume beton geopolimer tertinggi sebesar 2352,9 kg/m³ pada molaritas 3M dengan rasio 1,5. Untuk berat volume rata-rata terendah yaitu sebesar 2330,1 kg/m³ dengan molaritas 4M rasio 2,5.

Kuat Tekan Beton Geopolimer

Berdasarkan hasil uji kuat tekan yang telah dilaksanakan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder 150 x 300 mm dengan perbedaan rasio aktivator 1,5 dan 2,5, diperoleh hasil seperti pada Tabel 6 dan Gambar 11.

Tabel 6.
Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer

Molaritas	Berat rata-rata kg	SS/SH	Beban Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)
2M	12.55	1,5	375667	21.08
	12.57	2,5	481833	27.02
3M	12.58	1,5	475300	26.68
	12.57	2,5	529200	29.67
4M	12.92	1,5	545533	29.72
	12.52	2,5	599433	33.47



Gambar 8. Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer Rasio 1.5 dan 2.5

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 8 nilai kuat tekan terendah beton geopolimer adalah 21,08 MPa pada molaritas 2M dengan rasio 1,5. Sedangkan kuat tekan tertinggi berada pada molaritas 4M dengan rasio 2,5 sebesar 33,47 MPa. Nilai kuat tekan tersebut dipengaruhi molaritas dan rasio SS/SH. Dimana semakin besar molaritas dan semakin tinggi SS/SH maka kuat tekan beton geopolimer lebih tinggi.

SIMPULAN

Larutan alkali aktivator yang terdiri dari sodium hidroksida dan sodium silikat sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer

dan *workabilitinya*. Rasio SS/SH harus diperhatikan karena semakin tinggi rasio maka alkali aktivator semakin kental sehingga agak sulit untuk dicampur material lain.

Penelitian ini memperlihatkan hasil bahwa semakin besar molaritas yang digunakan dan semakin tinggi SS/SH maka bisa membuat kuat tekan beton geopolimer bertambah. Nilai slump beton geopolimer bervariasi ada yang rendah dan ada yang tinggi. Kuat tekan tertinggi pada campuran ini adalah beton geopolimer dengan molaritas 4M pada rasio SS/SH 2,5.

Setelah dianalisa terkait hasil yang diperoleh maka, nilai slump tertinggi beton geopolimer pada penelitian ini

yaitu sebesar 16 cm pada molaritas 3M rasio SS/SH 1,5 sehingga beton terlihat lebih encer. Berat volumeter tertinggi sebesar 2352 kg/m³ pada molaritas 4M dengan rasio SS/SH 1,5. Kuat tekan beton yang tinggi dipengaruhi oleh besar molaritas yang digunakan dan rasio SS/SH. Kuat tekan tertinggi adalah beton geopolimer dengan molaritas 4M pada rasio SS/SH 2,5 dengan nilai kuat tekan beton sebesar 33,47 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 468/KPTS/1998 tentang *Persyaratan Teknis Aksesibilitas Pada Bangunan Umum dan Lingkungan*.
- Asroni, A. (2010). Balok dan pelat beton bertulang.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 03-6863-2002. Metode Pengambilan Contoh Dan Pengujian Abu Terbang Atau Pozolan Alam Sebagai Mineral Pencampuran Dalam Beton Semen Portland.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI-7656-2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- Budiningrum, D. S., Kustirini, A., Purnijanto, B., Mahasukma, D., & Utama, T. Y. (2021). Studi Experimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Pltu Tanjungjati B Jepara. *Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora*, 7(2, Oktober), 55-61.
- Davidovits, J. (1994, October). Properties of geopolymer cements. In *First international conference on alkaline cements and concretes* (Vol. 1, pp. 131-149).
- Hertianisya, N. H., & Prasetya, N. A. (2023). Fly Ash PLTU Sumber Alam Sekurau Kalimantan Utara sebagai Binder Beton Geopolimer. *Civil Engineering Scientific Journal*, 2(1).
- Lea, F. M., & Hewlett, P. C. (1998). *Lea's chemistry of cement and concrete*. pp: xxi, 1053, p.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2014). Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6).
- Subhash. V. P, Y. M. Ghugal, and S. S. Jamkar, (2015) "Mix design of fly ash based geopolymer concrete," in *Advances in Structural Engineering: Materials, Volume Three*, Springer India, 2015, pp. 1619–1634. doi: 10.1007/978-81-322-2187-6_123.
- Rangan V, (2010). "Fly- Ash Based Geopolymer Concrete", *Proceedings of the International Workshop on Geopolymer Cement and Concrete*, Allied Publishers Private Limited, Mumbai, India, December 2010, pp 68-106.