

Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Pemanfaatan *Fly Ash* dan Batuan Tuf

Syahfril Wabula*, Rabiyyatul Uzda, Syafruddin Ishak Latuconsina

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pattimura, Ambon

*ipul240404@gmail.com

Diajukan : 3 Juni 2025, Revisi : 15 Agustus 2025, Diterima : 19 September 2025

Abstract

Geopolymer concrete is a type of concrete that does not use cement as a binder, but instead utilizes natural materials rich in silica and alumina, which are then activated using an alkaline activator. This study aims to determine the compressive strength of geopolymer concrete made with fly ash and tuff rock, as well as to analyze its characteristics. The test specimens in this study consisted of 12 geopolymer concrete samples cured using the immersion method (CR) and 12 samples cured using the wrapping method (CW). Compressive strength testing was carried out at 28 days of concrete age. The results showed that the average compressive strength of normal concrete (BN) was 30.92 MPa. The compressive strength of geopolymer concrete using immersion curing was as follows: BG 100 BT – CR at 2.79 MPa, BG 75 BT – CR at 6.72 MPa, BG 50 BT – CR at 4.80 MPa, and BG 25 BT – CR at 3.68 MPa. For geopolymer concrete cured using the wrapping method, the results were: BG 100 BT – CW at 10.89 MPa, BG 75 BT – CW at 30.05 MPa, BG 50 BT – CW at 26.13 MPa, and BG 25 BT – CW at 21.78 MPa. The highest compressive strength was achieved by geopolymer concrete with the wrapping curing method, specifically BG 75 BT – CW, at 30.05 MPa.

Keywords: Aggregate, Compressive Strength, Fly Ash, Geopolymer, Tuff Rock

Abstrak

Beton geopolimer adalah jenis beton yang tidak memakai semen sebagai pengikat, melainkan memanfaatkan bahan alami yang kaya akan silika dan alumina yang kemudian diaktifkan menggunakan alkali aktifator. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui berapa nilai kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan fly ash dan batuan tuf serta untuk mengetahui karakteristik beton geopolimer yang menggunakan fly ash dan batuan tuf. Benda uji dalam penelitian ini adalah 12 benda uji beton geopolimer dengan menggunakan metode curing direndam (CR) dan 12 benda uji beton geopolimer menggunakan metode curing dibungkus/wrapping (CW). Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil penelitian mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton normal BN adalah 30,92 Mpa. Nilai kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan curing direndam BG 100 BT – CR adalah 2,79 Mpa, BG 75 BT – CR 6,72 Mpa, BG 50 BT – CR adalah 4,80 Mpa, BG 25 BT – CR adalah 3,68 Mpa. Untuk beton geopolimer dengan metode curing dibungkus (wrapping) BG 100 BT – CW adalah 10,89 Mpa, BG 75 BT – CW adalah 30,05 Mpa, BG 50 BT – CW adalah 26,13 Mpa, BG 25 BT – CW adalah 21,78 Mpa. Kuat tekan tertinggi didapatkan oleh beton geopolimer dengan metode curing dibungkus (wrapping) yakni BG 75 BT – CW atau sebesar 30,05 Mpa.

Kata Kunci: Agregat, Batuan Tuf, *Fly Ash*, Geopolimer, Kuat Tekan

1. PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu material konstruksi yang paling sering digunakan dalam industri bangunan. Hal ini dikarenakan beton memiliki sifat yang tahan terhadap korosi dan juga memiliki nilai kuat tekan beton yang tinggi. Secara global beton terdiri dari dua bagian

utama yaitu matriks dan agregat (Ramadhani, 2022). Juga sering kali ditambahkan bahan tambahan (aditif) yang dapat meningkatkan karakteristiknya. Pergantian semen dengan bahan lain dapat merubah perilaku beton konvensional menjadi beton geopolimer.

Beton geopolimer merupakan inovasi dalam teknologi material konstruksi yang dikembangkan sebagai alternatif beton konvensional berbasis semen portland. Beton ini dibuat dengan menggunakan bahan - bahan alami yang mengandung silika dan alumina, seperti batuan tuf dan *fly ash* yang diaktifkan oleh alkali aktifator. Salah satu keunggulan utama beton geopolimer adalah mengurangi emisi karbon yang disebabkan produksi semen.

Dengan mempertimbangkan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah berapa nilai kuat tekan dan bagaimana karakteristik beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* dan batuan tuf.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di kantor UPTD Laboratorium Pengujian Bahan dan Peralatan Berat Dinas PUPR Provinsi Maluku.

A. Material

a) *Fly Ash*

Menurut SNI 03-6414-200, *fly ash* batubara adalah limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk bulat, halus, dan bersifat pozzolanik. Menurut ASTM C 618 – 96, *fly ash* terbagi atas 3 yaitu, *fly ash* kelas C, kelas F dan kelas N. Dalam penelitian ini, *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* kelas C. Sebenarnya *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus oksida silika yang terkandung didalam *fly ash* batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Chandra, 2022)



Gambar 1 *Fly Ash*

b) Batuan Tuf

Batuan tuf adalah jenis batuan beku yang terbentuk dari abu yang terkonsolidasi dari letusan vulkanik. Pembentukannya dimulai ketika gunung berapi meletus dan material vulkanik seperti abu, pasir, dan pecahan batuan tersisa ke udara dalam bentuk awan panas. Ketika awan panas ini mendingin, partikel abu dan material lainnya mengendap di sekitar kawah atau wilayah yang berdekatan dengannya. Batuan tuf dalam penelitian ini didapat di daerah Dusun Waringin Cap, Kota Ambon.



Gambar 2 Batuan Tuf

c) Alkali Aktifator

Zat kimia yang dibutuhkan dalam reaksi polimerisasi adalah alkali aktifator. Dengan melarutkan prekursor ke dalam monomer Si(OH)_4 dan Al(OH)_3 , monomer-monomer tersebut mengalami kondensasi selama proses perawatan (*curing*), membentuk jaringan polimer tiga dimensi dengan ikatan silang. Kombinasi larutan natrium silikat dan natrium hidroksida merupakan aktifator yang paling umum digunakan. Dalam penelitian ini, alkali aktifator yang digunakan adalah NaOH dan Na_2SiO_3 .

B. Perencanaan Campuran

Sampel benda uji dalam penelitian ini berjumlah 27 sampel dengan pengujian kuat tekan masing-masing 28 hari. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proporsi campuran beton dalam penelitian ini menggunakan campuran agregat kasar, agregat halus, *fly ash*, dan batuan tuf. Berikut tabel perencanaan beton geopolimer.

Tabel 1 Perencanaan Campuran Beton Geopolimer

No	Kode Sampel	Perbandingan Bahan		Perbandingan Aktifator		Jumlah Sampel
		<i>Fly Ash</i>	: Batuan Tuf	NaOH	: Na_2SiO_3	
1	BG 100 BT – CR	0%	: 100%	1	: 4	3
2	BG 75 BT – CR	75%	: 25%	1	: 4	3
3	BG 50 BT – CR	50%	: 50%	1	: 4	3
4	BG 25 BT – CR	25%	: 75%	1	: 4	3
5	BG 100 BT – CW	0%	: 100%	1	: 4	3
6	BG 75 BT – CW	75%	: 25%	1	: 4	3
7	BG 50 BT – CW	50%	: 50%	1	: 4	3
8	BG 25 BT - CW	25%	: 75%	1	: 4	3
Total						24

Tabel 2 Komposisi Campuran Beton

Jenis Pengujian	Campuran <i>Fly Ash</i> : Batuan Tuf	Material Beton Geopolimer dan Konvensional (kg)							
		Pasir	Batu Pecah	Semen	<i>Fly Ash</i>	Batuan Tuf	Air	NaOH	Na ₂ SiO ₃
Beton Normal	0	11,375	21,125	7,325	-	-	3,382	-	-
Beton Geopolimer	0% FA : 100% BT	11,375	21,125	-	-	1,544	0,322	0,676	2,706
	25% FA : 72% BT	11,375	21,125	-	0,551	1,158	0,322	0,676	2,706
	50% FA : 50% BT	11,375	21,125	-	1,103	0,772	0,322	0,676	2,706
	75% FA : 25% BT	11,375	21,125	-	1,654	0,386	0,322	0,676	2,706
Jumlah		56,875	105,625	7,325	3,308	3,860	4,670	2,706	10,822

Sumber: Hasil Perhitungan

C. Perawatan Beton (*Curing*)

Dalam penelitian ini menggunakan 2 metode perawatan beton yaitu perawatan beton (*curing*) dengan metode direndam dan dibungkus (*wrapping*).



(a)



(b)

Gambar 3 Perawatan Beton (*curing*) (a) *Curing* Dibungkus (b) *Curing* Direndam

D. Kuat Tekan

Menurut SNI 03-1974-2011, kuat tekan beton merupakan ukuran daya tahan beton terhadap tekanan per satuan luas hingga benda uji mengalami kehancuran akibat gaya tekan tertentu yang diberikan oleh mesin tekan. Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk menentukan kualitas beton uji dengan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM).

Gambar 4 *Compression Test Machine (CTM)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Bahan

Pada tahap awal dilakukan pengujian terhadap sifat fisik bahan, termasuk pengujian agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan batuan tuf. Hasil pengujian dari bahan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Bahan

No	Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan	SNI Yang Digunakan
A. Agregat Halus (Pasir)						
1	Kadar Air	%	7,70	2 – 8	Memenuhi	(03-1971-2011, 2011)
2	Modulus Kehalusan		3,79	3,59 – 5,75	Memenuhi	(03-1968-1990, 1990)
3	Berat Jenis		2,43	>2,2	Memenuhi	(03-1970-1990, 1990)
4	Bobot isi (Padat)	gr/cm ³	1,76	0,4 – 1,9	Memenuhi	(03-1973-2008, 2008)
	(Lepas)	gr/cm ³	1,60	0,4 – 1,9	Memenuhi	
5	Kadar Lumpur	%	4,7	<5%	Memenuhi	(03-4141-1996, 1996)
B. Agregat Kasar (Kerikil)						
1	Kadar Air	%	2,21	2 – 8	Memenuhi	(03-1971-2011, 2011)
2	Modulus Kehalusan		4,38	3,59 – 5,75	Memenuhi	(03-1968-1990, 1990)

No	Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan	SNI Yang Digunakan
3	Berat Jenis		2,71	>2,2	Memenuhi	(03-1969-1990, 1990)
4	Bobot isi (Padat)	gr/cm ³	1,45	0,4 – 1,9	Memenuhi	(03-1973-2008, 2008)
	(Lepas)	gr/cm ³	1,36	0,4 – 1,9	Memenuhi	
5	Kadar Lumpur	%	0,3	<1%	Memenuhi	(03-4141-1996, 1996)
C. Batuan Tuf						
1	Modulus Kehalusan		3,99	3,59 – 5,75	Memenuhi	(03-1968-1990, 1990)
2	Berat Jenis		1,58	-	Memenuhi	(03-1969-1990, 1990)

Sumber: Hasil Pengujian

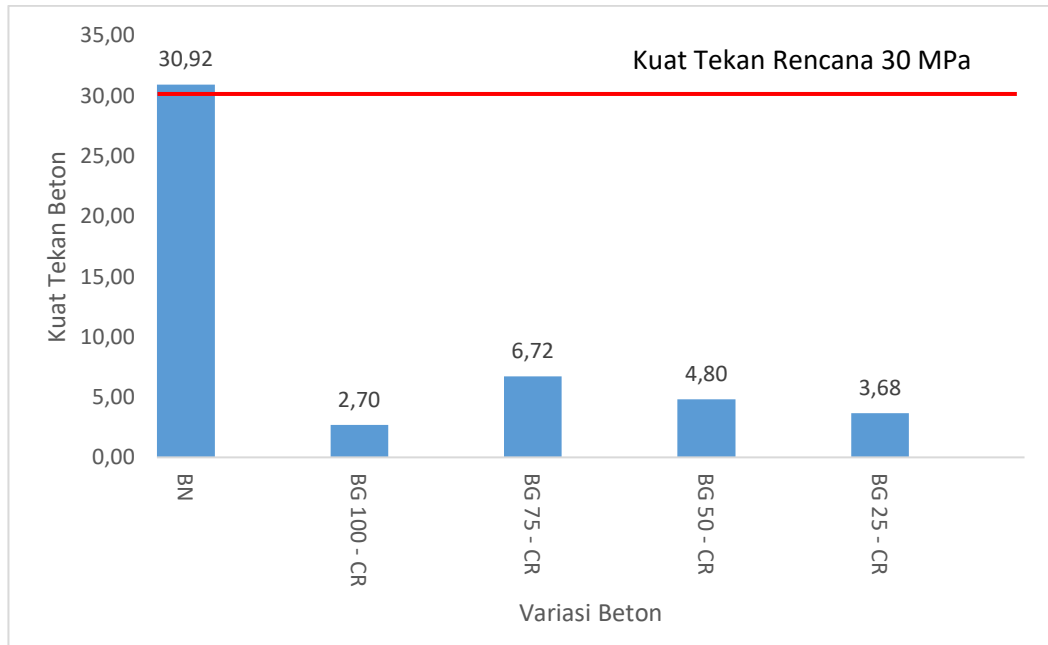
B. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin berkapasitas 3000kN. Hasil pengujian lengkap dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4 Rekapitulasi Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Metode Curring Direndam

No	Benda Uji	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	BN	12,50	549	21,10	30,92
		12,57	543	30,75	
		12,24	546	30,92	
2	BG 100 BT – CR	12,301	48,6	2,75	2,70
		12,486	46,6	2,64	
		12,394	47,7	2,72	
3	BG 75 BT – CR	12,584	123,9	7,01	6,72
		12,722	112,1	6,35	
		12,653	120,0	6,79	
4	BG 50 BT – CR	12,578	88,8	5,03	4,80
		12,708	82,4	4,67	
		12,643	82,3	4,71	
5	BG 25 BT - CR	12,488	63,6	3,60	3,68
		12,729	66,9	3,79	
		12,605	64,3	3,64	

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 5 Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Dengan Metode Curing Dendam

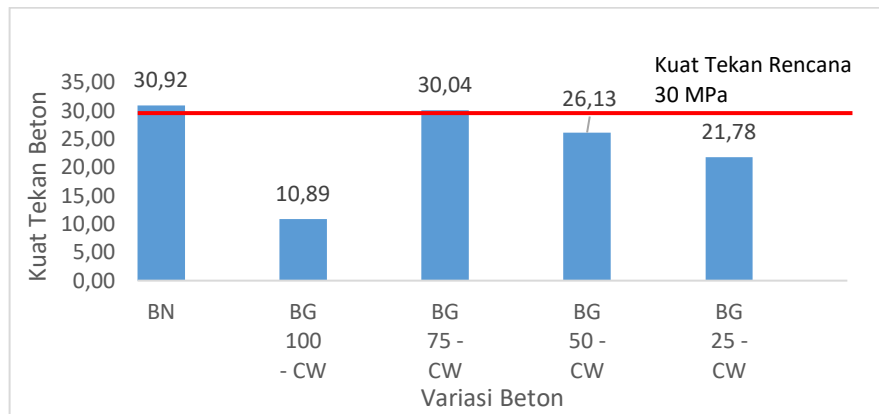
Berdasarkan Tabel 4, nilai kuat tekan beton tertinggi berada pada benda uji BN (Beton Normal) dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 32,08 Mpa. Sedangkan untuk beton geopolimer dengan metode *curing* direndam yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi berada pada benda uji BG 75 BT – CR dengan nilai rata-rata sebesar 6,72 Mpa.

Tabel 5 Rekapitulasi Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Metode Curing Dibungkus

No	Benda Uji	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	BN	12,50	549	21,10	30,92
		12,57	543	30,75	
		12,24	546	30,92	
2	BG 100 BT – CW	12,32	184,62	10,45	10,89
		12,31	192,31	10,89	
		11,86	200,00	11,32	
3	BG 75 BT – CW	11,72	533,74	30,22	30,05
		12,16	527,59	29,87	
		11,98	530,67	30,04	
4	BG 50 BT – CW	12,28	461,54	26,13	26,13
		12,52	476,92	27,00	
		12,52	446,15	25,26	

No	Benda Uji	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
5	BG 25 BT - CR	12,53	376,92	21,34	21,78
		12,26	384,62	21,78	
		12,09	391,31	22,21	

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 6 Grafik kuat tekan beton rata-rata beton geopolimer dengan metode curing dibungkus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode curing berpengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer. Pada metode curing direndam, kuat tekan maksimum hanya mencapai 6,72 MPa (BG 75 BT – CR), sedangkan pada curing dibungkus (*wrapping*) mampu mencapai 30,05 MPa (BG 75 BT – CW), setara dengan kuat tekan beton normal (30,92 MPa). Hal ini menunjukkan bahwa metode curing mempengaruhi tingkat polimerisasi dan hidrasi dalam beton geopolimer.

C. Karakteristik Beton

a. Nilai Slump

Berdasarkan hasil penelitian, nilai *slump* beton normal (BN) berkisar antara 8 – 12 cm. Sedangkan untuk beton geopolimer (BG) nilai *slump*nya berkisar antara 1,1 – 18 cm.

b. Workability Beton

Berdasarkan hasil penelitian, untuk beton normal (BN) sangat mudah dalam proses pencampuran, ditempatkan dan dipadatkan. Sedangkan untuk beton geopolimer (BG), untuk proses pencampuran dan ditempatkan sangat mudah, namun untuk proses pemadatan sangat sulit. Hal ini disebabkan karena campuran beton geopolimer yang menggunakan batuan tuf lebih kering jika dibandingkan beton geopolimer yang menggunakan *fly ash*.

c. Waktu Pengerasan Beton

Berdasarkan hasil penelitian, waktu pengerasan untuk beton normal (BN) hanya memerlukan waktu sekitar 24 jam saja, sedangkan untuk beton geopolimer (BG), memerlukan waktu selama 3 hari untuk beton benar-benar keras.

d. Nilai Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan beton normal di kisaran nilai 30,92 Mpa. Sedangkan nilai kuat tekan maksimal untuk beton geopolimer sebesar 30,04 Mpa. Dengan demikian beton geopolimer yang menggunakan batuan tuf dan *fly ash* memenuhi beton 30 Mpa.

4. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan nilai kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan *curing* direndam BG 100 BT – CR adalah 2,70 Mpa, BG 75 BT – CR adalah 6,72 Mpa, BG 50 BT – CR adalah 4,80 Mpa, BG 25 BT – CR adalah 3,68 Mpa. Untuk beton geopolimer dengan metode *curing* dibungkus (*wrapping*) BG 100 BT – CW adalah 10,89 Mpa, BG 75 BT – CW adalah 30,05 Mpa, BG 50 BT – CW adalah 26,13 Mpa, dan BG 25 BT – CW adalah 21,78 Mpa.
- b. Berdasarkan hasil penelitian, maka karakteristik beton geopolimer yang menggunakan batuan tuf dan *fly ash* diantaranya nilai *slump* berkisar antara 1,1 – 18 cm, mudah dalam proses pendampuran dan pencetakan namun pada proses pemadatan lumayan sulit, waktu pengerasan beton geopolimer memakan waktu selama 3 hari dan nilai kuat tekan maksimalnya di 30,04 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- 03-1968-1990, S. (1990). *Pengujian Analisa Saringan Agregat*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 03-1969-1990, S. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 03-1970-1990, S. (1990). *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 03-1971-2011, S. (2011). *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 03-1973-2008, S. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 03-4141-1996, S. (1996). *Metode Pengujian Untuk Menentukan Kadar Gumpalan Lempung Dan Butir-Butir Yang Mudah Pecah Dalam Agregat*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- 15-2049-2004, S. (2004). *Semen Portland*. Badan Standa Nasional Indonesia.
- Almutairi, Ahmad L; Tayeh, Basam A; Adesina, Adeyani; Isleem, Haytham F; Zeyad, A. M. (2021). Potential application of geopolymer concrete in construction: A review. *Case Studies in Construction Materials*.
- Bore, L. K. (2016). Pengaruh Penggunaan Zeolit Sebagai Pengganti Semen Terhadap Sifat Mekanis Beton Ringan Dengan Agregat Kasar Batu Apung. *Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Chandra, D. F. (2022). Analisa Pengaruh Kehalusan Fly Ash Batubara Terhadap Mutu Beton Geopolymer Dari Limbah B3 Dengan Aktivator Potassium. *Jurnal Rekayasa*.
- Cui, Kewang; Feng, Zhen; Zhang, Tongwei; Yu, Z. (2023). Thermodynamic Simulation of

Alkali-activated Processes of Tuff-Based Geopolymer. *Jurnal of Physics*.

Dzikri, Muhammad; Firmansyah, M. (n.d.). *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Pada Beton Dengan Limbah Tembaga (Copper Slag) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umurnya*.

G, W. C.-K. S. C. (1993). *Disain Beton Bertulang*. Erlangga.

Indrayani; Sulianti, Ika; Tilik, Lina Flavina; Suhirkam, Djaka; Suhadi; Wardana, Muhammad Prawira; Milawati, I. (2022). Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Lentur Beton Geopolimer. *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*.

K.H, Yang; J.K, Song; A.F, Ashour; E.T, L. (2008). Properties of cementless mortars activated by sodium silicate. *Constr. Build. Master*, 1981–1989.

Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete 5th Edition*.

Prasetya, Noerman Adi; Hertianisya, N. H. (2023). FLY ASH PLTU SUMBER ALAM SEKURAU KALIMANTAN UTARA SEBAGAI BINDER BETON GEOPOLIMER. *Civil Engineering Scientific Journal*.

Ramadhani, F. A. (2022). Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Additive Sikament-NN dan Sikacim Concrete Additive. *Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*.

Salain, I Made Alit Karyawan; Wiryasa, Made Ngakan Anom; Pamungkas, I. N. M. M. A. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*.

Sulianti, Ika; Indrayani; Subriyanto, Agus; Rahmadona, Efrilia; Yanti, Oktri; Iryani, A. W. (2021). Analisis Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi. *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*.

Tjokrodinuljo. (1996). Teknologi Beton. *Bahan Ajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*.

Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Teknik UGM.

Tjokrodinuljo, K. (2009). *Teknologi Bahan*. Universitas Gajah Mada.

Triyono, Andhica Luthfi; Widyaningsih, E. (2023). Pengaruh Penambahan Silica Fume 20% Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Seminar Nasional Dan Diseminasi Tugas Akhir 2023*.

Uzda, R. dkk. (2024a). *Dasar-Dasar Teknologi Beton* (M. G. Indrawan (ed.)). CV. Gita Lentera.

Uzda, R. dkk. (2024b). *Struktur Beton* (M. G. Indrawan (ed.)). CV. Gita Lentera.