

Variasi Abu Terbang dan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolymer

Variations of Fly Ash and Rice Husk Ash on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete

Syahrul Sariman^{*1}, Arman Setiawan¹, Syahlendra Syahrul², Adum¹

*Email: syahrul.sariman@universitasbosowa.ac.id

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa

²Program Studi D3 Konstruksi Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang

Diterima: 28 Oktober 2023 / Disetujui: 30 Desember 2023

ABSTRAK

Produksi semen semakin meningkat seiring dengan peningkatan pemakaian beton. Hal ini menimbulkan masalah karena untuk setiap ton semen yang diproduksi, akan menimbulkan lebih dari tigaperempat ton CO₂ yang dapat meningkatkan pemanasan global. Oleh sebab itu reduksi penggunaan semen harus dilakukan, salah satunya dengan membuat beton tanpa semen. Tahun 1978, Joseph Davidovits menemukan bahwa cairan alkalin bisa mereaksikan silikon (Si) dan aluminium (Al) dalam *abu terbang* menghasilkan binder untuk merekatkan agregat membentuk beton Geopolymer. Penelitian ini menggunakan beton konvensional dengan menggunakan semen sebagai beton control. Kemudian dibuat beton geopolymer dengan penggunaan agregat yang sama, dengan activator (NaOH: Na₂SiO₃ dengan perbandingan 2:5), membuat campuran dengan menggunakan prekursor -Abu terbang dan Abu sekam padi dengan perbandingan 100%:0%(BG0), 90%:10%(BG1), 80%:20%(BG2) dan 70%:30%(BG3). Selanjutnya dibuat perbandingan Aktivator dan Prekursor 4 : 3. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan beton normal lebih rendah dibanding BG0 dan tidak berbeda signifikan dengan BG1. Sedangkan ratio hasil tekan 7 dan 28 hari bersesuaian dengan ratio kuat tekan 7 dan 28 hari PBI⁷¹ yakni 0.6. Selanjutnya setiap penambahan Abu Sekam Padi 10 % untuk menggantikan abu terbang akan menurunkan kuat tekan sebesar 2 - 3 MPa.

Kata Kunci: Abu Terbang, Abu Sekam Padi, Aktifator (NaOH,Na₂SiO₃), Kuat Tekan, Beton Geopolymer

ABSTRACT

Cement production is increasing along with the increase in concrete use. This creates a problem because every ton of cement produced will emit more than three-quarters of a ton of CO₂ which can increase global warming. Therefore, cement use must be reduced, one of which is by making cement-free concrete. In 1978, Joseph Davidovits discovered that alkaline liquid could react with silicon (Si) and aluminum (Al) in fly ash to produce a binder to bond aggregates to form Geopolymer concrete. This research uses conventional concrete using cement as control concrete. Then geopolymer concrete is made using the same aggregate, with an activator (NaOH: Na₂SiO₃ with a ratio of 2:5), making a mixture using precursors -fly ash and rice husk ash with a ratio of 100%:0%(BG0), 90%:10%(BG1), 80%:20%(BG2) and 70%:30%(BG3). Next, a 4:3 comparison of Activator and Precursor was made. The results of compressive strength testing at 7 and 28 days showed that the compressive strength of normal concrete was lower than BG0 and not significantly different from BG1. Meanwhile, the compressive yield ratio of 7 and 28 days corresponds to the compressive strength ratio of 7 and 28 days PBI⁷¹, namely 0.6. Furthermore, each addition of 10% Rice Husk Ash to replace fly ash will reduce the pressure by 2 – 3 MPa..

Keywords: Fly Ash, Rice Husk Ash, Activator (NaOH, Na₂SiO₃), Compressive Strength, Geopolymer Concrete



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

A. PENDAHULUAN

Permintaan beton sebagai bahan konstruksi terus meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur (Saputra *et al*, 2023), terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Untuk memenuhi permintaan tersebut, produksi semen portland harus meningkat. Masalahnya adalah sumber daya alam yang terbatas, pengasaman laut, dan perubahan iklim yang secara tidak langsung diakibatkannya. Untuk setiap ton semen yang diproduksi, melalui penghancuran, pemanasan, dan penggilingan batu kapur, lebih dari tiga perempat ton karbon dioksida dilepaskan ke atmosfer planet kita (Zhu, 2011). Hal ini sama dengan lebih dari 3,2 miliar ton karbon dioksida yang dihasilkan dalam kurun waktu satu tahun, juga setara dengan emisi 581 juta di seluruh Eropa, Amerika, dan Cina. Agar dapat memproses volume karbon dioksida tersebut, kita perlu menanam hutan satu setengah kali ukuran Irlandia.

Secara keseluruhan, pembuatan ordinary portland cement (OPC) diseluruh dunia menyumbang 5%-7% dari total pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer (Lim *et al.*, 2021). Permasalahan di atas merupakan faktor pendorong para peneliti untuk mengkaji alternatif bahan lain yang

dapat menggantikan peran semen dalam bahan campuran beton. Pada tahun 1978, seorang ahli berkebangsaan Perancis bernama Joseph Davidovits menemukan bahwa cairan alkalin bisa digunakan untuk mereaksikan silikon (Si) dan aluminium (Al) dalam material seperti *fly ash* dan Jerami untuk menghasilkan binder (Ekaputri & Damayanti, 2007). Setelah penemuan Davidovits tersebut diterima oleh dunia, lebih dari 28 instansi ilmiah dan perusahaan internasional mulai melakukan penelitian dan menerbitkan laporan dalam bentuk jurnal – jurnal (Li *et al*, 2004).

Geopolimer dapat digunakan sebagai pengganti semen portland dalam pembuatan beton untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan dan memperbaiki masalah durabilitas pada material beton (Manuahe *et al*, 2014). Beton geopolimer (*geopolymer concrete*) adalah beton dengan material dari bahan alami sebagai pengikat. Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat (Prasetyo & Solikin, 2015), dan sebagai pengganti digunakan material yang banyak mengandung silika dan alumina (precursor) yang dapat beraksi dengan bantuan cairan activator (sodium silikat - Na_2SiO_3 dan sodium hidroksida –

NaOH) untuk mengikat agregat, pasir dan material lainnya menjadi beton geopolimer.

Beberapa penelitian tentang beton geopolymer yang erat kaitannya dengan penelitian telah dilakukan. Penelitian Rachman *et al* (Rachman *et al*, 2021) berjudul Analisa Perbandingan Beton Geopolymer Dan Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-350. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kuat Tekan beton geopolimer umur 28 hari dengan campuran 1 : 2 (NaOH : Na₂SiO₃) = 56,7 Kg/Cm², campuran 1 : 3 (NaOH : Na₂SiO₃) = 191,2 Kg/Cm², dan 2 : 5 (NaOH : Na₂SiO₃) = 352,8 Kg/Cm². Untuk proporsi optimum campuran dari beton geopolimer yang terdiri dari abu terbang dan larutan activator (NaOH & Na₂SiO₃) adalah percobaan campuran 3 dengan perbandingan massa 2 : 5 pada umur 28 hari mendapatkan nilai kuat tekan : 352,8 Kg/cm² . Jadi penambahan Larutan Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dan Natrium hidroksida (NaOH) Terhadap Beton Geopolimer sangat berpengaruh terhadap kuat tekan.

Penelitian Sulianti *et al* (Sulianti *et al*, 2021) yang menunjukkan bahwa Hasil pengujian beton geopolimer menggunakan beberapa variasi komposisi bahan pengganti semen yakni abu terbang

dan abu sekam padi yang direaksikan dengan larutan alkaline NaOH : Na₂SiO₃ = 1 : 5. Abu terbang dan Abu Sekam Padi divariasikan berturut-turut 100 %:0% ; 75%:25%, 50%:50% dan 25%:75%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari dan diperoleh hasil berturut-turut 395,643 kg/cm² ; 393.903 kg/cm² , 392.616 kg/cm² dan 391.256 kg/cm².. Kesimpulan lain diperoleh bahwa Abu sekam padi tidak bisa dipakai sebagai bahan pengganti semen untuk beton geopolimer karena abu sekam padi mengandung silika (Si) yang berlebih sehingga tidak bisa bereaksi dengan larutan alkaline (sodium silikat dan sodium hidroksida) dan menyebabkan tidak terjadinya pengerasan pada beton dan kuat tekan menurun.

Selain itu penelitian Ekaputri & Damayanti (Ekaputri & Damayanti, 2007) berjudul Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif. Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa perbandingan massa larutan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida = 1.5 merupakan titik puncak optimum untuk kuat tekan dan kuat Tarik belah. Selain itu beton geopolimer yang menggunakan molaritas 10M diperoleh kuat tekan dan

kuat tarik belah yang lebih besar dibandingkan molaritas 8M.

Selain itu, penelitian Salain *et al* (Slain *et al*, 2021) menunjukkan bahwa komposisi agregat dengan abu terbang digunakan 75% : 25%. Perbandingan abu terbang dan aktivator sebesar 65% : 35%. Perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH sebesar, 0,5:1, 1:1, 1,5:1, 2:1, dan 2,5:1. Molaritas larutan NaOH digunakan 14 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Campuran beton geopolimer yang terbaik terdapat pada persentasi activator NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1 : 1,5$, dengan nilai Kuat tekan sebesar 48,89 MPa pada umur 28 hari

Penelitian Putri *et al* (2021), benda uji dibagi dalam lima kategori yaitu BN, BG 10-1, BG 10-2, BG 12-1 dan BG 12-2. BN adalah beton normal, tidak ada kandungan molaritas ataupun komposisi alkali aktivator didalam campurannya. Pada beton normal hanya ada campuran agregat kasar, agregat halus, semen dan air. BG 10-1 merupakan beton geopolimer dengan 10 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 1:2 ($1 = \text{NaOH}$, $2 = \text{Na}_2\text{SiO}_3$). Sedangkan BG 10-2 merupakan beton geopolimer dengan 10 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 2 : 1 ($2 = \text{NaOH}$ $1 = \text{Na}_2\text{SiO}_3$).

Untuk BG 12-1 merupakan beton geopolimer dengan 12 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 1:2 ($1 = \text{NaOH}$ $2 = \text{Na}_2\text{SiO}_3$). Terakhir, BG 12-2 merupakan beton geopolimer dengan 12 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 2:1 ($2 = \text{NaOH}$ $1 = \text{Na}_2\text{SiO}_3$). Dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa pengaruh alkali aktivator yang perbandingan larutan NaOH lebih kecil dibanding Na_2SiO_3 , memberi nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Pengujian kuat tekan beton geopolimer yang memiliki nilai yang tertinggi adalah BG 12-1 sebesar 15,02 Mpa

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu maka penelitian ini tetap menggunakan Abu Sekam Padi mengingat produksinya di Indonesia sebagai negara agraris cukup melimpah, walaupun divariasikan dengan abu terbang, menetapkan perbandingan NaOH dan Na_2SiO_3 yang lebih tinggi menggunakan perbandingan *precursor* dan *activator* tertentu dan juga meninjau koefisien kuat tekan umur 7 dan 28 hari sehingga dapatmenambah alternatif penggunaan bahan beton Geopolymer.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengujian experimental melalui pengujian laboratorium. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm. Penelitian diawali dengan pembuatan mix design beton dengan menggunakan Portland cement, pasir, batu pecah 2-3 dan 1-2 dan air sebanyak 20 sampel uji berbentuk silinder 15x30 cm dengan target kuat tekan beton $f'c = 25$ MPa. Campuran beton yang diperoleh merupakan campuran beton kontrol. Setelah umur beton mencapai 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan dan hasilnya dinyatakan memenuhi syarat sebagai beton dengan kuat tekan $f'c : 25$ MPa. Komposisi campuran beton kontrol dengan menggunakan semen sebagai pengikat hidrolis adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi bahan beton kontrol

Bahan	Berat/m ³ beton (kg)	Berat / volume 1 silinder beton
Semen	184,95	1,18
Air	349,06	2,22
Pasir	682,43	4,34

Tabel 3. Proporsi bahan beton geopolimer

Notasi	Prekursor NaOH : Na ₂ SiO ₃	Activator FA : ASP (%)	Prekursor / Aktivator	Umur (hari)	Jumlah Sampel
BG0	2 : 5	100 : 0	4 : 3	7	3
				28	3
BG1	2 : 5	90 : 10	4 : 3	7	3
				28	3
BG2	2 : 5	80 : 20	4 : 3	7	3
				28	3

Batu Pecah 2-3	749,88	4,77
Batu Pecah 1-2	468,68	2,98

Sumber : Hasil *Mix Design*

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian kuat tekan beton kontrol

No. Sampel	Slump (cm)	Berat (Gram)	$f'c$ MPa
1	7.5	12535	25,76
2	7.7	12575	26,89
3	7.2	12350	26,33
4	7.5	12582	27,74
5	8.0	12510	25,76
6	7.9	12590	26,89
7	7.8	12470	26,76
8	7.7	12440	25,48
9	7.7	12545	26,33
10	7.6	12570	26,44
11	7.5	12542	26,33
12	8.1	12570	26,04
13	7.3	12560	24,52
14	7.2	12398	27,03
15	8.1	12595	28,65
16	7.6	12008	27,74
17	7.2	12560	26,04
18	7.2	12560	26,33
19	7.4	12510	26,18
20	7.5	12382	26,04
Jumlah			529,28
Rata-Rata			26,464
Standar Deviasi			0,8955

Keterangan:

$$f'c = f'cr - 1.34 \text{ sd} = 25.26 \text{ MPa}$$

$$f'c = f'cr - 2.33 \text{ sd} + 3.5 = 27.87 \text{ MPa}$$

Pilih nilai yang lebih besar

Faktor koreksi untuk 20 sampel ; 1.08, aehingga

$$f'c = 27.87 / 1.08 = 25.81 \text{ MPa} > 25 \text{ Mpa}$$

Dengan demikian mix design memenuhi kriteria $f'c = 25$ MPa.

Selanjutnya komposisi beton geopolimer dibuat sebagai berikut :

Notasi	Prekursor NaOH : Na ₂ SiO ₃	Activator FA : ASP (%)	Prekursor / Aktivator	Umur (hari)	Jumlah Sampel
BG3	2 : 5	70 : 30	4 : 3	7 28	3 3

Sumber : Design Penelitian 2023

Adapun komposisi campuran untuk 3 silinder disajikan seperti pada gambar 1.

No	Kode Sampel	Aktifator (Kg)		Prekursor (Kg)		Pasir (Kg)	Batu Pecah (Kg)		Jumlah Sampel (Buah)
		NaOH	Na ₂ SiO ₃	Abu Terbang	Abu Sekam Padi		1 - 2	2 - 3	
1	BG0	2,48	6,2	11,588	0,000	26,04	17,88	28,62	6
2	BG1	2,48	6,2	10,430	0,386	26,04	17,88	28,62	6
3	BG2	2,48	6,2	9,270	0,772	26,04	17,88	28,62	6
4	BG3	2,48	3,1	8,112	1,158	26,04	17,88	28,62	6

Gambar 1. Komposisi Campuran untuk 3 Silinder

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perawatan benda uji silinder beton geopolymer dilakukan pada suhu ruangan setelah berumur 7 dan 28 hari, kemudian dilakukan pengujian

kuat tekan beton geopolymer

Tabel 5. Pengujian Kuat Tekan umur 7 hari

Kode Sam- pel	No Sam- pel	Berat (Gram)	f'c MPa	f'c rata -rata MPa
BGO	BG01	12555	16,9	17,2
	BG02	12465	17,5	
	BG03	12510	16,9	
BG1	BG11	12235	16,2	15,4
	BG12	12225	15,2	
	BG13	12235	14,7	
BG2	BG21	12420	13,6	12,2
	BG22	12435	13,2	
	BG23	12355	13,4	
BG3	BG31	12225	12,3	11,6
	BG32	12250	11,2	
	BG33	12235	11,4	

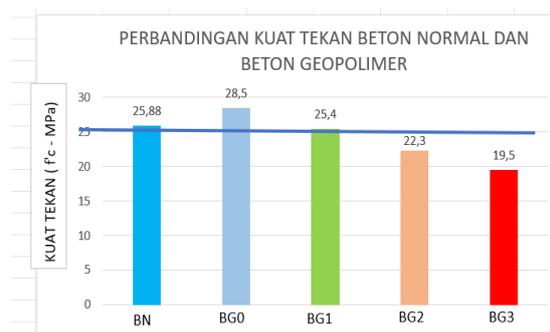
Tabel 6. Pengujian Kuat Tekan umur 28 hari

Kode Sam- pel	No Sam- pel	Berat (Gram)	f'c MPa	f'c rata -rata MPa
BGO	BG01	12240	29,0	28,5
	BG02	12265	29,7	
	BG03	12210	27,3	
BG1	BG11	12190	24,8	25,4
	BG12	12200	26,0	
	BG13	12215	25,1	
BG2	BG21	12420	22,2	22,3
	BG22	12435	22,4	
	BG23	12450	21,9	

BG31	12230	18,8	
BG32	12245	19,5	19,5
BG33	12225	20,2	

1. Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Beton Geopolymer

Perbandingan hasil pengujian kuat tekan beton normal yang menggunakan semen sebagai bahan perekat hidrolis dengan beton Geopolimer yang memakai activator NaoH dan Na₂SiO₃ dengan prekursor Fly Ash dan Abu Sekam Padi dapat dilihat pada grafik berikut.



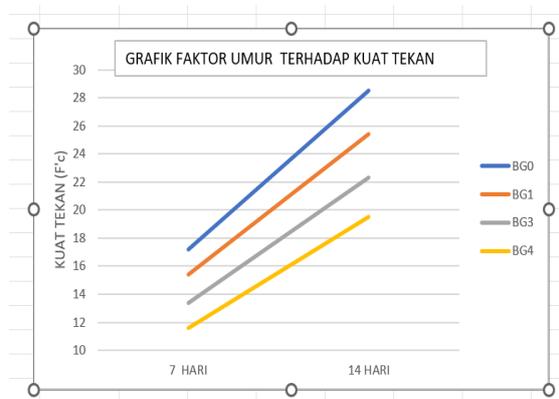
Gambar 2. Perbandingan kuat tekan beton Normal dan Beton Geopolymer

Dari grafik terlihat bahwa kuat tekan beton Polymer yang menggunakan precursor Fly Ash lebih tinggi dibanding beton normal. Namun setelah Abu sekam

padi digunakan untuk mengganti Fly Ash hanya penggantian 10 % Fly Ash saja dengan abu sekam padi (BG1) yang memenuhi kuat tekan f'_c 25 MPa sebagaimana yang disyaratkan untuk beton normal.

2. Pengaruh Faktor Umur

Grafik perbandingan kuat tekan umur 7 dan 14 hari dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut :



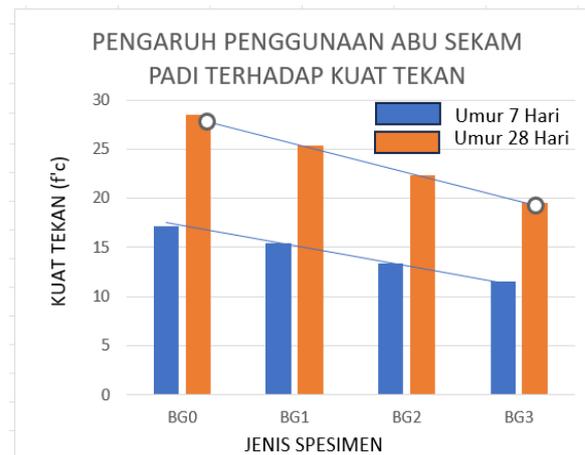
Gambar 2. Perbandingan kuat tekan beton umur 7 dan 14 hari

Tabel 7. pengaruh umur pengujian

Jenis benda	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Faktor Umur
BG0	7	17,2	0.603
	28	28,5	
BG1	7	15,4	0.606
	28	25,4	
BG2	7	12,2	0.547
	28	22,3	
BG3	7	11,6	0.594
	28	19,5	

Faktor umur 7 hari dibandingkan dengan umur 28 hari menunjukkan nilai 0,547-0.606, yang tidak berbeda signifikan dengan ketentuan faktor umur dalam PBI'71 yakni 0,6

3. Pengaruh Abu Sekam Padi



penggunaan Abu Sekam Padi sebagai pengganti Fly Ash

Pengaruh penggantian sebagian Fly Ash dengan Abu Sekam Padi mulai dari 0% (BG0), 10%(BG1), 20%(BG2) dan 30%(BG3), terhadap beton Geopolimer dapat dilihat pada gambar 3. Grafik tersebut menggambarkan bahwa terjadi trend penurunan kuat tekan akibat penggunaan Abu Sekam Padi menggantikan Fly Ash. Tabel berikut memperlihatkan besarnya penurunan kuat tekan akibat penggunaan Abu Sekam Padi.

Tabel 8. Penurunan Kuat Tekan akibat penggantian Fly Ash dengan Abu Sekam Padi Umur 7 hari

No	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Beda (MPa)	Penurunan (%)
1	BG0	17,2	1,8	10,5
2	BG1	15,4	2,0	12,9
3	BG2	13,4	1,9	14,2
4	BG3	11,5		

Sumber : Hasil Perhitungan 2023

Tabel 8. memperlihatkan bahwa Penambahan proporsi Abu Sekam Padi

menggantikan Fly Ash 10 % akan mengurangi kuat tekan beton Geopolymer rerata 1,9 MPa. Sedangkan pada umur 28 hari trend penurunan kuat tekan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 9. Penurunan Kuat Tekan akibat penggantian Fly Ash dengan Abu Sekam Padi Umur 28 hari

No	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Beda (MPa)	Penurunan (%)
1	BG0	28,5	3,1	10,9
2	BG1	25,4	3,1	12,2
3	BG2	22,3	2,8	12,5
4	BG3	19,5		

Sumber : Hasil Perhitungan

Kuat tekan beton geopolymer pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan Abu Selkam padi sebesar 10 % akan mengakibatkan penurunan kuat tekan rerata 11,9 %

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, dapat ditarik kesimpulan bahwa : (1). Beton Geopolymer dapat menghasilkan kuat tekan yang sama dengan beton konvensional. (2). Koefisien kuat tekan umur 7 hari dan 28 hari berkisar 0,547-0,606 tidak berbeda dengan ketentuan dalam PBI'71 yakni 0,6. (3). Penggunaan Abu Sekam Padi untuk menggantikan sebagian Abu Terbang memenuhi syarat kuat tekan hanya sampai penggantian 10 % . Setiap penambahan abu sekam padi sebesar 10

% akan mengakibatkan penurunan kuat tekan 2 – 3 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, A., & Sutandar, E. Studi Koefisien Kuat Tekan Beton Geopolimer Pada Berbagai Umur. *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, 21(2), 133-138.
- Davidovits, J. (1994). Global warming impact on the cement and aggregates industries. *World resource review*, 6(2), 263-278.
- Ekaputri, J. J., & Damayanti, O. (2007). Sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash jawa power paiton sebagai material alternatif. *Jurnal Pondasi*, 13(2), 124-134.
- Lim, Y. Y., & Pham, T. M. (2021). Influence of Portland cement on performance of fine rice husk ash geopolymer concrete: Strength and permeability properties. *Construction and Building Materials*, 300, 124321.
- Li, Z., Ding, Z., & Zhang, Y. (2004, May). Development of sustainable cementitious materials. In *Proceedings of international workshop on sustainable development and concrete technology*, Beijing, China (pp. 55-76).
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2014). Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6).
- Prasetyo, G. B., & Solikin, M. (2015). Tinjauan kuat tekan beton geopolymer dengan fly ash sebagai bahan pengganti semen (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Putri, A.D.K., Qubro, A.K., Nisumanti, S. (2022), Pengaruh variasi alkali aktivator (Na_2SiO_3 dan NaOH) terhadap kuat tekan beton geopolymer, (2022), *Jurnal Ilmiah Rekayasa*, 26(2), 44-48
- Rachman, D. N., Riwayati, R. S., & Rohayati, S. (2021). Analisa Perbandingan Beton

- Geopolymer Dan Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-350. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 55-61.
- Salain, I. K., Wiryasa, M. N. A., & Pamungkas, I. A. (2021). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 9(1), 76-84.
- Saputra, Y. R., Alaika, F. S., Andriansyah, V., Alquratu, A. C. D., Pridarta, S. B., & Sari, A. N. (2023). Studi Efektivitas Penambahan Bubuk Wortel dan Air Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Guna Mengurangi Dampak Pemanasan Global Akibat Produksi Semen. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 268-276.
- Sulianti, I., Subrianto, A., Rahmadona, E., Yanti, O., & Iryani, A. W. (2021). Analisis Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil (BENTANG)*, 9(2).