



STUDI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER AKIBAT PENGARUH LIMBAH ABU TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI *BINDER*

Erma Desimaliana^{*1}, Muhammad An Dharu², Ratih Dewi Shima¹

¹Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Jalan PHH Mustofa No. 23

²Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Jalan PHH Mustofa No. 23

Penulis korespondensi: ermadesmaliana@itenas.ac.id

DISUBMIT 30 Januari 2026 DIREVISI 4 Februari 2025 DITERIMA 5 Februari 2025

ABSTRAK Sebagai salah satu material konstruksi alternatif yang banyak digunakan saat ini, pemanfaatan limbah abu tempurung kelapa (ATK) semakin dioptimalkan. Salah satu upaya yaitu dengan geopolimer, sehingga diperoleh mortar tanpa semen yang diinginkan. Akan tetapi, pemanfaatan limbah ATK sebagai substitusi parsial *fly ash* (FA) dalam campuran mortar geopolimer masih belum diteliti sehingga perlu untuk mencari kadar substitusi limbah ATK yang paling optimum untuk digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kuat tekan mortar geopolimer yang paling maksimum pada umur 7, 14 dan 28 hari dari 3 variasi kadar substitusi parsial limbah ATK terhadap FA. Variasi kadar substitusi limbah ATK terhadap FA meliputi 100%FA:0%ATK, 90%FA:10%ATK dan 80%FA:10%ATK. Hasil penelitian menunjukkan hasil bahwa kadar substitusi parsial limbah ATK sebesar 10% ternyata mampu menghasilkan kekuatan tekan rata-rata mortar geopolimer yang paling maksimum sebesar 41,62 MPa pada umur 28 hari. Walaupun terdapat penurunan kekuatan tekan mortar geopolimer rata-rata sebesar 22,51% untuk mortar geopolimer 90%FA:10%ATK dan penurunan kekuatan mortar geopolimer rata-rata sebesar 55,30% untuk balok mortar geopolimer 80%FA:20%ATK; tetapi dengan kekuatan tekannya mortar geopolimer dengan substitusi parsial limbah ATK ini dapat dikategorikan sebagai mortar tipe M berdasarkan SNI 6882:2014. Hal ini disebabkan semakin berkurangnya FA sebagai *binder* utama sehingga mortar menjadi lebih berpori dan menurun kekuatan tekannya. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa limbah ATK dapat direkomendasikan sebagai alternatif substitusi *binder* dalam campuran mortar geopolimer karena kekuatan tekan mortar geopolimer rata-ratanya di atas 17,2 MPa.

KATA KUNCI Binder, Limbah Abu Tempurung Kelapa; Kuat Tekan Mortar Geopolimer; Substitusi Parsial

1 PENGANTAR

Ketika produksi semen sebagai salah satu material penyusun campuran mortar konvensional meningkat, juga meningkatkan efek rumah kaca hampir 40% karena menyumbangkan emisi CO₂ yang sangat besar. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan dampak buruk terhadap lingkungan, baik saat pembuatan maupun penggunaan dalam bidang konstruksi modern, sehingga menyebabkan pencarian solusi alternatif inovasi material konstruksi yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang inovatif yaitu memanfaatkan *fly ash* (FA) sebagai pengganti semen, karena bersifat pozzolan dan ramah lingkungan [1].

Mortar konvensional terdiri dari campuran semen, agregat halus dan air; yang berfungsi hanya untuk melekatkan antar elemen konstruksi yang satu dengan yang lainnya.

Sedangkan mortar geopolimer terdiri dari campuran antara material pengikat (FA atau material bersifat pozzolan lainnya [2] [3] [4] [5] [6] [7], larutan alkali aktivator) dan material pengisi (agregat halus atau pasir) dalam reaksi kimia geopolimerisasi. Reaksi geopolimerisasi ini terjadi antara larutan alkali aktivator dengan rasio Na₂SiO₃ dengan NaOH terhadap kandungan silika dan alumina dari material mineral pozzolanik. Kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh rasio antara material penyusunnya, biasanya berkisar antara 3 – 17 MPa dengan berat jenis 1.800 – 2.200 kg/m³. Mortar geopolimer memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap asam sulfat dan api, rangkai dan susut yang kecil, berkurangnya polusi udara. Sementara itu, mortar geopolimer pun memiliki kekurangan yaitu pembuatannya lebih rumit dan belum ada standar *mixed*

design-nya. Menurut ASTM C270-14, tipe mortar terdiri dari tipe M (kuat tekan tinggi minimal 17,2 MPa), tipe N (kuat tekan sedang $\geq 12,2$ MPa), tipe S (kuat tekan sedang $\geq 5,2$ MPa), tipe O (kuat tekan rendah $\geq 2,4$ MPa) dan tipe K (kuat tekan minimal 0,5 MPa).

Menurut SNI 06-6867-2002, *fly ash* (FA) berupa produk sampingan hasil limbah pembakaran batu bara dari cerobong asap (debu yang terbawa oleh gas), dan butiran yang lolos saringan no. 325 berwarna abu kehitaman. FA juga memiliki berat jenis antara 2,15 – 2,8. FA juga memiliki beberapa tipe antara lain C dan F. FA dari PLTU Paiton, termasuk salah satu FA tipe F dengan komposisi senyawa kimia 54% silika; 29,12% alumina dan 1,33% kalsium.

Limbah abu tempurung kelapa (ATK) berupa produk sampingan hasil limbah pertanian akibat pembakaran tempurung kelapa, biasanya memiliki komposisi senyawa 45,02% silika; 15,08% alumina dan 0,55% kalsium [8]. Oleh karena itu, limbah ATK berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material penyusun campuran mortar geopolimer baik *binder* maupun *filler*. Menurut Anisa, et al. (2024) penggunaan ATK sebagai bahan tambah FA pada variasi 7,5% ternyata menghasilkan kuat tekan rata-rata mortar geopolimer tertinggi sebesar 8,13 MPa pada umur 28 hari dengan perawatan suhu ruang sehingga dikategorikan mortar tipe S. Penambahan ATK ternyata mempengaruhi sifat mekanik dan fisik mortar geopolimer, yakni meningkatkan kekuatan tekannya hingga batas tertentu seiring dengan peningkatan persentase ATK dalam campuran [9]. Limbah abu serabut kelapa (ASK) terdiri dari unsur organik berupa serat selulosa dan lignin. Di samping itu, limbah ASK juga mengandung mineral yang terdiri dari 43,90% silika; 2,99% alumina dan 6,72% kalsium [10]. Arang batok kelapa (ABK) merupakan salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel halus sebagai *filler* dalam mortar sehingga dapat mencegah keretakan halus. Komposisi senyawa kimia dari ABK terdiri dari 36,5% silika; 10%

alumina dan 19,2% kalsium [11]. Menurut Sihombing, et al. (2018) penggunaan ABK sebagai bahan tambah semen pada variasi 7,5% juga menghasilkan kuat tekan mortar konvensional tertinggi sebesar 27,00 MPa pada umur 28 hari dengan perendaman selama 27 hari.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kadar variasi substitusi parsial limbah ATK yang paling optimal sebagai *binder* dalam campuran mortar geopolimer pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan *curing membrane*. Material *binder* yang pozolanik ini menjadi penting untuk mengetahui kekuatan tekan mortar geopolimer, terutama dalam konteks pemanfaatan limbah ATK sebagai material substitusi parsial terhadap FA.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperluas pemahaman kita tentang potensi pemanfaatan limbah ATK dalam konstruksi modern tetapi juga memberikan pandangan yang lebih dalam tentang material binder pozolanik yang paling efektif untuk memastikan kekuatan tekannya sehingga dapat diaplikasikan dalam konstruksi gedung yang keberlanjutan dan ramah lingkungan.

2 METODOLOGI

Persiapan dan Pengujian Karakteristik

Material. Material penyusun campuran mortar geopolimer pada penelitian ini berupa *fly ash* (FA) tipe F dari PLTU Paiton yang telah dikeringkan dalam oven, lolos saringan no. 200, digunakan sebagai *precursor*. Sebagai alternatif material substitusi *precursor* digunakan abu tempurung kelapa (ATK), juga lolos saringan no. 200. Pengujian berat jenis berdasarkan ASTM C618-19 untuk mendapatkan karakteristik material *precursor*. Pasir Garut (PG) digunakan sebagai *filler* dalam campuran mortar geopolimer, lolos saringan no. 4 menerus sampai no. 100. Untuk mengetahui karakteristik material *filler* maka dilakukan pengujian berat isi berdasarkan SNI 03-4804-1998, berat jenis dan penyerapan air berdasarkan SNI 1970:2016, kadar lumpur berdasarkan SNI SNI 2816:2014, dan analisis saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Material

binder didapatkan dari campuran antara *precursor* dan larutan alkali aktivator (AA). Larutan AA ini terdiri dari kombinasi antara NaOH dan Na₂SiO₃ dengan rasio 1:1 dengan molaritas 12M.

Mixed Design dan Pengujian Mortar Geopolimer. Benda uji mortar geopolimer terdiri atas 3 (tiga) variasi dan setiap variasi dibuat 3 benda uji. Variasi ini meliputi 100%FA:0%ATK (Variasi 1), 90%FA:10%ATK (Variasi 2) serta 80%FA:20%ATK (Variasi 3). Ukuran benda uji mortar geopolimer yaitu kubus berdimensi 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan *membrane curing* [12] [13] [14] [15] [16]. Jumlah total benda uji mortar geopolimer yaitu 27 buah kubus, rinciannya dapat dilihat dalam Tabel 1. *Mixed design* mortar geopolimer menggunakan metode pendekatan rasio volume, hal ini disebabkan tidak terdapat acuan ataupun standar. Maka, kisaran *mix-design* mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu dan juga dilakukan *trial mix* untuk mendapatkan *mix-design* dengan *workability* yang baik. *Workability* pada mortar geopolimer sangat dipengaruhi oleh rasio campuran antara NaOH dan Na₂SiO₃ dalam larutan alkali aktivator. Komposisi campuran mortar geopolimer dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian mortar geopolimer umur 7, 14, dan 28 hari di uji dengan pembebanan statik menggunakan alat CTM berdasarkan SNI 03-6825-2002. Pembebanan ini ditingkatkan terus hingga mortar geopolimer mengalami keruntuhan.

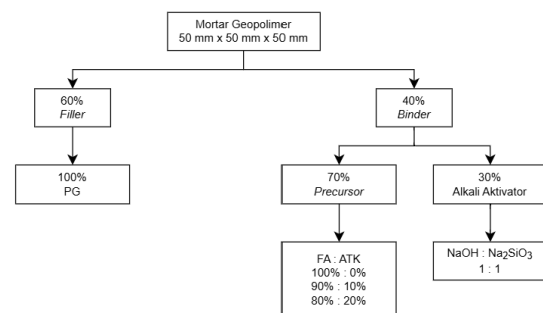
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material. Dari hasil pengujian karakteristik material penyusun campuran mortar geopolimer didapatkan berat jenis FA sebesar 2,8 gr/ cm³; berat jenis ATK sebesar 2,4 gr/ cm³; berat jenis PG sebesar 2,6 gr/ cm³. Semua data berat jenis sudah memenuhi spesifikasi karena nilai yang didapatkan berada dalam rentang 2,1 – 2,9 gr/cm³. Kadar penyerapan PG sebesar 1,8%, hal ini sudah memenuhi spesifikasi karena nilai yang didapatkan < 5%. Sementara itu; berat isi PG baik berat isi padat sebesar 1,6 gr/cm³ maupun berat isi gembur sebesar 1,5 gr/cm³; juga sudah memenuhi spesifikasi

karena nilai yang didapatkan berada dalam rentang 1,2 – 1,75 gr/cm³. Selisih antara berat isi padat dan berat isi gembur yaitu 0,1 gr/cm³ menunjukkan bahwa PG memiliki gradasi agregat yang baik. Dari uji analisis saringan diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 3,1%; hal ini juga menunjukkan bahwa sudah memenuhi spesifikasi karena nilai yang didapatkan berada dalam rentang 1,5% – 3,8%.

Tabel 1 Jumlah total benda uji

Kode Benda Uji	Rasio		Umur			Jumlah
	Precursor (%)		Pengujian Kuat Tekan (hari)			
	FA	ATK	7	14	28	
Variasi 1	100	0	3	3	3	9
Variasi 2	90	10	3	3	3	9
Variasi 3	80	20	3	3	3	9
						27



Gambar 1 Komposisi campuran mortar geopolimer

Mix-Design Mortar Geopolimer. Kadar maksimal dari limbah ATK yang digunakan sebagai substitusi parsial terhadap FA pada penelitian ini yaitu 20%. Kuat tekan rencana mortar geopolimer didesain berdasarkan SNI 03-6882-2002 ataupun ASTM C270-14 untuk kuat tekan tinggi sebesar 17,2 MPa (mortar tipe M). Proporsi campuran mortar geopolimer terkoreksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil *mix-design* mortar geopolimer

Material		Variasi Mix-design		
		1	2	3
Precursor	FA (gr)	107,0	101,6	96,3
	ATK (gr)	0	4,6	9,3
Binder	NaOH (gr)	17,6	17,6	17,6
	Na ₂ SiO ₃ (gr)	19,8	19,8	19,8
Filler	PG (gr)	214,2	214,2	214,2

Waktu Ikat Mortar Geopolimer. Waktu ikat mortar geopolimer sangat dipengaruhi oleh reaksi kimia polimerisasi pada material binder antara precursor (FA dan/atau ATK) dengan larutan alkali aktivator. Nilai waktu ikat akhir Faktor kekakuan balok laminasi pada Tabel 3 terlihat dengan pemberian sambungan pada balok mengakibatkan reduksi faktor kekakuan balok terhadap balok tanpa sambungan (BLP-B).

Kuat Tekan Mortar Geopolimer. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan mortar geopolimer mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar substitusi limbah ATK terhadap FA. Kuat tekan rata-rata maksimum mortar geopolimer tanpa substitusi parsial limbah ATK sebesar 53,7 MPa (Variasi 1) pada umur 28 hari. Untuk kadar 10% limbah ATK, kuat tekan rata-rata maksimum mortar geopolimer sebesar 41,6 MPa (Variasi 2) atau mengalami reduksi sebesar 22,5%. Untuk kadar 20% limbah ATK, kuat tekan rata-rata maksimum mortar geopolimer sebesar 24,0 MPa (Variasi 3) atau mengalami reduksi sebesar 55,3%. Aplikasi sambungan pada balok menyebabkan penurunan kekuatan balok laminasi. Perbandingan kekuatan tiap balok terlihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian memperlihatkan mortar geopolimer variasi 2 memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding mortar geopolimer variasi 3.

Dari hasil pengujian balok diperoleh grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti pada Gambar 3.

Tabel 3 Kekuatan tekan rata-rata mortar geopolimer umur 7 hari

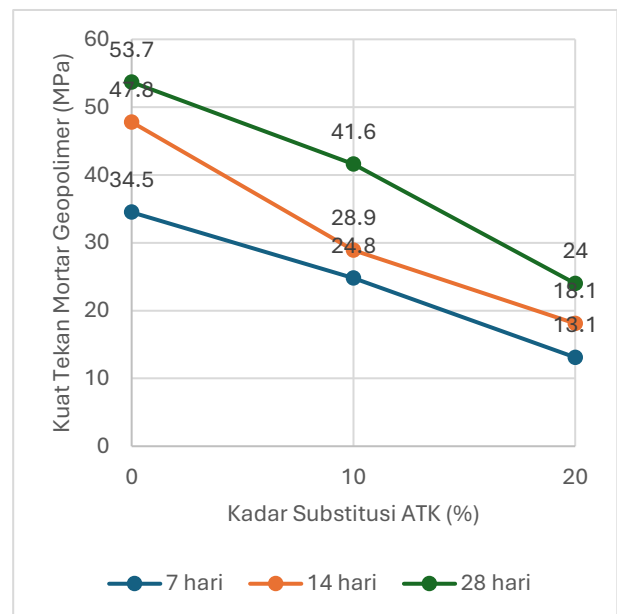
No.	Kode mortar geopolimer	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Reduksi kekuatan (%)
1	Variasi 1-1	34,7	34,5	0
2	Variasi 1-2	33,8		
3	Variasi 1-3	35,0		
4	Variasi 2-1	26,6	24,8	28,1
5	Variasi 2-2	26,8		
6	Variasi 2-3	20,8		
7	Variasi 3-1	13,1	13,1	62,0
8	Variasi 3-2	11,7		
9	Variasi 3-3	14,6		

Tabel 4 Kekuatan tekan rata-rata mortar geopolimer umur 14 hari

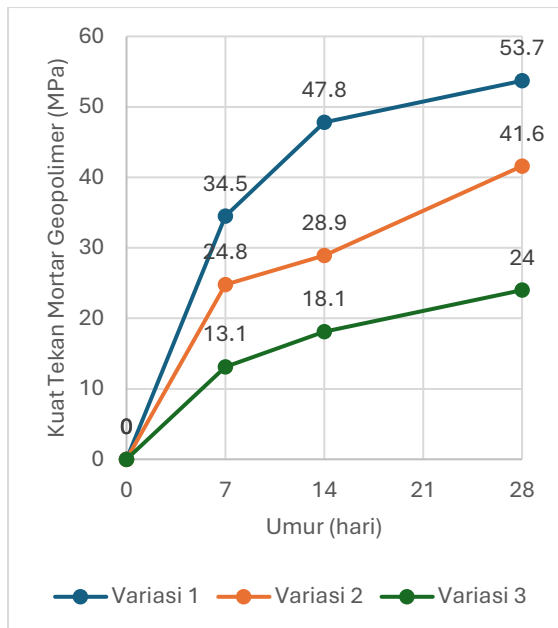
No.	Kode mortar geopolimer	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Reduksi kekuatan (%)
1	Variasi 1-1	48,9	47,8	0
2	Variasi 1-2	49,8		
3	Variasi 1-3	44,7		
4	Variasi 2-1	31,5	28,9	39,5
5	Variasi 2-2	26,3		
6	Variasi 2-3	28,8		
7	Variasi 3-1	18,4	18,1	62,1
8	Variasi 3-2	15,6		
9	Variasi 3-3	20,4		

Tabel 5 Kekuatan tekan rata-rata mortar geopolimer umur 28 hari

No.	Kode mortar geopolimer	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Reduksi kekuatan (%)
1	Variasi 1-1	54,5	53,7	0
2	Variasi 1-2	53,9		
3	Variasi 1-3	52,9		
4	Variasi 2-1	40,3	41,6	22,5
5	Variasi 2-2	42,2		
6	Variasi 2-3	42,9		
7	Variasi 3-1	24,3	24,0	55,3
8	Variasi 3-2	25,0		
9	Variasi 3-3	23,7		



Gambar 2 Keruntuhan balok BLP-B



Gambar 3 Pola peningkatan kekuatan mortar geopolimer

Kuat tekan rata-rata untuk seluruh variasi menunjukkan terjadinya peningkatan seiring dengan pertambahan umur mortar geopolimer. Hal ini berarti proses pengerasan mortar melalui reaksi kimia polimerisasi tetap berlangsung pada semua variasi, meskipun komposisi material penyusun campuran berbeda. Mortar dengan 100%FA:0%ATK (Variasi 1) menunjukkan peningkatan kuat tekan yang paling besar dan stabil pada setiap umur pengujian. Kondisi ini menandakan bahwa FA berperan aktif sebagai material *binder* utama yang paling efektif dalam pembentukan kekuatan tekan mortar geopolimer. Pada mortar 90%FA:10%ATK (Variasi 2), grafik menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan mortar 80%FA:20% ATK (Variasi 3). Hal ini mengindikasikan bahwa pada kadar tersebut, ATK mulai berperan sebagai material *filler* yang membantu memadatkan struktur mortar, sehingga laju peningkatan kekuatan tekan menjadi lebih baik dibandingkan variasi ATK yang lebih besar. Sebaliknya, pada Variasi 3, peningkatan kuat tekan masih terjadi tetapi dengan laju yang lebih lambat. Kondisi ini disebabkan oleh semakin berkurangnya FA sebagai material *binder* utama dan meningkatnya jumlah ATK yang tidak berkontribusi langsung terhadap

pembentukan ikatan polimerisasi kekuatan mortar geopolimer. Akibatnya, meskipun kuat tekan bertambah seiring waktu, nilai yang dicapai tetap lebih rendah dibandingkan variasi lainnya.

Pola Keruntuhan Mortar Geopolimer. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, terlihat bahwa pola keruntuhan mortar geopolimer berbeda pada setiap variasi campuran, Gambar 2. Pada mortar geopolimer Variasi 1, pemusatan tegangan relatif kecil karena matriks geopolimer terbentuk lebih padat dan homogen. Tegangan tekan dapat terdistribusi secara merata, sehingga mortar mampu menahan beban maksimum sebelum mengalami keruntuhan. Pada Variasi 2, pemusatan tegangan menunjukkan kondisi yang paling terkendali di antara variasi substitusi lainnya. Kombinasi FA dan ATK menghasilkan struktur yang lebih rapat sehingga tegangan dapat didistribusikan secara optimal dan kuat tekan meningkat. Pada Variasi 3, pemusatan tegangan terjadi secara dominan dan menjadi faktor utama penyebab penurunan kuat tekan. Tingginya kandungan ATK menyebabkan matriks geopolimer menjadi kurang padat dan tidak mampu mendistribusikan tegangan secara merata. Tegangan terkonsentrasi pada zona-zona lemah, khususnya di sekitar pori dan antar partikel yang tidak terikat sempurna, sehingga keruntuhan terjadi lebih cepat. Kondisi ini menunjukkan bahwa substitusi ATK yang berlebihan memperbesar pemusatan tegangan dan menurunkan kemampuan mortar dalam menahan beban tekan. Hasil pengujian BLP-B menunjukkan semua balok mengalami keruntuhan geser.



Gambar 2 Pola keruntuhan mortar geopolimer

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi campuran mortar geopolimer sudah mencapai kuat tekan mortar rencana yaitu $> 17,2$ MPa sehingga dapat dikategorikan mortar tipe M. Berdasarkan ASTM C270-14, mortar tipe M ini dapat diaplikasikan untuk dinding bata bertulang, dinding dekat tanah, dinding penahan, jalan dan pasangan fondasi. Variasi 2 dengan kadar substitusi parsial 10% limbah ATK terhadap FA menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata paling maksimal sebesar 41,6 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan ini memiliki peningkatan sebesar 58,65% dibandingkan mortar geopolimer tanpa limbah ATK (Variasi 1). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah ATK sebagai substitusi parsial FA (*binder*) dalam pembuatan mortar geopolimer ternyata mampu menghasilkan alternatif material konstruksi yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. N. Arini, N. Warastuti and M. W. K. Darmawan, "Analisis Kuat Tekan Dengan Aplikasi Ground Granulated Blast Furnace Slag sebagai Pengganti sebagian Semen pada Campuran Beton," *Jurnal Konstruksia*, vol. 10, no. 2, pp. 89-94, 2019.
- [2] S. K. Angelika, E. Desimaliana and M. Khanza, "Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, p. 157, 2023.
- [3] E. Desimaliana, A. R. Ma'ruf and R. D. Shima, "Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang sebagai Substitusi Binder pada Campuran Mortar Geopolimer," *JoSC (Journal of Sustainable Construction)*, vol. 4, no. 2, pp. 48-53, 2025.
- [4] E. Desimaliana, R. D. Shima and F. Musyaffa, "Analisis Biaya terhadap Pengaruh Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Beton Geopolimer," *JoSC (Journal of Sustainable Construction)*, vol. 3, no. 2, pp. 45-53, 2024.
- [5] M. F. Mualim, E. Desimaliana and R. D. Shima, "Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 12, no. 2, pp. 186-193, 2025.
- [6] N. A. Pratama and E. Desimaliana, "Pengaruh Substitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, p. 51, 2024.
- [7] F. G. Sandika, E. Desimaliana and R. D. Shima, "Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Mortar Geopolimer," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 11, no. 1, p. 52, 2025.
- [8] A. J. Adeala, J. O. Olaoye and A. A. Adeniji, "Potential Of Coconut Shell Ash As Partial Replacement Of Ordinary Portland Cement In Concrete Production," *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, vol. 9, no. 1, pp. 47-53, 2020.
- [9] A. Anisa, Z. Zainuri and S. W. Megasari, "Kekuatan Tekan dan Penyerapan Mortar Geopolimer dengan Bahan Tambah Limbah Abu Tempurung Kelapa," *Jurnal Konstruksia*, vol. 16, no. 1, pp. 34-40, 2024.
- [10] A. Setiawan, A. B. Risman, J. Juliyatna, R. Faturachman, S. Octaviani S. and H. K. Buwono, "Beton Geopolimer Abu Serabut Kelapa," *Jurnal Konstruksia*, vol. 6, no. 2, pp. 91-97, 2015.
- [11] A. P. Sihombing, Y. Afrizal and A. Gunawan, "Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar," *Jurnal Inersia*, vol. 10, no. 1, pp. 31-38, 2018.
- [12] Z. Zhafirin, Pengaruh Penambahan Abu Terbang Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar Paving Block. Tugas Akhir, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, 2012.
- [13] E. Desimaliana, E. Widyaningsih, A. Q. N. Kaltsum and T. I. Setiana, "Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Metode Curing Pembasahan," *Jurnal Proyek Teknik Sipil (POTENSI)*, vol. 8, no. 1, pp. 1-8, 2025.
- [14] E. Desimaliana, E. Widyaningsih and A. Q. N. Kaltsum, "The effect of curing method on geopolymer concrete compressive strength," in *International Conference on Green Technology and Design (ICGTD) 2024*, Bandung, 2025.
- [15] N. V. Diredja, E. Desimaliana and Y. A. Pranata, "Performance evaluation of steam and membrane curing on geopolymer mortar with fly ash and carbide waste," in *The 2nd International Conference on Sustainable Environment, Development, and Energy (CONSER 2025)*, Yogyakarta, 2026.
- [16] T. Hidayattulloh and E. Desimaliana, "Pengaruh Oven Curing Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Substitusi Limbah Karbit," *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 470-476, 2025.
- [17] A. Q. N. Kaltsum and E. Desimaliana, "Studi Eksperimental Kuat Tekan Mortar Geopolimer Substitusi Limbah Kaca sebagai Filler dengan Metode Perawatan Membran," *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, vol. 10, no. 2, pp. 159-170, 2025.