

PENGARUH *OVEN CURING* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN SUBSTITUSI LIMBAH KARBIT

Taufik Hidayattulloh¹, Erma Desimaliana^{2*}

Prodi Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung ^{1,2}

E-Mail : taufik.hidayattulloh@mhs.itenas.ac.id¹, ermadesmaliana@itenas.ac.id²

ABSTRAK

Limbah karbit memiliki kandungan senyawa kimia yg bersifat pozzolan yaitu kalsium oksida (CaO) yang tinggi, alumunium oksida (Al₂O₃) dan silicon dioksida (SiO₂). Maka, limbah karbit dapat dijadikan material substitusi *binder* (abu terbang) dalam campuran mortar geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode perawatan *oven* terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan substitusi *binder* menggunakan limbah karbit secara eksperimental di laboratorium. Kadar substitusi limbah karbit terhadap abu terbang sebesar 0%:100%, 20%:80%, 40%:60%, dan 60%:40%. Sampel uji mortar geopolimer berbentuk kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm; yang akan diuji kuat tekannya pada umur 7, 14, dan 28 hari. Dari hasil uji kuat tekan rata-rata mortar geopolimer diperoleh nilai terbesar sebesar 22,285 MPa pada substitusi limbah kerang dengan persentase 60% pada umur 28 hari. Semakin tinggi persentase substitusi limbah kerang dalam campuran mortar geopolimer, ternyata meningkatkan kuat tekan rata-rata mortar geopolimer. Kuat tekan rata-rata seluruh variasi substitusi limbah karbit pun mencapai kuat tekan mortar tipe M di atas 17,16 MPa sesuai ASTM C270. Oleh karena itu, limbah karbit dapat direkomendasikan sebagai alternatif material konstruksi ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata Kunci : kuat tekan, limbah karbit, mortar geopolimer, *oven curing*

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi bangunan yang umum digunakan di Indonesia, karena sifat mekanisnya yang sangat baik [1]. Akan tetapi beton ternyata tidak ramah lingkungan karena terbuat dari semen. Industri semen memiliki dampak buruk terhadap lingkungan global, terutama CO₂ (karbon dioksida) yang dihasilkan dari pemrosesan bahan baku semen sehingga lingkungan menjadi tercemar dan terjadinya anomali iklim. Oleh karena itu, diperlukan resolusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penggunaan beton bebas semen, seperti beton geopolimer, dapat menjadi salah satu resolusinya.

Beton geopolimer terbuat dari material aluminosilikat yang berasal dari limbah hasil industri, salah satunya yaitu

abu terbang (AT). AT berfungsi sebagai material pengikat (*binder*) dalam komposisi material penyusunnya. AT merupakan limbah hasil pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Hertianisya & Prasetya, 2023), halmana jumlahnya akan bertambah seiring dengan berproduksinya industri. AT berupa serbuk yang sangat ringan dan berwarna keabu-abuan (Putri & Herlina, 2021). AT dikenal sebagai salah satu alternatif material oksida anorganik sebagai pengikat (*binder*) yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer, karena kandungan SiO₂ (silika) yang dimilikinya sebanyak 58,20% (Mahendra & Risdianto, 2019).

Selain menggunakan material AT, beton geopolimer pun dapat berinovasi dengan menggunakan material limbah karbit (LK). LK merupakan hasil sampingan penguapan dari interaksi

antara CaC_2 (kalsium karbida) dan H_2O (air) sehingga menghasilkan C_2H_2 (gas asetilena) dan Ca(OH)_2 (kalsium hidroksida) (Agus, 2020) (Pratiwi & Wardana, 2022). Gas asetilena biasanya sering dimanfaatkan dalam kegiatan pemurnian biji besi, pengelasan (bengkel), pemotongan logam, serta pematangan buah. LK awalnya berbentuk koloid semi cair (Saputra dkk., 2020), lalu menguap berubah menjadi gumpalan yang rapuh dan mudah dihancurkan menjadi serbuk halus (Purnamasari dkk., 2018) (Aswir Makmuk & Patrioka, 2023). LK memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat sekitarnya seperti mengotori sanitasi, menimbulkan bau tidak sedap, menyebabkan pencemaran air tanah dan permukaan, serta berbahaya bagi kesehatan.

Limbah karbit (LK) dapat dimanfaatkan sebagai material substitusi AT pada beton geopolimer. Hal ini dikarenakan kandungan kalsium oksida (CaO) dalam limbah karbit tergolong tinggi yaitu 95,37% []. Kalsium oksida (CaO) umumnya dikenal sebagai kapur, sehingga limbah karbit yang dapat digolongkan menjadi limbah B3 dari sumber yang spesifik D243 berdasarkan PP RI No. 101 tahun 2014 sehingga perlu dilakukan pengelolaan dan pemanfaatan untuk mengurangi LK tersebut. LK berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi material substitusi AT dengan proses polimerisasi yang tepat [] sehingga menghasilkan beton dengan kualitas yang tinggi dan ramah bagi lingkungan (Dewi dkk., 2016).

Mortar geopolimer ini merupakan jenis mortar geosintetik yang menggunakan bahan pozzolanik dengan kandungan unsur alumina (Al) dan silika (Si) (Handi et al., 2022). Kedua unsur ini akan bereaksi dengan bantuan larutan sodium silikat dan sodium hidroksida untuk menyatukan agregat, pasir, serta bahan lainnya menjadi mortar geopolimer

(Kusuma, 2014 dalam jurnal Sandya et al., 2019).

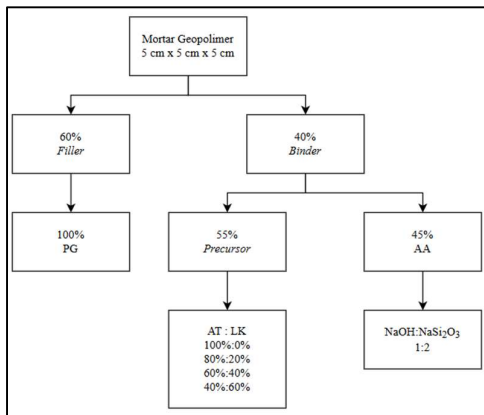
Beberapa tahun ini, penelitian mengenai campuran senyawa CaO hasil limbah mulai populer terutama sebagai bahan dasar pembuatan *paving block* halmana kuat tekannya dapat meningkat hingga 17% [32] sehingga mengundang perhatian beberapa peneliti untuk melanjutkan mengadopsinya pada beton struktural. Senyawa CaO ternyata berpotensi untuk meningkatkan kekuatan karakteristik tekan beton. Namun, belum banyak penelitian mengenai variasi dan komposisi LK sebagai substitusi AT dengan *oven curing*, serta pengaruhnya terhadap kuat tekan. Penelitian mengenai variasi dan komposisi penggunaan LK sangat penting untuk memperdalam pemahaman terhadap karakteristik mortar geopolimer. Pemahaman dan pengetahuan ini diperlukan sebagai acuan *mixed design* dan spesifikasi mortar geopolimer. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian terhadap *mix design* variasi komposisi kandungan CaO dari hasil pengolahan LK.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengujian kualitas material penyusun campuran mortar geopolimer, baik material *binder* maupun material *filler*. Adapun pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui mutu material penyusunnya apakah sudah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 03-1968-1990, SNI 03-4804-1998, SNI 03-6825-2002, SNI 1970:2008, SNI 1971:2011 dan SNI 2861:2014. Jenis-jenis pengujiannya meliputi uji berat jenis dan kadar penyerapan baik material pengikat maupun material pengisi, serta modulus kehalusan material pengisi.

Hasil pengujian berat jenis material penyusun menjadi acuan untuk menentukan *trial and error mix design* campuran mortar geopolimer. Komposisi

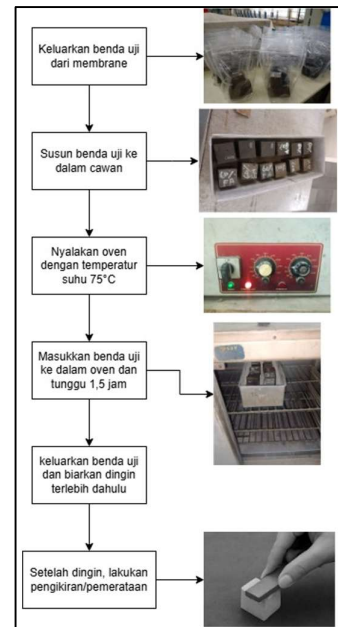
material penyusun mortar geopolimer yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil dari *trial and error mix design* penelitian-penelitian terdahulu [...], yang tersusun atas 60% *filler* dan 40% *binder*. *Binder* tersusun atas 55% *precursor* (AT dan/atau LK) dan 45% alkali aktivator (AA) dengan konsentrasi 10M. AA tersusun atas Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dengan rasio 1:2. Komposisi material penyusun mortar geopolimer disajikan pada Gambar 1. Kadar substitusi LK sebesar 0%, 20%, 40% dan 60% terhadap AT. LK digunakan pada penelitian ini adalah hasil industri bengkel las di Kota Bandung daerah Material lainnya yang digunakan yaitu agregat halus berupa Pasir Galunggung (PG), AT kelas F dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton.



Gambar. 1 Komposisi Campuran Mortar Geopolimer

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) pada benda uji berumur 7, 14 dan 28 hari. Benda uji mortar geopolimer berbentuk kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm sesuai dengan SNI 03-6825-2002. Total benda uji mortar geopolimer disajikan pada Tabel 1. Metode perawatan yang diaplikasikan pada mortar geopolimer yaitu *oven curing*, halmana setelah benda uji mengeras dikeluarkan

dari cetakan lalu dibungkus terlebih dahulu dengan menggunakan plastik kedap air sampai sebelum hari H pengujian kuat tekan mortar geopolimer. Benda uji dikeluarkan dari plastik kedap air dan disusun dalam cawan sebelum dimasukkan ke dalam oven. Oven dinyalakan dan di-*setting* temperatur suhunya sebesar 75°C. Lalu, benda uji dimasukkan ke dalam oven selama ±1,5 jam, lalu dikeluarkan dan didinginkan terlebih dahulu 1 – 2 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan supaya menghasilkan mutu sesuai dengan ASTM C270. Gambar 2 memperlihatkan metode *oven curing* pada benda uji mortar geopolimer.



Gambar. 2 Metode *Curing Oven*

Tabel. 1 Jumlah Benda Uji Mortar Geopolimer per Umur

Variasi	Jumlah Benda Uji		
	7 hari	14 hari	28 hari
1 (100%AT:0%LK)	3	3	3
2 (80%AT:20%LK)	3	3	3
3 (60%AT:40%LK)	3	3	3
4 (40%AT:60%LK)	3	3	3

HASIL PENELITIAN

Hasil Pengujian Kualitas Material *Filler*

Material *filler* berupa agregat halus yaitu Pasir Galunggung (PG) yang berasal dari Tasikmalaya; lolos saringan no. 4 ukuran 4,75 mm. Sifat fisik material *filler* seperti berat jenis, berat isi, kadar air, kadar lumpur dan modulus kehalusan dapat diketahui setelah dilakukan pengujian kualitas material. Data pengujian ini bertujuan untuk memastikan terpenuhinya standar kualitas material yang ditetapkan. Tabel 2 menyajikan hasil pengujian kualitas PG yang digunakan.

Tabel. 2 Hasil Pengujian Kualitas Material *Filler*

Pengujian	Rerata	Standar Kualitas	Keterangan
Berat jenis [gr/cm ³]	2,46	2,1-2,9	Memenuhi
Absorpsi [%]	3,32	<5	Memenuhi
Berat isi [gr/cm ³]			
- padat	1,60	1,2-1,75	Memenuhi
- gembur	1,57	1,2-1,75	Memenuhi
Kadar air [%]	2,58	<5	Memenuhi
Kadar lumpur [%]	3,17	<5	Memenuhi
Modulus kehalusan [%]	2,87	1,5-3,8	Memenuhi

Dari Tabel 2, seluruh parameter yang diuji sudah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Hasil Pengujian Kualitas Material *Binder*

Material *binder* berupa abu terbang (AT) tipe F yang berasal dari PLTU Paiton dan limbah karbit (LK) berasal dari Kota Bandung. LK lolos saringan no. 200. Sifat fisik material *binder* yang diuji hanya berat jenisnya saja. Data pengujian ini bertujuan untuk memastikan terpenuhinya standar kualitas material yang ditetapkan dan keakuratan data sebagai acuan dalam *trial and error mix design*. Tabel 3 menyajikan hasil uji kualitas AT dan LK yang digunakan. Tabel 3 menyajikan hasil pengujian kualitas AT dan LK yang digunakan.

Tabel. 3 Hasil Pengujian Kualitas Material *Binder*

Pengujian	Rerata	Standar Kualitas	Keterangan
Abu Terbang (AT) Berat jenis [gr/cm ³]	2,67	2,1-2,9	Memenuhi
Limbah Karbit (LK) Berat jenis [gr/cm ³]	2,22	2,1-2,9	Memenuhi

Dari Tabel 3, seluruh parameter yang diuji sudah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Hasil *Mixed Design* Mortar Geopolimer

Kadar maksimal dari LK yang digunakan sebagai substitusi AT yaitu 60%. Kuat tekan rencana mortar geopolimer dirancang berdasarkan ASTM C270 untuk mortar tipe M sebesar 17,16 MPa. Proporsi campuran mortar geopolimer terkoreksi disajikan pada Tabel 4. Variasi 1 100%FA:0%LK (mortar geopolimer kontrol), variasi 2 80%FA:20%LK, variasi 3 60%FA:40%LK dan variasi 4 40%FA:60%LK.

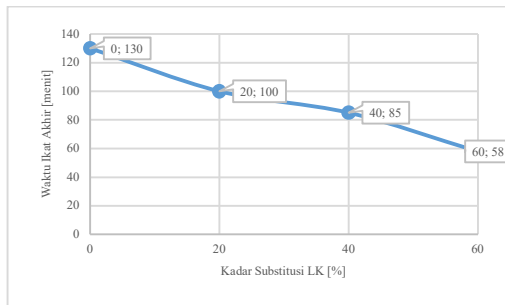
Tabel. 4 Hasil *Mixed-Design* Mortar Geopolimer

Material	Variasi <i>Mixed-Design</i>			
	1	2	3	4
AT [gr]	88,24	70,59	52,95	35,30
LK [gr]	0	14,67	29,34	44,02
PG [gr]	228,69	228,69	228,69	228,69
NaOH [%]	19,17	19,17	19,17	19,17
Na ₂ SiO ₃ [%]	43,20	43,20	43,20	43,20

Hasil Pengujian Waktu Ikat Mortar Geopolimer

Reaksi kimia polimerisasi antara prekursor (AT dan/atau LK) dengan larutan AA ternyata sangat berpengaruh terhadap hasil pengujian waktu ikat mortar geopolimer. Nilai waktu ikat akhir diperoleh dari lamanya waktu pengerasan antara pasta AT dan/atau LK pada campuran mortar geopolimer. Nilai waktu ikat akhir yang optimal akan menghasilkan benda uji mortar geopolimer dengan kuat tekan maksimum. Hasil uji waktu ikat akhir

seluruh variasi campuran mortar geopolimer disajikan pada Gambar 3.



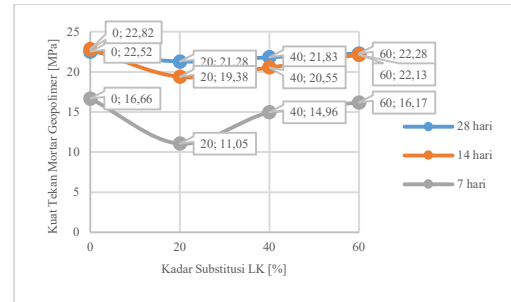
Gambar. 3 Pengujian Waktu Ikat Akhir Mortar Geopolimer

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar kadar substitusi LK terhadap AT maka semakin cepat pula waktu ikat akhirnya. Hal ini dikarenakan kandungan unsur Si yang terkandung dalam LK sangat kecil sebesar 0,94%. Mortar geopolimer ternyata mengalami proses pengerasan tercepat pada kadar substitusi LK sebesar 60% selama ± 58 menit, sedangkan waktu ikat akhir yang paling lama terdapat pada kadar substitusi LK 0% selama ± 130 menit. Oleh karena itu, komposisi material *binder* (AT dan/atau LK) dalam campuran mortar geopolimer ternyata sangat mempengaruhi nilai waktu ikat akhir sehingga diperlukan material tambahan lainnya seperti *retarder* untuk memperlambat waktu ikat akhir mortar geopolimer jika ingin menggunakan LK sebagai substitusi AT.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

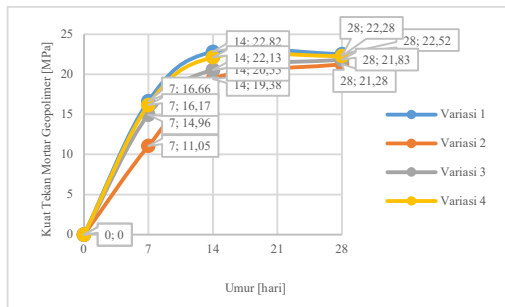
Kuat tekan mortar geopolimer dengan *oven curing* ternyata mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kadar substitusi LK terhadap AT. Kuat tekan rerata mortar geopolimer pada variasi 1, variasi 2, variasi 3 dan variasi 4 berturut-turut pada umur 28 hari sebesar 22,52 MPa; 21,28 MPa; 21,83 MPa dan 22,29 MPa. Nilai kuat tekan rerata ini ternyata melebihi kuat tekan mortar tipe

M yaitu 17,16 MPa untuk kegunaan dinding bata bertulang seperti pada ASTM C270. Gambar 4 menyajikan pola peningkatan kuat tekan rerata mortar geopolimer.



Gambar. 4 Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Kuat tekan rerata untuk seluruh variasi menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya umur mortar geopolimer. Semakin besar kadar substitusi LK terhadap AT juga memperlihatkan pola peningkatan kuat tekan reratanya. Oleh karena itu, ternyata LK memberikan pengaruh sangat baik terhadap reaksi kimia polimerisasi yang terjadi antara *precursor* dan AA. Mortar geopolimer memiliki kuat tekan rerata maksimal yaitu pada variasi 4, dengan kadar substitusi LK sebesar 60% terhadap AT. Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan bahwa seluruh variasi kadar substitusi LK mencapai kuat tekan rencana pada umur 14 dan 28 hari dapat disajikan pada Gambar 4. Dari Gambar 5 tersaji bahwa kadar optimal pemanfaatan LK sebagai substitusi AT dalam campuran mortar geopolimer yaitu 60% (variasi 4) terhadap kekuatan tekannya.



Gambar. 5 Hubungan Umur Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran variasi 4 memiliki hasil kekuatan tekan mortar yang maksimal, sehingga dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan sebagai dinding bata bertulang karena kekuatannya telah melampaui 17,16 MPa (mortar tipe M berdasarkan ASTM C270). Substitusi AT dengan LK sebesar 60% menunjukkan potensi dan manfaat yang baik, hal ini terlihat dari kekuatan tekan mortar pada hari ke-28 mirip dengan kekuatan tekan mortar geopolimer tanpa LK akibat pengaruh *oven curing*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan LK sebagai salah satu material penyusun mortar geopolimer ternyata mampu menghasilkan alternatif material konstruksi bangunan yang berkelanjutan dan juga ramah lingkungan. Dari hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kadar substitusi LK sebesar 60% terhadap AT (variasi 4) dengan *oven curing* ternyata mampu menghasilkan kekuatan tekan mortar maksimal pada usia 28 hari yaitu sebesar 22,29 MPa yang tercapainya kekuatan tekan mortar tipe M yang disyaratkan ASTM C270. Oleh karena itu, pemanfaatan LK sebagai substitusi AT berpotensi untuk diaplikasikan sebagai elemen dinding bata bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, D., et al., 2012. Efek Perawatan terhadap Karakteristik Beton Geopolimer. POLI-TEKNOLOGI, 11(1).
- ACI Committee 226. 1988. Use of Fly Ash in Concrete. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Angelika, S. K., et al., 2023. Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 9(2), 157–166.
- ASTM C270-10. 2010. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.masonryinstitute.com/wp-content/uploads/ASTM_C270-10.pdf](http://www.masonryinstitute.com/wp-content/uploads/ASTM_C270-10.pdf)
- ASTM C618-12. 2012. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. [Online]. Available: <https://www.astm.org/c0618-12.html>
- Davidovits, J. 1994. Properties of Geopolymer Cements. Kiev: Kiev State Technical University.
- Davidovits, J. 1997. Geopolymer Inorganic Polymer New Material. France: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J. 1999. Chemistry of Geopolymer System, Terminology. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference. France: Saint-Quentin.
- Davidovits, J. 2008. Geopolymer: Chemistry and Application. France: Geopolymer Institute.
- Desimaliana, E. et al., 2024. Analisis Biaya terhadap Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Mortar Geopolimer. JoSC: Journal of Sustainable Construction, 3(2), 45–53. DOI: 10.26593/josc.v3i2.7905.

- Desimaliana, E., et al., 2025. Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang sebagai Substitusi Binder pada Campuran Mortar Geopolimer. *JoSC: Journal of Sustainable Construction*, 4(2), 48–53. DOI: 10.26593/josc.v4i2.9258.
- Desimaliana, E., et al., 2025. Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Curing Pembasahan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil (POTENSI)*, 8(1), 1–8. DOI: 10.14710/potensi.2025.25933.
- Fansuri, H., et al., 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Akta Kimindo*, 3(2).
- Hasner, K. E., et al., 2019. Variasi Campuran Alkali Aktivator pada Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Abu Cangkang Telur Bebek pada Proses Pengovenan. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, XIV(1).
- Hartono, J., et al., 2022. Komparasi Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Metode *Curing Oven* dan Suhu Ruang. *Teras Jurnal*, 12(2).
- Hendriyani, S. D. A., et al., 2019. Perbandingan Beton Geopolymer dengan Molaritas 10M Umur 28 Hari Curing Oven dan Suhu Ruang. *Seminar Intelektual Muda #2*.
- Manuahe, R., et al., 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6).
- Muhrodi, et al., 2023. Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Penambahan Limbah Las Karbit. *PORTAL: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1).
- Pratama, N. A., et al., 2024. Pengaruh Substitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 51–59.
- Salain, I. M. A. K., et al., 2020. Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1).
- Sandika, F. G., et al., 2025. Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 52–62.
- Wallah, S. E., 2014. Pengaruh Perawatan dan Umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1).
- Wang, J., et al., 2020. Study on the optimum initial curing condition for fly ash and GGBS based geopolymer recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 247(118540).
- Widyaningsih, E., et al., 2022. Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 8(3).