JURNAL TEKNIK SIPIL
MACCA

Vol. 10, No. 2, JUNI 2025
E-ISSN: 2720-9199
DOI: https://doi.org/10.33096/w5ht8a61

Studi Eksperimental Kuat Tekan Mortar Geopolimer Substitusi Limbah Kaca Sebagai *Filler* dengan Metode Perawatan Membran

Almas Qothrun Nada Kaltsum, Erma Desimaliana *

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Insitut Teknologi Nasional Bandung, Kota Bandung
*Email ermadesmaliana@itenas.ac.id

Diajukan: 19 Juni 2025, Revisi: 20 Juni 2025, Diterima: 30 Juni 2025

Abstract

Geopolymer mortar is an environmentally friendly mortar that uses materials with high silica content such as fly ash. Geopolymer mortar with glass powder substitution consists of a binder material in the form of fly ash that reacts with an alkali activator solution, and filler material is usually sand that can be substituted with glass waste. The alkali activator used is a 10M NaOH solution and a Na2SiO3 solution with a ratio of 1:3, while the ratio of aggregate and binder is 70%:30%. In this study, a membrane treatment method was carried out with the number of test objects for each variation of 3 test objects and a mortar compressive strength test was carried out at the ages of 7, 14, and 28 days on cube-shaped test objects measuring 5 cm × 5 cm × 5 cm as many as 9 test objects. Based on the results of the compressive strength test, a graph of the relationship between the compressive strength of geopolymer mortar and the age of geopolymer mortar was obtained, the compressive strength value of the mortar with the membrane treatment method was 19.51 MPa so that it can be classified as a type M mortar based on ASTM C-270.

Keywords: compressive strength, glass waste, geopolymer mortar, membrane curing

Abstrak

Mortar geopolimer merupakan mortar ramah lingkungan yang menggunakan material dengan kandungan silika tinggi seperti abu terbang. Mortar geopolimer dengan substitusi serbuk kaca tersusun atas material pengikat berupa abu terbang yang bereaksi dengan larutan alkali aktivator, serta material pengisi biasanya pasir yang dapat disubstitusikan dengan limbah kaca. Alkali aktivator yang digunakan yaitu larutan NaOH konsentrasi 10M dan larutan Na_2SiO_3 dengan perbandingan 1:3, sedangkan perbandingan agregat dan pengikatnya sebesar 70%:30%. Pada penelitian ini dilakukan metode perawatan *membrane* dengan jumlah benda uji setiap variasinya sebanyak 3 benda uji dan dilakukan pengujian kuat tekan mortar pada umur 7, 14, dan 28 hari terhadap benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm sebanyak 9 benda uji. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan mortar geopolimer dan umur mortar geopolimer, didapatkan nilai kuat tekan mortar dengan metode perawatan *membrane* sebesar 19,51 MPa sehingga dapat diklasifikasikan sebagai mortar tipe M berdasarkan ASTM C-270.

Kata Kunci: *kuat tekan, limbah kaca, mortar geopolimer, perawatan membrane*

1. PENDAHULUAN

Beton adalah bahan konstruksi yang sering digunakan karena kemampuannya menahan tekanan yang tinggi. Material ini terdiri dari agregat halus (seperti pasir), agregat kasar (seperti kerikil), dan semen. Beton memiliki peranan yang krusial dalam pembangunan berbagai infrastruktur. Pembangunan infrastruktur menjadi faktor penting dalam

mempercepat perkembangan nasional di Indonesia, termasuk dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan, bendungan, dan lain-lain

Beton sangat banyak digunakan, karena bahan pembuatannya mudah didapat, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana. Namun, akhir-akhir ini mortar semakin sering mendapat kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup, karena emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen. Beton geopolimer merupakan inovasi dalam dunia konstruksi yang menawarkan alternatif ramah lingkungan dibandingkan dengan beton konvensional.

Beton ini dibuat dengan menggunakan bahan pengikat yang berasal dari sumber aluminosilikat, yang dapat dihasilkan dari limbah industri, termasuk limbah kaca. Pada penelitian ini akan dibuat beton geopolimer namun dengan menggunakan benda uji mortar. Proses pembuatan mortar geopolimer tidak hanya mengurangi ketergantungan pada semen portland, yang merupakan salah satu penyumbang utama emisi karbon dioksida, tetapi juga memberikan solusi untuk mengurangi akumulasi limbah kaca yang sulit terurai.

Dalam hal ini, limbah kaca bisa menjadi alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan subtitusi agregat halus karena kaca terdiri dari silika (SiO_2) yang tinggi yang merupakan komponen utama dalam pembuatan geopolimer. Silika dapat bereaksi dengan alkali dalam larutan aktivator untuk membentuk jaringan ikatan yang kuat, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan mortar geopolimer. Agar memperoleh kekuatan mortar geopolimer yang sangat optimal, maka harus diperhatikan metode perawatan setelah mortar geopolimer dicetak. Metode perawatan seringkali dilakukan pada umur awal, hal ini untuk menjaga mutu mortar geopolimer.

Oleh karena itu, penelitian ini akan menguji karakteristik mortar geopolimer dengan penggantian limbah kaca 100% terhadap *filler*-nya dan pengaruh metode perawatan *membrane* terhadap kekuatannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Geopolimer

Menurut SNI-2847-2013 beton (*concrete*) adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agaregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Sementara itu, beton geopolimer merupakan beton yang ramah lingkungan karena beton tersebut tidak mengunakan semen sama sekali. Geopolimer yaitu material yang mempunyai sifat seperti hasil hidrasi semen dan air, sehingga dapat menjadi *binder* namun komposisinya tidak sama seperti semen, akan tetapi komposisinya lebih ke arah keramik yang hanya mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3).

Beton geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional (Davidovits, J., 1997; Davidovits, J., 1999; Davidovits, J., 2008). Dalam pembuatan beton geopolimer diperlukan alkali aktivator yang berfungsi mengikat agregat karena abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen.

B. Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer adalah jenis mortar yang memanfaatkan material geopolimer sebagai pengganti semen Portland. Geopolimer terdiri dari material anorganik, seperti abu terbang, pasir, limbah kaca, dan material lainnya yang kaya akan silika dan alumina, yang dapat bereaksi dengan larutan alkali untuk membentuk material pengikat. Salah satu keunggulan

geopolimer adalah kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta dampak lingkungan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan semen Portland. Namun, proses pembuatan geopolimer memerlukan material dan langkah-langkah yang lebih kompleks. Namun demikian, geopolimer semakin diminati sebagai alternatif yang lebih tahan lama dan juga hemat.

Menurut ASTM C-270 klasifikasi mortar berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi: tipe K biasanya adukan mortar dengan kuat tekan rendah, digunakan untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban, kuat tekan minimumnya adalah 5 kg/cm^2; tipe M biasanya adukan mortar dengan kuat tekan yang tinggi, digunakan untuk dinding bata bertulang, dinding dekat tanah, pasangan pondasi, adukan pasangan pipa air kotor, adukan dinding penahan dan adukan untuk jalan, kuat tekan minimumnya adalah 175 kg/cm^2; tipe N biasanya adukan mortar kuat tekan sedang, diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping, kuat tekan minimunya adalah 124 kg/cm^2; tipe O biasanya adukan dengan kuat tekan rendah, digunakan untuk konstruksi yang tidak menahan beban yang lebih dari 7 kg/cm^2 dan gangguan cuaca tidak berat, kuat tekan minimumnya adalah 24,5 kg/cm^2; serta tipe S biasanya adukan dengan kuat tekan sedang, digunakan untuk pasangan terbuka di atas tanah, kuat tekan minimumnya adalah 52,5 kg/cm^2.

C. Agregat

Agregat adalah material granular, seperti kerikil, pasir, dan batu pecah, yang digunakan bersama dengan bahan pengikat untuk membentuk mortar. Dalam campuran mortar, agregat berfungsi sebagai pengisi (*filler*) dan penguat (*reinforcement*), dengan proporsi agregat yang mencapai sekitar 60% – 70% dari total volume mortar, sehingga agregat memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mortar. Agregat dibedakan berdasarkan ukuran, di mana agregat dengan ukuran antara 0,075 mm hingga 4,76 mm disebut agregat halus atau pasir, sedangkan agregat dengan ukuran antara 4,75 mm hingga 150 mm disebut agregat kasar atau kerikil.

Menurut SNI 03-2834-2000 Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm; sedangkan agregat kasar adalah kerikil alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

Agregat halus adalah mineral alami yang berasal dari pasir buatan yang dibuat oleh alat pemecah batu (*stone crusher*). Agregat halus digunakan dalam pembuatan mortar untuk meningkatkan sifat-sifat seperti *workability*, kekuatan, dan ketahanan terhadap retak.

D. Abu Terbang

Abu terbang biasanya dihasilkan dari sisa pembakaran industri batu bara (terutama PLTU). Abu terbang digunakan sebagai material pengganti semen dalam produksi mortar, karena abu terbang ini bersifat *pozzolan*. Material pozzolanik biasanya material yang mengandung senyawa silika dan alumina sehingga dapat menghasilkan kepadatan yang lebih baik, dan meningkatkan kapasitas tekan mortar (Manuahe, R., et al., 2014; Pratama, S., dan Risdianto, Y., 2019; Putri, A. A., dan Herlina, L.. 2021; Salain, I., et al, 2020). Komposisi abu terbang tersusun atas silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), dengan jumlah sedikit magnesium, potassium, sodium, titanium, dan sulfur.

Menurut ASTM C618-12 komposisi klasifikasi abu terbang dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu: kelas C biasanya mengadung CaO di atas 10% dan abu terbangnya dihasilkan dari pembakaran ligmit atau batu bara dengan karbon ± 60% atau sub bitumen;

kelas F biasanya mengandung CaO lebih kecil dari 10% dan abu terbangnya dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis anthrchacite pada suhu 1560^{o}C, bersifat sifat *pozzolan*; serta kelas N biasanya pozzolan alami atau hasil pembakaran yang dapat dikategorikan dalam beberapa jenis, seperti tanah diatomic, opalin chertz, shales tuff, dan abu vulkanik, halmana diproses melalui pembakaran atau tanpa melalui proses pembakaran, juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

E. Air

Penggunaan air dalam mortar geopolimer sebagai material pengikat dalam proses pencairan larutan NaOH untuk membuat alkali aktivator memiliki pengaruh signifikan. Semakin banyak air yang ditambahkan ke dalam larutan NaOH, maka molaritas yang dihasilkan akan semakin rendah, sehingga daya ikat terhadap abu terbang juga akan menurun. Artinya, penambahan air yang berlebihan dapat mengurangi efektivitas alkali aktivator dalam mengikat abu terbang, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kualitas mortar geopolimer yang dihasilkan.

F. Alkali Aktivator

Aktivator alkali berfungsi untuk mengikat oksida silika yang terdapat dalam abu terbang dan akan mengalami reaksi kimia sehingga menghasilkan ikatan polimer. Dalam pembuatan mortar geopolimer, larutan alkali yang seringkali digunakan adalah campuran Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3).

NaOH yang digunakan sebagai alkali aktivator, berfungsi untuk mereaksi unsur-unsur alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung pada abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Salwatul, N., 2017). Na_2SiO_3 yang digunakan sebagai katalisator yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Katalisator juga digunakan dalam proses pembuatan mortar geopolimer.

G. Limbah Kaca

Penggunaan limbah kaca adalah salah satu cara untuk mendaur ulang yang bertujuan mengurangi limbah dan memanfaatkan sisa kaca yang akan dibuang. Limbah kaca yang digiling menjadi halus menunjukkan peningkatan sifat *pozzolan* seiring dengan berkurangnya ukuran partikel. Kaca dapat dianggap sebagai alternatif yang paling tepat untuk menggantikan sebagian agregat halus dan semen, karena memiliki komposisi kimia dan sifat fisik yang baik. Limbah kaca dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau seluruh pasir dalam campuran mortar geopolimer (Angelika, S. K., et al., 2023; Sandika, F. G., et at al., 2025). Kaca merupakan bahan amorf yang terbentuk dari silika kering yang dicampur dengan oksida dasar. Keuntungan dari pemanfaatan limbah kaca ini adalah dapat mengurangi jumlah limbah kaca dan menurunkan emisi karbon. Tepung kaca merupakan hasil dari industri kaca yang mengandung silika (SiO_2) yang cukup besar yaitu 74% – 80% (Angelika, S. K., et al., 2023). Adapun kandungan dalam jenis-jenis kaca seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Kandungan kimia limbah kaca

Jenis Kaca	Clear Glass	Amber Glass	Green Glass	Pyrex Glass	Fused Silica
SiO_2	73,2 – 73,5	71 – 72,4	72,27	81	99,87
Al_2O_3	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na_2O+K_2O	13,6 – 14,1	13,7 – 14,4	13,06	4	-
CaO+KgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-

Jenis Kaca	Clear Glass	Amber Glass	Green Glass	Pyrex Glass	Fused Silica
SO_3	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe_2O_3	0,04 – 0,05	0,3	599	3,72	-
Cr_2O_3	-	0,01	0,43	12 – 13	-

H. Metode Perawatan pada Mortar Geopolimer

Metode perawatan biasanya dilakukan saat mortar geopolimer mencapai *final setting* atau keras seutuhnya (Achmad, D., et al., 2012; Desimaliana, E., et al., 2025; Tambingon, F. R., et al., 2018; Wallah, S. E., 2014; Wang, J., et al., 2020). Proses perawatan juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari mortar geopolimer, salah satunya dengan metode *membrane*. Metode perawatan *membrane* dapat dilakukan dengan menggunakan lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air. Lembaran tersebut bertujuan agar terhindar dari pengaruh cuaca dan menghindari air yang dalam mortar geopolimer menguap.

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Persiapan Material Benda Uji

Sebelum melakukan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji, maka perlu dilakukan persiapan material penyusun benda uji yang akan digunakan. Material penyusun benda uji juga akan dilakukan pengujian sebagai kontrol dari campuran mortar geopolimer yang akan dibuat.

Setiap parameter pengujian yang ada akan menentukan proporsi dari setiap material penyusun mortar geopolimer yang akan dibuat. Pengujian material penyusun pada penelitian ini dilakukan terhadap abu terbang dan limbah kaca berupa pengujian sebagai berikut:

1. Berat jenis limbah kaca.
2. Analisis saringan limbah kaca.
3. Berat jenis abu terbang.

B. Pembuatan Alkali Aktivator

Pada proses pembuatan NaOH dengan konsentrasi 10M, akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan panas cukup tinggi. Maka, saat pembuatan larutan dibutuhkan wadah yang tahan terhadap panas. Proses pembuatan NaOH dilakukan 1 hari sebelum pengecoran benda uji mortar geopolimer, hal ini bertujuan agar reaksi antara air dan NaOH berjalan sempurna. Larutan tersebut sebaiknya didinginkan terlebih dahulu sebelum dicampurkan. Setelah larutan NaOH siap, kemudian larutan tersebut dicampurkan dengan Na_2SiO_3 yang telah direncanakan, sehingga larutan alkali aktivator siap untuk digunakan.

C. *Trial Mix Design* Mortar Geopolimer

Tidak adanya panduan *mix design* untuk mortar geopolimer pada standar di Indonesia, maka perencanaan campuran mortar geopolimer dipilih dari penelitian-penelitian terdahulu dengan menggunakan perbandingan massa pada material (Desimaliana, E., et al., 2024; Desimaliana, E., et al., 2025; Pratama, N. A., dan Desimaliana, E., 2024; Sandika, F. G., et al., 2025; Widyaningsih, E., et al., 2022).

D. Penentuan Jumlah Benda Uji

Pada pengujian ini sampel diuji pada umur mortar 7, 14 dan 28 hari dibuat 3 sampel, maka totalnya menjadi 9 buah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Kualitas Material Penyusun Mortar Geopolimer

Pengujian kualitas material dilakukan sebelum pembuatan benda uji dan sebelum pengecoran. Pengujian ini dilakukan pada material penyusun mortar geopolimer seperti material pengisi (limbah kaca) dan material pengikat (abu terbang). Material pengisi, dilakukan pengujian berat jenis dan analisis saringan. Serta, dilakukan juga pengujian berat jenis abu terbang.

a) Limbah Kaca

Pengujian kualitas material limbah kaca bertujuan untuk menjaga kualitas material penyusun mortar geopolimer terhadap standar dan ketentuan yang telah ditetapkan dan berlaku. Hasil pengujian kualitas material limbah kaca dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Hasil pengujian kualitas material limbah kaca

No	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis *Apparent Specific Gravity*	2,51	2,1 – 2,9	Sesuai dengan SNI 03-1970-1990
2.	Analisis Saringan *Fineness Modulus*	2,85	1,5% – 3,8%	Sesuai dengan SNI 03-1968-1990

Pada **Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian sifat fisik pada limbah kaca. Pada hasil pengujian tersebut memenuhi standar, yaitu pada pengujian berat jenis didapatkan 2,51 gr/cm^3. Berdasarkan SNI 03-1970-1990 berat jenis berkisar 2,1 – 2,9 gr/cm^3. Nilai modulus halus butir (FM) limbah kaca yang didapatkan sebesar 2,85%. Pada SNI 03-1968-1990 syarat modulus halus butir (FM) memiliki nilai yang berkisar antara 1,5% – 3,8 % sehingga telah memenuhi standar.

b) Abu Terbang

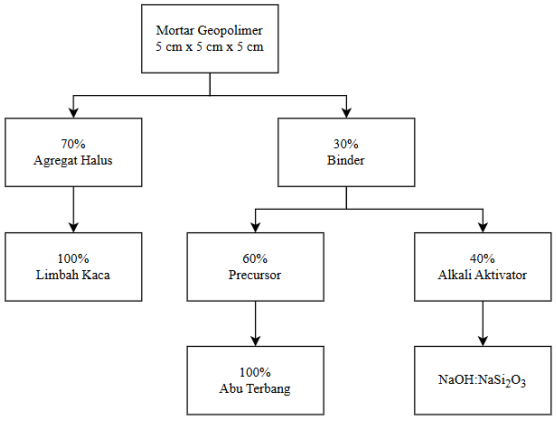
Pengujian kualitas material abu terbang bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenisnya. Hasil pengujian kualitas material abu terbang dapat dilihat pada **Tabel 3**. **Tabel 3** menunjukkan hasil pengujian berat jenis pada abu terbang telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan dalam SNI 03-2460-1991; nilai berat jenis abu terbang berada dalam rentang 1,9 – 2,55 yaitu 2,53.

Tabel 3 Hasil pengujian kualitas material abu terbang

No	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,53	1,9 – 2,55	Sesuai dengan SNI 03-2460-1991

c) Komposisi Mortar Geopolimer

Pada penelitian ini komposisi mortar geopolimer terdiri dari limbah kaca, abu terbang dan alkali aktivator. Alkali aktivator merupakan gabungan dua larutan, yaitu Natrium silika (Na_2SiO_3) dan Natrium hidroksida (NaOH) dengan molaritas 10M. Rasio larutan alkali aktivator yaitu 3:1. Komposisi mortar geopolimer yang digunakan berdasarkan studi terdahulu dan modifikasi dari studi terdahulu itu sendiri. Rasio material pengisi (agregat kasar dan agregat halus) terhadap material pengikat (abu terbang dan alkali aktivator) sebesar 70%:30%, sedangkan rasio abu terbang terhadap alkali aktivator sebesar 60%:40%. Komposisi mortar geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 1** dan hasil *mix design* mortar geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 4** hingga **Tabel 5** (setiap benda uji dikalikan dengan faktor koreksi 1,1).



Gambar 1 Komposisi mortar geopolimer

Tabel 4 Proporsi komposisi benda uji mortar geopolimer

Jumlah [buah]	Limbah Kaca [gram]	Abu Terbang [gram]	NaOH [gram]	Na_2SiO_3 [gram]
1	1,756	0,481	0,069	0,216
3	5,268	1,443	0,207	0,648

Tabel 5 Proporsi komposisi benda uji mortar geopolimer yang sudah dikalikan faktor koreksi

Jumlah [buah]	Limbah Kaca [gram]	Abu Terbang [gram]	NaOH [gram]	Na_2SiO_3 [gram]
1	1,932	0,530	0,070	0,238
3	5,796	1,590	0,210	0,714

d) Berat Volume Mortar Geopolimer

Berat volume mortar geopolimer dihitung untuk mendapatkan nilai berat volume mortar geopolimer setelah melakukan metode perawatan dengan *membrane*, berat volume mortar dihitung dengan membagi antara massa dan volume mortar. Nilai berat volume mortar dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Hasil berat volume mortar geopolimer

No.	Umur [hari]	Berat Volume Mortar Geopolimer [kg/m^3]	Rata-rata [kg/m^3]
1	7	2.209,60	2.223,20
	14	2.171,20	
	28	2.288,80	

e) Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

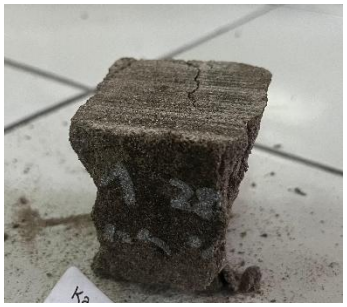
Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan mortar geopolimer maksimum dengan metode perawatan *membrane*. Pada pengujian ini sampel yang akan diuji pada umur mortar 7, 14, dan 28 hari; terdapat kuat tekan rencana mortar tipe M sebesar 17,2 MPa benda uji berbentuk kubus yang dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*) dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2 Pengujian kuat tekan mortar geopolimer

f) Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Metode Perawatan *Membrane*

Metode perawatan dengan *membrane* dilakukan setelah benda uji mortar geopolimer dikeluarkan dari cetakan. Proses metode perawatan ini dilakukan dengan melapisi benda uji mortar geopolimer dengan plastik atau lapisan yang kedap air selama umur mortar dapat dilihat pada **Gambar 3**. Hasil pegujian kuat tekan mortar geopolimer dengan metode perawatan *membrane* dapat dilihat pada **Tabel 7** dan **Gambar 5**. Pola keruntuhan dapat dilihat pada **Gambar 4**.

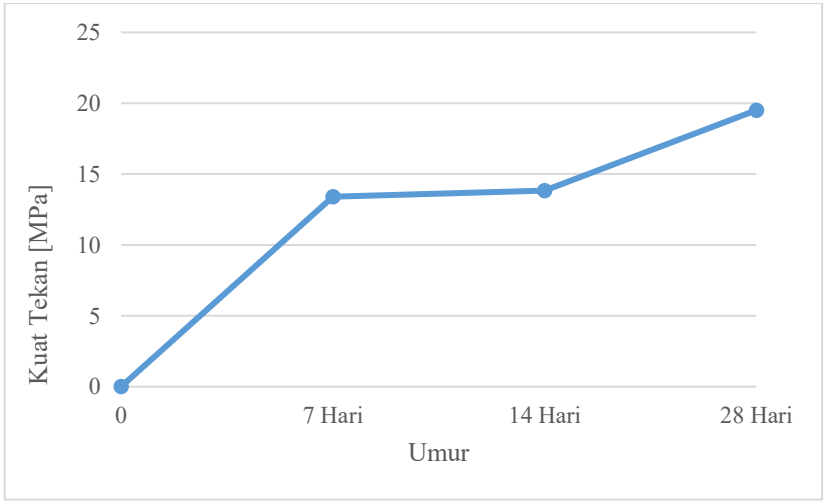
Gambar 3 Proses metode perawatan mortar geopolimer dengan *membrane*



Gambar 4 Pola Keruntuhan mortar geopolimer kaca 100% dengan *membrane*

Tabel 7 Hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan metode perawatan *membrane*

No.	Umur [hari]	Kuat Tekan Rata-rata [MPa]
1	7	13,41
2	14	13,84
3	28	19,51



Gambar 5 Grafik peningkatan kuat tekan mortar geopolimer dengan metode perawatan *membrane*

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian mortar geopolimer dengan subtitusi limbah kaca 100% atau seluruh agregat halus digantikan oleh limbah kaca 100%, pada hari ke-7 dengan metode perawatan *membrane* menghasilkan kuat tekan sebesar 13,41 MPa. Lalu pada hari ke-14, mortar geopolimer dengan substitusi limbah kaca 100% memiliki kuat tekan sebesar 13,84 MPa. Sementara itu, pengujian uji kuat tekan mortar geopolimer dengan substitusi limbah kaca 100% saat hari ke-28 mencapai kuat tekan 19,51 MPa seperti tersaji pada **Gambar 4**. Hal ini menunjukkan bahwa pola peningkatan mortar geopolimer dengan substitusi limbah kaca 100% ternyata mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan umur mortar yang direncanakan. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer pada umur rencana 7 hari, 14 hari, dan 28 hari yang bisa dilihat di masing-masing grafik hasil pengujian. Pada **Gambar 5** kuat tekan mortar geopolimer yang di-*curing* oleh *membrane* mengalami peningkatan dengan seiring bertambahnya umur pada mortar, yang artinya mortar geopolimer tersebut akan bertambah kekuatannya tanpa ada pengaruh dari suhu dan air. Setelah dilihat dari hasil uji kuat tekannya, mortar geopolimer masuk pada tipe mortar M yang artinya adalah adukan mortar dengan kuat tekan yang tinggi, yang bisa dipakai untuk dinding bata bertulang, dinding dekat tanah, pasangan pondasi, adukan pasangan pipa air kotor, adukan dinding penahan dan adukan untuk jalan. Kuat tekan minimumnya adalah 175 kg/cm^2 berdasarkan standar mortar dari ASTM C270-10. Peningkatan kuat tekan pada limbah kaca sebagai pengganti pasir 100% ini juga salah satunya dipengaruhi dari ukuran partikel yang digunakan dhalmana ukuran kaca tidak terlalu kasar dengan menggunakan kaca yang tertahan saringan no. 200. Limbah kaca yang digiling halus menunjukkan sifat pozzolan yang meningkat seiring dengan penurunan ukuran partikel. Limbah kaca dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian atau seluruh pasir dalam campuran mortar geopolimer. Kaca adalah bahan amorf yang dibuat oleh silika kering dengan oksida dasar. Terlihat juga pada **Gambar 4** bahwa pola keruntuhan pada mortar geopolimer dengan kaca sebagai pengganti 100% pasir terbentuk pola keruntuhan kerucut halmana pemerataan beban terdapat pada seluruh bidang tekan atau permukaan mortar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa dari pengaruh metode perawatan dengan *membrane* terhadap kuat tekan mortar geopolimer, yaitu:

1. Hasil kuat tekan mortar geopolimer setelah dilakukan metode perawatan dengan *membrane* mengalami pola peningkatan pada kuat tekannya dari umur 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan mortar geopolimer pada umur 28 hari sebesar 19,51 MPa ternyata sudah melampaui kuat tekan mortar tipe M sebesar 17,16 MPa seperti tertera dalam ASTM C270-10 sehingga dapat diaplikasikan sebagai adukan untuk dinding bata bertulang.
2. Dari pola peningkatan kuat tekan mortar geopolimer dengan substitusi limbah kaca 100%, dapat dilakukan pembuatan benda uji lanjutan yang semula mortar menjadi benda uji silinder agar didapatkan data kekuatan tekan struktural berdasarkan SNI 2847:2019 sehingga dapat diaplikasikan lebih lanjut sebagai elemen struktural seperti balok dan kolom bukan hanya adukan.
3. Ukuran partikel kaca harus diperhatikan dalam proses *mix design* apabila menggantikan 100% pasir, agar memunculkan sifat *pozzolan* yang bisa meningkatkan kuat tekan pada mortar geopolimer.

6. DAFTAR PUSTAKA

Achmad, D., et al. (2012). Efek Perawatan terhadap Karakteristik Beton Geopolimer. *POLI-TEKNOLOGI*, 11(1). https://doi.org/10.32722/pt.v11i1.28

Angelika, S. K., Desimaliana, E., dan Khanza, M. (2023). Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: JurnalTeknik Sipil*, 9(2), 157–166. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v9i2.70

ACI Committee 226. (1988). Use of Fly Ash in Concrete. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

ASTM C270-10, "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry," 2010. [Online]. Available: chrome-Desimaliana et al.53JOSC–VOL.3NO.2APRIL 2024extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.masonryinstitute.com/wp-content/uploads/ASTM_C270-10.pdf.

ASTM C618-12, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," 2012. [Online]. Available: https://www.astm.org/c0618-22.html.

Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1970-1990: Metode pengujian kuat tekan beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (1991). *SNI 03-2460-1991: Spesifikasi bahan bangunan bagian A – Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional

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., Ma'ruf, A. R., dan Shima, R. D. (2025). Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang sebagai Substitusi Binder pada Campuran Mortar Geopolimer. *JoSC: Journal of Sustainable Construction*, 4(2), 48–53. https://doi.org/10.26593/josc.v4i2.9258.

Desimaliana, E., Shima, R. D., dan F. Musyaffa. (2024). Analisis Biaya terhadap Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Mortar Geopolimer. *JoSC: Journal of Sustainable Construction*, 3(2), 45–53. https://doi.org/10.26593/josc.v3i2.7905.

Desimaliana, E., Widyaningsih, E., Kaltsum, A. Q. N., dan Setiana, T. I. (2025). Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Curing Pembasahan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil (POTENSI)*, 8(1), 1–8. https://doi.org/10.14710/potensi.2025.25933

Manuahe, R., Sumajow, M. D. J., dan Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6). https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/5819/5352

Pratama, N. A., dan Desimaliana, E., (2024). Pengaruh Subtitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 51–59. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v10i1.51

Pratama, S. dan Risdianto, Y. (2019). Pengaruh Substitusi Fly Ash pada Bahan Pengikat Campuran Paving Block Ditinjau dari Kuat Tekan, Keausan dan Penyerapan Air.

Rekayasa Teknik Sipil, 7(2), 4–7. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-tekniksipil/article/view/29984

Putri, A. A., dan Herlina, L. (2021). Pengaruh Kuat Tekan Beton Geopolimer Mutu Tinggi Menggunakan Fly Ash Tipe C. *Prosiding Seminat Intelektual Muda#6*,3(1).https://ejournal.trisakti.ac.id/index.php/sim/article/view/13094

Salain, I., Wiryasa, M., dan Pamungkas, I. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1), 105–114. http://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/index

Salwatul, N. (2017). Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat Pada Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/19088

Sandika, F. G., Desimaliana, E., dan Shima, R. D. (2025). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 52–62. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v11i1.52

Tambingon, F. R., Sumajow, M. D. J., & Wallah, S. E. (2018). Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9). https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/20401/20007

Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1). https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/4455/3983

Wang, J., Xie, J., Wang., C., Zhao, J., Liu, F., & Fang, C. (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., Herbudiman, B., dan Fauzi, F. F. (2022). Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 8(3). https://doi.org/10.26760/rekaracana.v8i3.176