

PENGARUH MOLARITAS NaOH DAN KOMPOSISI ABU BONGGOL JAGUNG TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON GEOPOLIMER

Muhammad Ujianto¹, Dika Nabila Farhanah¹, Sri Septiana¹,
Budi Setiawan¹, Nur Khotimah Handayani¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: ujianto@ums.ac.id d100210226@student.ums.ac.id

Abstrak

Beton geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang memanfaatkan fly ash sebagai pengganti semen untuk mengurangi emisi CO₂ dari proses industri semen konvensional. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi molaritas NaOH dan penambahan abu bonggol jagung (ABJ) terhadap kuat tekan serta modulus elastisitas beton geopolimer. Variasi ABJ yang digunakan 0%, 1%, 3% dan 5% menggunakan alkali aktivator NaOH 10 M, 12M, dan 14M dengan Na₂SiO₃ (rasio 1:3). Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 28 hari, dengan perawatan oven suhu 60 °C selama 24 jam dan steam suhu 60 °C selama 14 hari kemudian perawatan dengan suhu ruang hingga 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas NaOH dan semakin besar penambahan ABJ, maka semakin baik performa mekanis beton geopolimer yang dihasilkan. Pada perawatan oven, penggunaan NaOH 10 M menghasilkan kuat tekan 25,05–32,72 MPa dengan peningkatan modulus elastisitas dari 23.447,679 menjadi 26.862,552 MPa seiring kenaikan ABJ. NaOH 12 M memberikan hasil tertinggi, yaitu kuat tekan 26,93–34,30 MPa serta modulus elastisitas 24.384,115–27.316,711 MPa. Pada perawatan steam, NaOH 10 M menghasilkan kuat tekan 25,15–30,14 MPa, sedangkan NaOH 14 M menunjukkan peningkatan menjadi 27,08–31,69 MPa dengan modulus elastisitas 24.379–26.418 MPa.

Secara keseluruhan, kombinasi NaOH 12 M dan substitusi ABJ 5% terbukti memberikan performa paling optimal. Temuan ini menegaskan bahwa abu bonggol jagung berpotensi digunakan sebagai bahan tambahan dalam beton geopolimer untuk meningkatkan sifat mekanis sekaligus mendukung pemanfaatan limbah pertanian sebagai material konstruksi berkelanjutan.

Kata kunci: Abu Bonggol Jagung; Beton Geopolimer; Fly Ash; Kuat Tekan; Modulus Elastisitas

Pendahuluan

Beton adalah campuran dengan komposisi bahan-bahan antara semen portland atau sembarang hidraulik yang lain, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan air atau tanpa bahan campuran tambahan (*Adixture/Additiv*) yang menyebabkan terjadinya suatu hubungan yang erat antara bahan-bahan tersebut (Subakti A, 1995). Permasalahan pada produksi semen yang proses pembuatannya mengeluarkan gas (CO₂) dalam skala besar mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca dan menimbulkan terjadinya pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, upaya mengatasi masalah pelepasan karbon dioksida (CO₂) yang signifikan yaitu dengan mencari alternatif bahan pengganti semen yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif tersebut adalah beton geopolimer.

Beton geopolimer merupakan jenis beton alternatif yang memanfaatkan material pozzolan sebagai bahan pengganti semen. Geopolimer ialah material yang merupakan hasil dari sintesa dari Silika (Si) dan Alumina (Al) yang akan membentuk senyawa aluminosilicate (Davidovits, 2005). Jenis pozzolan yang kaya akan alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂), seperti fly ash (abu terbang) dan abu bonggol jagung (Setiawati dkk., 2022). Beton geopolimer abu terbang (*fly ash/FA*), yang dikenal karena daya tahannya yang lebih baik, kekuatannya yang lebih unggul, dan berkurangnya emisi gas rumah kaca, telah menarik minat yang signifikan karena kekuatan tekannya yang awal, permeabilitas yang rendah sehingga menjadikannya sebagai alternatif

Abu terbang atau *fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik. Abu terbang mengandung senyawa kimia bersifat *pozzolan* yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan beton (Rachmansyah, 2023). Bonggol jagung adalah limbah hasil pertanian yang belum banyak dimanfaatkan. Limbah bonggol jagung mempunyai unsur *silika* (SiO₂) besar yaitu 66,38% yang berdasarkan penelitiannya, kandungan senyawa *silika* pada abu bonggol jagung

digunakan sebagai material tambahan pada beton (Fakhrunisa dkk, 2018). Jumlah SiO_2 , Al_2HAI_3 dan Fe_2HAI_3 dalam komposisi kimia abu bonggol jagung memenuhi persyaratan ASTM C618, menunjukkan sifat *pozzolan* (Adesanya, 2009).

Beton geopolimer berbasis abu terbang dibuat dengan menggunakan bahan dasar abu terbang rendah kalsium (*low-calcium fly ash*) yang menurut kategori ASTM berada pada kelas F (Sumajow & Dapas, 2013). Tentunya makin menguntungkan mengingat di Indonesia saat ini, terdapat cukup banyak pembangkit listrik tenaga uap yang limbahnya merupakan fly ash, yang sifatnya menyebabkan pencemaran udara jika tidak dimanfaatkan (Mc Cormac, 2018). Selain itu, Agregat tongkol jagung memiliki kecenderungan alami untuk menyerap air, yang dapat menyebabkan waktu pengikatan yang lebih cepat ketika dimasukkan ke dalam matriks geopolimer (Phavongkham dkk, 2023).

Larutan alkali yang paling umum digunakan dalam geopolimerisasi adalah suatu kombinasi sodium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau silikat kalium (Hardjito dan Rangan, 2005). Larutan ini berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terdapat dalam *fly ash* dan mempercepat proses polimerisasi (Sutanto dan Hartono, 2005). Natrium Hidroksida berbentuk padat dan berfungsi untuk mereaksikan Si dan Al sehingga menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Campuran *fly ash* dengan natrium hidroksida akan membentuk ikatan yang kuat, lebih padat dan tidak ada retakan. Sodium Silikat berbentuk gel dan berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Ketika dilarutkan dalam air atau *aquades*, sodium silikat akan membentuk larutan alkali (Septia, 2011). Semakin tinggi konsentrasi NaOH maka kekuatan beton geopolimer akan lebih tinggi, hal ini disebabkan jumlah mol akan semakin banyak, sehingga reaksi polimernya akan semakin kuat.

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Menurut ASTM C 496-94 dari hasil pengujian di laboratorium menetapkan modulus elastisitas sebagai rasio tegangan saat mencapai 40 % dari tegangan runtuh terhadap regangan yang bersesuaian dengan tegangan pada kondisi tersebut. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji (Rompas dkk, 2013). Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut (Mulyono, 2005).

Penelitian sebelumnya (Theyni J. Korompis, Steenie E. Wallah, 2023) menunjukkan bahwa variasi molaritas larutan NaOH 8 M, 10 M, 12 M, dan 14 M metode *curing oven* selama 24 jam berpengaruh terhadap kuat tekan dan nilai modulus elastisitas semakin tinggi molaritas semakin tinggi pula nilai yang dihasilkan. Selain itu, penelitian sebelumnya oleh (Amalia dan Rochmah, 2024) menunjukkan kuat tekan beton dengan campuran ABJ 0% hingga ABJ 7% terus mengalami peningkatan sebesar 35,22 MPa. Penelitian yang sudah dilakukan oleh (Saputro, 2024) menunjukkan bahwa nilai optimum modulus elastisitas beton geopolimer dengan komposisi 11M sebesar 22964,713 MPa bahwa semakin tinggi molaritas yang digunakan maka kuat nilai modulus elastisitas pada beton geopolimer juga semakin tinggi. Terjadi peningkatan kuat tekan beton pada perawatan panas dan perawatan uap pada temperatur 50°, 60°, dan 70°C masing-masing sebesar 8-21% untuk perawatan panas dan 2-4% untuk perawatan uap (M. Ujianto, 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh molaritas alkali terhadap modulus elastisitas beton geopolimer berbasis *fly ash* dan abu bonggol jagung dengan molaritas natrium hidroksida 10 M, 12 M dan 14 M dengan rasio natrium hidroksida terhadap natrium silikat 1:3 pada metode perawatan oven dan steam. Penelitian ini juga untuk mengetahui kelayakan beton geopolimer untuk digunakan sebagai beton struktur.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terstruktur di Laboratium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Penelitian pada beton geopolimer yang memanfaatkan abu bonggol jagung sebagai substitusi *fly ash* dengan molaritas 10 M, 12 M dan 14 M. Metode penelitian ini mencakup pengkajian literatur, kemudian tahap selanjutnya pemeriksaan bahan dasar dan perencanaan campuran beton, mixing, pengujian *slump* hingga pembuatan benda uji silinder 10 x 20 cm. Perawatan benda uji 10 M dan 12 M menggunakan metode *curing oven* dengan suhu 60°C selama 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perawatan suhu ruang selama 27 hari. Setelah mencapai usia 28 hari, dilakukan pengujian kuat tekan untuk menilai performa beton geopolimer. Perawatan benda uji 10 M dan 14 M menggunakan metode *curing steam* suhu 60°C selama 2 jam dilakukan 14 hari, kemudian dilanjutkan dengan perawatan suhu ruang hingga 28 hari.

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi agregat halus lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran antara 20 hingga 25 mm yang diperoleh dari Gunung Merapi di daerah Kaliworo, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Alkali aktivator dengan konsentrasi 10 M, 12 M dan 14 M terdiri dari NaOH (natrium hidroksida) dan Na_2SiO_3 (natrium silikat) dengan perbandingan 1 : 3 terhadap larutan NaOH yang dibeli dari toko bahan kimia. Air murni berupa *aquades* yang berasal dari air buangan AC di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Fly ash* berasal dari limbah pembakaran batu bara PLTU Jepara (kelas F), sedangkan bonggol jagung diperoleh dari pengepul di Ceper, Kabupaten Klaten. Bonggol jagung ini dibakar dalam tungku pembakaran genteng pada suhu 750°C selama 5 jam. Setelah proses pembakaran, abu bonggol jagung disaring menggunakan ayakan nomor 200 untuk menghasilkan abu halus menyerupai semen ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. abu bonggol jagung lolos saringan no.200

Alat-alat utama yang digunakan satu set ayakan sesuai SNI ASTM C136:2012, mesin penggetar ayakan, timbangan berkapasitas 30 kg (ketelitian 5 gram) dan 3 kg (ketelitian 1 gram), gelas ukur 1000 cc, serta mesin Los Angeles untuk uji abrasi. Selain itu, digunakan oven untuk pengeringan sampel, kerucut conus dan penumbuk baja untuk menentukan kondisi SSD agregat, serta picnometer untuk pengujian berat jenis. *Concrete mixer* berkapasitas 450 liter digunakan untuk mencampur material beton, sementara kerucut Abrams untuk mengukur *workability* beton segar. Perawatan beton menggunakan oven, *steam* dan *Universal Testing Machine (UTM)* berkapasitas 2000 kN digunakan untuk pengujian kuat tekan beton geopolimer.

Pemeriksaan bahan dalam penelitian ini mencakup pemeriksaan visual terhadap air, alkali aktivator, *fly ash*, dan abu bonggol jagung, serta pengujian material agregat halus dan kasar. Pengujian agregat halus meliputi pengujian kondisi SSD, kandungan lumpur, kandungan organik, berat jenis, dan penyerapan air sesuai dengan SNI 03-1737-1989. Sementara itu, pengujian agregat kasar mencakup uji keausan, penyerapan air, berat isi, dan gradasi, yang juga mengacu pada SNI 03-1737-1989. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Pengujian Abu Bonggol Jagung

No.	Jenis Kandungan	Hasil	Cara Pengujian
1	Siliki (SiO ₂)(b/b)	34,67	AOAC Edisi 21 Tahun 2019
2	Alumunia (Al ₂ O ₃)(b/b)	0,478	AOAC Edisi 21 Tahun 2019
3	Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)(b/b)	0,976	AOAC Edisi 21 Tahun 2019
4	Kalsium Oksida (CaO)(b/b)	2,630	AOAC Edisi 21 Tahun 2019

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Kandungan Bahan Organik	No.2 (Kuning Tua)
<i>Saturated Surface Dry (SSD)</i>	Runtuh Sebagian
Berat Jenis dan Penyerapan Air	2,88 %
Kandungan Lumpur	4,26 %
Gradasi Agregat Halus	Zona III (Pasir Halus)

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Berat Jenis dan Penyerapan Air	2,93 %
Keausan	24 %
Gradasi Agregat Kasar	Daerah 20 mm

Setelah pemeriksaan bahan perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan SNI 7656 2012 yang telah disesuaikan. Persentase pengganti *fly ash* dengan abu bonggol jagung yang akan di gunakan adalah 0%, 1%, 3% dan 5% dari volume total *fly ash* yang digunakan. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan beton geopolimer dengan kualitas yang baik. Proporsi campuran beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan dan Proporsi Campuran Beton Geopolimer per m³

Proporsi Campuran	NaOH (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	ABJ (kg)
FA 100 %	60,54	181,62	764,66	1159,73	316,39	0,00

FA99% : ABJ 1%	60,54	181,62	764,66	1159,73	313,23	3,16
FA97% : ABJ 3%	60,54	181,62	764,66	1159,73	306,90	9,49
FA95% : ABJ 5%	60,54	181,62	764,66	1159,73	300,57	15,82

Setelah menentukan proporsi campuran silinder beton, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan adukan beton geopolimer. Proses ini dimulai dengan pembuatan alkali aktivator, yaitu melarutkan NaOH dalam aquades dan membiarkannya selama 24 jam. Setelah 24 jam, Na_2SiO_3 ditambahkan ke dalam larutan tersebut untuk membentuk alkali aktivator. Alkali aktivator kemudian dicampurkan dengan *fly ash* dan ABJ sebagai substitusi, lalu diaduk hingga homogen untuk menghasilkan pasta geopolimer. Setelah pasta geopolimer terbentuk, agregat halus dan kasar dimasukkan ke dalam *concrete mixer*, kemudian pasta geopolimer ditambahkan dan dicampur hingga merata. Setelah bahan tercampur secara homogen, beton segar diuji *slump* untuk mengukur *workability* beton. Jika nilai *slump* telah sesuai dengan rencana, beton segar dituangkan ke dalam cetakan silinder berukuran 10 cm x 20 cm. Jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah Benda Uji Beton Geopolimer

Fly Ash : ABJ	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas 10 M 28 hari	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas 12 M 28 hari
100% : 0%	5	5
97% : 1%	5	5
95% : 3%	5	5
93% : 5%	5	5
Total Benda Uji	20	20

Setelah campuran dituangkan ke dalam cetakan silinder beton, benda uji dibiarkan selama 24 jam untuk proses pematatan awal. Kemudian, benda uji dilepaskan dari cetakan dan dilakukan perawatan menggunakan metode oven pada suhu 60°C 24 jam. *Curing oven* digunakan untuk mempercepat proses pengerasan beton dengan memberikan suhu dan kelembaban yang terkontrol, *curing oven* membantu beton untuk mencapai kekuatan dan kekerasan yang diinginkan lebih cepat daripada metode pengeringan alami (Lalo, Pandaleke, dan Sumajouw 2021). Setelah proses *curing oven*, perawatan dilanjutkan pada suhu ruang selama 27 hari untuk memastikan proses hidrasi dan penguatan beton geopolimer. Gambar perawatan beton ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Perawatan Beton Menggunakan Oven



Gambar 3. Perawatan Beton Menggunakan Steam

Curing steam adalah untuk mempercepat proses polimerisasi beton geopolimer serta untuk meningkatkan kuat tekan yang signifikan. Dalam proses ini, benda uji beton yang telah dibongkar dari bekisting ditempatkan dalam sebuah tangki perawatan yang di dalamnya terdapat aliran uap air dengan suhu dan lama perawatan yang telah direncanakan sebelumnya (Rommel E, 2011).

Setelah melewati proses perawatan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk menentukan nilai kuat tekan dan perhitungan modulus elastisitas beton geopolimer yang berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *Universal Testing Machine*.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Slump

Pengujian *slump* untuk menentukan tingkat kelecakan (*workability*) atau kemudahan pengerjaan campuran beton segar. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa campuran beton memiliki konsekuensi yang sesuai dengan kebutuhan pekerjaan konstruksi, seperti pengecoran, pemadatan, dan *finishing*. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Slump

Jenis Benda Uji	lai Slump (cm)
Beton Geopolimer 10 M + ABJ <i>Curing Oven</i>	10 cm
Beton Geopolimer 12 M + ABJ <i>Curing Oven</i>	9 cm
Beton Geopolimer 12 M + ABJ <i>Curing Steam</i>	10 cm
Beton Geopolimer 12 M + ABJ <i>Curing Steam</i>	9 cm

Dari tabel 6. didapatkan hasil pengujian *Slump* pada beton geopolimer 10 M + ABJ sebesar 9 cm dan beton geopolimer 12 M dan 14 M +ABJ sebesar 10 cm, sehingga adukan beton memenuhi persyaratan SNI 03-2834-2000 nilai *slump test* pada beton jenis ini yaitu sebesar 10 ± 2 cm. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Mulyana dan Agyanata Tua Munthe, 2025) bahwa semakin meningkat molaritas NaOH dan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH mengakibatkan penurunan nilai slump.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengevaluasi kualitas beton yang dihasilkan, memastikan bahwa kekuatannya sesuai dengan spesifikasi perencanaan dan standar konstruksi. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder berukuran 10x20 cm, dengan tiga benda uji untuk setiap variasi. Beban diberikan secara bertahap menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) hingga mencapai pembebanan maksimum. Kuat tekan beton dihitung menggunakan rumus berikut:

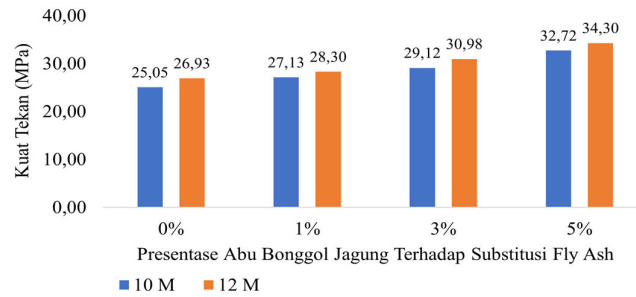
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan;

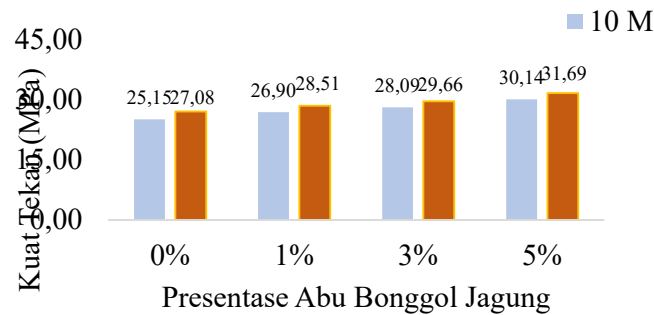
$f'c$ = Kekuatan Tekan (N/mm²)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas penampang Silinder (mm²)



Gambar 4. Grafik Perbandingan Beton Geopolimer 10 M dan 12 M Metode *Curing Oven*



Gambar 5. Grafik Perbandingan Beton Geopolimer 10 M dan 14 M Metode *Curing Steam*

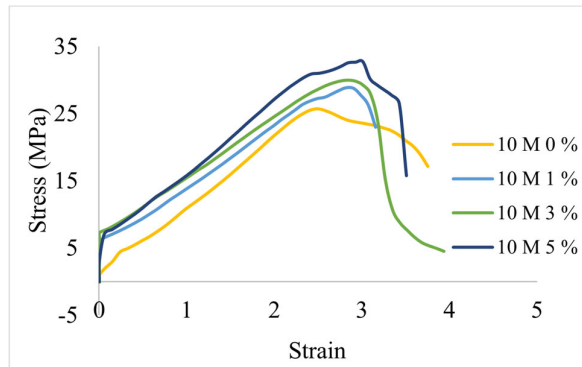
Dari gambar 4. Diperoleh bahwa kuat tekan metode perawatan oven beton geopolimer 10 M 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 25,05 MPa, 27,13 MPa, 29,12 MPa, dan 32,72 MPa. Pada beton geopolimer 12 M 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 26,93 MPa, 28,30 MPa, 30,98 MPa dan 34,30 MPa. Pada perbandingan beton geopolimer 12 M 5% ABJ menghasilkan rata rata kuat tekan optimum sebesar 34,30 MPa daripada beton geopolimer 10 M 5% ABJ menghasilkan rata rata kuat tekan sebesar 32,72 MPa. Pada gambar 5. Diperoleh bahwa kuat tekan metode perawatan steam beton geopolimer 10 M 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 25,15 MPa, 26,90 MPa, 28,09 MPa, dan 30,14 MPa. Pada beton geopolimer 14 M 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 27,08 MPa, 28,51 MPa, 29,66 MPa, dan 31,69 MPa. Penelitian sebelumnya oleh (Saputro, 2024) menunjukkan bahwa hasil dari pengujian kuat tekan beton variasi molaritas 8 M sampai dengan 12 M mengalami kenaikan, bahwa semakin tinggi molaritas yang digunakan maka kuat tekan akan semakin tinggi.

Penambahan ABJ 10 M menunjukkan kuat tekan berturut-turut sebesar 8%, 16%, 26 %. Penambahan ABJ 12 M menunjukkan kuat tekan berturut-turut sebesar 5%, 9%, dan 11%. Data ini menunjukkan bahwa peningkatan presentase ABJ berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton geopolimer. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh (Amalia dan Rochmah, 2024) menunjukkan kuat tekan beton dengan campuran ABJ 0% hingga ABJ 7% terus mengalami peningkatan sebesar 35,22 MPa.

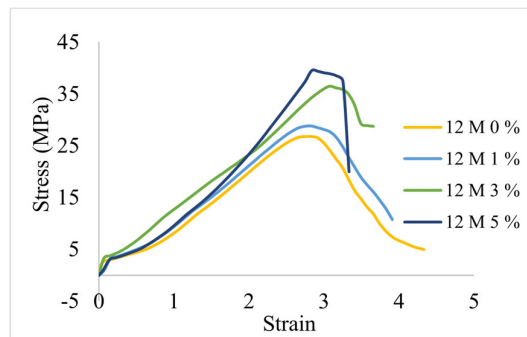
Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer memperlihatkan peningkatan kuat tekan beton pada tiap variasi molaritasnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Syafputra dkk, 2020) yang menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton geopolimer dengan variasi 10 M, 12 M, dan 14 M mengalami kenaikan pada saat berumur 28 hari sebesar 17,82 MPa, 22,55 MPa, dan 23,32 MPa. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tingginya molaritas yang digunakan dapat mempengaruhi kuat tekan beton, dimana kuat tekan beton meningkat sejalan dengan tingginya penggunaan variasi molaritas NaOH.

Pengujian Modulus Elastisitas

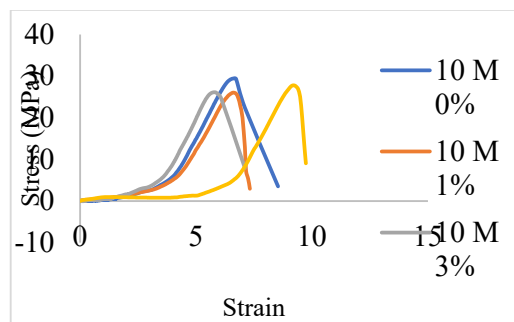
Perhitungan Modulus Elastisitas yaitu menganalisis beton geopolimer dengan usia perawatan 28 hari dengan tujuan untuk mengetahui nilai regangan dan tegangan beton. Dari pengujian kuat tekan silinder beton dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus SNI 2847-2019. Berikut grafik tegangan dan regangan pada beton geopolimer :



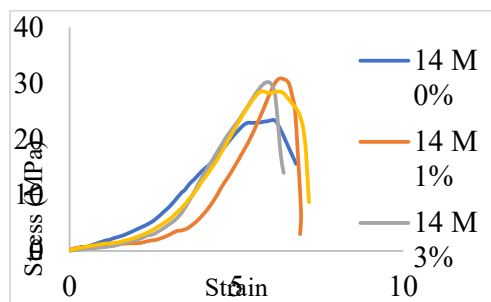
Gambar 6. Grafik Tegangan dan Regangan 10 M Metode *Curing* Oven



Gambar 7. Grafik Tegangan dan Regangan 12 M Metode *Curing* Oven



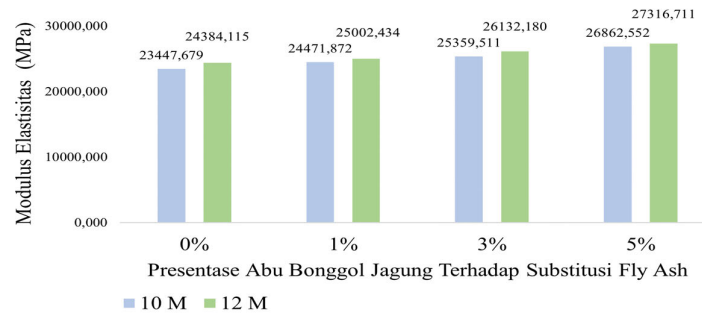
Gambar 8. Grafik Tegangan dan Regangan 10 M Metode *Curing* Steam



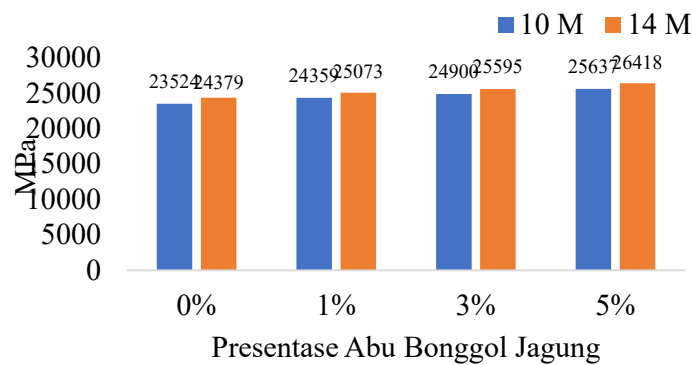
Gambar 9. Grafik Tegangan dan Regangan 14 M Metode *Curing* Steam

Berdasarkan gambar diatas, kurva menunjukan fase kenaikan tegangan sampai puncak, lalu terjadi penurunan tegangan saat mencapai titik tertinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Cahyaka dkk, 2018) menunjukan bahwa grafik hubungan tegangan dan regangan mengalami penurunan ketika mencapai tegangan (*compressive stress*) yang tinggi, tegangan maksimum beton terus meningkat seiring dengan bertambahnya *fly ash* namun regangan yang terjadi menurun berkisar $0,002 \pm 0,00030$. Sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Vijaya Prasad

dkk, 2021) menunjukkan bahwa grafik hubungan tegangan dan regangan mengalami penurunan ketika telah mencapai *compressive stress* yang tinggi.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Geopolimer 10 M dan 12 M Metode *Curing Oven*



Gambar 11. Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Geopolimer 10 M dan 14 M Metode *Curing Steam*

Dari gambar 10, diperoleh bahwa modulus elastisitas beton geopolimer 10 M metode oven 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 23447,679 MPa, 24471,872 MPa, 25359,511 MPa, 26862,552 MPa. Pada beton geopolimer 12 M metode oven %,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 24384,115 MPa, 25002,434 MPa, 26132,180 MPa, 27316,711 MPa. Pada gambar 11, diperoleh bahwa modulus elastisitas beton geopolimer 10 M metode *steam* 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 23524 MPa, 24359 MPa, 24900 MPa dan 25637 MPa. Pada beton geopolimer 14 M metode *steam* 0%,1%,3%,5% ABJ berturut-turut sebesar 24379 MPa, 25073 MPa, 25595 MPa dan 26418 MPa. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh (Maria Prisila Hederanti Itu, Parung, dan Mara, 2021) menunjukkan bahwa presentase ABJ yang semakin meningkat menghasilkan nilai modulus elastisitas yang optimum pada variasi molaritas tertinggi presentase abu bonggol jagung 5% sebesar 26100,983 MPa dibandingkan variasi 0% tanpa ABJ sebesar 22261,385 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin meningkat presentase ABJ maka modulus elastisitas beton geopolimer semakin tinggi.

Pengaruh penambahan komposisi komposisi *fly ash* dan abu bonggol jagung dapat mempengaruhi nilai optimum beton geopolimer terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas. Pada metode perawatan *steam* nilai optimum modulus yang dihasilkan mencapai sebesar 26418 MPa pada beton geopolimer 14 molaritas 5% komposisi ABJ. Pada metode oven nilai optimum modulus yang dihasilkan mencapai sebesar 27316,711 MPa pada beton geopolimer 12 molaritas 5% komposisi ABJ. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan variasi abu bonggol jagung dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton. Hasil ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Hermansyah., Umar, T. D. J., 2022) yang menunjukkan nilai modulus elastisitas pada komposisi 0% ABJ (tanpa ABJ) sebesar 26607,98 MPa, kemudian pada komposisi 0,1 % ABJ sebesar 28387,38 MPa.

Kesimpulan

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa beton geopolimer 12 M tanpa substitusi abu bonggol jagung (ABJ) pada metode perawatan oven memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 26,93 MPa dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 24384,115 MPa dibandingkan 10 M metode perawatan oven memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 25,05 MPa dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 23447,679 MPa dengan presentase ABJ yang sama. Kuat tekan dan modulus elastisitas beton geopolimer terus meningkat seiring bertambahnya presentase ABJ dan alkali aktivator, dengan beton geopolimer 12 M metode oven substitusi ABJ 5 % memberikan hasil yang optimum, yaitu dengan kuat tekan rata-rata sebesar 34,30 MPa dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 27316,711 MPa. Metode perawatan oven pada suhu 60°C selama 24 jam dan dilanjutkan dengan perawatan suhu ruang hingga 28 hari terbukti efektif meningkatkan performa beton geopolimer, terutama pada campuran dengan substitusi ABJ dibandingkan metode steam yang belum optimal dalam meningkatkan kuat tekan beton geopolimer. Penggunaan ABJ sebagai substitusi *fly ash* tidak hanya meningkatkan kekuatan beton geopolimer, tetapi juga mendukung pengurangan limbah pertanian dan menjadikannya solusi ramah lingkungan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk meneliti variasi molaritas dan variasi presentase ABJ yang lebih tinggi untuk mengoptimalkan pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton geopolimer. Selain itu, diperlukan meneliti pada perawatan beton selain 28 hari untuk mengetahui batas maksimum pengaruhnya terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton geopolimer.

Daftar Notasi

cm	= Centimeter
f'c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
Kg	= Kilogram
kN	= Kilonewton
M	= Molaritas
m	= Meter
m ²	= Meter Persegi
m ³	= Meter Kubik
MPa	= Megapascal

Daftar Pustaka

- Adesanya, D. A., & Raheem, A. A. (2009). A Study Of The Workability And Compressive Strength Characteristics Of Corn Cob Ash Blended Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, 23(1), 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.004>
- Amalia, Taris Rizka, dan Nurul Rochmah. 2024. “Pengaruh Abu Bonggol Jagung Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Alir.” *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi* 10(1): 45. doi:10.35308/jts-utu.v10i1.9474.
- Cahyaka, Hendra Wahyu, Ari Wibowo, Krisna Dwi Handayani, Agus Wiyono, dan Eko Heru Santoso. 2018. “TIM EJOURNAL Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Website: tekniksipilunesa . org Email : REKATS.” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 1(1): 186–94.
- Davidovits, Joseph. (2005). *Geopolymer, green chemistry and sustainable development solutions: proceedings of the world congress geopolymer 2005*. Geopolymer Institute.
- Fakhrunisa, N., B. Djatmika, dan A. Karjanto. 2018. “Kajian Penambahan Abu Bonggol Jagung Yang Ber variasi Dan Bahan Tambah Superplasticizer Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Memadat Sendiri (Self – Compacting Concrete).” *Jurnal Bangunan* 23(2): 9–18.
- Hardjito, D and Rangan, B,V. (2005). *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Perth*.
- Hermansyah., Umar, J. D. T., & Rasdianti. (2022). Pemanfaatan Bonggol Jagung Sebagai Bahan Tambah Dalam Campuran Beton, 5(1).
- Lalo, Evita A, Ronny E Pandaleke, dan Dody M J Sumajouw. 2021. “Pengaruh Curing Oven Terhadap Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Lokal Dengan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen.” *Tekno* 19(79): 229–37.
- Maria Prisila Hederanti Itu, Herman Parung, dan Junus Mara. 2021. “Study Pemanfaatan Abu Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi Semen Untuk Beton Normal.” *Paulus Civil Engineering Journal* 3(4): 558–69. doi:10.52722/pcej.v3i4.335.
- Mc Cormac. (2018). Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash Dari Pltu Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 3–10.
- Mulyana, dan Agyanata Tua Munthe. 2025. “Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Limbah Granit dan Abu Bonggol Jagung serta Penambahan Sikacim.” *Jurnal Studi dan Aplikasi Teknik Sipil (JSATS)* 1(2): 36–

45. doi:10.64123/jsats.v1.i2.1.
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Bandung
- M. Ujjianto, M. A. Majid, R. Pambudi, M. A. Rofiq, Y. Nurchasanah, and M. Solikin, “The effect of different heat curing methods on the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete,” 2024.
- Phavongkham, V., Wattanasiriwech, S., & Wattanasiriwech, D. (2023). Enhancement of geopolymerisation reactivity and thermal resistance using mixed types of fly ash. *Advances in Cement Research*, 35(11), 528–539. <https://doi.org/10.1680/jadcr.22.00079>
- Rachmansyah, Erika Cahyani Putri dan. 2023. “Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Nilai Modulus.” *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 6(3): 635–44.
- Rommel, E. (2011). Terhadap Kekuatan Dan Durabilitas Beton Dengan Semen Pozzolan (Effect Of Steam Curing On Strenght And Durability Concrete With Cement Pozzolan). 9.
- Rompas, G. P., Pangouw, J. D., Pandaleke, R., & Mangare, J. B. (2013). Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tarik Lentur Dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2), 82–89.
- Saputro, Fandika Ahmad Dwi. 2024. “Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil.”
- Septia, P. (2011). Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH: Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Setiawati, Mira, Sri Martini, dan Rully Nurulita. 2022. “Variasi Molaritas Naoh Dan Alkali Aktivator Beton Geopolimer.” *Jurnal Deformasi* 7(1): 56–64. doi:10.31851/deformasi.v7i1.7983.
- Subakti, A. (1995). *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya : ITS.
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O. (2013). .Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- Sutanto, E., dan Hartono, B. (2005). Penelitian Beton Geopolimer dengan Fly Ash untuk Beton Struktural, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Syafputra, B., Kurniawati, K. E. (2020). Pengaruh Variasi Molaritas Pada Kuat Tekan Beton Geopolimer *Fly Ash* Dengan Agregat Halus Pasir Kuarsa. *Jurnal Ilmiah SANTIKA*, 10(1).
- Theyni J. Korompis, Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas. 2023. “Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash).” *TEKNO* 21(85).
- Vijaya Prasad, B., Anand, N., Arumairaj, P. D., Sanath Kumar, M., Dhilip, T., & Srikanth, G. (2021). Studies on Mechanical properties of High Calcium Fly ash based sustainable Geopolymer concrete. *Journal of Physics: Conference Series*, 2070(1), 012184. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2070/1/012184>