

Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Abu Terbang (Fly ash) Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer

**Agustinus Sungsang Nana Patria*, Pramesta Armanisag Pangestuti,
Hafidz Fachrudiyarsah Basthomi**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

beton geopolimer; abu sekam padi;
fly ash; kuat tekan beton; beton
ramah lingkungan.

***Correspondence email:**

agustinus-sungsang@untagsmg.ac.id

Submitted: 25 Mei 2026

Revised: 31 Juli 2026

Accepted: 31 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Beton konvensional menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama yang menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) cukup tinggi dan berdampak terhadap lingkungan. Salah satu alternatif ramah lingkungan adalah beton geopolimer yang memanfaatkan material pozzolan seperti fly ash dan abu sekam padi sebagai bahan pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu sekam padi sebagai substitusi fly ash terhadap kuat tekan beton geopolimer. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan variasi abu sekam padi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat fly ash. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine (CTM)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase abu sekam padi cenderung menurunkan kuat tekan beton geopolimer pada kedua metode curing. Pada curing suhu ruang, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 15,85 MPa pada variasi GP0 menjadi 5,66 MPa pada variasi GP15. Sementara itu, pada curing suhu oven, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 37,795 MPa pada variasi GP0 menjadi 7,925 MPa pada variasi GP15. Selain itu, pola retak yang terjadi berupa cone dan cone and split. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi fly ash mempengaruhi sifat mekanik beton geopolimer, terutama terhadap kuat tekan beton.

ABSTRACT

Keywords:

geopolymer concrete; rice husk ash;
fly ash; compressive strength; eco-
friendly concrete.

Conventional concrete uses cement as the primary binding material, which produces significant carbon dioxide (CO₂) emissions and contributes to environmental problems. One environmentally friendly alternative is geopolymer concrete that utilizes pozzolanic materials such as fly ash and rice husk ash as binding materials. This study aims to determine the effect of rice husk ash as a substitution for fly ash on the compressive strength of geopolymer concrete. The research was conducted experimentally using cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, with rice husk ash variations of 0%, 5%, 10%, and 15% by weight of fly ash. Compressive strength testing was carried out at the ages of 7 and 28 days using a *Compression Testing Machine (CTM)*. The results showed that increasing the percentage of rice husk ash tended to reduce the compressive strength of geopolymer concrete under both curing methods. Under ambient curing conditions, the 28-day compressive strength decreased from 15.85 MPa for GP0 to 5.66 MPa for GP15. Under oven curing conditions, the 28-day compressive strength decreased from 37.795 MPa for GP0 to 7.925 MPa for GP15. In addition, the observed crack patterns were cone and cone and split. These findings indicate that the use of rice husk ash as a partial substitution for fly ash affects the mechanical properties of geopolymer concrete, particularly its compressive strength.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan pada pembangunan gedung, jalan, jembatan, dan infrastruktur lainnya karena memiliki kekuatan tekan tinggi, mudah dibentuk, serta biaya perawatan yang relatif rendah. Beton tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang membentuk material komposit dengan sifat mekanik yang baik (Mulyono, 2004). Namun, beton konvensional menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat utama yang dalam proses produksinya menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) cukup besar dan berdampak terhadap lingkungan. Menurut (Davidovits, 1991), industri semen menjadi salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca akibat proses pembakaran klinker pada suhu tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi material konstruksi yang lebih ramah lingkungan guna mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton.

Salah satu alternatif yang berkembang saat ini adalah beton geopolimer. Beton geopolimer merupakan beton tanpa semen yang memanfaatkan material kaya silika (Si) dan alumina (Al) sebagai bahan pengikat dengan bantuan

larutan alkali aktivator seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) (Hardjito & Rangan, 2005). Penggunaan beton geopolimer dinilai lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi penggunaan semen Portland dan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan utama campuran beton (Wallah & Rangan, 2006). Material pozzolan yang umum digunakan pada beton geopolimer adalah abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari limbah pembakaran batu bara pada PLTU dan memiliki kandungan silika serta alumina cukup tinggi (Hardjito *et al.*, 2004). Selain itu, penggunaan material berbasis silika tinggi pada beton geopolimer memerlukan komposisi campuran yang tepat agar proses polimerisasi berlangsung maksimal (Aprilia *et al.*, 2025).

Selain *fly ash*, limbah pertanian berupa abu sekam padi juga berpotensi digunakan sebagai material pozzolan karena memiliki kandungan silika yang tinggi, yaitu sekitar 87%–97% (Mehta & Siddique, 2018). Pemanfaatan abu sekam padi pada beton geopolimer diharapkan dapat mengurangi limbah pertanian sekaligus meningkatkan nilai ekonomis limbah hasil pertanian. Nisa & Sitanggang (2025) menyatakan bahwa abu sekam padi mampu meningkatkan reaksi pozzolanik pada campuran beton, sedangkan (Hamkah *et al.*, 2025) menjelaskan bahwa penggunaan abu sekam padi dalam kadar tinggi dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Penelitian oleh Sulianti *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi pada beton geopolimer mempengaruhi karakteristik kuat tekan beton akibat perubahan komposisi silika dan alumina dalam campuran.

Penelitian mengenai beton geopolimer berbasis *fly ash* dan abu sekam padi telah banyak dilakukan sebagai upaya pengembangan material konstruksi yang ramah lingkungan. Muliadi *et al.*, (2017) menjelaskan bahwa rasio agregat terhadap binder pada beton geopolimer berbahan abu sekam padi berpengaruh terhadap perilaku mekanik beton, terutama kuat tekan dan kepadatan struktur material. Wahyuni *et al.* (2020) juga menyatakan bahwa penambahan abu sekam padi pada geopolimer berbasis *fly ash* dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material akibat perubahan komposisi silika dan alumina dalam campuran. Selanjutnya, Sariman *et al.* (2023) menunjukkan bahwa variasi komposisi abu terbang dan abu sekam padi memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer. Simanjuntak & Wardhono (2022) menjelaskan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer mampu meningkatkan kuat tekan optimum dan menurunkan nilai porositas pada komposisi tertentu dengan metode curing suhu ruang dan oven. Selain itu, Korompis *et al.* (2023) menyatakan bahwa variasi molaritas larutan NaOH berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton geopolimer berbasis *fly ash*, dimana peningkatan molaritas tertentu mampu meningkatkan proses geopolimerisasi dan menghasilkan sifat mekanik beton yang lebih baik.

Meskipun penelitian mengenai beton geopolimer berbasis *fly ash* dan abu sekam padi telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengaruh variasi campuran terhadap kuat tekan beton, sedangkan kajian mengenai pola retak setelah pengujian tekan masih terbatas. Selain itu, penelitian yang menggunakan variasi substitusi abu sekam padi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan metode perawatan (curing) suhu ruang dan curing oven juga belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki unsur kebaruan (novelty) berupa penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi parsial *fly ash* pada beton geopolimer untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kuat tekan dan pola retak beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan beton geopolimer serta mengidentifikasi pola retak yang terjadi pada benda uji setelah pengujian tekan.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan beton geopolimer. Metode eksperimental dilakukan dengan membuat variasi campuran beton geopolimer kemudian dilakukan pengujian terhadap karakteristik beton yang dihasilkan. Penelitian eksperimental digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara variasi campuran abu sekam padi terhadap perubahan sifat mekanik beton geopolimer (Hardjito & Rangan, 2005).

Material Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas agregat halus, agregat kasar, *fly ash*, abu sekam padi, natrium hidroksida (NaOH), natrium silikat (Na_2SiO_3), dan air bersih. Agregat halus yang digunakan berupa pasir berasal dari Muntilan, sedangkan agregat kasar berupa batu pecah (*split*) berasal dari Batang yang diuji sesuai persyaratan SNI 1969:2016, SNI 1970:2016, SNI 03-4804-1998, SNI 03-4142-1996, SNI ASTM C136:2012. Material *fly ash* yang digunakan diperoleh dari PLTU Tanjung Jati Jepara. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, *fly ash* memiliki kandungan oksida utama berupa Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , dan Al_2O_3 sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan pengikat pada beton geopolimer. Namun, penelitian ini tidak mengklaim klasifikasi atau pemenuhan penuh terhadap ASTM C618-12 karena parameter pengujian ASTM C618 secara lengkap tidak dilakukan. Abu sekam padi yang digunakan diperoleh dari Penggaron Kidul, Semarang. Abu sekam padi digunakan sebagai bahan substitusi parsial *fly ash* karena memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga berpotensi digunakan pada beton geopolimer (Mehta & Siddique, 2018). *Fly ash* yang digunakan merupakan material pozzolan yang memiliki kandungan oksida utama berupa Fe_2O_3 ,

SiO₂, CaO, dan Al₂O₃ berdasarkan hasil pengujian XRD. Berdasarkan karakteristik tersebut, *fly ash* berpotensi digunakan sebagai bahan pengikat pada beton geopolimer. Namun, klasifikasi *fly ash* berdasarkan ASTM C618-12 memerlukan pengujian parameter tambahan, sehingga dalam penelitian ini *fly ash* dijelaskan berdasarkan hasil karakterisasi kimia yang tersedia. Larutan NaOH yang digunakan memiliki molaritas sebesar 10 M. Larutan NaOH disiapkan terlebih dahulu sebelum proses pencampuran agar reaksi pelarutan berlangsung sempurna dan suhu larutan kembali stabil. Molaritas NaOH berperan penting dalam mengaktifkan reaksi geopolimerisasi antara *fly ash*, abu sekam padi, dan natrium silikat sehingga terbentuk ikatan polimer anorganik pada beton geopolimer. Penggunaan alkali aktivator pada beton geopolimer bertujuan untuk memicu reaksi geopolimerisasi antara material kaya silika dan alumina sehingga terbentuk ikatan polimer anorganik (Davidovits, 1991).

Variasi Campuran dan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan empat variasi campuran abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash*, yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat *fly ash*. Variasi campuran tersebut masing-masing diberi kode GP0, GP5, GP10, dan GP15. Benda uji yang digunakan berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sesuai dengan SNI 1974:2011 tentang metode pengujian kuat tekan beton. Jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 24 sampel yang digunakan untuk pengujian kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari. Jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 24 sampel. Distribusi benda uji pada setiap kombinasi variasi abu sekam padi, umur pengujian, dan metode curing masih terbatas ($n = 1-2$), sehingga hasil penelitian digunakan untuk menggambarkan kecenderungan perilaku beton geopolimer secara deskriptif dan belum dimaksudkan untuk analisis statistik inferensial.

Tabel 1. Variasi Jumlah Pembuatan Benda Uji

Kandungan Campuran	Kode Benda Uji		Jumlah Sampel
	Umur 7 Hari	Umur 28 Hari	
ASP 0%	GP0 – A2	GP0 – A1	6
	GP0 – A3	GP0 – A4	
	GP0 – A5	GP0 – A6	
ASP 5%	GP5 – A2	GP5 – A1	6
	GP5 – A3	GP5 – A4	
	GP5 – A5	GP5 – A6	
ASP 10%	GP10 – A2	GP10 – A1	6
	GP10 – A3	GP10 – A4	
	GP10 – A5	GP10 – A6	
ASP 15%	GP15 – A2	GP15 – A1	6
	GP15 – A3	GP15 – A4	
	GP15 – A5	GP15 – A6	

Sumber: Data Peneliti (2026)

Keterangan :

GP 0 : Geopolimer 0 (Abu Sekam Padi 0%)
 GP 5 : Geopolimer 5 (Abu Sekam Padi 5%)
 GP 10 : Geopolimer 10 (Abu Sekam Padi 10%)
 GP 15 : Geopolimer 15 (Abu Sekam Padi 15%)
 ASP : Abu Sekam Padi

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan pemeriksaan karakteristik material meliputi agregat halus, agregat kasar, *fly ash*, dan abu sekam padi. Setelah material memenuhi persyaratan, dilakukan pembuatan campuran beton geopolimer sesuai variasi yang telah ditentukan mengacu SNI 7656:2012. Proses pencampuran dilakukan dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, *fly ash*, dan abu sekam padi terlebih dahulu hingga homogen, kemudian ditambahkan larutan alkali aktivator secara bertahap. Beton segar yang telah tercampur kemudian dilakukan pengujian slump berdasarkan SNI 1972:2008 untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton. Setelah itu, campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan dilakukan pemadatan. Benda uji beton geopolimer dirawat menggunakan dua metode curing, yaitu curing suhu ruang dan curing oven. Masing-masing metode curing diterapkan pada setiap variasi campuran abu sekam padi dan umur pengujian. Hasil kuat tekan dianalisis secara terpisah berdasarkan metode curing untuk menghindari tercampurnya pengaruh variasi abu sekam padi dengan pengaruh perbedaan metode perawatan beton.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine (CTM)* sesuai SNI 1974:2011. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Nilai kuat tekan beton dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang diterima benda uji terhadap luas penampang silinder beton. Selain pengujian kuat tekan, dilakukan juga pengamatan terhadap pola retak yang terjadi pada benda uji setelah pengujian tekan. Pola retak yang diamati meliputi retak tipe *cone* dan *cone and split*.

Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai slump, berat volume, dan kuat tekan beton pada setiap variasi abu sekam padi. Nilai kuat tekan dianalisis berdasarkan hasil pengujian pada masing-masing kombinasi variasi campuran, umur pengujian, dan metode curing. Karena jumlah benda uji pada setiap kombinasi perlakuan masih terbatas ($n = 1-2$), hasil penelitian digunakan untuk menunjukkan kecenderungan perilaku beton geopolimer dan belum dimaksudkan untuk analisis statistik inferensial. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang relevan untuk memperkuat interpretasi terhadap kecenderungan yang diperoleh.

HASIL

Pemeriksaan Material

Hasil pemeriksaan material menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar yang digunakan telah memenuhi persyaratan material beton berdasarkan standar pengujian yang berlaku. Hasil pemeriksaan *fly ash* menunjukkan kandungan oksida utama berupa Fe_2O_3 sebesar 33,15%, SiO_2 sebesar 23,94%, CaO sebesar 8,15%, dan Al_2O_3 sebesar 5,09%. Data tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* memiliki potensi sebagai material pozzolan dalam beton geopolimer. Namun, hasil ini hanya digunakan sebagai karakterisasi kimia awal, bukan sebagai dasar klaim pemenuhan ASTM C618-12 secara penuh. Sementara itu, hasil pengujian XRD terhadap abu sekam padi menunjukkan kandungan SiO_2 sebesar 86,87%. Tingginya kandungan silika pada abu sekam padi menunjukkan bahwa material tersebut memiliki potensi sebagai substitusi parsial *fly ash*. Namun, penggunaan abu sekam padi dalam kadar tertentu perlu dikendalikan karena komposisi silika yang terlalu tinggi tanpa keseimbangan alumina dapat memengaruhi proses geopolimerisasi dan kekuatan beton yang dihasilkan. Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan agregat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Agregat Halus	Agregat Kasar
1	Kadar Lumpur	1,83 %	2 %
2	Berat Isi Padat	2,09 gr/cm ³	1,51 gr/cm ³
3	Berat Isi Lepas	1,27 gr/cm ³	1,35 gr/cm ³
4	Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,61 gr/cm ³	2,74 gr/cm ³
5	Penyerapan	2,8 %	2,8 %
6	Kadar Air	4,85 %	1,36 %

Sumber: Data Olahan (2026)

Berikut hasil pemeriksaan abu terbang (*fly ash*) dengan metode tes XRD, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Abu Terbang (Fly ash) Metode Tes XRD

No.	Senyawa	Persentase (%)
a.	Fe_2O_3	33,15
b.	SiO_2	23,94
c.	CaO	8,15
d.	Al_2O_3	5,09
e.	TiO_2	1,08
f.	K_2O	0,81
g.	MnO	0,52
h.	P_2O_5	0,32
i.	SO_3	0,255
j.	MgO	0,113

Sumber: Data Olahan (2026)

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan abu sekam padi dengan metode tes XRD, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Abu Sekam Padi Metode Tes XRD

No.	Senyawa	Persentase (%)
a.	SiO ₂	86,87
b.	CaO	4,452
c.	K ₂ O	2,11
d.	Fe ₂ O ₃	2,085
e.	P ₂ O ₅	1,38
f.	ClO ₂	0,86
g.	Na ₂ O	0,578
h.	SO ₃	0,51
i.	MgO	0,17

Sumber: Data Olahan (2026)

Mix Design

Perencanaan campuran beton geopolimer dalam penelitian ini menggunakan aktivator berupa natrium silikat (Na₂SiO₃) dan natrium hidroksida (NaOH). Berdasarkan kebutuhan bahan campuran pada Tabel 5, jumlah natrium silikat yang digunakan sebesar 154,84 kg/m³ dan natrium hidroksida sebesar 30,97 kg/m³, sehingga perbandingan Na₂SiO₃ terhadap NaOH adalah sekitar 5:1. Perencanaan campuran mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal yang disesuaikan dengan karakteristik beton geopolimer.

Tabel 5. Kebutuhan Bahan Campuran Beton Geopolimer per 1 m³

Kode Beton	Variasi ASP (%)	Fly ash (kg)	ASP (kg)	NH (kg)	NS (kg)	AH (kg)	AK (kg)
GP0	0	536,47	0	30,97	154,84	713,79	1.358
GP5	5	509,65	26,82	30,97	154,84	713,79	1.358
GP10	10	482,82	53,65	30,97	154,84	713,79	1.358
GP15	15	456	80,47	30,97	154,84	713,79	1.358

Sumber: Data Olahan (2026)

Keterangan :

ASP: Abu Sekam Padi

NH : Natrium Hidroksida

NS : Natrium Silika

AH : Agregat Halus

AK : Agregat Kasar

Hasil Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton geopolimer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai slump beton berada pada rentang 40–50 mm dan masih memenuhi target slump rencana sebesar 30–60 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu sekam padi yang digunakan, maka nilai slump beton mengalami penurunan. Variasi GP0 memiliki nilai slump tertinggi, sedangkan GP10 dan GP15 memiliki nilai slump terendah. Penurunan nilai slump terjadi karena abu sekam padi memiliki tekstur yang lebih halus dan daya serap yang lebih tinggi terhadap larutan aktivator dibandingkan *fly ash*. Kondisi tersebut menyebabkan campuran beton menjadi lebih kaku dan mengurangi tingkat kelecakan beton segar.

Tabel 6. Hasil Pengujian Slump Pada Beton Segar

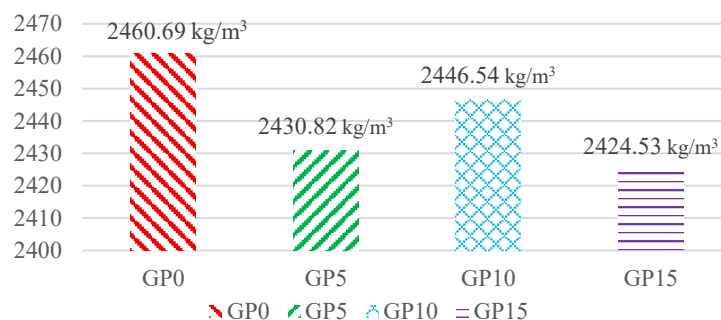
Kode Beton	Persentase Abu Sekam Padi (%)	Nilai Slump (mm)
GP0	0	50
GP5	5	45
GP10	10	40
GP15	15	40

Sumber: Data Olahan (2026)

Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Hasil pengujian berat volume beton menunjukkan bahwa nilai berat volume beton mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase abu sekam padi dalam campuran beton geopolimer. Berat volume beton tertinggi diperoleh pada variasi GP0 sebesar 2.460,69 kg/m³, sedangkan berat volume terendah terjadi pada variasi GP15 sebesar 2.424,53 kg/m³. Penurunan berat volume beton terjadi karena abu sekam padi memiliki massa jenis yang lebih rendah

dibandingkan *fly ash*. Semakin besar persentase abu sekam padi yang digunakan, maka berat volume beton cenderung semakin rendah. Hasil dari berat volume beton rata-rata benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Berat Volume Beton Rata – Rata

Sumber: Data Olahan (2026)

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

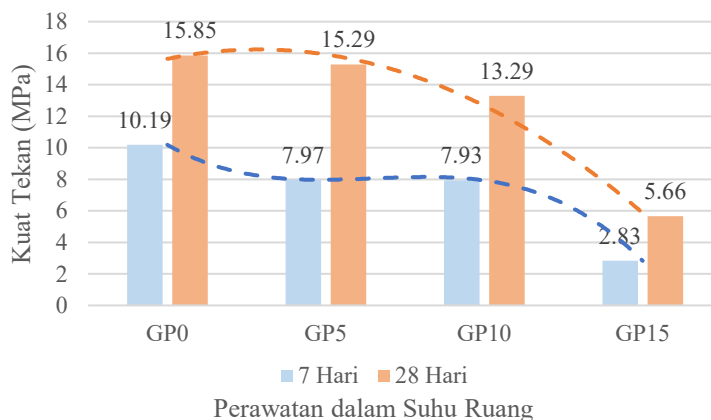
Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Hasil pengujian disajikan berdasarkan variasi kadar abu sekam padi dan metode curing yang digunakan, yaitu curing suhu ruang dan curing oven. Karena jumlah benda uji pada setiap kombinasi perlakuan masih terbatas, hasil yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan kecenderungan perubahan kuat tekan beton geopolimer secara deskriptif. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan beton yang telah dilaksanakan, dapat dilihat seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer Berdasarkan Variasi Abu Sekam Padi dan Metode Curing

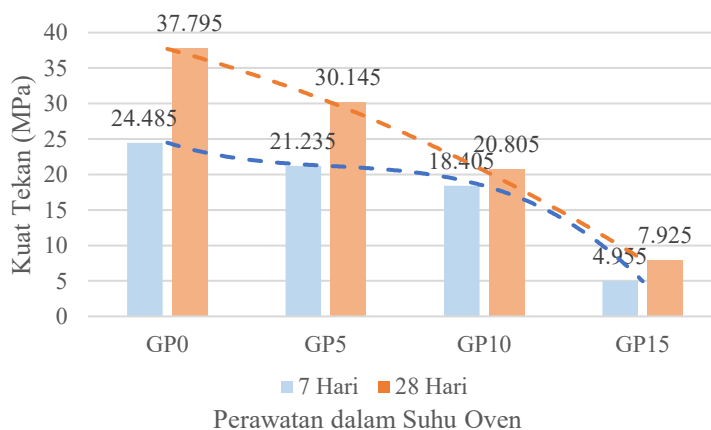
Kode Beton	Persentase Abu Sekam Padi (%)	Umur Pengujian	Metode Curing	Jumlah Sampel	Kuat Tekan Beton (MPa)
GP0-A2	0	7 hari	Suhu ruang	1	10,19
GP0-A3, A5	0	7 hari	Suhu oven	2	24,485
GP0-A1	0	28 hari	Suhu ruang	1	15,85
GP0-A4, A6	0	28 hari	Suhu oven	2	37,795
GP5-A2	5	7 hari	Suhu ruang	1	7,97
GP5-A3, A5	5	7 hari	Suhu oven	2	21,235
GP5-A1	5	28 hari	Suhu ruang	1	15,29
GP5-A4, A6	5	28 hari	Suhu oven	2	30,145
GP10-A2	10	7 hari	Suhu ruang	1	7,93
GP10-A3, A5	10	7 hari	Suhu oven	2	18,405
GP10-A1	10	28 hari	Suhu ruang	1	13,29
GP10-A4, A6	10	28 hari	Suhu oven	2	20,805
GP15-A2	15	7 hari	Suhu ruang	1	2,83
GP15-A3, A5	15	7 hari	Suhu oven	2	4,955
GP15-A1	15	28 hari	Suhu ruang	1	5,66
GP15-A4, A6	15	28 hari	Suhu oven	2	7,925

Catatan: Jumlah benda uji pada masing-masing kombinasi variasi campuran dan metode curing masih terbatas ($n = 1-2$), sehingga hasil kuat tekan pada penelitian ini digunakan untuk menunjukkan kecenderungan perilaku beton geopolimer secara deskriptif dan belum dimaksudkan untuk analisis statistik inferensial.

Adapun ilustrasi hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Diagram Kuat Tekan Variasi Abu Sekam Umur 7 Hari dan 28 Hari dengan Perawatan di Suhu Ruang
Sumber: Data Olahan (2026)

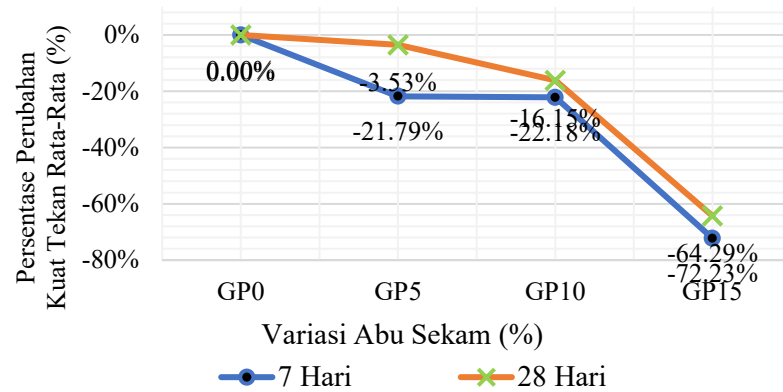


Gambar 3. Diagram Kuat Tekan Variasi Abu Sekam Umur 7 Hari dan 28 Hari dengan Perawatan di Suhu Oven
Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kuat tekan beton geopolimer pada kedua metode curing menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya persentase abu sekam padi sebagai substitusi fly ash. Pada curing suhu ruang, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 15,85 MPa pada variasi GP0 menjadi 5,66 MPa pada variasi GP15. Sementara itu, pada curing suhu oven, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 37,795 MPa pada variasi GP0 menjadi 7,925 MPa pada variasi GP15. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu sekam padi belum mampu meningkatkan kekuatan beton geopolimer pada kondisi penelitian yang dilakukan. Penurunan kuat tekan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu sekam padi belum memberikan peningkatan kekuatan pada campuran beton geopolimer yang digunakan dalam penelitian ini.

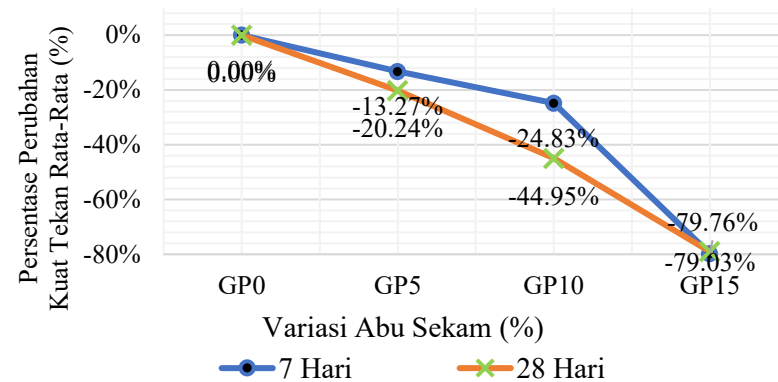
Nilai kuat tekan semakin menurun seiring bertambahnya nilai persentase abu sekam padi terhadap fly ash berturut-turut terhadap variasi GP5, GP10 dan GP15 baik pada umur 7 atau 28 hari. Hal ini disebabkan karena nilai kandungan silika abu sekam padi yang jauh lebih tinggi dari fly ash sehingga terjadi ketidakseimbangan nilai silika. Nilai kandungan silika yang terlalu tinggi pada beton geopolimer berakibat pada terganggunya proses geopolimerisasi yaitu proses reaksi antara silika dan alumina yang berguna untuk membentuk zat geopolimer yang akan mengeras dan mengikat antara agregat kasar dan agregat halus.

Ketidakseimbangan antara nilai silika dan alumina menyebabkan zat geopolimer menjadi tidak homogen sehingga ikatan dihasilkan antara reaksi silika dan alumina yang berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus menjadi rapuh. Grafik persentase perubahan kuat tekan beton geopolimer pada umur 7 hari dan 28 hari berdasarkan metode curing ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 7 dan 28 Hari dengan Perawatan Suhu Ruang

Sumber: Data Olahan (2026)



Gambar 5. Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 7 dan 28 Hari dengan Perawatan Suhu Oven

Sumber: Data Olahan (2026)

Hasil Pengamatan Pola Retak

Hasil pengamatan pola retak setelah pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa terdapat dua jenis pola retak yang terjadi pada benda uji beton geopolimer, yaitu tipe 1 pola retak *cone* dan tipe 2 *cone and split*. Pola retak *cone* umumnya terjadi pada benda uji dengan kuat tekan yang lebih tinggi, sedangkan pola retak *cone and split* terjadi pada benda uji dengan kuat tekan lebih rendah. Pola retak yang terjadi menunjukkan bahwa distribusi pembebanan dan kualitas ikatan antar material dalam beton mempengaruhi mekanisme keruntuhan benda uji saat menerima beban tekan maksimum. Pola retak tipe 1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Pola Retak Tipe 1 dan 2

Sumber: Data Olahan (2026)

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton geopolimer, terutama pada nilai slump, berat volume beton, dan kuat tekan beton. Penurunan nilai slump pada setiap variasi campuran menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi menyebabkan campuran beton menjadi lebih kaku. Kondisi tersebut terjadi karena abu sekam padi memiliki ukuran partikel yang lebih halus dan daya serap yang tinggi terhadap larutan alkali aktivator sehingga mengurangi tingkat kelecakan beton segar. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Nisa & Sitanggang (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi pada campuran beton dapat menurunkan nilai *workability* akibat tingginya daya serap material terhadap air atau larutan aktivator.

Pada pengujian berat volume beton, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar persentase abu sekam padi yang digunakan, maka berat volume beton mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan oleh massa jenis abu sekam padi yang lebih rendah dibandingkan *fly ash*. Penurunan berat volume beton menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi dapat menghasilkan beton dengan berat yang lebih ringan. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Hamada *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi mempengaruhi kepadatan dan mikrostruktur beton.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase abu sekam padi cenderung menurunkan kuat tekan beton geopolimer baik pada curing suhu ruang maupun curing oven. Penurunan kuat tekan diduga disebabkan oleh meningkatnya kandungan silika tanpa diikuti keseimbangan kandungan alumina sehingga proses geopolimerisasi berlangsung kurang optimal. Selain itu, tingginya daya serap abu sekam padi terhadap larutan alkali aktivator diduga mengurangi efektivitas pembentukan matriks geopolimer sehingga ikatan antarpartikel menjadi lebih lemah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Khalifah & Jafar (2025) dan Meiliana *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa peningkatan kadar abu sekam padi tertentu pada beton geopolimer dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton akibat terganggunya proses pembentukan ikatan geopolimer. Penelitian oleh Sulianti *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi mempengaruhi karakteristik mekanik beton geopolimer akibat perubahan komposisi material penyusun beton.

Hasil pengamatan pola retak menunjukkan bahwa benda uji dengan kuat tekan lebih tinggi cenderung mengalami pola retak *cone*, sedangkan benda uji dengan kuat tekan rendah mengalami pola retak *cone and split*. Pola retak tersebut menunjukkan bahwa kualitas ikatan antar agregat dan pasta geopolimer mempengaruhi perilaku keruntuhan beton saat menerima beban tekan maksimum. Semakin baik proses geopolimerisasi yang terjadi, maka ikatan antar material akan semakin kuat sehingga beton mampu menahan beban tekan lebih besar sebelum mengalami keruntuhan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah variasi campuran dan metode curing yang digunakan. Selain itu, penelitian hanya berfokus pada pengujian kuat tekan beton tanpa melakukan pengujian sifat mekanik lainnya seperti kuat tarik belah atau kuat lentur beton. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan variasi campuran yang lebih luas serta melakukan pengujian karakteristik beton lainnya agar diperoleh hasil penelitian yang lebih komprehensif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki potensi sebagai material substitusi parsial *fly ash* pada beton geopolimer. Namun, penggunaan abu sekam padi dalam kadar tinggi perlu diperhatikan karena dapat menurunkan kuat tekan beton akibat proses geopolimerisasi yang kurang optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kadar abu sekam padi sebagai substitusi parsial *fly ash* menunjukkan kecenderungan menurunkan nilai slump, berat volume, dan kuat tekan beton geopolimer. Kecenderungan penurunan kuat tekan diduga berkaitan dengan perubahan keseimbangan silika dan alumina serta tingginya daya serap abu sekam padi terhadap larutan aktivator yang menyebabkan proses geopolimerisasi berlangsung kurang optimal. Oleh karena itu, penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi parsial *fly ash* perlu dibatasi pada kadar tertentu agar penurunan sifat mekanik beton geopolimer dapat diminimalkan.

Hasil pengujian berat volume menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu sekam padi menyebabkan berat volume beton mengalami penurunan. Berat volume tertinggi diperoleh pada variasi GP0 sebesar 2.460,69 kg/m³, sedangkan berat volume terendah diperoleh pada variasi GP15 sebesar 2.424,53 kg/m³. Penurunan berat volume tersebut disebabkan oleh massa jenis abu sekam padi yang lebih rendah dibandingkan *fly ash*.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa peningkatan persentase abu sekam padi menyebabkan kuat tekan beton geopolimer cenderung menurun pada kedua metode curing. Pada curing suhu ruang, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 15,85 MPa pada variasi GP0 menjadi 5,66 MPa pada variasi GP15. Pada curing suhu oven, kuat tekan umur 28 hari menurun dari 37,795 MPa pada variasi GP0 menjadi 7,925 MPa pada variasi GP15. Penurunan kuat tekan tersebut diduga dipengaruhi oleh perubahan komposisi silika dan alumina pada campuran serta tingginya daya serap abu sekam padi terhadap larutan aktivator sehingga proses geopolimerisasi berlangsung kurang optimal.

Hasil pengamatan pola retak menunjukkan bahwa benda uji dengan kuat tekan lebih tinggi cenderung mengalami pola retak *cone*, sedangkan benda uji dengan kuat tekan lebih rendah cenderung mengalami pola retak *cone and split*.

Dengan demikian, abu sekam padi berpotensi digunakan sebagai material substitusi parsial *fly ash* pada beton geopolimer, tetapi penggunaannya dalam kadar tinggi perlu dibatasi karena dapat menurunkan kuat tekan beton. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji variasi kadar abu sekam padi yang lebih rendah, molaritas NaOH yang berbeda, serta metode curing yang lebih terkontrol agar diperoleh komposisi beton geopolimer yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, R., Liliana, L., & Frieda, F. (2025). Substitusi parsial dan full semen konvensional pada campuran beton geopolimer berbahan baku arang cangkang kelapa sawit. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 374–383.
- ASTM International. (2012). *ASTM C618-12: Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142-1996: Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan nomor 200*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI 03-4804-1998: Metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972:2008: Cara uji slump beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012: Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI ASTM C136-2012: Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2460:2014: Spesifikasi abu terbang batu bara dan pozzolan alam mentah atau yang dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1969:2016: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1970:2016: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Badan Standardisasi Nasional.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers—Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, 37(8), 1633–1656.
- Hamada, H. M., et al. (2025). Impact of rice husk ash on geopolymers concrete: A literature review and future directions. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04476.
- Hamkah, H., Safitri, R., & Mulyadi, M. (2025). Pengaruh penggunaan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 19(2), 76–87.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete*. Curtin University of Technology.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467–472.
- Khalifah, A. A., & Jafar, J. (2025). Pengaruh abu sekam padi sebagai substitusi abu terbang terhadap sifat mekanik beton geopolimer. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 8(2), 117–131.
- Korompis, T. J., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2023). Analisis pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas pada eksperimen beton geopolimer berbasis abu terbang (fly ash). *TEKNO*, 21(85), 1481–1490.
- Mehta, A., & Siddique, R. (2018). Sustainable geopolymer concrete using ground granulated blast furnace slag and rice husk ash: Strength and permeability properties. *Journal of Cleaner Production*, 205, 49–57.
- Meiliana, R. A., & Nisumanti, S. (2025). Studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu sekam padi. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, 7(1), 57–61.
- Muliadi, Burhanuddin, & Darwis. (2017). Pengaruh rasio agregat binder terhadap perilaku mekanik beton geopolimer dengan campuran abu sekam padi dan abu ampas tebu. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 163–172.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi beton*. Andi Offset.
- Nisa, M. A., & Sitanggang, A. N. (2025). Literature study on the potential of rice husk ash as a local pozzolanic material in concrete. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 6(1), 115–124.
- Sariman, S., Setiawan, A., Syahrul, S., & Adum, A. (2023). Variasi abu terbang dan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton geopolimer. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 23(3), 807–815.
- Simanjuntak, D. M., & Wardhono, A. (2022). Analisis kuat tekan dan porositas mortar geopolimer menggunakan abu sekam padi sebagai bahan substitusi fly ash pada molaritas 8 molar. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 10(3), 1–10.

- Sulianti, I., Indrayani, Subrianto, A., Rahmadona, E., Yanti, O., & Iryani, A. W. (2021). Analisa kuat tekan beton geopolimer menggunakan fly ash dan abu sekam padi. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 9(2), 63–70.
- Wahyuni, W., Subaer, & Nurhayati. (2020). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi terhadap Struktur dan Sifat Mekanik Geopolimer Berbasis Fly ash. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 16(2), 171-180.
- Wallah, S. E., & Rangan, B. V. (2006). *Low-calcium fly ash-based geopolymer concrete: Long-term properties* (Research Report GC2). Curtin University of Technology.