

Pengaruh Pemanfaatan *Recycled Concrete Aggregate* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

The Effect of Using Recycled Concrete Aggregate to Substitute Coarse Aggregate on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete

Bagas Syahputra¹, Shanti Wahyuni Megasari^{2*}, Fitridawati Soehardi²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning, Jalan Yos Sudarso KM. 8, Pekanbaru, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning, Jalan Yos Sudarso KM. 8, Pekanbaru, Indonesia

* Penulis korespondensi : shanti@unilak.ac.id

Tel.: +62-812-7525-4771

Diterima: Sep 14, 2024; Direvisi: Des 15, 2024; Disetujui: Des 18, 2024

DOI: 10.25299/saintis.2024.vol24(02).19095

Abstrak

Inovasi material maju yang ramah lingkungan dilakukan dengan mengembangkan material konstruksi yang berasal dari limbah. Salah satunya adalah beton geopolimer yang memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai pengganti semen dan *recycled concrete aggregate* (RCA) sebagai alternatif pengganti agregat kasar. Penggunaan limbah diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton geopolimer. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer. Metode penelitian menggunakan studi eksperimental di laboratorium berdasarkan SNI 03-6825-2002 pada kuat tekan. Rancangan benda uji menggunakan molaritas aktivator 12M dan perbandingan katalisator berupa Na_2SiO_3 (SH) dengan aktivator berupa KOH (SS) sebesar 2:1. Variasi substitusi *recycled concrete aggregate* yang digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat agregat kasar. Benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 10 dan tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 2847:2019. Pengujian kuat tekan digunakan pada umur 28 hari dengan perawatan suhu ruang. Hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan rata-rata dengan substitusi RCA 0%, 25%, 50%, 75%, 100% secara berurutan yaitu sebesar 2,89 MPa; 2,93 MPa; 3,27 MPa; 3,82 MPa dan 3,26 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada substitusi RCA sebesar 75% dan nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan substitusi RCA namun mengalami penurunan pada substitusi RCA sebesar 100%. Hasil analisis kuat tekan beton geopolimer dengan metode *analysis of variance* diperoleh nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu 3,52 > 3,11, sehingga dapat dinyatakan bahwa variasi substitusi *recycled concrete aggregate* berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer.

Kata Kunci: Beton Geopolimer, Fly Ash, Kuat Tekan, *Recycled Concrete Aggregate*

Abstract

Advanced material innovations that are environmentally friendly are carried out by developing construction materials derived from waste. One of them is geopolymer concrete that utilizes fly ash waste as a substitute for cement and recycled concrete aggregate (RCA) as an alternative to coarse aggregate. Waste users are expected to improve the quality of geopolymer concrete. The purpose of the study is to analyze the effect of recycled concrete aggregate substitution on the compressive strength of geopolymer concrete. The research method uses experimental studies in the laboratory based on SNI 03-6825-2002 on compressive strength. The design of the test piece uses an activator molarity of 12M and a ratio of the catalyst in the form of Na_2SiO_3 (SH) with the activator in the form of KOH (SS) of 2:1. The variations of recycled concrete aggregate substitution used are 0%, 25%, 50%, 75% and 100% to the weight of the coarse aggregate. Cylindrical concrete test piece with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm for compressive strength testing in accordance with SNI 2847:2019. Compressive strength testing is used at 28 days of age with room temperature treatment. The results of the study obtained an average compressive strength value with RCA substitution of 0%, 25%, 50%, 75%, 100% respectively, which was 2,89 MPa; 2,93 MPa; 3,27 MPa; 3,82 MPa and 3,26 MPa. The highest compressive strength value was obtained in RCA substitution of 75% and the average compressive strength value of geopolymer concrete increased along with the addition of RCA substitution but decreased in RCA substitution by 100%. The results of the compressive strength analysis of geopolymer concrete by the analysis of variance method obtained the value of $F_{cal} > F_{tabel}$ which is 3,52 > 3,11, so it can be stated that the variation of recycled concrete aggregate substitution has an effect on the compressive strength value of geopolymer concrete.

Keywords: Geopolymer Concrete, Compressive Strength, *Recycled Concrete Aggregate*

PENDAHULUAN

Perkembangan suatu proyek gedung, jembatan, dan fasilitas publik lainnya dan jumlah penduduk yang semakin padat yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan material yang dipergunakan sebagai bahan konstruksi. Salah satu

upaya untuk membatasi pemakaian agregat baru (*fresh aggregate*) dan menggunakan material terbaru yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah beton atau *recycled concrete aggregate* (RCA) [1]. Penggunaan *recycled concrete aggregate* dapat meningkatkan kuat tekan beton dan

mampu menghasilkan kualitas beton yang baik dari beton normal [2].

Recycled concrete aggregate adalah hasil dari pemecahan limbah beton yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai agregat kasar pada campuran beton. *Recycled concrete aggregate* adalah limbah beton yang tidak dipakai lagi kemudian dihancurkan kembali dan dicuci [9]. *Recycled concrete aggregate* memiliki sifat-sifat fisik beton yang hampir sama dengan batuan. Hasil dari pecahan limbah beton diteliti untuk menjadi alternatif pengganti sebagian agregat kasar dalam pembuatan beton. Limbah beton yang di daur ulang memiliki beberapa kualitas sehingga beton yang dihasilkan lebih ramah lingkungan [10]. Penggunaan *recycled concrete aggregate* juga menghasilkan kualitas yang sangat bagus dan kuat tekan beton lebih tinggi dari kuat tekan beton normal [2].

Disisi lain, peningkatan pembangunan infrastruktur akan membutuhkan material yang mengakibatkan produksi semen juga semakin meningkat. Semen merupakan bahan perekat dalam campuran beton. Peningkatan produksi semen juga berdampak negatif terhadap lingkungan seperti polusi udara yaitu CO₂ yang semakin meningkat dan akan membuat suhu bumi semakin panas sehingga menimbulkan efek *global warming* atau efek rumah kaca [21]. Sehingga penggunaan semen sebagai bahan bangunan dinilai kurang ramah bagi lingkungan.

Hal ini menyebabkan perlunya melakukan inovasi untuk mengganti semen portland sebagai bahan perekat dengan bahan geopolimer. Geopolimer ialah material ramah lingkungan yang dikembangkan menjadi alternatif pengganti semen. Geopolimer merupakan material baru yang berasal dari polimer anorganik disintesis pada proses geokimia dengan bahan dasar mineral aluminasilikat [5].

Beton geopolimer menggunakan material alternatif sebagai pengganti semen yang mengandung silica dan alumina serta memiliki sifat *pozzolan*, seperti *fly ash* (abu terbang) [4]. *Fly ash* adalah material buangan dari pembakaran batu bara pada industri atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kandungan silica dioksida (SiO₂) dan kalsium oksida (CaO) [22].

Fly ash tidak mempunyai kemampuan untuk mengikat seperti semen, tetapi memerlukan larutan alkali aktivator yang berfungsi untuk penyusunan pasta geopolimer [3]. Penambahan larutan alkali aktivator dan katalisator seperti sodium hidroksida (NaOH), potasium hidroksida (KOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃) akan bereaksi membentuk ikatan polimer [22].

Beton geopolimer memiliki kelebihan yaitu tahan dengan serangan asam sulfat, tahan dengan reaksi silica-alkali, tahan dengan api dan bisa mengurangi polusi udara [6]. Sedangkan beton geopolimer juga memiliki kelemahan yaitu dalam tahap pembuatannya lebih rumit dari beton konvensional, karena komponen bahan yang dipakai

lebih banyak dan perhitungan *mix design* yang pasti belum diketahui [6].

Oleh karena itu untuk dapat menghasilkan material terbaru yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dan *recycled concrete aggregate* serta mendapat kinerja material yang lebih baik, maka dilakukan penelitian beton geopolimer dengan menggunakan limbah *fly ash* sebagai bahan pengikat dan *recycled concrete aggregate* sebagai bahan substitusi (pengganti sebagian) dari material agregat kasar. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer.

METODOLOGI

Material Penyusun Beton Geopolimer

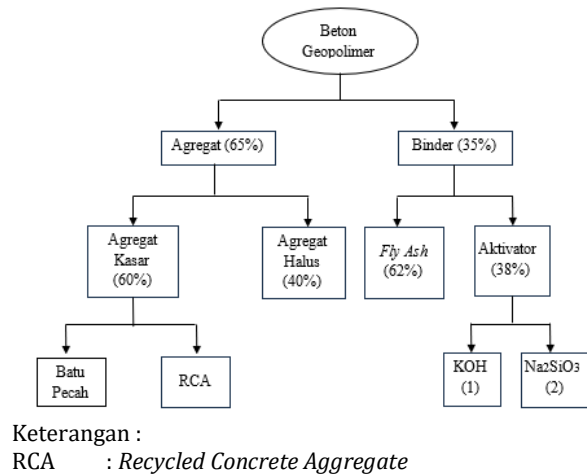
Material penyusun beton geopolimer terdiri dari :

1. Agregat kasar berupa batu pecah sebagai bahan pengisi.
2. *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) sebagai bahan substitusi agregat kasar. Limbah beton dipecahkan kemudian disaring dengan saringan ¾" (19 mm) atau dengan ukuran yang sama dengan batu pecah. Lalu dilakukan pencucian hingga bersih dari debu yang menempel dan dijemur.
3. Agregat halus sebagai bahan pengisi.
4. *Fly Ash* (abu terbang) berasal dari limbah batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai bahan perekat.
5. Larutan alkali aktivator berupa Potasium Hidroksida (KOH) sebagai bahan yang bereaksi dengan *fly ash* untuk membentuk ikatan polimer (proses polimerisasi).
6. Larutan katalisator berupa Sodium Silikat (Na₂SiO₃) untuk mempercepat proses polimerisasi.
7. *Aquadest* sebagai pelarut aktivator dan katalisator

Rancangan Benda Uji Beton Geopolimer

Beton geopolimer belum memiliki peraturan tentang proporsi campuran (*mix design*), sehingga *mix design* berdasarkan pada proporsi campuran dari penelitian sebelumnya. Adapun komposisi material pada penelitian dengan menggunakan perbandingan agregat dengan binder (bahan pengikat) sebesar 65% : 35%. Perbandingan agregat kasar dengan agregat halus sebesar 60% : 40% sedangkan perbandingan *fly ash* dengan alkali sebesar 62% : 38%. Molaritas aktivator sebesar 12 molar dan perbandingan katalisator berupa Na₂SiO₃ (SH) dengan aktivator berupa KOH (SS) sebesar 2:1 [13]. Pada penelitian ini menjadikan *recycled concrete aggregate* dengan persentase sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Benda uji yang dibuat sebanyak 3 sampel dengan menggunakan cetakan silinder berdimensi diameter 10 cm dan tinggi 20 cm [22]. Agar mendapatkan hasil

yang akurat maka benda uji dibuat sebanyak 3 benda uji atau lebih (SNI 2493:2011). *Mix design* beton geopolimer dapat dilihat pada gambar 1 dan variasi benda uji dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Mix Design Beton Geopolimer [13]

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Pengujian	Agregat Kasar		Jumlah Benda Uji
	Batu pecah (%)	Substitusi RCA (%)	
Kuat Tekan	100	0	3
	75	25	3
	50	50	3
	25	75	3
	0	100	3

Tahapan Pembuatan Benda Uji

Tahapan dalam pembuatan beton geopolimer sebagai berikut:

1. Timbang semua material yang akan digunakan.
2. Campur potasium hidrolika (KOH), sodium silikat (Na_2SiO_3) dan *aquadest*, kemudian aduk sampai larutan menjadi homogen.
3. Lalu campurkan agregat kasar, *recycled concrete aggregate* (yang sudah dibersihkan dan dihancurkan), agregat halus, *fly ash* hingga merata.
4. Setelah tercampur merata adukan beton geopolimer dimasukkan kedalam kerucut abrams agar mengetahui nilai *slump* pada beton geopolimer.
6. Setelah itu masukkan adukan beton geopolimer kedalam cetakan silinder dan balok secara merata.
7. Cetakan dilepas saat beton sudah mengeras setelah 24 jam.

Perawatan Benda Uji

Pemeliharaan beton geopolimer dapat dilakukan menggunakan suhu ruang dan kuat tekan yang dihasilkan baik. Setelah perawatan beton dilakukan pada suhu ruang, kemudian selanjutnya pengujian kuat tekan diumur 28 hari [12]. Karakteristik beton geopolimer akan meningkatkan

pada perawatan temperature ruang selama 28 hari [14].

Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Nilai kuat tekan beton geopolimer diperoleh dengan menggunakan persamaan (SNI 1974:2011) berikut:

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

Keterangan :

f'_c = Kuat tekan beton (N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan benda uji silinder (mm^2)

Pengujian Desnsitas Benda Uji

Nilai densitas atau berat isi beton geopolimer diperoleh dengan menggunakan persamaan (SNI 1973:2016) berikut:

$$T = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Keterangan :

T = Densitas atau berat isi (kg/m^3)

M = Massa benda uji (kg)

V = Volume benda uji (m^3)

Koefisien Hubungan

Koefisien hubungan merupakan suatu angka yang bisa mendeskripsikan kekuatan dari hubungan variabel satu dengan yang lainnya. Nilai koefisien dari suatu hubungan dinyatakan dalam range antara -1 sampai 1, sedangkan untuk tanda positif (+) dan negatif (-) digunakan untuk menyatakan arah [24] yaitu:

1. Nilai r bernilai -1 maka terjadi hubungan negatif sempurna, bermakna mengalami hubungan yang bertolak belakang antara variabel X dengan variabel Y, saat variable X naik, maka variabel Y turun.
2. Nilai r bernilai 1 maka terjadi hubungan positif sempurna, bermakna mengalami hubungan searah antara variabel X dengan variabel Y, saat variable X naik, maka variabel Y turun.

Tingkat hubungan dan kekuatan antar variable dapat dilakukan berdasarkan tabel 2.

Tabel 2. Tingkat Hubungan dan Kekuatan Hubungan [24]

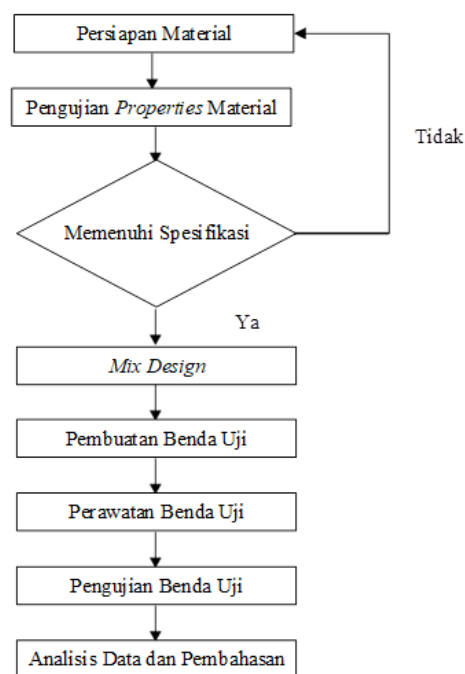
No	Nilai Hubungan (r)	Tingkat Hubungan
1	0,00 – 0,199	Sangat Lemah
2	0,20 – 0,399	Lemah
3	0,40 – 0,599	Cukup
4	0,60 – 0,799	Kuat
5	0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Analysis Of Variance (ANOVA)

Analysis of variance atau yang disebut dengan ANOVA merupakan salah satu teknik analisis yang digunakan untuk uji perbandingan rata-rata antara beberapa kelompok data. Adapun syarat yang harus dipenuhi untuk melakukan pengujian analisis varian diantaranya pengambilan sampel secara random dari populasi, data yang diambil adalah data skala interval atau rasio, data harus memenuhi syarat berdistribusi normal, dan data dalam variabel yang akan dianalisis harus homogen. Distribusi sampling yang digunakan untuk mengambil keputusan statistiknya adalah menolak atau menerima hipotesis nol (H_0) yang disebut distribusi F. Untuk analisis varian satu arah dapat dilihat pada tabel 3.

Bagan Alir Penelitian

Pengujian diawali dengan dilakukan pengujian *properties* atau pendahuluan pada material agregat halus, agregat kasar, *recycled concrete aggregate* dan *X-Ray fluorescence* untuk *fly ash*. Hasil pengujian yang diperoleh digunakan untuk pembuatan *job mix* sehingga didapatkan proporsi campuran beton. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tabel 3. Analisis Varian Satu Arah (Wahyudi, N.M.D., 2023)

SK	JK	db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	$\frac{\sum P^2}{n} - \frac{(\sum X)^2}{N}$	k-1	$\frac{JK_P}{db_P}$	$\frac{KT_P}{KT_G}$	F _{0,05} (db _P ;db _G)
Galat	$JK_T - JK_P$	N-k	$\frac{JK_G}{db_G}$		
Total	$\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}$	N-1			

Keterangan : JK_T = Jumlah kuadrat total
 JK_P = Jumlah kuadrat perlakuan
 JK_G = Jumlah kuadrat error atau galat
 KT_P = Kuadrat tengah perlakuan
 KT_G = Kuadrat tengah galat

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* pada *fly ash* dapat dilihat pada tabel 4.

No	Senyawa	Kandungan (%)
1.	Al ₂ O ₃	14,338
2.	SiO ₂	35,777
3.	SO ₃	1,211
4.	CaO	10,824
5.	Fe ₂ O ₃	29,546

Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan penggolongan kelas *fly ash* pada ASTM C618-19. Dari hasil perhitungan diperoleh:

- SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ ≥ 50%
 35,777 + 14,338 + 29,546 ≥ 50%
 79,661% ≥ 50%
- SO₃ ≤ 5%
 1,211% ≤ 5%
- CaO ≤ 18%
 10,824% ≤ 18%

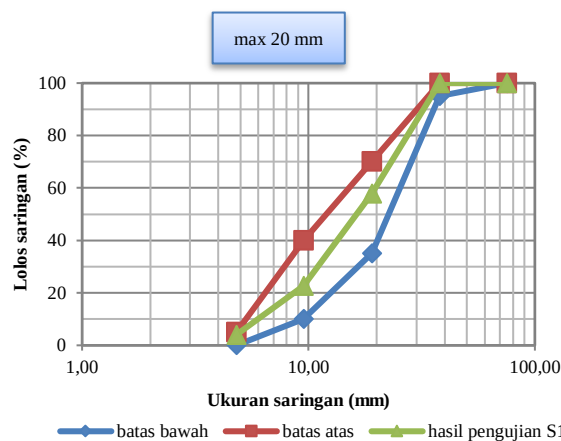
Hasil penggolongan kelas *fly ash* yang merupakan limbah pembakaran batubara termasuk kedalam kelas F karena berasal dari batu bara dan mempunyai sifat *pozzolanic* yaitu mengandung Silikon Oksida atau Silika (SiO₂) dan Aluminium Oksida atau Alumina (Al₂O₃). Berdasarkan ASTM C 618-19, *fly ash* yang digunakan termasuk tipe F yang memiliki waktu ikat awal cepat serta kekuatan yang baik di hari-hari pertama. Selain itu tipe *fly ash* juga akan mempengaruhi tahapan dalam pengadukan beton geopolimer. Hasil penggolongan kelas *fly ash* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Penggolongan Kelas *Fly Ash* (ASTM C618-19)

Uraian	Syarat Kelas		Hasil XRF (%)	Kelas
	F	C		
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +FeO ₃	≥ 50%	≥ 50%	79,661	F
SO ₃	≤ 5%	≤ 5%	1,211	
CaO	≤ 18%	>18%	10,824	

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipergunakan pada penelitian berupa batu pecah. Pengujian *properties* (pendahuluan) pada agregat halus terdiri dari pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, berat volume dan keausan (*Los Angeles*). Grafik hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

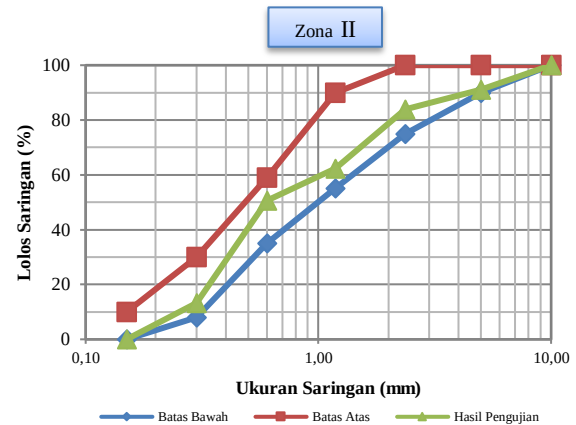
Dari hasil pengujian analisa saringan pada gambar 3, diperoleh gradasi agregat kasar berada pada *max* 40 mm dan memenuhi persyaratan [20]. Hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel 6. Dari hasil pengujian pendahuluan agregat kasar memenuhi spesifikasi standar SNI untuk dapat dipergunakan sebagai bahan campuran beton geopolimer.

Tabel 6. Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Persyaratan		Hasil Uji
1.	Analisa Saringan	Max 10, 20, 40 mm	SNI ASTM C136:2012	Max 20 mm
2.	Berat Jenis SSD	2,58 – 2,83	SNI 1970 : 2016	2,80
3.	Penyerapan	≤2%	SNI 1968:2016	1,02%
4.	Kadar Lumpur	1%	SNI 03 4142-1996	0,30%
5.	Keausan Agregat	≤40%	SNI 2417:2008	29%

Hasil Pengujian Agregat Halus

Grafik pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Analisa saringan agregat halus

Hasil rekapitulasi pengujian agregat halus dapat dilihat pada tabel 7. Dari hasil pengujian pendahuluan agregat halus memenuhi spesifikasi standar SNI untuk dapat dipergunakan sebagai bahan campuran beton geopolimer.

Tabel 7. Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Persyaratan		Hasil Uji
1.	Analisa Saringan	Zona I-IV	SNI S-04-1989-F	Zona II
2.	Berat Jenis SSD	2,58 – 2,83	SNI 1970 : 2016	2,61
3.	Penyerapan	≤2%	SNI 1970:2008	0,38%
4.	Kadar Lumpur	≤5%	SNI 6021:2002	2,37%
5.	Kadar Organik	No. 1 – 3	SNI 2816:2014	No.1

Komposisi Campuran Beton Geopolimer

Berdasarkan komposisi campuran [13] diperoleh komposisi campuran beton geopolimer untuk 1m³ seperti terlihat pada tabel 8.

Tabel 8. Komposisi Campuran Untuk 1m³

Agg. Kasar (kg)	Agg. Halus (kg)	Fly Ash (kg)	KOH (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	Aquadest (kg)
936	624	520,8	106,4	212,8	113,68

Setelah didapatkan kebutuhan per 1 m³ setiap bahan campuran, maka selanjutnya menghitung kebutuhan campuran untuk 3 sampel silinder dengan diameter sebesar 10 cm dan tinggi sebesar 20 cm pada setiap variasi dapat dilihat pada tabel 9. Untuk agregat kasar terdiri dari agregat kasar dari batu pecah dan agregat kasar dari *recycled concrete aggregate*. Substitusi *recycled concrete aggregate* menyebabkan berkurangnya berat dari batu pecah pada setiap variasinya. Berat material substitusi *recycled concrete aggregate* dengan variasi 0%, 25%,

50%, 75%, 100%, diperoleh dari perkalian persentase *recycled concrete aggregate* dengan berat agregat kasar.

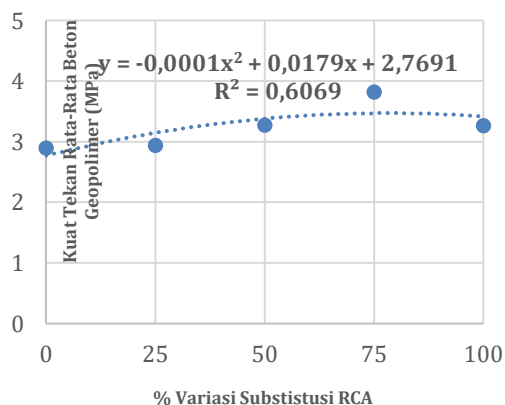
Tabel 9. Komposisi Campuran Beton Geopolimer untuk 3 benda uji

% Sub. RCA	Agg. Kasar (Kg)		Agg. Halus (kg)	Fly Ash (kg)	KOH (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	Aqua dest (kg)
	Batu Pecah	RCA					
0	4,41	0,00	2,94	2,45	0,50	1,00	0,54
25	3,31	1,10	2,94	2,45	0,50	1,00	0,54
50	2,21	2,20	2,94	2,45	0,50	1,00	0,54
75	1,10	3,31	2,94	2,45	0,50	1,00	0,54
100	0,00	4,41	2,94	2,45	0,50	1,00	0,54

Kuat Tekan Beton Geopolimer

Nilai kuat tekan ditentukan dengan rata-rata tiga buah uji yang berbentuk silinder dan berdiameter 10×20 cm sesuai dengan [23]. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari setelah dilakukan perawatan di suhu ruang. Digunakan variasi substitusi *recycled concrete aggregate* 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil pengujian kuat tekan. Untuk menghitung nilai kuat tekan beton geopolimer sesuai dengan persamaan.

Nilai kuat tekan diperoleh berdasarkan pada persamaan (1). Hasil pengujian kuat tekan benda uji beton geopolimer dapat dilihat pada tabel 10 dan gambar 5. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 3,82 MPa pada variasi persentase substitusi *recycled concrete aggregate* sebesar 25% sedangkan kuat tekan rata-rata terendah sebesar 2,89 MPa pada variasi persentase substitusi *recycled concrete aggregate* sebesar 0%.



Gambar 5. Hubungan % Substitusi *recycled concrete aggregate* dengan Kuat Tekan Rata-rata Beton Geopolimer

Hasil pengujian menunjukkan terjadi peningkatan nilai kuat tekan beton geopolimer seiring dengan penambahan persentase substitusi *recycled concrete aggregate*. Peningkatan nilai kuat tekan dimulai dari substitusi *recycled concrete aggregate* sebesar 25%, 50% hingga 75%, namun nilai kuat tekan beton geopolimer mengalami penurunan pada penambahan 100% *recycled concrete aggregate*. Hasil yang diperoleh juga serupa

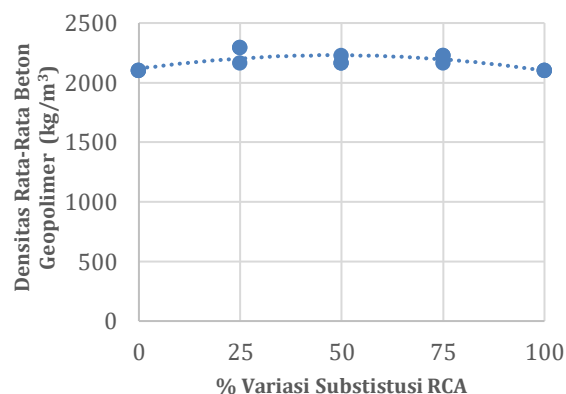
dalam penelitian Mahardana, Z.B., dkk., (2023) [2], dimana penggunaan *recycled concrete aggregate* menghasilkan kualitas yang sangat bagus dan kuat tekan beton lebih tinggi dari kuat tekan beton normal.

Berdasarkan grafik hubungan substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer pada gambar 5, diperoleh persamaan $y = -0,0001x^2 + 0,0179x + 2,7691$ dengan nilai r^2 sebesar 0,6069 dan r sebesar 0,7790. Nilai r^2 atau koefisien determinasi dapat menjelaskan seberapa besar kemampuan dari variabel x yakni variasi substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap nilai dari variabel terikat atau y . Diketahuinya persamaan regresi tersebut dapat digunakan dengan tujuan untuk memprediksi atau memperkirakan hubungan antara variabel satu dengan variabel lainnya.

Hasil analisis hubungan (r) didapat nilai sebesar 0,7790 menunjukkan bahwa terdapat tingkat hubungan yang kuat antara persentase substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer dimana nilai hubungan (r) berada diantara 0,6 sampai 0,799. Nilai r positif menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara persentase substitusi *recycled concrete aggregate* dengan nilai kuat tekan beton geopolimer dimana dari penelitian memiliki tingkat hubungan yang berbanding lurus yang sangat kuat artinya semakin meningkatnya nilai variabel bebas yaitu variasi persentase substitusi *recycled concrete aggregate* maka akan meningkatkan nilai variabel terikat yaitu hasil kuat tekan beton geopolimer [2].

Densitas Beton Geopolimer

Nilai densitas atau berat isi beton geopolimer ditentukan dengan rata-rata tiga buah uji yang berbentuk silinder dan berdiameter 10×20 cm sesuai dengan [23]. Nilai densitas diperoleh berdasarkan pada persamaan (2). Nilai benda uji beton geopolimer dapat dilihat pada tabel 11 dan gambar 6.



Gambar 6. Hubungan % Substitusi *recycled concrete aggregate* dengan Densitas Rata-rata Beton Geopolimer

Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa seluruh variasi benda uji beton geopolimer memiliki nilai densitas atau berat isi rata-rata yang hampir sama yaitu sekitar 2100-2200 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa variasi persentase substitusi *recycled concrete aggregate* memberikan pengaruh signifikan terhadap berat isi beton geopolimer. Hal

ini juga didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Hikmah, P.N., dkk., (2024), dimana variasi rasio campuran tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap berat isi, sehingga gaya yang diberikan akan lebih merata pada benda uji pada saat dilakukan uji kuat tekan karena ukuran dan distribusi isi pada penelitian ini sudah tepat.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan

% Substitusi RCA	Kode Benda Uji	Luas (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
0	1	7850	24000	3,06	2,89
	2	7850	22000	2,80	
	3	7850	22000	2,80	
25	1	7850	25000	3,18	2,93
	2	7850	22000	2,80	
	3	7850	22000	2,80	
50	1	7850	22000	2,80	3,27
	2	7850	29000	3,69	
	3	7850	26000	3,31	
75	1	7850	32000	4,08	3,82
	2	7850	30000	3,82	
	3	7850	28000	3,57	
100	1	7850	30000	3,82	3,26
	2	7850	22000	2,80	
	3	7850	25000	3,17	

Tabel 11. Hasil Pengujian Densitas

% Substitusi RCA	Kode Benda Uji	Massa Benda Uji (Kg)	Volume (m ³)	Densitas (kg/m ³)	Densitas Rata-rata (kg/m ³)
0	1	3,30	0,001571	2100,845	2100,845
	2	3,30	0,001571	2100,845	
	3	3,30	0,001571	2100,845	
25	1	3,60	0,001571	2291,831	2249,390
	2	3,40	0,001571	2164,507	
	3	3,60	0,001571	2291,831	
50	1	3,40	0,001571	2164,507	2185,728
	2	3,40	0,001571	2164,507	
	3	3,50	0,001571	2228,169	
75	1	3,40	0,001571	2164,507	2206,948
	2	3,50	0,001571	2228,169	
	3	3,50	0,001571	2228,169	
100	1	3,30	0,001571	2100,845	2100,845
	2	3,30	0,001571	2100,845	
	3	3,30	0,001571	2100,845	

Analysis Of Variance (ANOVA)

Dalam menentukan pengaruh variasi substitusi *recycled concrete aggregate* dapat menggunakan metode *Analysis Of Variance* (ANOVA) satu arah dimana hanya terdapat 1 variabel terikat yaitu variabel y [25].

Adapun pengujian hipotesis yang dilakukan yaitu:

H_0 : Tidak ada pengaruh variasi substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer

H_1 : Ada pengaruh variasi substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer

Analisis varian digunakan untuk mengetahui variasi persentase substitusi *recycled concrete aggregate* yang merupakan variabel bebas dapat

memengaruhi kekuatan tekan beton geopolimer dengan membandingkan nilai F_{tabel} dengan F_{hitung} pada $\alpha = 5\%$. F_{tabel} yang digunakan adalah $F(0,05;4;10)$, sehingga diketahui nilainya 3,11 (nilai tersebut didapat dari F sebaran *fisher*).

Rancangan perlakuan ANOVA satu arah dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Rancangan Perlakuan

% Substitusi RCA	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			Jumlah
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0	3,06	2,80	2,80	8,66
25	3,18	2,80	2,80	8,76
50	2,80	3,69	3,31	9,80
75	4,08	3,82	3,57	11,47
100	3,82	2,80	3,17	9,79
Total				48,48

Rekapitulasi hasil perhitungan ANOVA dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Hasil ANOVA

SK	JK	db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	1,69	4	0,42	3,52	3,11
Galat	1,27	10	0,13		
Total	2,96	14			

Hasil analisis perhitungan pada tabel 13, diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel} = 3,52 > 3,11$ sehingga hipotesis H_0 ditolak. Berdasarkan nilai tersebut maka dapat dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari persentase substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer pada tingkat signifikan $\alpha=0,05$ dan hipotesis H_1 diterima.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian adalah terdapat pengaruh yang signifikan dari persentase substitusi *recycled concrete aggregate* terhadap kuat tekan beton geopolimer berdasarkan pada nilai *analysis of variance* (ANOVA) dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $3,52 > 3,11$. Hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan tertinggi sebesar 3,82 MPa pada variasi substitusi *recycled concrete aggregate* 25% dan dengan nilai kuat tekan terendah pada substitusi 0% *recycled concrete aggregate* yaitu sebesar 2,89 MPa. Nilai kuat tekan mengalami peningkatan seiring dengan adanya variasi substitusi *recycled concrete aggregate* namun mengalami penurunan pada variasi substitusi 100% *recycled concrete aggregate*.

REFERENSI

- [1] Imannurrohman, N., 2021, Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (Ac-Wc). Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil, Vol.4 No.1, pp.6-15, ISSN : 2614-3119.
- [2] Mahardana, Z.B., Pambudi, W.R., Emilia, O.F., Fasyaro, R.F., Aprinia, A.D., Mustafa, D.T. dan Induwati, M., 2023, Meningkatkan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Material Recycle Concrete Aggregate (RCA), Media Ilmiah Teknik Sipil, Vol.11 No.1, pp.1-8, ISSN : 2305-3857.
- [3] Wagola, E.S., 2021, Inovasi Pemanfaatan Limbah Beton terhadap Kuat Lentur Beton Self Compacting Concrete (SCC), JUSTE (Journal of Science and Technology), Vol.2 No.1, pp.97-110.
- [4] Kurniawan, A., Yanti, G. dan Megasari, S.W., 2022, Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Pemanfaatan Limbah Fly Ash, Vol.2 No.1, pp. 189-194, ISSN : 2807-7717.
- [5] Budiningrum, D.S., Kustirini, A., Purnijanto, B., Mahasukma, D. dan Utama, T.Y., 2021, Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash PLTU Tanjung Jati B Jepara, Jurnal Bangun Rekaprima, Vol.7 No.2, pp.55, ISSN : 2443-2709.
- [6] Gandina, N.L. dan Setiyarto, Y.D., 2020, Studi Eksperimental Beton Geopolimer Dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen dan Serat Mat Sebagai Aditif, CRANE: Civil Engineering Research Journal, Vol.1 No.1, pp. 26-36, ISSN : 2775-4588
- [7] Badan Standardisasi Nasional, 2002, SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, BSN, Jakarta
- [8] Yahya, Z., Abdullah, M.M.A.B., Talib, S.Z.A. dan Razak, R.A., 2017, Comparative Study On Early Strength Of Sodium Hydroxide (Naoh) Activated Fly Ash Based Geopolymer, AIP Conference Proceedings
- [9] Zen, H., Yanti, G. dan Megasari, S.W., 2021, Pemanfaatan Recycled Concrete Aggregate Pada Beton Porous, Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS), Vol.4 No.2, pp.85-90, ISSN : 2715-5707.
- [10] Dewi, E.S., 2023, Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton Pada Proyek Bypass (BIL) Mandalika Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Beton Normal. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik, Vol.3 No.1, pp.1-8, ISSN : 2797- 0337.
- [11] Wijaya, M.F., Olivia, M. dan Saputra, E., 2019, Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Hybrid menggunakan Semen Portland, Jurnal Teknik, Vol.13 No.1, pp. 60-68, ISSN : 2622-10X
- [12] Partha, M., Deb, S., Sarathi, P., Order, D., Pradip, D. ;, Prabir, N. ;, Sarker, K., Deb, P. S., Nath, P., & Sarker, K. (2014). Elsevier Editorial System(tm) for Materials and Design Manuscript Draft Manuscript Number: JMAD-D-14-00639R2 Title: The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties . Vol.66.
- [13] Qomaruddin, M., Munawaroh, T.H. dan Sudarno, S., 2018, Studi Komparasi Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Beton Konvensional. Prosiding SNST Ke-9 Tahun 2018 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Vol.1 No.1, pp.40- 45, ISSN : 2964-2531.
- [14] Ilyas, Y.A., Yanti, G., dan Putri, L.D., 2022, Studi Beton Geopolimer Dengan Bahan Dasar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton, Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil, JRKMS, Vol.2 No.5, pp. 83-92, ISSN : 2715-1581.
- [15] Ishaq, M., Nasmirayanti, R. dan Trinanda, A.Y., 2021, Pengaruh Limbah Beton sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton, Civil Engineering Collaboration, Vol.6 No.2, pp.34-40, ISSN : 2615-5915.
- [16] Priyono, I. dan Erizal, M.W., 2020, Compressive Strength of Concrete with Recycled Concrete Aggregate as Coarse Aggregate and Recycled

- Paving Block Aggregate as Fine Aggregate Partially Substituted by Recycled Brick Aggregate, *Asian Journal of Applied Sciences*, Vol.8 No.1, pp.48-55, ISSN : 2321-0893.
- [17] Miftahul, R., Ketut, A.W. dan Nurtanto, D., 2022, Perbandingan Metode Pembuatan Beton Geopolymer Terhadap Sifat Mekanik dan Porositas. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, Vol.8 No.1 pp. 136–147, ISSN : 2549-3973
- [18] Agustin, D., Wiswamitra, K.A., dan Nurtanto, D., 2022, Sifat Mekanik Beton Ringan Menggunakan Geopolymer Dengan Styrofoam Sebagai Substitusi Agregat Kasar, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.8 No.1, pp.124–135. ISSN : 2549- 3973.
- [19] Fardin, H.E. dan dos Santos, A.G., 2020, Roller Compacted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for Paving Bases. *Sustainability (Switzerland)*, Vol.8 No.12
- [20] Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136:2012: Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Badan Standardisasi Nasional, 1–24.
- [21] Ekaputri, J. J., Triwulan, & Damayanti, O. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi. November 2007.
- [22] Irhab, H. M., & Wardhono, A. (2022). PENGARUH VARIASI WAKTU DAN SUHU PERAWATAN TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER DENGAN ABU TERBANG DAN NaOH 12 MOLAR. 4(2), 1-10.
- [23] Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sni 2847-2019, 8, 720.
- [24] Ananda, R., & Fadhli, M. (2018). Statistika Pendidikan: Teori dan Praktik Dalam Pendidikan. In Syarbaini Saleh (Ed.), Cv. Widya Puspita (Pertama). CV. Widya Puspita.
- [25] Rahmawati, A. S., & Erina, R. (2020). Rancangan Acak Lengkap (Ral) Dengan Uji Anova Dua Jalur. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, Vol.4No.1, pp 54–62. ISSN : 2716-2727.

This page is intentionally blank