



Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Abu Batu terhadap Workabilitas dan Sifat Mekanis Beton Normal

Aryanthi B. Nanasi*, Ventje B. Slat, Don R. G. Kabo

Politeknik Negeri Manado, Indonesia

Email: bahagiananasi@gmail.com*

Keywords:

Stone Dust; Fine Aggregate; Workability; Compressive Strength; Splitting Tensile Strength.

Abstract

This study aims to analyze the effect of partially substituting fine aggregate with stone dust on the workability and mechanical properties of normal concrete. Stone dust was utilized as a partial sand replacement due to its fine particle size, which has the potential to increase concrete density and promote the use of waste generated from stone crushing processes. The research was conducted experimentally at the Materials Testing Laboratory of the Civil Engineering Department at Manado State Polytechnic, using cylindrical specimens measuring 100 mm × 200 mm. The stone dust substitution levels tested were 0%, 12%, 15%, and 17% of the fine aggregate weight. Workability was assessed via the slump test, while mechanical properties were evaluated through compressive strength tests at 7, 14, and 28 days, and splitting tensile strength tests at 7 and 28 days. The results indicate that the use of stone dust affected the concrete slump values: 6 cm for normal concrete, compared to 5 cm for the 12% variation, 4 cm for the 15% variation, and 5 cm for the 17% variation. At 28 days, normal concrete exhibited the highest compressive strength at 20.87 MPa, whereas the 12%, 15%, and 17% stone dust variations yielded 17.00 MPa, 19.57 MPa, and 14.97 MPa, respectively. The 28-day splitting tensile strength was 2.51 MPa for normal concrete, while the 12%, 15%, and 17% variations recorded 1.99 MPa, 2.39 MPa, and 1.50 MPa, respectively. Overall, the 15% variation yielded the best results among the stone dust mixtures, although it did not surpass the performance of normal concrete.

Kata Kunci:

abu batu; agregat halus; workabilitas; kuat tekan; kuat tarik belah.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi sebagian agregat halus dengan abu batu terhadap workabilitas dan sifat mekanis beton normal. Abu batu dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian pasir karena memiliki ukuran partikel halus yang berpotensi meningkatkan kepadatan beton serta mendukung pemanfaatan limbah hasil proses pemecahan batu. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado menggunakan benda uji silinder berukuran 100 mm × 200 mm. Variasi substitusi abu batu yang digunakan adalah 0%, 12%, 15%, dan 17% dari berat agregat halus. Pengujian workabilitas dilakukan dengan uji slump, sedangkan sifat mekanis beton dievaluasi melalui uji kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari serta uji kuat tarik belah pada umur 7 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu batu memengaruhi nilai slump beton, yaitu dari 6 cm pada beton normal menjadi 5 cm pada variasi 12%, 4 cm pada variasi 15%, dan 5 cm pada variasi 17%. Pada umur 28 hari, beton normal memiliki kuat tekan tertinggi sebesar 20,87 MPa, sedangkan variasi abu batu 12%, 15%, dan 17% masing-masing sebesar 17,00 MPa, 19,57 MPa, dan 14,97 MPa. Nilai kuat tarik belah umur 28 hari pada beton normal sebesar 2,51 MPa, sedangkan pada variasi 12%, 15%, dan 17% masing-masing sebesar 1,99 MPa, 2,39 MPa, dan 1,50 MPa. Secara keseluruhan, variasi 15% memberikan hasil terbaik di antara

PENDAHULUAN

Beton menjadi salah satu bahan utama dalam berbagai pekerjaan konstruksi karena memiliki kemampuan yang baik dalam menerima beban tekan, cukup tahan terhadap lingkungan, dan mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500) kg/m³ menggunakan agregat alam yang di pecah SNI 03-2834-2000.

Proses pemecahan batu menghasilkan abu batu sebagai material sisa. Abu batu memiliki ukuran butir yang halus dan sifat fisik yang cukup mirip dengan agregat halus, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sebagian pengganti pasir. H. Lisitiawaty et al., (2025) menyatakan bahwa abu batu dapat digunakan dalam campuran beton sebagai pengganti pasir dan pada persentase tertentu, dapat membantu meningkatkan kuat tekan. Dengan demikian, pemanfaatan abu batu juga dapat menjadi cara untuk memberikan nilai tambah pada material sisa dari industri pemecah batu.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengaruh abu batu dapat berbeda-beda tergantung pada persentase yang digunakan. Mhd Almahi et al., (2023) meneliti penggunaan abu batu pada beton K-225 dengan beberapa variasi dan mendapatkan hasil terbaik pada kadar 50%. Sementara itu, (Rinaldi Fatwa et al., 2024) menemukan adanya perubahan kuat tekan akibat penggunaan abu batu, dengan hasil tertinggi pada variasi 35%. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa jenis material dan komposisi campuran dapat memengaruhi kinerja beton yang dihasilkan. Namun, penggunaan abu batu tidak hanya berpengaruh terhadap kekuatan beton yang telah mengeras, tetapi juga terhadap kondisi beton segar. Kandungan partikel halus yang tinggi pada abu batu dapat meningkatkan kebutuhan air dan memengaruhi kekentalan campuran beton. Akibatnya, penambahan abu batu dalam jumlah tertentu dapat membuat beton menjadi lebih kaku dan mempengaruhi nilai slump.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh substitusi sebagian agregat halus dengan abu batu sebesar 12%, 15%, dan 17% terhadap workabilitas, kuat tekan, dan kuat tarik belah beton normal mutu rencana 20 MPa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai persentase abu batu yang paling baik dalam campuran beton normal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado. Waktu penelitian berlangsung dari bulan Mei sampai Agustus 2026. Campuran beton direncanakan dengan mutu 20 MPa dan menggunakan semen Tonasa, agregat halus dari langsot, agregat kasar dari Tateli, serta abu batu dari Sea, Kabupaten Minahasa Utara.

Material Pembentuk Beton :

1. Semen

Semen adalah salah satu bahan utama yang digunakan dalam pembuatan beton. Fungsi utama semen adalah sebagai bahan pengikat yang menyatukan agregat halus, agregat kasar, dan bahan lainnya dalam campuran beton. Ketika semen

dicampur dengan air, terjadi proses hidrasi yang membuat campuran semen menjadi keras dan akhirnya membentuk beton yang kuat Bagus Hario Setiadji et al., (2020). SNI 15 2094-2004 tentang jenis dan penggunaan semen Portland :

- a. Jenis I semen Portland untuk penggunaan secara umum Dimana tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis semen lain
- b. Jenis II semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
- c. Jenis III semen Portland untuk penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi
- d. Jenis IV semen Portland Dimana untuk penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah
- e. Jenis V semen Portland untuk penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

2. Agregat Kasar

Agregat kasar berperan sebagai kerangka utama beton dan memberikan kontribusi besar terhadap kuat tekan beton. Agregat kasar harus memiliki kekuatan, kekerasan dan daya tahan yang baik agar tidak mudah hancur saat menerima beban. Agregat kasar di syaratkan sebagai SK SNI S-04-1989 F seperti berikut :

- a. Butiran keras dan tidak berpori
- b. Bersifat kekal, yaitu tidak hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca
- c. Tidak terkandung lumpur 1%
- d. Tidak mesti terkandung campuran yang bersifat membuat beton akan rusak pada halnya alkali zat

3. Agregat Halus

Agregat halus merupakan material granular dengan ukuran butiran maksimum 4.75 mm. Agregat halus berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar sehingga meningkatkan kepadatan beton. Kualitas agregat halus sangat mempegaruhi workabilitas, kekuatana dan keawetan beton. Agregat halus di syaratkan sebagai SK SNI S-04-1989 F seperti dibawah ini :

- a. Agregat halus yang tersusun butiran-butiran kasar dan tajam
- b. Butiran dari agregat memiliki sifat yang tidak mudah pecah karena pengaruh dari cuaca
- c. Harus bebas dari bahan organik dan lempung
- d. Lumpur yang ada butiran tidak diharuskan melebihi 5% dalam kondisi kering

4. Air

Air diperlukan untuk proses hidrasi dan meberikan kelecakan pada campuran beton. Air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih dan bebas dari zat-zat yang dapat mengganggu proses pengerasan dan kekuatan beton SNI 2847-2019 . Air sangat berpengaruh pada kekuatan beton, SNI S-04-1989-F mempunyai syarat yang harus dipenuhi untuk penggunaan air pada campuran beton :

- a. Air tidak berwarna, tidak berbau dan juga bersih
- b. Air tidak mengandung lumpur 2 gram/liter
- c. Kandungan klorida (C1) dari air tidak lebih dari 0,5 gram/liter
- d. Kandungan gram yang mengakibatkan kerusakan pada beton
- e. Kandungan senyawa sulfat tidak boleh lebih dari 1 gram/liter

5. Abu Batu

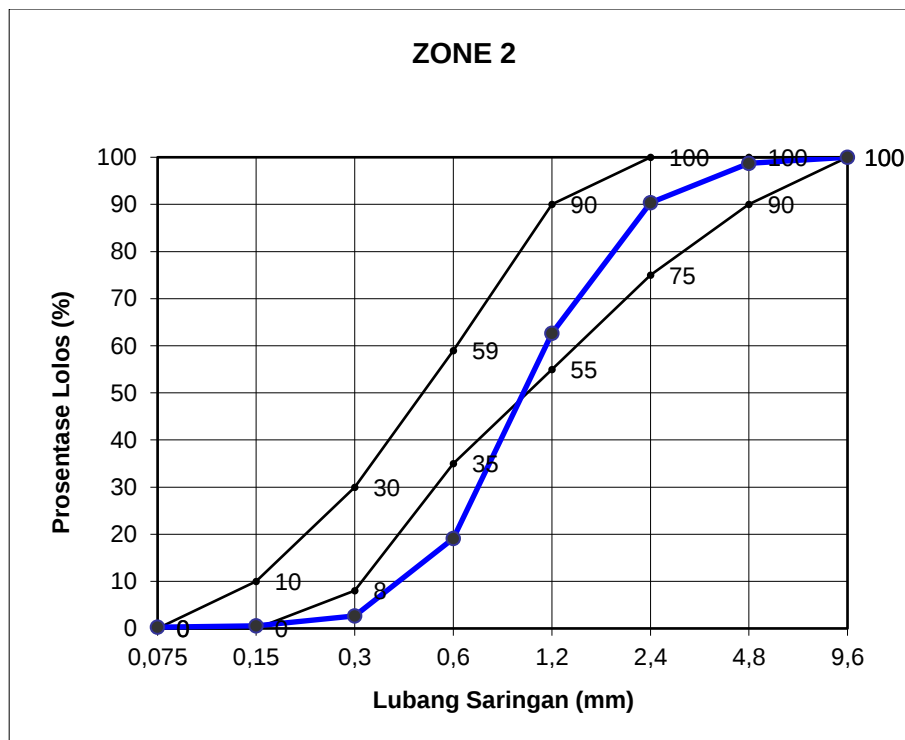
Abu batu merupakan limbah dari proses pemecahan bongkahan batu. Selain itu, abu batu juga memiliki tekstur yang tajam sehingga membuat ikatan yang cukup kuat. Beberapa artikel menyebutkan bahwa abu batu memiliki karakteristik fisik yang mirip dengan pasir alam, sehingga berpotensi digunakan sebagai pengganti agregat halus menurut H. Lisitiawaty et al., (2025)

Abu batu digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 0% sebagai beton normal, 12%, 15% dan 17%. Material abu batu terlebih dahulu disiapkan dan diayak. Abu batu yang digunakan lolos dari saringan No. 4 sampai dengan saringan No. 200 sebelum digunakan dalam campuran. Pemeriksaan karakteristik material meliputi kadar air, keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles*, berat jenis agregat kasar dan halus, analisa saringan, berat isi, dan kadar lumpur.

Table 1. Hasil pengujian karakteristik material agregat halus dan kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Jenis Material	
			Pasir ex langsot	Batu pecah ex tateli
1	Abrasi dengan Los Angeles	%	-	39,604
2	Berat Jenis :	gr/cm ³		
	Berat jenis bulk/ov		2,347	2,087
	Berat jenis SSD		2,400	2,096
	Berat jenis App		2,497	2,105
3	Penyerapan (Absorsi)	%	2,271	0,383
4	Berat isi	kg/cm ³	1,270	1,320
5	Kadar Lumpur	%	3,952	0,455

Pada Tabel 1. Menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian memiliki sifat fisik yang layak sebagai bahan penyusun beton. Pengujian meliputi kadar air, berat jenis, berat isi, kadar lumpur, gradasi, serta keausan agregat kasar. Data tersebut menjadi dasar dalam penyusunan campuran beton karena sangat memengaruhi kebutuhan air, kepadatan campuran, serta kualitas beton yang dihasilkan. Agregat yang memenuhi syarat akan menghasilkan campuran beton yang lebih stabil dan mampu mendukung perkembangan kekuatan beton secara optimal.



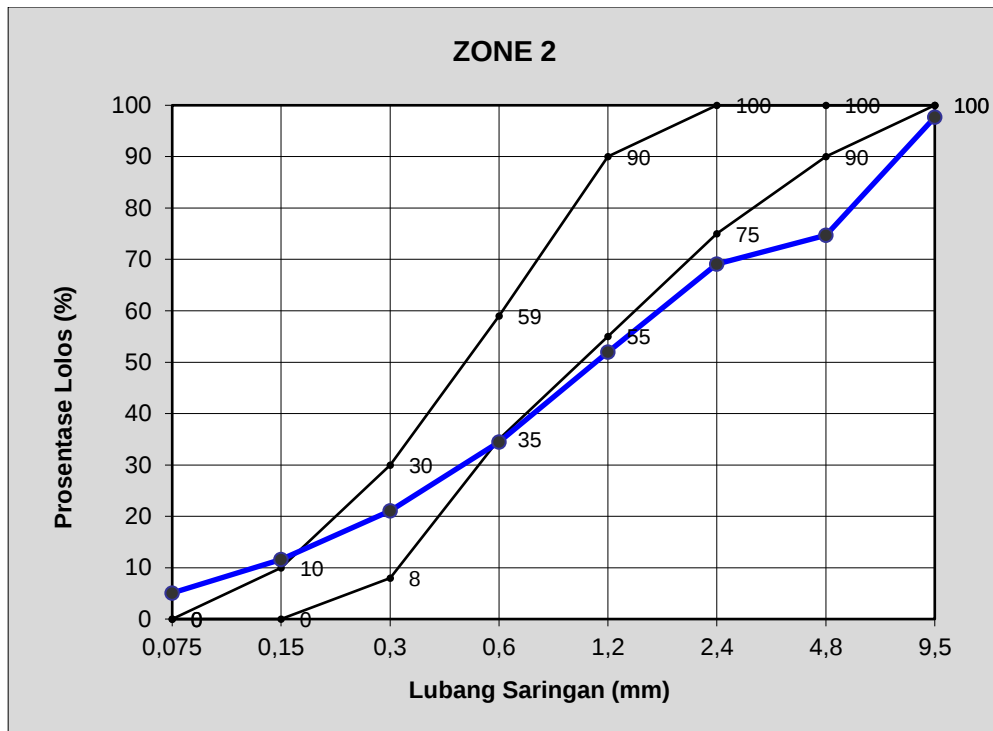
Gambar 1. Gradasi Agregat Halus (pasir)

Pada Gambar 1. Gradasi agregat halus memperlihatkan penyebaran ukuran butiran pasir yang digunakan dalam penelitian. Jika gradasi pasir berada dalam batas yang baik, maka pasir dapat mengisi rongga antar agregat kasar dengan lebih efektif. Hal ini akan membantu menghasilkan campuran beton yang lebih padat dan stabil. Pasir dengan gradasi yang baik juga akan memberikan workabilitas yang lebih seimbang, artinya campuran tidak terlalu encer dan tidak terlalu kaku.

Table 2. Hasil pengujian karakteristik material abu batu

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Jenis Material
			Abu batu ex sea
1	Abrasi dengan Los Angeles	%	-
2	Berat Jenis :	gr/cm ³	
	Berat jenis bulk/ov		2,339
	Berat jenis SSD		2,430
	Berat jenis App		2,573
3	Penyerapan (Absorsi)	%	3,889
4	Berat isi	kg/cm ³	1,200
5	Kadar Lumpur	%	2,393

Tabel 2. menunjukkan bahwa abu batu memiliki karakteristik fisik yang berbeda dari pasir, terutama pada ukuran butirannya yang lebih halus. Sifat ini menjadikan abu batu berpotensi sebagai filler yang dapat mengisi rongga-rongga kecil dalam campuran beton. Kehadiran partikel halus abu batu dapat meningkatkan kepadatan campuran, tetapi pada saat yang sama juga meningkatkan kebutuhan air sehingga dapat menurunkan workabilitas beton.



Gambar 2. Gradasi abu batu

Pada Gambar 2. Gradasi abu batu menunjukkan bahwa material ini memiliki proporsi butiran halus yang lebih dominan dibandingkan pasir. Kondisi ini menjelaskan mengapa abu batu dapat berfungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran beton. Partikel yang halus mampu menutup celah-celah kecil di antara butiran agregat, sehingga beton berpotensi menjadi lebih rapat. Akan tetapi, dominasi butiran halus ini juga dapat menyebabkan campuran memerlukan lebih banyak air untuk mempertahankan kemudahan pengerjaan.

Gambar 1 dan Gambar 2 memperlihatkan perbedaan gradasi antara pasir dan abu batu. Gradasi pasir yang baik membantu pembentukan susunan butiran yang stabil dan mendukung workabilitas campuran. Sementara itu, gradasi abu batu yang lebih dominan pada butiran halus menunjukkan kemampuannya dalam mengisi rongga antar agregat. Kondisi ini berkorelasi dengan hasil penelitian, di mana penambahan abu batu menyebabkan penurunan nilai slump, tetapi pada variasi tertentu mampu memberikan hasil kuat tekan dan kuat tarik belah yang cukup baik. Dengan demikian, karakteristik fisik dan gradasi abu batu berpengaruh langsung terhadap workabilitas dan sifat mekanis beton.

Benda uji dibuat menggunakan cetakan silinder berukuran 100 mm × 200 mm. Pada setiap variasi dibuat 13 benda uji, yang terdiri dari tiga benda uji untuk pengujian kuat tekan umur 7 hari, tiga benda uji umur 14 hari, tiga benda uji umur 28 hari, dua benda uji untuk kuat tarik belah umur 7 hari dan 28 hari. Karena terdapat empat variasi campuran, jumlah seluruh benda uji yang dibuat adalah 52 buah.

Table 3. Jumlah benda uji

Kode beton	Tekan 7 hari	Tekan 14 hari	Tekan 28 hari	Tarik belah 7 hari	Tarik belah 28 hari	Total
BN	3	3	3	2	2	13
BN + AB	3	3	3	2	2	13

Kode beton	Tekan 7 hari	Tekan 14 hari	Tekan 28 hari	Tarik belah 7 hari	Tarik belah 28 hari	Total
12%						
BN + AB	3	3	3	2	2	13
15%						
BN + AB	3	3	3	2	2	13
17%						
Total	12	12	12	8	8	52

Uji slump digunakan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton segar. Pengujian ini mengikuti standar SNI 1972:2008, Campuran beton dimasukkan ke dalam kerucut Abrams secara bertahap dalam tiga lapisan. Setiap lapisan kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali tusukan. Setelah kerucut diangkat secara tegak lurus, penurunan campuran diukur dan dicatat sebagai nilai slump. Setelah itu, benda uji dirawat dengan cara direndam hingga mencapai umur pengujian.

Pengujian kuat tekan dilakukan ketika beton umur 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian kuat tarik belah dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Hasil pengujian dihitung berdasarkan beban maksimum yang mampu diterima oleh masing-masing benda uji, kemudian nilai tersebut dirata-ratakan untuk setiap variasi dan umur beton. Perencanaan campuran mengikuti prosedur perencanaan beton normal yang digunakan dalam penelitian.

Table 4. Komposisi campuran beton

Kode Material	BN 0%	BN + AB 12%	BN + AB 15%	BN + AB 17%
Semen (kg)	568	568	568	568
Agregat Halus (kg)	1137	1001	967	944
Agregat Kasar (kg)	1855	1855	1855	1855
Abu Batu (kg)	0	136	171	193
Air (liter)	341	341	341	341

Substitusi abu batu dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan berat agregat halus. Abu batu digunakan sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi 12%, 15%, dan 17%. Persentase substitusi dihitung dari berat pasir pada campuran beton normal. Dengan demikian, jumlah total agregat halus tetap sama, sedangkan sebagian berat pasir digantikan oleh abu batu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan abu batu terhadap workabilitas dan sifat mekanis beton normal. Variasi abu batu yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus adalah 12%, 15%, dan 17%, dengan beton normal tanpa abu batu sebagai pembanding. Parameter yang diamati meliputi nilai slump, kuat tekan, dan kuat tarik belah.

Workabilitas Beton

Table 5. Hasil uji slump

Variasi abu batu	Nilai slump (cm)
0%	6
12%	5

Variasi abu batu	Nilai slump (cm)
15%	4
17%	5

Turunnya nilai slump pada campuran yang mengandung abu batu dapat terjadi karena abu batu memiliki banyak partikel halus dengan luas permukaan yang besar. Kondisi tersebut dapat membuat campuran membutuhkan lebih banyak air untuk mencapai tingkat kelecakan yang sama. Pada variasi abu batu 17%, nilai slump meningkat kembali menjadi 5 cm setelah sebelumnya turun menjadi 4 cm pada variasi 15%. Jadi, perubahan nilai slump dalam penelitian ini tidak menunjukkan pola yang terus meningkat atau menurun secara linear terhadap persentase abu batu. Namun, seluruh variasi yang diuji masih berada pada rentang nilai slump yang diperoleh selama penelitian.

Penurunan nilai slump pada campuran dengan abu batu menunjukkan bahwa semakin besar kandungan partikel halus, semakin besar pula luas permukaan spesifik campuran yang harus dilapisi air. Kondisi ini menyebabkan kebutuhan air efektif meningkat, sehingga workabilitas menurun pada faktor air-semen yang tetap.

Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan beton adalah besarnya per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan SNI 03-1974-1990. Rumus kuat tekan beton dapat ditentukan sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

f' = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang (mm²)

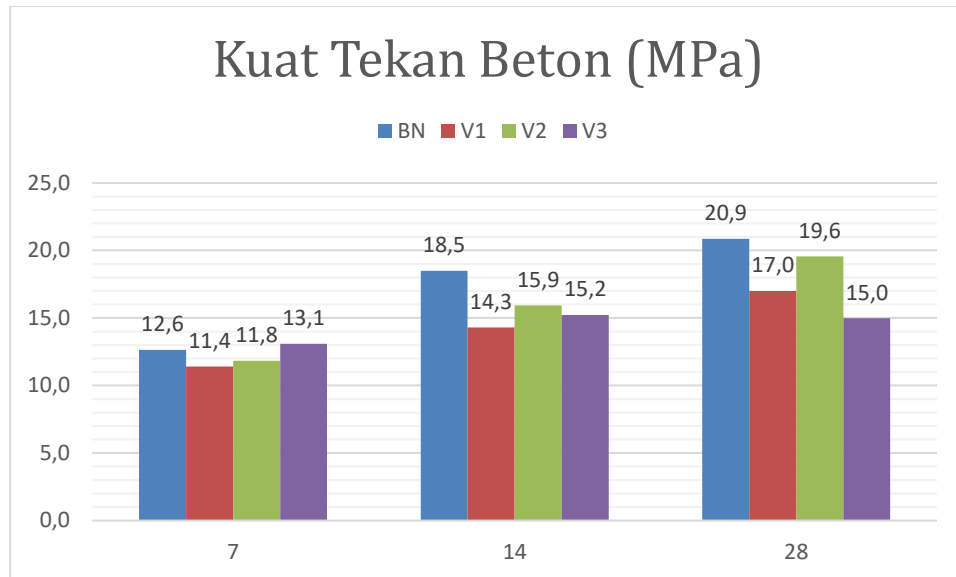
Table 6. Rata-rata hasil uji kuat tekan beton

Variasi abu batu	7 hari (Mpa)	14 hari (MPa)	28 hari (MPa)
0%	12,64	18,50	20,87
12%	11,40	14,30	17,00
15%	11,83	15,93	19,57
17%	13,10	15,23	14,97

Beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 12,64 MPa pada umur 7 hari, kemudian meningkat menjadi 18,50 Mpa pada umur 14 hari dan 20,87 MPa pada umur 28 hari. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kuat tekan bertambah seiring bertambahnya umur beton. Pada variasi abu batu 12%, kuat tekan yang diperoleh adalah 11,40 MPa, 14,30 MPa, dan 17,00 MPa pada umur 7, 14, dan 28 hari. Variasi 15% menghasilkan 11,83 MPa, 15,93 MPa, dan 19,57 MPa. Sementara itu, variasi 17% menghasilkan 13,10 MPa pada umur 7 hari, 15,23 MPa pada umur 14 hari, dan 14,97 MPa pada umur 28 hari.

Variasi 15% menunjukkan hasil paling baik di antara campuran abu batu, yang mengindikasikan bahwa pada kadar tersebut abu batu masih dapat berperan sebagai pengisi (filler) yang memperbaiki kepadatan beton. Namun, pada kadar 17%, penurunan kuat tekan

kemungkinan terjadi karena jumlah partikel halus yang terlalu tinggi meningkatkan kebutuhan air dan menurunkan kualitas ikatan pasta-semen dengan agregat.



Gambar 3. Hubungan variasi abu batu terhadap kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari
Sumber: Perhitungan sendiri

Kuat Tarik Belah Beton

Kuat Tarik belah beton Adalah nilai kuat Tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji secara lateral sampai mengalami keruntuhan dan nilai ini merupakan pendekatan untuk menentukan besarnya kuat Tarik beton yang sebenarnya. Dimana untuk mendapatkan hasil dari uji kuat Tarik belah beton ditentukan pada rumus berikut:

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

Keterangan

f_t = kuat Tarik belah (MPa)

P = beban maksimum

L = Panjang silinder

D = diameter silinder

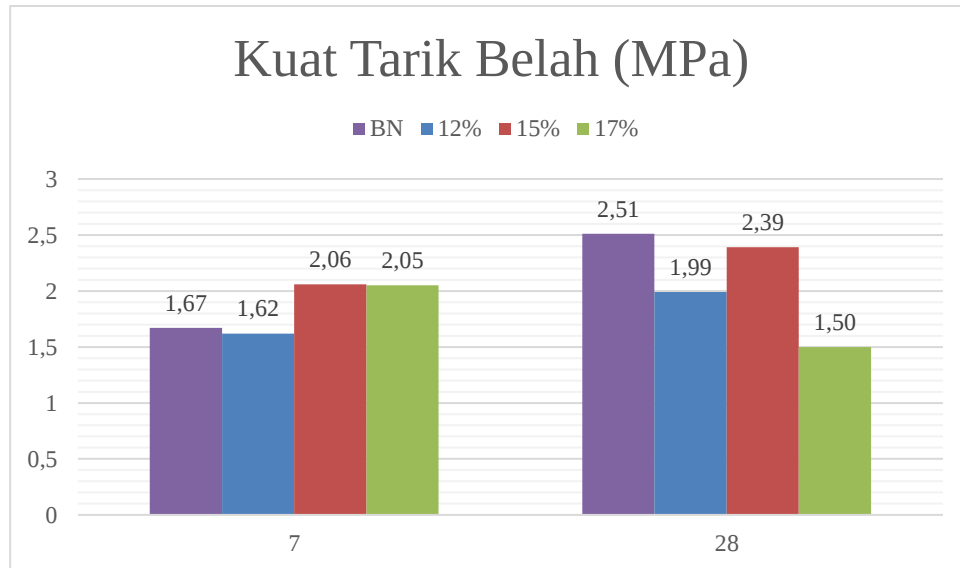
Table 7. Rata-rata hasil uji kuat tarik belah beton

Variasi abu batu	7 hari (MPa)	28 hari (MPa)
BN	1,67	2,51
12%	1,62	1,99
15%	2,06	2,39
17%	2,05	1,50

Pada beton normal, kuat tarik belah tercatat sebesar 1,67 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 2,51 MPa pada umur 28 hari. Campuran dengan abu batu 12% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 1,62 MPa pada umur 7 hari dan 1,99 MPa pada umur 28 hari. Pada variasi 15%, nilainya sebesar 2,06 MPa dan 2,39 MPa. Sedangkan variasi 17%

menghasilkan 2,05 MPa pada umur 7 hari dan turun menjadi 1,50 MPa pada umur 28 hari.

Nilai kuat tarik belah yang cenderung menurun pada variasi 12% dan 17% menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu batu tidak selalu memberikan perbaikan pada kemampuan beton menahan retak tarik. Kinerja terbaik pada variasi 15% mengindikasikan adanya kadar optimum substitusi yang masih mampu menjaga ikatan internal beton.



Gambar 4. Hubungan variasi abu batu terhadap kuat Tarik belah beton pada umur 7 dan 28 hari

Sumber: Perhitungan sendiri

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, substitusi sebagian agregat halus dengan abu batu memengaruhi workabilitas dan sifat mekanis beton normal. Penggunaan abu batu menurunkan nilai slump dibandingkan beton normal, yang menunjukkan penurunan workabilitas akibat bertambahnya partikel halus dalam campuran. Pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah, variasi 15% memberikan kinerja terbaik di antara campuran yang menggunakan abu batu, dengan kuat tekan 28 hari sebesar 19,57 MPa dan kuat tarik belah 28 hari sebesar 2,39 MPa. Namun demikian, seluruh variasi substitusi abu batu yang diteliti belum mampu melampaui kinerja beton normal. Dengan demikian, kadar 15% dapat dianggap sebagai variasi yang paling optimal dalam penelitian ini. untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan variasi kadar abu batu yang lebih luas, menggunakan bahan tambah kimia untuk memperbaiki workabilitas, serta meninjau pengaruh abu batu terhadap porositas dan daya serap beton.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SK SNI S-04-1989-F*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972:2008: Cara uji slump beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk*

Bangunan Gedung dan penjelasan.

- Bagus Hario Setiadji, Hariadi Dewabrata, Han Ay Lie, & Sie Alexander P. S. (2020). *Studi Penggunaan Semen Slag sebagai Substitusi Semen Portland pada Beton*. 6, 177–128. <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4595>
- Chitkeshwar, A. K., & Naktode, P. L. (2022). Concrete with rock quarry dust with partial replacement of fine aggregate. *Materials Today: Proceedings*, 62(18), 6455–6459. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.195>
- Han, Y., Yang, B., Meng, L.-Y., Cho, H.-K., Lin, R., & Wang, X.-Y. (2025). Optimization of the life cycle environmental impact of shell powder and slag concrete using response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 194, 272–288. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.12.036>
- H. Lisitiawaty, S.A. Namira, M. Aryasin, Muhajir, & S.W. Martani. (2025). *Studi Pengaruh Penambahan Abu Batu Sebagai Pengganti Pasir Pada Beton Mutu K-250*. 6(1), 73–80. <https://doi.org/10.22487/renstra.v6i1.712>
- Khan, R. A. (2023). Experimental study on fine-crushed stone dust a solid waste as a partial replacement of cement. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.222>
- Mhd Almahi, Yelfidar, & Syaiful Hendri Rawi. (2023). *Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton K-225*. 1, 141–151. <https://doi.org/10.58169/jusit.v1i1.177>
- Mitikie, B. B., Alemu, Y. L., & Reda, S. G. (2022). Utilization of basaltic quarry dust as a partial replacement of cement for hollow concrete block production. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00546-4>
- Nguyen, C. T., Pham, P. N., Nam, H. P., & Nguyen, P. (2025). Factors affecting compressive strength of steel slag concrete: A systematic literature review. *Journal of Building Engineering*, 100, 111686. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111686>
- Ray, S., Haque, M., Ahmed, T., Mita, A. F., Saikat, M. H., & Alom, M. M. (2022). Predicting the strength of concrete made with stone dust and nylon fiber using artificial neural network. *Heliyon*, 8(3), e09129. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09129>
- Rinaldi Fatwa, Noviyanthy Handayan, & Amelia Faradila. (2024). *Penggunaan Limbah Abu Batu Sebagai Campuran Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton*. 12, 167–175. <https://doi.org/10.33084/mits.v12i2.7427>
- Satriani, S., & Bastomi, M. (2023). Tinjauan kualitas beton menggunakan abu batu limbah stone crusher sebagai substitusi parsial agregat halus. *Jurnal Industrial Galuh*, 3(1), 37–42. <https://doi.org/10.25157/jig.v3i01.3003>
- Thapa, I., Baral, N. P., & Adhikari, K. R. (2024). Enhancing high-performance concrete properties through partial replacement of fine aggregate with crusher run dust: A comprehensive experimental investigation. *BIBECHANA*, 21(3). <https://doi.org/10.3126/bibechana.v21i3.65293>
- Yulian, H., Carlo, N., & Khaidir, I. (2023). Pengaruh limbah batu bata terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 322–334. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6176>
- Zhang, S., Zhao, T., Li, K., Ni, W., Yang, H., Wu, Z., Li, J., Li, Y., Zhang, B., Wang, J., Xu, R., Liu, X., Fu, P., Cui, W., & Yao, J. (2024). Effect of blast furnace slag substitution for cement in carbon-reduced and low-cost solidified/stabilized cementitious materials. *Green and Smart Mining Engineering*, 1(1), 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.01.001>