

## Pengaruh pemanfaatan limbah batu pipih umeanyar sebagai substitusi sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton

Ni Kadek Astariani<sup>1,\*</sup>, I Gusti Ngurah Eka Partama<sup>1</sup>, I Wayan Eka Ariantika<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai, Denpasar, Bali, Indonesia

\*Corresponding authors: [kadek.astariani@unr.ac.id](mailto:kadek.astariani@unr.ac.id)

Submitted: 2 June 2024, Revised: 5 December 2024, Accepted: 19 December 2024

**ABSTRACT:** Concrete is a building material that is currently widely used in the construction sector. The increasing demand for concrete materials will cause the availability of materials taken from nature to decrease. Therefore, alternatives are needed to find substitutes for these natural materials, one of which is by using slate stone waste as a substitute for fine aggregate (sand). To increase the economic value of waste produced from the stone crushing industry, research was carried out using slate stone waste as a substitute for fine aggregate in normal concrete mixtures. By substituting some of the fine aggregate with slate stone waste, it is hoped that it can increase the compressive strength and split tensile strength of the concrete. Test specimens with a cylindrical shape with dimensions of 150mm x 300mm were made in a total of 80 pieces and tested at the age of 7 days and 28 days with a variety of test objects, namely normal concrete as a control (BN), fine aggregate substitution 25% (BP25%), 50% (BP50%), 75% (BP75%), 100% (BP100%). The optimum compressive strength value obtained was 36.91 MPa with fine aggregate substitution of 57.02%. This compressive strength value is 23.24% greater than normal concrete. Meanwhile, the optimum splitting tensile strength value is 2.42 MPa, with fine aggregate substitution of 46.15%. This tensile strength value is 9.01% greater than normal concrete. With the results of compressive strength and splitting tensile strength being greater than normal concrete, slate stone waste can be recommended as a partial substitute for fine aggregate.

**KEYWORDS:** compressive strength; concrete; fine aggregate; slate stone waste; split tensile strength.

**ABSTRAK:** Dalam bidang konstruksi, beton adalah salah satu material bangunan yang paling banyak digunakan. Permintaan material beton yang semakin meningkat, akan menyebabkan semakin berkurangnya ketersediaan material yang diambil dari alam. Oleh karena itu, mencari pengganti dari bahan alam harus dilakukan. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan menggunakan limbah batu pipih sebagai substitusi agregat halus. Untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah yang dihasilkan dari industri pemecah batu, maka dilakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah batu pipih sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton normal. Dengan mensubstitusi sebagian agregat halus dengan limbah batu pipih ini, diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Benda uji dengan bentuk silinder yang memiliki dimensi 150mm x 300mm dibuat sejumlah 80 buah dan diuji pada umur 7 hari dan 28 hari dengan variasi benda uji yaitu beton normal sebagai kontrol (BN), substitusi agregat halus 25% (BP25%), 50% (BP50%), 75% (BP75%), 100% (BP100%). Nilai kuat tekan optimum diperoleh sebesar 36.91 MPa dengan substitusi agregat halus sebesar 57.02%. Nilai kuat tekan ini lebih besar 23.24% dari beton normal. Sedangkan nilai kuat tarik belah optimum sebesar 2.42 MPa, dengan substitusi agregat halus sebesar 46.15%. Nilai kuat tarik ini lebih besar 9.01% dari beton normal. Dengan hasil kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih besar dari beton normal, maka limbah batu pipih dapat direkomendasikan menjadi substitusi sebagian agregat halus.

**KATA KUNCI:** kuat tekan; beton; agregat halus; limbah batu pipih; kuat tarik belah.

© The Author(s) 2024. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

### 1. PENDAHULUAN

Dengan sektor konstruksi di Indonesia yang berkembang pesat, kebutuhan akan material bangunan terus meningkat. Beton merupakan salah satu material bangunan yang dipergunakan untuk kebutuhan konstruksi tersebut. Menurut Tjokrodinuljo (2007), beton yang tersusun dari agregat kasar, agregat halus, semen dan air mempunyai karakteristik tegangan tekan yang tinggi dan tegangan tarik yang rendah. Komposisi

terbesar dalam campuran beton adalah agregat yaitu sekitar 60%-70%, sehingga sifat dari agregat ini sangat menentukan karakteristik beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Pasir sebagai salah satu penyusun material beton (agregat halus) juga menentukan sifat beton dan sampai saat ini penggunaannya semakin meningkat seiring dengan tingginya kebutuhan akan material konstruksi. Oleh sebab itu diperlukan

alternatif guna mensubstitusi material pasir sebagai agregat halus.

Penggunaan agregat halus dengan memanfaatkan limbah adalah salah satu alternatif untuk mengatasi eksploitasi sumber daya alam (pasir) yang berlebihan. Beberapa inovasi tentang substitusi agregat halus dalam campuran beton telah banyak dilakukan seperti menggunakan limbah kaca (Olii et al., 2021), limbah kulit kerang (Karimah et al., 2020), limbah keramik (Sekarini et al., 2020), *copper slag* (D. Yusuf & Firmansyah, 2020), serbuk ampas kopi (Bhandary et al., 2023), serbuk kayu (M. Yusuf et al., 2022 ; Aini et al., 2021), limbah cangkang telur (Beton Bunyamin et al., 2023), *bottom ash* (Darwis & Soelarso, 2015) dan tras (Kaat et al., 2019).

Pemanfaatan abu batu sebagai alternatif substitusi agregat halus juga dapat memberikan kontribusi peningkatan sifat mekanik beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah. Penelitian yang dilakukan oleh Muktan et al. (2024), menggunakan abu batu sebesar 40% sebagai pengganti substitusi agregat halus dapat memberikan mutu beton hingga 26.8 MPa. Nilai ini lebih besar dari mutu beton normal 25.1 MPa. Peningkatan mutu beton juga didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Puspitasari et al. (2023) yang memanfaatkan abu batu hingga 75% dari volume agregat halus dengan hasil  $f'c$  sebesar 36 MPa. Penggunaan abu batu sebesar 25% juga dapat memberikan mutu beton 40 MPa, nilai ini lebih besar dari mutu beton normal 37 MPa (Lumenta et al., 2021). Srivastava, (2015) dan Harijanto et al., (2019) juga mendapatkan nilai mutu beton yang meningkat dengan menggunakan abu batu hingga 30% sebagai substitusi agregat halus, dan nilai  $f'c$  yang dihasilkan sebesar 30 MPa. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, terdapat peningkatan kuat tekan pada beton. Selain dapat meningkatkan kuat tekan beton, limbah abu batu juga dapat meningkatkan kuat tarik belah beton (Harijanto et al., 2019); (Bere et al., 2022) (Handayani, 2019); (Permana, 2023); (Satriani & Bastomi, 2023).

Terdapat industri pemecah batu di daerah Bali Barat yang menggunakan batu pipih Umeanyar yang menghasilkan limbah abu batu yang berlimpah (Astariani et al., 2021). Limbah abu batu dibiarkan bertumpuk tumpuk hingga menggunung disekitar areal industri, sehingga dapat merusak ekosistem lingkungan. Sampai saat ini, pemanfaatan limbah abu batu pipih hanya digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal. Abu batu pipih memiliki kandungan  $SiO_2$  (49%) dan Al (11%) (Astariani et al., 2024). Sampai saat ini belum ada penelitian terkait pemanfaatan limbah abu batu pipih ini sebagai substitusi agregat halus. Dengan kandungan silika dan alumina lebih dari 50%, limbah abu batu memenuhi persyaratan sebagai material pengganti pasir dalam campuran beton sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis dari limbah abu batu pipih. Tujuan dan manfaat penelitian ini dengan memanfaatkan limbah

abu batu pipih sebagai substitusi agregat halus diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

## 2. METODE

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan secara eskperimental di Laboratorium Bahan dan Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai Denpasar dengan berpedoman kepada Standar Nasional Indonesia (SNI).

### 2.2 Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: agregat halus sebanyak 2 jenis yaitu pasir alami dan limbah batu pipih, agregat kasar menggunakan batu pecah, semen Portland Tipe I dan air. Agregat halus yang berupa pasir alami berasal dari daerah Karangasem, sedangkan agregat halus dari limbah batu pipih Umeanyar. Limbah batu pipih ini dihasilkan dari industri pemecah batu di daerah Jembrana. Untuk agregat kasar menggunakan batu pecah yang berasal daerah Karangasem.

### 2.3 Pemeriksaan Sifat Fisik agregat

Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa apakah agregat yang digunakan sudah memenuhi ketentuan yang disyaratkan. Sifat fisik agregat yang diperiksa yaitu berat jenis, kadar lumpur, kadar air, penyerapan dan gradasi.

### 2.4 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan mix desain beton sesuai SNI 7656:2012 (2012) berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengujian material. Benda uji dibuat dengan bentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, masing-masing dibuat variasi sesuai Tabel 1 dan Tabel 2. Penelitian dengan memanfaatkan limbah abu batu pipih sebagai substitusi agregat halus belum pernah dilakukan sebelumnya, maka dari itu pada penelitian ini menggunakan variasi benda uji terdiri dari komposisi limbah batu pipih 0% (BN), 25%, 50%, 75% hingga 100%. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 7 hari (kekuatan awal) dan 28 hari sesuai standar pengujian beton SNI.

**Tabel 1.** Variasi benda uji untuk kuat tekan

Kode	Agregat halus (%)		Umur pengujian		Jumlah benda uji
	Pasir	Limbah Abu batu	7 hari	28 hari	
BN	100	0	5	5	10
BP 25%	75	25	5	5	10
BP 50%	50	50	5	5	10
BP 75%	25	75	5	5	10
BP 100%	0	100	5	5	10
Total					50

**Tabel 2.** Variasi benda uji untuk kuat tarik belah

Kode	Agregat halus (%)		Umur pengujian		Jumlah benda uji
	Pasir	Limbah Abu batu	7 hari	28 hari	
BN	100	0	3	3	6
BP 25%	75	25	3	3	6
BP 50%	50	50	3	3	6
BP 75%	25	75	3	3	6
BP 100%	0	100	3	3	6
Total					80

Keterangan :

BN = Beton Normal

BP 25% = Beton dengan limbah batu Pipih 25%

BP 50% = Beton dengan limbah batu Pipih 50%

BP 100% = Beton dengan limbah batu Pipih 75%

## 2.5 Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah setelah beton berumur 7 dan 28 hari. Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Metode pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 03-1974 (1990) dengan rumus sesuai Persamaan 1.

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

dimana  $f'c$  adalah adalah kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>), P adalah beban maksimum (N), dan A adalah luas penampang (mm<sup>2</sup>).

Untuk pengujian kuat tarik belah sesuai peraturan SNI 03-2491 (2002). Nilai kuat tarik belah diukur dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder yang diletakkan secara horizontal sejajar dengan permukaan meja tekan mesin uji uji tekan dan dihitung dengan Persamaan 2.

$$f_{ct} = \frac{2P}{LD} \quad (2)$$

Dimana  $f_{ct}$  adalah kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>), P adalah beban maksimum (N), L adalah panjang benda uji (mm), dan D adalah diameter benda uji (mm).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat fisik agregat bertujuan untuk memperoleh karakteristik dari masing-masing agregat yang digunakan. Dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan terhadap pasir (agregat halus), limbah batu pipih (agregat halus), dan batu pecah (agregat kasar), Hasil pemeriksaan agregat ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat

Parameter	Pasir	Limbah batu pipih	Batu pecah
Analisa saringan (FM-%)	3.00	2.88	5.35
Kadar air (%)	1.05	1.01	1.02
Berat jenis SSD (kg/m <sup>3</sup> )	2.48	2.57	2.54
Kadar lumpur (%)	2.54	1.94	0.20
Penyerapan air (%)	2.46	2.88	4.21

Dari hasil sifat fisik agregat pada Tabel 3, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

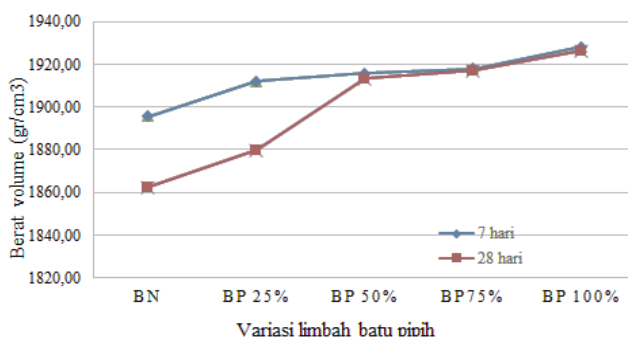
1. Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1.5-3.8. Nilai modulus halus butir (FM) limbah batu pipih dan pasir masuk dalam persyaratan dan masuk gradasi zona 2. Sedangkan batu pecah masuk zona 20 mm.
2. Kadar air masing-masing agregat baik halus dan kasar termasuk limbah batu pipih masuk dalam persyaratan yaitu berkisar antara 1% - 2%.
3. Persyaratan berat jenis yang diijinkan antara 2.0 – 2.9 gr/cm<sup>3</sup>. Dari pengujian masing-masing agregat memenuhi syarat sebagai agregat normal.
4. Kadar lumpur untuk agregat halus tidak boleh melebihi 5%, jadi pasir dan limbah batu pipih telah memenuhi standar untuk digunakan pada campuran beton. Begitu pula untuk batu pecah yang memiliki kadar lumpur < 1%, telah memenuhi persyaratan dalam campuran beton.
5. Untuk penyerapan air, nilai yang diijinkan dalam SNI yaitu tidak melebihi 3%, jadi agregat yang digunakan telah memenuhi persyaratan dalam campuran beton.

### 3.2 Berat Volume

Berat volume beton didapat dari hasil perbandingan antara berat beton dengan volume beton, pengujian berat beton dilakukan pada umur 7 serta 28 hari. Berat jenis diketahui dengan melakukan penimbangan pada masing – masing benda uji serta dengan perhitungan dimensi benda uji. Hasil pemeriksaan berat volume beton disajikan di Tabel 4.

**Tabel 4.** Berat volume pada umur 7 dan 28 hari

Kode	Limbah batu pipih (%)	Umur (hari)	Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )
BN	0	7	1,895.71
BP 25%	25	7	1,912.18
BP 50%	50	7	1,915.95
BP 75%	75	7	1,918.01
BP 100%	100	7	1,928.30
BN	0	28	1,862.44
BP 25%	25	28	1,879.93
BP 50%	50	28	1,913.21
BP 75%	75	28	1,916.98
BP 100%	100	28	1,926.24

**Gambar 2.** Hubungan berat volume dan variasi limbah batu pipih

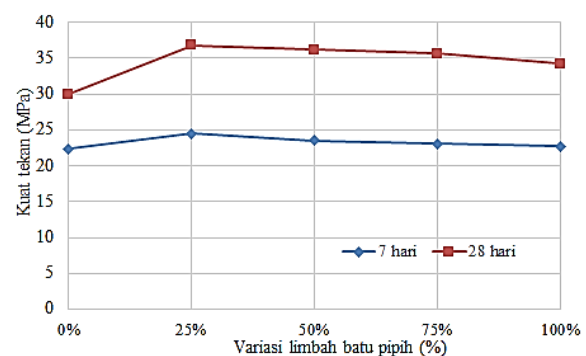
Dari Tabel 4 dan Gambar 2 dapat dilihat pada substitusi limbah batu pipih sebanyak 25%, 50%, 75% dan 100% terjadi peningkatan berat jenis terhadap beton normal. Dengan bertambahnya umur beton, diketahui bahwa berat benda uji semakin meningkat. Hal ini terjadi sebagai akibat dari jenis agregat limbah batu pipih dan kehilangan air dalam benda uji saat disimpan pada suhu ruangan sampai benda uji disiapkan untuk uji tekan dan kuat tarik belah pada umur 7 dan 28 hari.

### 3.3 Kuat Tekan

Pengujian benda uji dilakukan setelah benda uji berumur 7 dan 28 hari dengan mutu beton yang direncanakan  $f'_c = 20$  MPa dan jumlah benda uji sebanyak 80 buah. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3.

**Tabel 5.** Hasil kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari

Kode	Limbah batu pipih (%)	Umur (hari)	Kuat tekan (MPa)
BN	0	7	22.36
BP 25%	25	7	24.46
BP 50%	50	7	23.55
BP 75%	75	7	23.04
BP 100%	100	7	22.76
BN	0	28	29.95
BP 25%	25	28	36.80
BP 50%	50	28	36.18
BP 75%	75	28	35.61
BP 100%	100	28	34.25

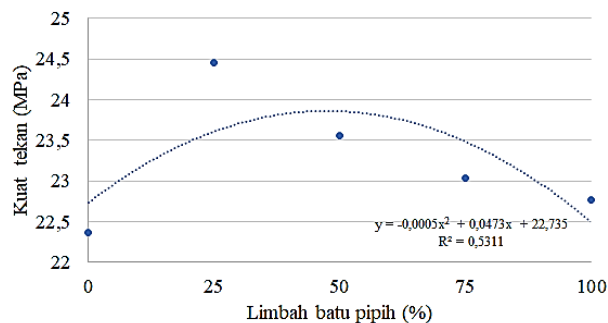
**Gambar 3.** Hubungan kuat tekan beton dan variasi limbah batu pipih

Berdasarkan Tabel 5 Gambar 3 terjadi peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 hingga 28 hari. Kuat tekan beton meningkat pada substitusi pasir dengan limbah batu pipih sebesar 25% terhadap beton normal. Hal ini dapat disebabkan adanya kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi yaitu lebih besar dari 50% (Astariani et al., 2024) pada limbah batu pipih ini sehingga layak untuk dijadikan substitusi agregat halus. Sedangkan pada variasi limbah batu pipih 50%, 75%, dan 100% terjadi penurunan kuat tekan beton, namun nilai  $f'_c$  masih diatas beton normal. Jadi nilai kuat tekan beton dengan pemanfaatan limbah abu batu pipih dari 25% hingga 100% sebagai substitusi agregat halus hasilnya lebih tinggi dari nilai kuat tekan beton normal.

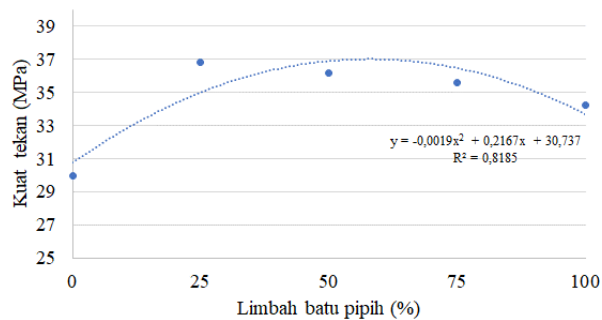
Pada Gambar 4 dan Gambar 5 menampilkan grafik persamaan regresi hubungan nilai kuat tekan dengan variasi limbah batu pipih pada umur 7 dan 28 hari. Pada umur 7 hari didapat nilai determinasi  $R^2$

sebesar 0.5311 artinya, pengaruh substitusi limbah batu pipih sebesar 53.11% terhadap kuat tekan yang dihasilkan pada umur beton 7 hari. Untuk mengetahui persentase substitusi limbah batu pipih agar menghasilkan kuat tekan maksimum dapat menggunakan persamaan  $Y = -0.0005x^2 + 0.0473x + 22.735$ . Dari persamaan tersebut, substitusi limbah batu pipih sebanyak 47,3% menghasilkan kuat tekan sebesar 23.85 MPa pada umur beton 7 hari.

Untuk nilai determinasi  $R^2$  pada umur 28 hari adalah sebesar 0.8185 artinya, pengaruh substitusi limbah batu pipih sebesar 81.85% terhadap kuat tekan yang dihasilkan pada umur beton 28 hari. Untuk mengetahui persentase substitusi limbah batu pipih agar menghasilkan kuat tekan maksimum dapat menggunakan persamaan  $Y = -0.0019x^2 + 0.2167x + 30.737$ . Dari persamaan tersebut, substitusi limbah batu pipih sebanyak 57.02% menghasilkan kuat tekan sebesar 36.91 MPa pada umur beton 28 hari.



**Gambar 4.** Grafik regresi hubungan kuat tekan beton dan variasi limbah batu pipih umur 7 hari



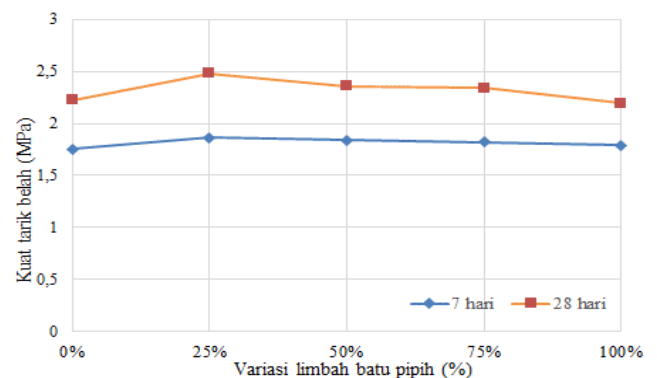
**Gambar 5.** Grafik regresi hubungan kuat tekan beton dan variasi limbah batu pipih umur 28 hari

### 3.4 Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada umur 7 dan 28 hari, dengan menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian kuat tarik belah disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 6.

**Tabel 6.** Hasil kuat tarik belah beton pada umur 7 dan 28 hari

Kode	Limbah batu pipih (%)	Umur (hari)	Kuat tarik belah (MPa)
BN	0	7	1.75
BP 25%	25	7	1.86
BP 50%	50	7	1.84
BP 75%	75	7	1.82
BP 100%	100	7	1.79
BN	0	28	2.22
BP 25%	25	28	2.48
BP 50%	50	28	2.36
BP 75%	75	28	2.34
BP 100%	100	28	2.19

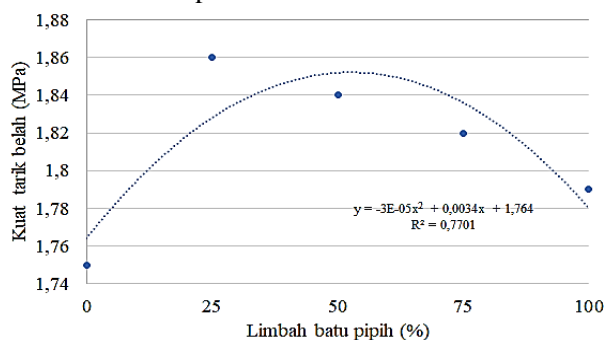


**Gambar 6.** Hubungan kuat tarik belah beton dan variasi limbah batu pipih

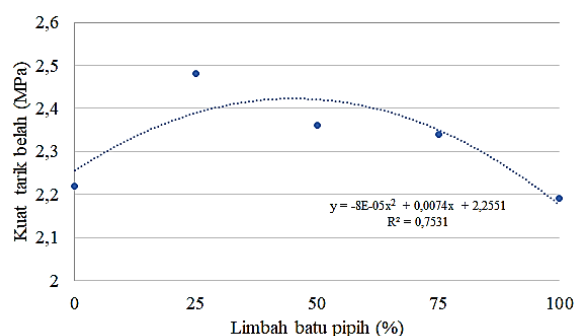
Berdasarkan Tabel 6 Gambar 6 terjadi peningkatan kuat tarik belah beton pada umur 7 hingga 28 hari. Kuat tarik belah beton meningkat pada substitusi pasir dengan limbah batu pipih sebesar 25% terhadap beton normal. Sedangkan pada variasi limbah batu pipih 50%, 75%, dan 100% terjadi penurunan kuat tarik beton, namun nilai  $f'_{ct}$  masih diatas beton normal. Dengan kandungan (komposisi) kimia yang dimiliki limbah batu pipih Umeanyar (silika dan alumina >50%), bahan ini dapat memberikan kontribusi yang baik terhadap kuat tarik belah beton. Meskipun nilai variasi (substitusi) hingga 100%, nilai kuat tarik belah beton menurun namun masih lebih tinggi dari beton normal (tanpa limbah batu pipih). Jadi nilai kuat tarik belah beton dengan pemanfaatan limbah abu batu pipih dari 25% hingga 75% sebagai substitusi agregat halus hasilnya lebih tinggi dari nilai kuat tarik belah beton normal.

Pada Gambar 7 menampilkan grafik persamaan regresi hubungan nilai kuat tarik belah beton dengan variasi limbah batu pipih pada umur 7 hari. Pada umur 7 hari didapat nilai determinasi  $R^2$  sebesar 0.7701 artinya, pengaruh substitusi limbah batu pipih sebesar 77.01% terhadap kuat tarik belah yang dihasilkan pada umur beton 7 hari. Untuk mengetahui persentase substitusi limbah batu pipih agar menghasilkan kuat tarik belah maksimum dapat menggunakan persamaan  $Y = -0.00003x^2 + 0.0034x + 1.764$ . Dari persamaan tersebut, substitusi limbah batu pipih sebanyak 56.66% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 1.86 MPa pada umur beton 7 hari.

Gambar 8 menampilkan grafik persamaan regresi hubungan nilai kuat tarik belah beton dengan variasi limbah batu pipih pada umur 28 hari. Untuk nilai determinasi  $R^2$  pada umur 28 hari adalah sebesar 0.7531 artinya, pengaruh substitusi limbah batu pipih sebesar 75.31% terhadap kuat tarik belah yang dihasilkan pada umur beton 28 hari. Untuk mengetahui persentase substitusi limbah batu pipih agar menghasilkan kuat tarik belah maksimum dapat menggunakan persamaan  $Y = -0.00008x^2 + 0.0074x + 2.2551$ . Dari persamaan tersebut, substitusi limbah batu pipih sebanyak 46.25% menghasilkan kuat tekan sebesar 2.42 MPa pada umur beton 28 hari.



**Gambar 7.** Grafik regresi hubungan kuat tarik belah beton dan variasi limbah batu pipih umur 7 hari



**Gambar 8.** Grafik regresi hubungan kuat tarik belah beton dan variasi limbah batu pipih umur 28 hari

#### 4. KESIMPULAN

Pada zona gradasi yang sama, nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dapat ditingkatkan melalui penggunaan bahan limbah batu pipih dengan mengganti sebagian agregat halus seperti pasir alam

dengan agregat halus limbah batu pipih, sampai suatu persentase substitusi optimum tertentu dan menurun setelah melampaui nilai optimum tersebut. Persentase substitusi agregat halus alami dengan agregat limbah batu pipih sebesar 57.02% terhadap kebutuhan agregat halus alami pada zona gradasi yang sama meningkatkan kuat tekan optimum dari 29.95 MPa menjadi 36.91 MPa (23.24%). Sedangkan persentase substitusi sebesar 46.25% dapat meningkatkan kuat tarik belah optimum dari 2.22 MPa menjadi 2.42 MPa (9.01%) pada umur 28 hari.

Dalam penelitian ini agregat halus alami dan agregat limbah batu pipih mempunyai zona gradasi yang sama, untuk kondisi zona gradasi yang berbeda antara keduanya perlu dilakukan penelitian tersendiri. Agregat limbah batu pipih dalam penelitian ini hanya difokuskan untuk substitusi agregat halus saja, sedangkan limbah yang tersedia bervariasi dengan ukuran butir dari halus sampai kasar, oleh karenanya untuk memaksimalkan pemanfaatan limbah batu pipih disarankan untuk melakukan penelitian terfokus pada substitusi pada agregat kasar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aini, P. N., Roestaman, R., & Walujodjati, E. (2021). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dalam Campuran Beton dengan Bahan Tambah Superplasticizer. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), 169–178. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-1.902>
- Astariani, N. K., Salain, I. M. A. K., Sutarja, I. N., & Widiarsa, I. B. R. (2021). Mechanical properties and microstructure of geopolymer binder based on umeanar slatestone powder. *Civil Engineering and Architecture*, 9(6), 1698–1716. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090604>
- Astariani, N. K., Sudika, I. G. M., & Budiarta, I. W. (2024). Mechanical properties and microstructure of concrete using Umeanar slate stone powder as a filler. *AIP Conference Proceedings*, 3110.
- Bere, M. D., Simanihuruk, B., & Dewita, H. (2022). Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Busa Dengan Pemakaian Pasir Abu Batu Sebagai Agrerat Halus. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 6(2), 1–10. <https://doi.org/10.52447/jkts.v6i2.5206>
- Beton Bunyamin, H., Pramanda, H., & Hendrifa, N. (2023). Limbah Cangkang Telur Sebagai Inovasi Material Pengganti Agregat. *Jurmateks*, 6(1), 17–30. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v6i1.4583>
- Bhandary, R. P., Rao, A. U., Shetty, P. P., Blesson, S., & Thomas, B. S. (2023). Application of Coffee Husk Ash as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813328>
- Darwis, Z., & Soelarso, S. (2015). Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus Dalam Pembuatan Beton. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 52–57. <https://doi.org/10.36055/jft.v4i1.1226>
- Handayani, F. (2019). Manfaat Limbah Abu Batu Sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan. *Seminar Nasional VI ULM*, 59–68.
- Harijanto, D., Wibowo, B., & Ismoyo, W. (2019). Penggunaan Abu Batu untuk Mengurangi Agregat Pasir Alami pada Campuran Beton dengan Penambahan Zat Additive Type D Use of Rock Ash to Reduce Natural Sand Aggregates in Concrete Mixes by Adding Type D Additive



- Substances. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3(2), 1–10.
- Kaat, B., Wallah, S., & Mondoringin, M. (2019). Kuat Tarik Belah Beton Dengan Menggunakan Tras Pada Berbagai Prosentase Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Tekno*, 17(73), 165–170.
- Karimah, R., Rusdianto, Y., & Susanti, D. P. (2020). Pemanfaatan Serbuk Kulit Kerang Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.33506/rb.v6i1.1146>
- Lumenta, H., Bintoro, S. T., Widiyanto, D., & Suseno, W. (2021). Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Abu Batu Dan Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton. *G-Smart*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.24167/g.v3i1.1765>
- Muktan, P., Parajuli, K. P., Gyawali, B. R., & Management, L. E. (2024). *Effect of Partial Replacement of Natural Fine Aggregate With Crushed Stone Dust : A Case Study of Makawanpur District*. 6(1), 60–77.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi Offset.
- Olii, M. R., E.Poe, I., Ichsan, I., & Olii, A. (2021). Limbah Kaca Sebagai Penganti Sebagian Agregat Halus Untuk Beton Ramah Lingkungan. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 113. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.407>
- Permana, I. Ri. (2023). Analisis Pengaruh Abu Batu Sebagai Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Damdex Terhadap Karakteristik Beton Keras. In *Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia*.
- Puspitasari, I. P., Maulana, Q. D., & Prasetyo, D. A. (2023). Studi Eksperimental Beton dari Limbah Abu Batu Sebagai Substitusi Pasir Alami. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 30–35. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v13i1.962>
- Satriani, S., & Bastomi, M. (2023). Tinjauan Kualitas Beton Menggunakan Abu Batu Limbah Stone Crusher Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Industrial Galuh*, 3(01), 37–42. <https://doi.org/10.25157/jig.v3i01.3003>
- Sekarini, D., Sunarsih, E. S., & Siswanto, B. (2020). Pengaruh Serbuk Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Dan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Pengganti 15% Berat Semen Terhadap Kuat Tarik Belah Dan Porositas Pada Beton. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 5(2), 27. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v5i2.43485>
- SNI 03-1974. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. *Sni 03-1974-1990*, 2–6.
- SNI 03-2491. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *SNI 03-2491-2002*, 14.
- SNI 7656:2012. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. *Badan Standarisasi Nasional*, 52.
- Srivastava, V. (2015). Stone Dust in Concrete: Effect on Compressive Strength. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 3(3), 2454–4698. <https://www.researchgate.net/publication/291075103>
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Yusuf, D., & Firmansyah, M. (2020). Pengaruh Substitusi Agregat Halus Dengan 30% Copper Slag Terhadap Mix Desain Beton Normal dan Kemampuan Kuat Tekan Beton. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2).
- Yusuf, M., Herlina, L., Budiman, A. T., Alvian, M. M., & Talahatu, V. (2022). Penggunaan Serat Kayu Pinus Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Mutu Normal. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 5(2), 24–29. <https://doi.org/10.25105/cesd.v5i2.15740>