

# Kajian Penambahan Abu Serai sebagai Bahan Tambah terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Yosia Tupang<sup>1</sup>, Christian Parari<sup>2</sup>, Israel Padang<sup>3</sup>, Jufri Manga<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

<sup>3,4</sup> Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

corresponding author : [israelpadang@ukitoraja.ac.id](mailto:israelpadang@ukitoraja.ac.id)

## ABSTRAK

### Kata Kunci:

Abu Serai  
Bahan Tambah  
Kuat Tekan  
Kuat Tarik Belah  
Beton

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan abu serai (AS) sebesar 3,5%, 5%, dan 6,5% dari berat semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan mutu rencana  $f_c$  20 MPa. Abu diperoleh dari pembakaran serai kering pada suhu sekitar 650°C selama  $\pm 2$  jam dan disaring lolos saringan No. 200, dengan berat jenis 1,75. Campuran dirancang dengan SNI 7656:2012 dan benda uji berupa silinder 100 mm  $\times$  200 mm, terdiri atas 48 benda uji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari serta 12 benda uji kuat tarik belah pada umur 28 hari. Kuat tekan 28 hari beton kontrol sebesar 20,17 MPa, sedangkan beton dengan AS 3,5%, 5%, dan 6,5% masing-masing 15,07 MPa, 13,80 MPa, dan 12,10 MPa, atau turun 25,3%, 31,6%, dan 40,0%. Kuat tarik belah 28 hari beton kontrol sebesar 2,97 MPa, sedangkan AS 3,5%, 5%, dan 6,5% menghasilkan 2,23 MPa, 2,02 MPa, dan 1,75 MPa, atau turun 25,0%, 32,1%, dan 41,1%. Analisis varians satu arah menunjukkan perbedaan yang signifikan pada kuat tekan 28 hari ( $F = 12,76$ ;  $p = 0,002$ ) dan kuat tarik belah ( $F = 16,97$ ;  $p < 0,001$ ), dan uji Tukey menunjukkan seluruh variasi berbeda signifikan dari beton kontrol. Rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan relatif tetap pada 14,5–14,8%. Abu serai yang dihasilkan dengan cara pembakaran sederhana tidak efektif sebagai bahan tambah pada kadar 3,5–6,5% karena menurunkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton secara nyata.

### Keywords:

Lemongrass Ash  
Admixture  
Compressive Strength  
Splitting Tensile Strength  
Concrete

## ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of adding lemongrass ash (LA) at 3.5%, 5%, and 6.5% by weight of cement on the compressive and splitting tensile strength of concrete with a design strength  $f_c$  of 20 MPa. The ash was obtained by burning dried lemongrass at approximately 650°C for about 2 hours and sieving through a No. 200 sieve, with a specific gravity of 1.75. The mix was designed according to SNI 7656:2012, and the specimens were 100 mm  $\times$  200 mm cylinders, consisting of 48 compressive specimens tested at 3, 7, 14, and 28 days and 12 splitting tensile specimens tested at 28 days. The 28-day compressive strength of the control concrete was 20.17 MPa, while concrete with 3.5%, 5%, and 6.5% LA reached 15.07 MPa, 13.80 MPa, and 12.10 MPa, decreases of 25.3%, 31.6%, and 40.0%, respectively. The 28-day splitting tensile strength of the control concrete was 2.97 MPa, while 3.5%, 5%, and 6.5% LA yielded 2.23 MPa, 2.02 MPa, and 1.75 MPa, decreases of 25.0%, 32.1%, and 41.1%. One-way analysis of variance showed significant differences in 28-day compressive strength ( $F = 12.76$ ;  $p = 0.002$ ) and splitting tensile strength ( $F = 16.97$ ;  $p < 0.001$ ), and the Tukey test showed that all variations differed significantly from the control. The ratio of splitting tensile to compressive strength remained nearly constant at 14.5–14.8%. Lemongrass ash produced by simple open burning is not effective as an admixture at 3.5–6.5% because it significantly reduces both the compressive and splitting tensile strength of concrete.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## I. Pendahuluan

Beton adalah material komposit yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dan merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena kuat, awet, dan mudah dibentuk [1], [2]. Namun, produksi semen Portland menyumbang emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam jumlah besar, sehingga upaya mengurangi kebutuhan semen atau meningkatkan efisiensinya menjadi perhatian utama industri konstruksi [3]. Salah satu pendekatan yang banyak dikaji adalah pemanfaatan bahan pozolan dari abu biomassa, yang mengandung silika amorf dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen membentuk kalsium silikat hidrat tambahan [3], [4].

Reaktivitas abu biomassa sangat bergantung pada kandungan silika, suhu dan lama pembakaran, serta kadar karbon sisa. Abu sekam padi dan abu ampas tebu yang dibakar terkendali dapat bersifat pozolan, tetapi abu yang terbakar tidak sempurna justru dapat menurunkan kekuatan beton [4], [5]. Di Toraja, penelitian sebelumnya memanfaatkan abu cangkang keong bakau yang meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton [6], serta abu limbah kulit kopi Toraja sebagai substitusi parsial semen yang menghasilkan kuat tekan mendekati beton kontrol [7].

Serai (*Cymbopogon citratus*) banyak dibudidayakan sebagai bumbu dapur dan tanaman obat, dan batang serta daunnya yang tidak terpakai dapat dibakar menjadi abu. Sebagai tanaman dari famili rumput-rumputan, abu serai diharapkan mengandung silika seperti abu biomassa rumput lainnya [4]. Penelitian sebelumnya di Universitas Kristen Indonesia Toraja telah mengkaji abu daun serai yang dikombinasikan dengan zat aditif tipe E terhadap kuat tekan [8] dan kuat tarik belah beton [9]. Namun, pengaruh abu serai tanpa aditif kimia, pada kadar yang lebih tinggi dan pada berbagai umur beton, belum dikaji secara khusus.

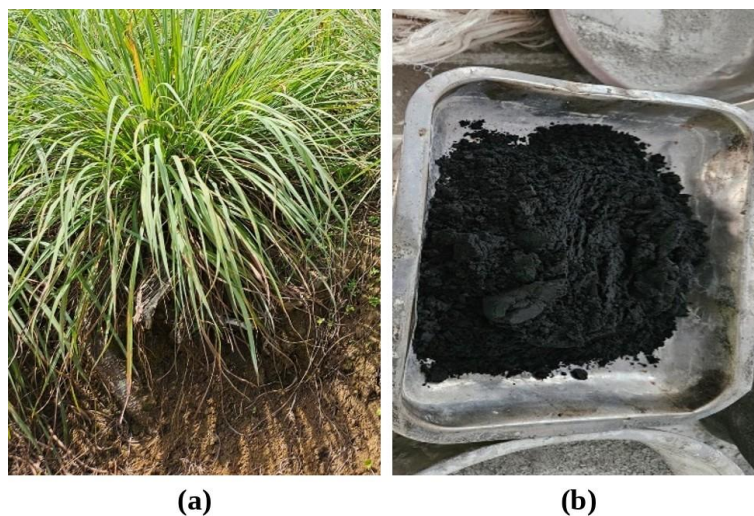
Penelitian ini bertujuan: (1) memeriksa karakteristik material penyusun beton dan abu serai; (2) menganalisis pengaruh penambahan abu serai sebesar 3,5%, 5%, dan 6,5% dari berat semen terhadap kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari; (3) menganalisis pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari; dan (4) menguji signifikansi perbedaan antarvariasi secara statistik.

## II. Metode Penelitian

### A. Bahan Penelitian

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja. Agregat kasar berupa batu pecah berasal dari Lampan, Kecamatan Tondon Siba'ta, Kabupaten Toraja Utara, dan agregat halus berupa pasir berasal dari Tapparan, Kecamatan Rantetayo, Kabupaten Tana Toraja. Semen yang digunakan adalah semen Portland komposit (PCC) produksi Tonasa kemasan 50 kg, dan air berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Serai diperoleh dari tanaman budi daya sendiri di Lembang Buntu Lobo', Kecamatan Sesean, Kabupaten Toraja Utara. Serai dipotong pendek, dijemur di bawah sinar matahari selama 2–3 hari, lalu dibakar di dalam drum pada suhu sekitar  $650^\circ\text{C}$  selama  $\pm 2$  jam hingga menjadi abu. Abu didinginkan, dihaluskan dengan lesung batu, dan disaring lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Tanaman serai dan abu yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bahan Tambah: (a) Tanaman Serai; (b) Abu Serai Lolos Saringan No. 200

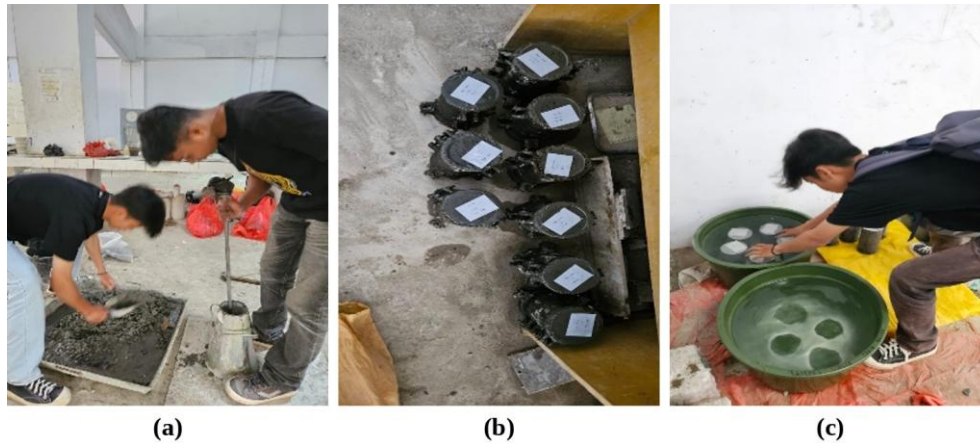
### B. Pengujian Material dan Perancangan Campuran

Karakteristik agregat diperiksa melalui analisis saringan [10], kadar air [11], kadar lumpur [12], berat isi [13], serta berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus [14], [15]. Berat jenis semen dan abu serai

diperiksa dengan botol Le Chatelier. Campuran beton dirancang dengan metode SNI 7656:2012 [16] untuk mutu rencana  $f'_c = 20$  MPa dan slump rencana 75–100 mm, dan kelecakan beton segar diperiksa dengan uji slump [17].

### C. Variasi Campuran dan Benda Uji

Variasi campuran terdiri atas beton kontrol (BK) dan beton dengan abu serai (AS) sebesar 3,5%, 5%, dan 6,5% dari berat semen sebagai bahan tambah, sedangkan jumlah semen, air, dan agregat dibuat tetap. Benda uji berupa silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Untuk kuat tekan dibuat tiga benda uji untuk setiap variasi dan umur 3, 7, 14, dan 28 hari (48 benda uji), sedangkan untuk kuat tarik belah dibuat tiga benda uji untuk setiap variasi pada umur 28 hari (12 benda uji). Benda uji dilepas dari cetakan setelah 24 jam dan dirawat dengan perendaman dalam air hingga umur pengujian (Gambar 2).



Gambar 2. Pembuatan Benda Uji: (a) Uji Slump; (b) Pencetakan Silinder; (c) Perawatan dengan Perendaman

### D. Pengujian dan Analisis Data

Kuat tekan diuji sesuai SNI 1974:2011 [18] dan kuat tarik belah sesuai SNI 2491:2014 [19] (Gambar 3). Kuat tekan dan kuat tarik belah dihitung dengan:

$$f'_c = P / A \quad f_{ct} = 2P / (\pi L D) \quad (1)$$

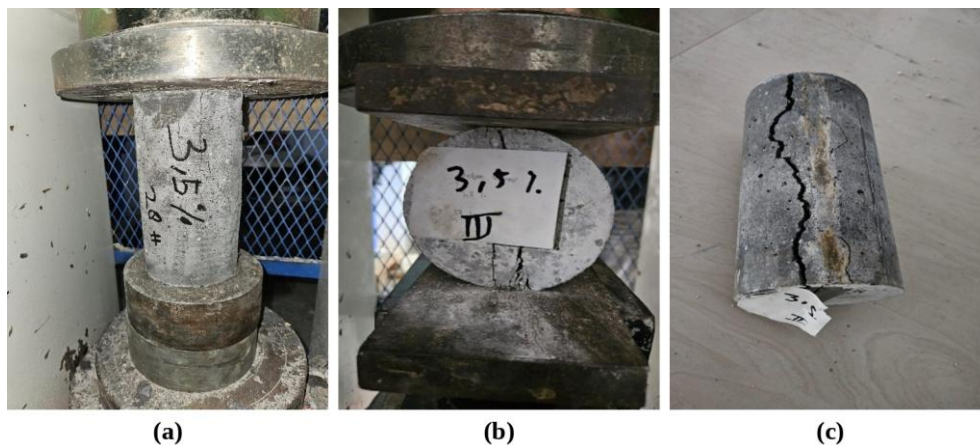
dengan P adalah beban maksimum (N), A adalah luas penampang silinder ( $7.850 \text{ mm}^2$ ), L adalah panjang silinder (200 mm), dan D adalah diameter silinder (100 mm). Pengaruh penambahan abu dinyatakan dengan perubahan relatif terhadap beton kontrol dan keseragaman hasil dengan koefisien variasi:

$$\Delta = (\bar{x}_{AS} - \bar{x}_{BK}) / \bar{x}_{BK} \times 100\% \quad CV = s / \bar{x} \times 100\% \quad (2)$$

Signifikansi perbedaan antarvariabel diuji dengan analisis varians (ANOVA) satu arah pada taraf 5%, dan apabila signifikan dilanjutkan dengan uji Tukey HSD untuk membandingkan setiap pasangan variasi [20]:

$$F = [\sum n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 / (k - 1)] / [\sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / (N - k)] \quad (3)$$

dengan  $k = 4$  variasi,  $n_j = 3$  benda uji, dan  $N = 12$  untuk setiap umur pengujian. Hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan dibandingkan dengan perkiraan  $f_{ct} \approx 0,56 \sqrt{f'_c}$  [21].



Gambar 3. Pengujian Beton: (a) Uji Kuat Tekan; (b) Uji Kuat Tarik Belah; (c) Pola Retak Belah Benda Uji

### III. Hasil dan Pembahasan

#### A. Karakteristik Material

Hasil pengujian karakteristik agregat disajikan pada Tabel 1. Agregat kasar memiliki kadar lumpur 0,81% di bawah batas 1%, berat jenis jenuh kering permukaan 2,66, dan penyerapan 1,44%. Agregat halus memiliki kadar lumpur 0,91% dan penyerapan 0,60%, dengan berat jenis jenuh kering permukaan 2,27 yang relatif rendah dibandingkan pasir pada umumnya (2,5–2,7). Seluruh parameter memenuhi persyaratan sebagai bahan beton.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar dan Agregat Halus

| Jenis Pengujian                      | Standar          | Syarat            | Agregat Kasar | Agregat Halus | Keterangan |
|--------------------------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|------------|
| Kadar air (%)                        | SNI 03-1971-1990 | –                 | 1,49          | 3,66          | –          |
| Kadar lumpur (%)                     | SNI 03-4142-1996 | $\leq 1 / \leq 5$ | 0,81          | 0,91          | Memenuhi   |
| Berat isi lepas (g/cm <sup>3</sup> ) | SNI 03-4804-1998 | 1,2–1,9           | 1,39          | 1,22          | Memenuhi   |
| Berat isi padat (g/cm <sup>3</sup> ) | SNI 03-4804-1998 | 1,2–1,9           | 1,54          | 1,40          | Memenuhi   |
| Berat jenis curah                    | ASTM C127/C128   | 1,6–3,1           | 2,63          | 2,26          | Memenuhi   |
| Berat jenis SSD                      | ASTM C127/C128   | 1,6–3,1           | 2,66          | 2,27          | Memenuhi   |
| Berat jenis semu                     | ASTM C127/C128   | 1,6–3,1           | 2,73          | 2,29          | Memenuhi   |
| Penyerapan (%)                       | ASTM C127/C128   | 0,2–5             | 1,44          | 0,60          | Memenuhi   |

Berat jenis semen rata-rata 3,14, sesuai dengan nilai umum semen Portland, sedangkan berat jenis abu serai rata-rata 1,75 (1,80 dan 1,70 pada dua sampel). Berat jenis yang rendah menunjukkan bahwa abu bersifat ringan dan berpori, sehingga untuk massa yang sama volumenya sekitar 1,8 kali volume semen. Abu yang dihasilkan berwarna hitam pekat (Gambar 1b), yang mengindikasikan kandungan karbon sisa yang tinggi akibat pembakaran terbuka yang belum sempurna.

#### B. Proporsi Campuran dan Kelecekan

Proporsi campuran per meter kubik dan untuk satu silinder (0,00157 m<sup>3</sup>) disajikan pada Tabel 2. Kadar semen 316,8 kg/m<sup>3</sup> dengan air 198,8 kg/m<sup>3</sup> menghasilkan faktor air-semen 0,63. Penambahan abu 3,5%, 5%, dan 6,5% setara dengan 11,09 kg/m<sup>3</sup>, 15,84 kg/m<sup>3</sup>, dan 20,60 kg/m<sup>3</sup>, atau 0,017 kg, 0,025 kg, dan 0,032 kg untuk setiap silinder.

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton per Meter Kubik dan untuk Satu Silinder (0,00157 m<sup>3</sup>)

| Bahan                      | Per m <sup>3</sup> (kg) | Per silinder (kg)     | Keterangan    |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| Semen                      | 316,85                  | 0,497                 | f.a.s. = 0,63 |
| Air                        | 198,79                  | 0,312                 | –             |
| Pasir                      | 668,15                  | 1,049                 | –             |
| Batu pecah                 | 1.141,73                | 1,793                 | –             |
| Abu serai 3,5% / 5% / 6,5% | 11,09 / 15,84 / 20,60   | 0,017 / 0,025 / 0,032 | % berat semen |

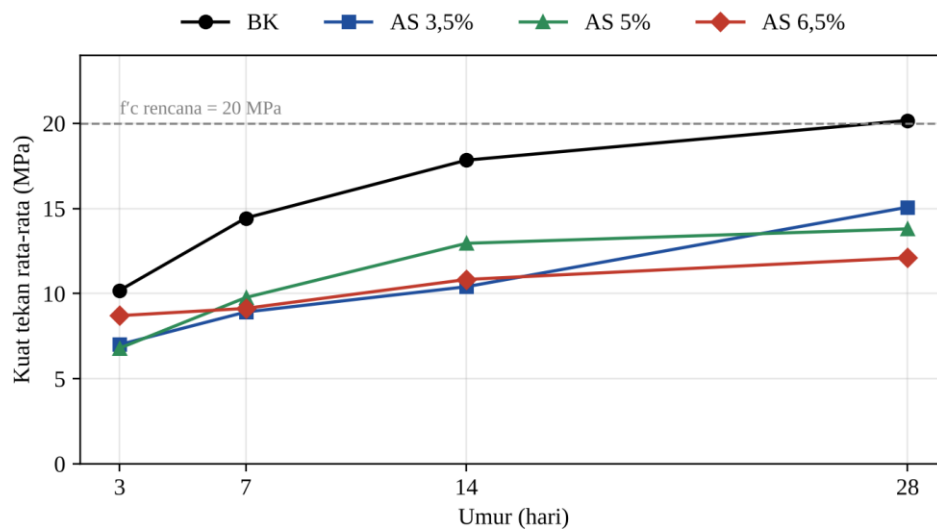
Nilai slump beton kontrol sebesar 98 mm, sedangkan beton dengan AS 3,5%, 5%, dan 6,5% masing-masing 85 mm, 82 mm, dan 80 mm. Seluruh nilai berada dalam rentang rencana 75–100 mm, tetapi slump menurun seiring bertambahnya kadar abu. Penurunan ini sejalan dengan sifat abu biomassa yang halus, berpori, dan mengandung karbon sehingga menyerap sebagian air campuran [4], [5].

#### C. Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada setiap umur disajikan pada Tabel 3, dan perkembangannya ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai rata-rata dihitung ulang dari beban maksimum setiap benda uji dengan Persamaan (1).

Tabel 3. Kuat Tekan Rata-Rata Beton pada Berbagai Umur (MPa)

| Umur (hari)                       | BK    | AS 3,5% | AS 5% | AS 6,5% |
|-----------------------------------|-------|---------|-------|---------|
| 3                                 | 10,19 | 7,01    | 6,79  | 8,70    |
| 7                                 | 14,44 | 8,92    | 9,77  | 9,13    |
| 14                                | 17,83 | 10,40   | 12,95 | 10,83   |
| 28                                | 20,17 | 15,07   | 13,80 | 12,10   |
| $\Delta$ terhadap BK, 28 hari (%) | –     | –25,3   | –31,6 | –40,0   |
| CV 28 hari (%)                    | 4,8   | 17,1    | 13,3  | 5,3     |



Gambar 4. Perkembangan Kuat Tekan Rata-Rata Beton terhadap Umur

Pada seluruh umur pengujian, kuat tekan beton dengan abu serai lebih rendah daripada beton kontrol. Pada umur 3 hari, beton dengan AS 3,5% dan 5% hanya mencapai 7,01 MPa dan 6,79 MPa dibandingkan 10,19 MPa pada beton kontrol, atau turun lebih dari 30%. Nilai rata-rata AS 6,5% pada umur 3 hari (8,70 MPa) tampak lebih tinggi daripada AS 3,5% dan 5%, tetapi nilai ini dipengaruhi oleh satu benda uji dengan beban 95 kN (12,10 MPa) yang jauh di atas dua benda uji lainnya (55 kN), sehingga koefisien variasinya mencapai 33,8%. Tanpa benda uji tersebut, kuat tekan AS 6,5% pada umur 3 hari adalah 7,01 MPa, setara dengan AS 3,5%.

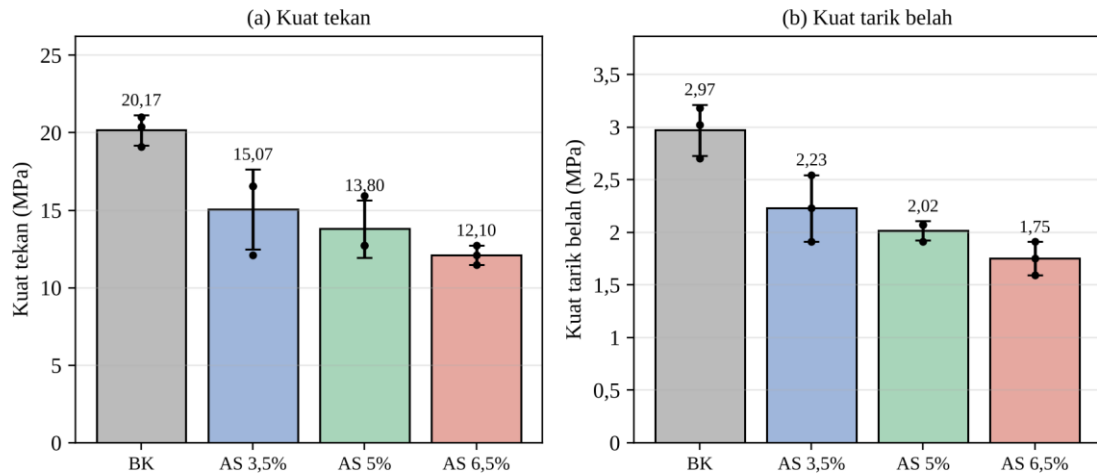
Pada umur 28 hari, kuat tekan beton kontrol sebesar 20,17 MPa, sedangkan AS 3,5%, 5%, dan 6,5% masing-masing 15,07 MPa, 13,80 MPa, dan 12,10 MPa, atau turun 25,3%, 31,6%, dan 40,0%. Penurunan kuat tekan bertambah seiring bertambahnya kadar abu. Hanya beton kontrol yang mencapai mutu rencana 20 MPa, dan belum ada campuran yang mencapai kuat tekan rata-rata perlu  $f'_{cr} = f'_c + 8,3 = 28,3$  MPa yang disyaratkan apabila data deviasi standar tidak tersedia [16]. Beton AS 3,5% dan 5% juga memiliki sebaran hasil yang besar pada umur 28 hari, dengan koefisien variasi 17,1% dan 13,3%.

#### D. Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah umur 28 hari dengan Persamaan (1) disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 5b. Beton kontrol menghasilkan kuat tarik belah rata-rata 2,97 MPa, sedangkan beton dengan AS 3,5%, 5%, dan 6,5% masing-masing 2,23 MPa, 2,02 MPa, dan 1,75 MPa, atau turun 25,0%, 32,1%, dan 41,1%. Pola penurunan ini hampir sama dengan pola penurunan kuat tekan 28 hari.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari (D = 100 mm; L = 200 mm)

| Variasi | P benda uji 1/2/3 (kN) | fct benda uji (MPa) | fct rata-rata (MPa) | $\Delta$ (%) | CV (%) |
|---------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------|
| BK      | 85 / 95 / 100          | 2,71 / 3,02 / 3,18  | 2,97                | —            | 8,2    |
| AS 3,5% | 80 / 70 / 60           | 2,55 / 2,23 / 1,91  | 2,23                | -25,0        | 14,3   |
| AS 5%   | 65 / 60 / 65           | 2,07 / 1,91 / 2,07  | 2,02                | -32,1        | 4,6    |
| AS 6,5% | 50 / 55 / 60           | 1,59 / 1,75 / 1,91  | 1,75                | -41,1        | 9,1    |



Gambar 5. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari, Simpangan Baku, dan Hasil Setiap Benda Uji

#### E. Uji Signifikansi Statistik

Hasil ANOVA satu arah disajikan pada Tabel 5. Perbedaan kuat tekan antarvariasi signifikan pada umur 7 hari ( $p = 0,002$ ), 14 hari ( $p < 0,001$ ), dan 28 hari ( $p = 0,002$ ), tetapi tidak signifikan pada umur 3 hari ( $p = 0,085$ ) karena besarnya sebaran hasil AS 6,5%. Uji Tukey pada umur 28 hari menunjukkan bahwa AS 3,5%, 5%, dan 6,5% masing-masing berbeda signifikan dari beton kontrol ( $p = 0,025$ ;  $0,007$ ; dan  $0,002$ ), tetapi perbedaan antarkadar abu tidak signifikan ( $p = 0,214$ – $0,792$ ).

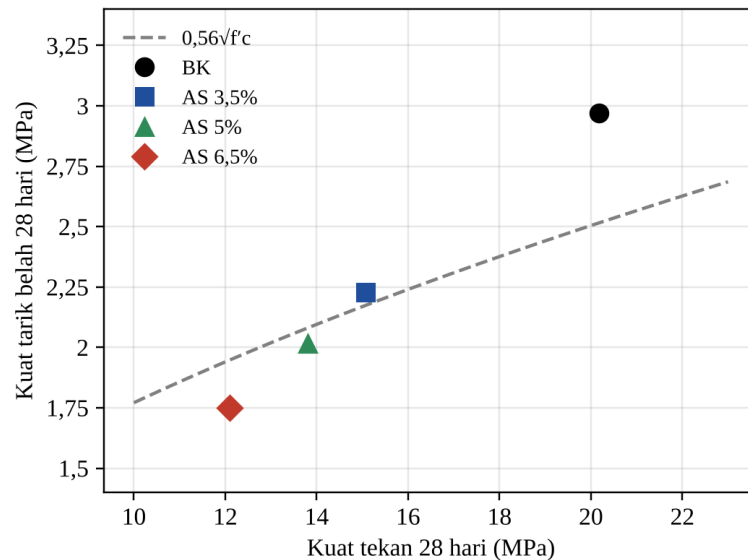
Tabel 5. Hasil Analisis Varians Satu Arah ( $df = 3; 8$ ;  $F$  tabel =  $4,07$ )

| Pengujian                | F hitung | Nilai p | Keputusan        |
|--------------------------|----------|---------|------------------|
| Kuat tekan 3 hari        | 3,17     | 0,085   | Tidak signifikan |
| Kuat tekan 7 hari        | 12,58    | 0,002   | Signifikan       |
| Kuat tekan 14 hari       | 44,80    | < 0,001 | Signifikan       |
| Kuat tekan 28 hari       | 12,76    | 0,002   | Signifikan       |
| Kuat tarik belah 28 hari | 16,97    | < 0,001 | Signifikan       |

Untuk kuat tarik belah, ANOVA menghasilkan  $F = 16,97$  dengan  $p < 0,001$ . Uji Tukey menunjukkan bahwa seluruh variasi abu berbeda signifikan dari beton kontrol ( $p = 0,014$ ;  $0,003$ ; dan  $0,001$ ), sedangkan perbedaan antarkadar abu tidak signifikan ( $p = 0,108$ – $0,655$ ). Dengan demikian, penambahan abu serai pada kadar 3,5–6,5% menurunkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton secara nyata.

#### F. Hubungan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan

Rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan 28 hari sebesar 14,7% pada beton kontrol, 14,8% pada AS 3,5%, 14,6% pada AS 5%, dan 14,5% pada AS 6,5%, seluruhnya dalam rentang umum 10–15% [1], [2]. Rasio yang hampir tetap menunjukkan bahwa abu serai menurunkan kuat tarik belah sebanding dengan penurunan kuat tekan. Gambar 6 menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton kontrol (2,97 MPa) lebih tinggi daripada perkiraan  $0,56\sqrt{f'_c}$  (2,52 MPa), sedangkan beton dengan abu serai berada di sekitar atau di bawah garis perkiraan tersebut, terutama AS 6,5% (1,75 MPa terhadap 1,95 MPa).



Gambar 6. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari

#### G. Pembahasan

Penurunan kekuatan akibat abu serai diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, abu dihasilkan dari pembakaran terbuka di dalam drum sehingga suhu tidak terkontrol dan pembakaran tidak sempurna, yang ditunjukkan oleh warna abu yang hitam. Karbon sisa yang tinggi menyerap air dan bahan tambah, mengurangi air yang tersedia untuk hidrasi, dan melemahkan ikatan pasta semen dengan agregat [4], [5]. Kedua, berat jenis abu yang rendah (1,75) membuat volume abu relatif besar, yaitu sekitar 6–12% dari volume semen pada kadar 3,5–6,5%, sehingga menambah partikel berpori dalam pasta. Ketiga, penurunan yang sudah besar sejak umur 3 hari menunjukkan bahwa abu juga dapat menghambat hidrasi awal, kemungkinan akibat senyawa organik dan alkali dari sisa pembakaran yang belum terurai.

Penurunan kekuatan yang sudah lebih dari 25% pada kadar terendah (3,5%) menunjukkan bahwa kadar abu yang efektif, jika ada, berada di bawah 3,5%. Komposisi kimia dan kehilangan pijar abu belum diuji pada penelitian ini, sehingga kandungan silika amorf dan karbon sisa belum dapat dipastikan, dan sifat pozolan abu serai belum dapat dibuktikan. Selain itu, jumlah benda uji hanya tiga untuk setiap variasi dan umur, dan benda uji silinder 100 mm × 200 mm cenderung menghasilkan kuat tekan sedikit lebih tinggi daripada silinder standar 150 mm × 300 mm.

Penelitian lanjutan disarankan menguji komposisi kimia abu dengan XRF, kehilangan pijar, dan indeks aktivitas pozolan, membakar serai pada tungku dengan suhu terkontrol (sekitar 600–700°C) hingga abu berwarna abu-abu terang, mengkaji kadar abu yang lebih rendah (0,5–3%), serta menggunakan jumlah benda uji yang lebih banyak.

#### IV. Kesimpulan

Agregat yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai bahan beton. Abu serai memiliki berat jenis 1,75, dan seluruh campuran menghasilkan slump 80–98 mm dalam rentang rencana, dengan slump yang menurun seiring bertambahnya kadar abu.

Penambahan abu serai 3,5%, 5%, dan 6,5% dari berat semen menurunkan kuat tekan 28 hari dari 20,17 MPa menjadi 15,07 MPa (–25,3%), 13,80 MPa (–31,6%), dan 12,10 MPa (–40,0%), dan menurunkan kuat tarik belah 28 hari dari 2,97 MPa menjadi 2,23 MPa (–25,0%), 2,02 MPa (–32,1%), dan 1,75 MPa (–41,1%). Penurunan tersebut signifikan secara statistik terhadap beton kontrol untuk seluruh kadar abu ( $p \leq 0,025$ ).

Rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan relatif tetap pada 14,5–14,8%. Abu serai yang dihasilkan dengan pembakaran terbuka tidak efektif sebagai bahan tambah beton pada kadar 3,5–6,5%, sehingga pemanfaatannya memerlukan pengendalian proses pembakaran dan kajian pada kadar yang lebih rendah.

#### Daftar Pustaka

- [1] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2005.
- [2] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta, Indonesia: Gramedia Pustaka Utama, 1999.
- [3] P. K. Mehta dan P. J. M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, ed. ke-4. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014.

- 
- [4] R. Siddique, *Waste Materials and By-Products in Concrete*. Berlin, Germany: Springer, 2008.
- [5] G. C. Cordeiro, R. D. Toledo Filho, dan E. M. R. Fairbairn, "Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 10, pp. 3301–3303, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.013.
- [6] H. Matana, "Pengaruh penambahan abu cangkang keong bakau terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton," *Journal Dynamic Saint*, vol. 7, no. 2, 2022.
- [7] I. Padang dan Z. Lodi Honta, "Pemanfaatan abu limbah kulit kopi Toraja sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton," *Teaching and Learning Journal of Mandalika*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [8] P. E. Barrung, "Pengaruh penggunaan abu daun serai dan zat additive tipe E terhadap kuat tekan beton," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, 2024.
- [9] P. Simon, "Pengaruh penggunaan abu daun serai dan zat additive tipe E terhadap kuat tarik belah beton," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, 2024.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta, Indonesia: BSN, 1990.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta, Indonesia: BSN, 1990.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Jakarta, Indonesia: BSN, 1996.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Jakarta, Indonesia: BSN, 1998.
- [14] *ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2015.
- [15] *ASTM C128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2015.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2012.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2008.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.
- [19] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2491:2014 Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2014.
- [20] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, ed. ke-9. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [21] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2019.