

## Pemanfaatan *Rice Husk Ash* Dan *Bottom Ash* Sebagai Bahan Campuran Pada Beton

Yusrianto <sup>\*1</sup>, Jonie Tanijaya <sup>\*2</sup>, Suryanti Rapang Tonapa <sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar  
Email [Yusriantoukip@gmail.com](mailto:Yusriantoukip@gmail.com)

<sup>\*2</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar  
Email [Jonie.tanijaya@gmail.com](mailto:Jonie.tanijaya@gmail.com)

<sup>\*3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar  
Email [Suryantirt19@gmail.com](mailto:Suryantirt19@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan material dari limbah *Rice Husk Ash* (RHA) sebagai bahan substitusi semen dan *Bottom Ash* (BA) sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton. Metodologi dalam penelitian ini melakukan pengujian karakteristik material dan pengujian sifat mekanik beton menggunakan variasi RHA 0%,10%,15% serta variasi BA 30% dengan kuat tekan rencana 25 MPa metode ACI 211.2-98 pada umur pengujian 7, 21, dan 28 hari. Hasil penelitian menggunakan bahan substitusi RHA dan BA pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan rata-rata berturut-turut yaitu 26,125 MPa, 25,559 MPa, dan 25,276 MPa. Kuat tarik belah rata-rata berturut-turut diperoleh 2,451 MPa, 2,145 MPa, dan 1.909 MPa. Kuat lentur rata-rata berturut-turut adalah 3,878 MPa, 2,921 MPa, dan 2,871 MPa. Modulus elastisitas rata-rata berturut-turut 17939,480 MPa, 11532,278 MPa, 9227,208 MPa. Penggunaan RHA dan BA sebagai bahan substitusi dapat mempengaruhi sifat mekanik beton berdasarkan besarnya variasi, semakin besar variasi yang digunakan sifat mekanik beton semakin menurun.

**Kata Kunci :** *rice husk ash*, *bottom ash*, sifat mekanik beton

### ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the aggregate characteristics and concrete strength of the Battang River material. This type of research uses the American Concrete Institute method with the identification of cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, a beam with a length of 60 cm, width of 15 cm, thickness of 15 cm. The results of the research on the plan compressive strength test 23 Mpa, amounting to 23.861 Mpa, the compressive strength plan 30 Mpa, amounting to 31.501 Mpa, the split tensile strength test with the compressive strength plan 23 Mpa is 1.957 Mpa and the compressive strength plan 30 Mpa is 2.769 Mpa, the strength test flexural compressive strength plan 23 Mpa is 3.022 Mpa, for compressive strength plan 30 Mpa is 3.425 Mpa. The aggregate characteristics of the Battang river meet the Indonesian National Standard and can achieve the planned compressive strength value.

**Keywords:** *rice husk ash*, *bottom ash*, compressive strength

### PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil beras terbanyak di Dunia. Beras merupakan hasil penggilingan dari gabah yang digiling untuk memisahkan kulit gabah dengan butiran beras. Kulit gabah tersebut merupakan limbah organik yang sering disebut dengan sekam padi yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran batu merah, pupuk organik, dan bahkan biasanya hanya dibakar begitu saja dan tidak dipergunakan lagi. Sisa-sisa dari pembakaran sekam padi tersebut sering disebut dengan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*). Jumlah limbah abu sekam padi saat ini semakin meningkat, namun pengelolaannya belum digunakan secara optimal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan, seperti pada bidang

konstruksi yaitu dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai bahan substitusi pada campuran beton.

*Bottom ash* merupakan salah satu hasil dari limbah batubara yang digunakan sebagai sumber energi industri-industri di dunia terutama di Indonesia. *Bottom ash* pada umumnya memiliki ukuran butiran seperti agregat halus yang lolos saringan no 4 (4,75). Jumlah limbah *bottom ash* yang semakin meningkat tanpa adanya pengelolaan ataupun daur ulang yang berkelanjutan, tidak menutup kemungkinan lingkungan sekitarnya akan mudah terkena polusi akibat limbah tersebut. Namun dengan pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat halus, dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat penumpukan limbah *bottom ash* sisa pembakaran batubara.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Pris Hendri Lumban Tobing menggunakan abu sekam padi dan *fly ash* sebagai pen-substitusi semen. Pada penelitian ini menggunakan variasi abu sekam padi 0%, 5%, 10%, dan 13% dan *fly ash* 0%, 10%, 15% dan 18 % dengan kuat tekan rencana 25 MPa yang diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari. Nilai kuat tekan pada beton normal ASPF 28.4 MPa, dengan variasi *fly ash* pada benda uji ASPF1 28.8 MPa, ASPF2 25.2 MPa, dan ASPF3 memiliki kuat tekan terendah yakni 22.9 MPa.[1] Sedangkan pada penelitian Surya Pradita yaitu memanfaatkan abu dasar (*bottom ash*) sebagai bahan substitusi pasir pada beton mutu normal. Pada penelitian ini menggunakan komposisi optimal penggantian limbah abu dasar dapat digunakan dalam beton kualitas normal (K-100, K-175 dan K-250) dan persentase abu dasar (*bottom ash*) yang digunakan 0%, 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitian didapatkan kuat tekan tertinggi pada variasi *Bottom Ash* 30% sebesar 31,361 MPa. [2]. Kadar variasi 5% abu sekam padi pada beton baik untuk pengujian *self compacting concrete* [3], kapur bebas yang merupakan hasil reaksi dari hidrasi semen dengan air menghasilkan senyawa padat yang meningkatkan kuat tekan beton [4], beton normal tidak menggunakan alkali activator dalam proses pembuatannya [5].

Dalam penelitian ini dilakukan aplikasi *Rice Husk Ash* (RHA) sebagai substitusi semen dan *Bottom Ash* (BA) sebagai substitusi agregat halus dengan menggunakan variasi abu sekam padi 0%, 10%, 15% dan *bottom ash* 30% pada tiap-tiap variasi campuran. Untuk menentukan sifat mekanik beton seperti kuat tekan, tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan mutu beton rencana yaitu  $f'c$  25 MPa pada variasi pengujian umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari.

1. Kuat Tekan Beton (SNI 1974-2011)

Kuat tekan merupakan besarnya beban persatuan luas, sehingga mengakibatkan silinder beton hancur karena beban yang dihasilkan oleh alat uji tekan. [3] Berikut merupakan persamaan kuat tekan beton (1):

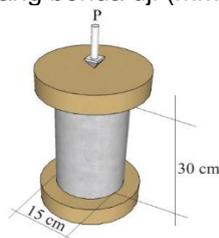
$$f'_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Keterangan :

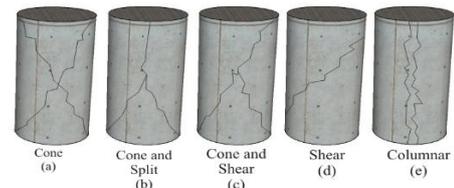
$f'_c$  = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)



Gambar 1. Uji kuat tekan



Gambar 2. Jenis - jenis retakan pada beton (SNI 1974-2011)

2. Kuat Tarik Belah Beton (SNI 2491-2014)

Kuat tarik belah merupakan kuat tarik belah dari silinder beton yang diberikan beban pada sisi panjangnya. Nilai kekuatan tarik belah pada beton pada umumnya rendah dan kuat tekan beton tidak berbanding lurus dengan kuat tarik belah beton. [6]

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

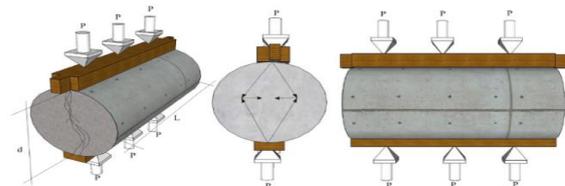
Keterangan :

$f_t$  = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

L = Panjang silinder beton (mm)

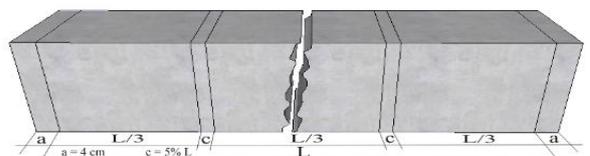
D = Diameter silinder beton (mm)



Gambar 3. Uji tarik belah

3. Kuat Lentur Beton (SNI 4431-2011)

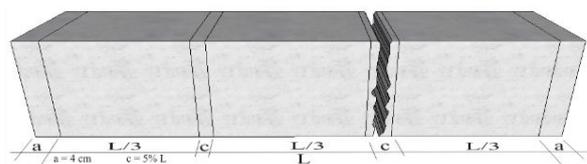
Kuat lentur merupakan kemampuan dari benda uji balok untuk menahan gaya yang tegak lurus pada pada permukaan benda uji sehingga mengakibatkan balok beton tersebut patah. [5]



Gambar 4. Kuat lentur dengan keruntuhan pada tengah bentang balok

$$f_r = \frac{P \times L}{b \times h^2} \tag{3}$$

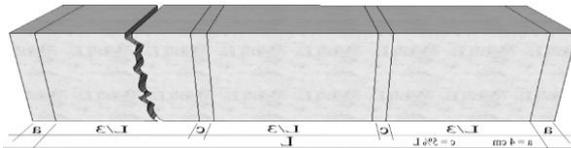
Pada persamaan (3) digunakan apabila terjadi keruntuhan di tengah bentang balok dan untuk keruntuhan yang terjadi pada bagian luar tengah bentang (Gambar 5) digunakan Persamaan (4).



Gambar 5. Kuat lentur dengan keruntuhan pada >5% dari bentang balok

$$f_r = \frac{P \times a}{b \times h^2} \quad (4)$$

Sedangkan untuk benda uji dengan keruntuhan di luar tengah bentang balok dan di luar batas 5% dari bentang balok maka hasil dari pengujian tersebut tidak akan digunakan, seperti pada gambar di bawah ini.



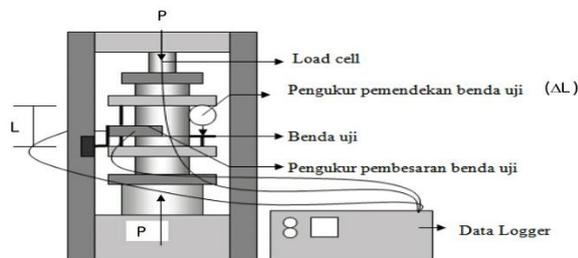
Gambar 6. Pengujian kuat lentur dengan keruntuhan di luar tengah bentang balok

Keterangan:

- $f_r$  = Kuat lentur (MPa)
- $P$  = Beban Maksimum (N)
- $L$  = Jarak bentang dengan garis perletakan (cm)
- $h$  = Lebar penampang arah vertikal (cm)
- $b$  = Lebar penampang arah horizontal (cm)
- $a$  = Jarak rata-rata penampang patah dari tumpuan luar terdekat yang diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang balok (cm).

#### 4. Modulus Elastisitas Beton (ASTM C 469 - 02)

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang. [7] Modulus elastisitas ditentukan dari perubahan tegangan terhadap regangan dalam batas elastisnya. [8]



Gambar 7. Alat pengujian modulus elastisitas beton

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_1 - 0,00005} \quad (4)$$

Keterangan:

- $E_c$  = Modulus elastisitas (MPa)
- $S_2$  = Besar tegangan saat 40% beban batas (MPa)
- $S_1$  = Besar tegangan saat regangan 0,00005 (MPa)
- $\epsilon_1$  = Regangan longitudinal saat 40% beban batas

### METODE

#### 1. Pengadaan Material

- a. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) produksi PT Semen Tonasa.

- b. Agregat halus yang digunakan adalah abu batu dan agregat kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan.
- c. Air sumur bor di Laboratorium Teknologi dan Bahan Beton Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar.
- d. Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)
- e. *Bottom Ash*

#### 2. Persiapan Alat Penelitian

- a. Timbangan
- b. Oven
- c. Saringan/Ayakan
- d. Mesin penggetar ayakan (*shieve shaker*)
- e. Kerucut Terpancung (*Cone*)
- f. Mesin Pencampur Bahan (*mixer/molen*)
- g. Cetak Silinder 30 x 15
- h. Cetak Balok 60 x 15 x 15
- i. Bak Perendaman
- j. Kerucut Abrams
- k. Mesin Pengujian
- l. Alat-alat Pendukung lainnya

#### 3. Pemeriksaan Karakteristik Material

- a. Agregat Halus

Tabel 1. Pedoman karakteristik agregat halus

Karakteristik	Pedoman
Kadar lumpur (%)	SNI 03 - 4142 - 1996
Kadar organik (warna)	SNI 2816 - 2014
Kadar air (%)	SNI 03 - 1971 - 2011
Berat volume padat (kg/m <sup>3</sup> )	SNI 03 - 4804 - 1998
Berat volume gembur (kg/m <sup>3</sup> )	SNI 03 - 4804 - 1998
Absorpsi (%)	SNI 1970 - 2008
SSD	SNI 1970 - 2008
Analisa Saringan	SNI ASTM C136 : 2012

Tabel 2. Karakteristik agregat halus

Karakteristik agregat	Hasil	Interval
Kadar Air (%)	3,519	2,00 - 5,00
Zat Organik	No.2	< No.3
Kadar Lumpur (%)	2,300	0,20 - 6,00
SSD	2,265	1,60 - 3,20
Absorpsi (%)	1,523	0,20 - 2,00
Berat Volume Padat (kg/m <sup>3</sup> )	1471,667	1400-1900
Berat Volume Gembur (kg/m <sup>3</sup> )	1413,333	1400-1900
Modulus Kehalusan	2,489	2,20 – 3,10

- b. Agregat Kasar

Tabel 3. Pedoman karakteristik agregat kasar

Karakteristik	Pedoman
Kadar lumpur, %	SNI 03 - 4142 - 1996
Kadar air, %	SNI 03 - 1971 - 2011
Berat volume padat, (kg/m <sup>3</sup> )	SNI 03 - 4804 -1998
Berat volume gembur, (kg/m <sup>3</sup> )	SNI 03 - 4804 - 1998
Absorpsi (%)	SNI 1969 - 2008
SSD	SNI 1969 - 2008
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012

c. *Bottom Ash*

Tabel 4. Hasil pengujian *bottom ash*

Karakteristik	Hasil	Interval
Kadar Air (%)	3,519	3,00 - 5,00
Zat Organik	No.2	< No.3
Kadar Lumpur (%)	2,300	0,20 - 6,00
Berat Jenis SSD	2,265	1,60 – 3,20
Absorpsi/Penyerapan (%)	1,523	0,20 - 2,00
Berat Volume Padat (kg/m <sup>3</sup> )	1471,667	1400-1900
Berat Volume Gembur (kg/m <sup>3</sup> )	1413,333	1400-1900
Modulus Kehalusan	2,489	2,20 – 3,10

d. *Filler*

Tabel 5. Karakteristik semen dan RHA

No	Karakteristik Material	Hasil	Interval
1	Berat Jenis PCC	3,15	3,0-3,2
2	Berat Jenis RHA	3,005	3,0-3,2

4. *Mix Design* (ACI 211.2-98)

Tabel 6. Komposisi material dalam campuran beton per 1 m<sup>3</sup> dalam satuan berat (kg)

% RHA	PCC	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	BA (30%)	RHA
0%	316,39	193	1129,877	488,95	209,55	0
10%	284,75	193	1129,877	488,95	209,55	31,64
15%	268,93	193	1129,877	488,95	209,55	47,46

5. *Trial Mix*

Pembuatan *trial mix* dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi yang telah dihitung memenuhi kuat tekan rencana (*f'c*). Dari hasil pengujian kuat tekan beton sampel *trial mix* menggunakan variasi abu sekam padi 0% dan 30% *bottom ash* umur 3 dan

7 hari diperoleh nilai kuat tekan diatas kuat tekan rencana yaitu 25 MPa. Jadi komposisi material untuk beton yang direncanakan tercapai.

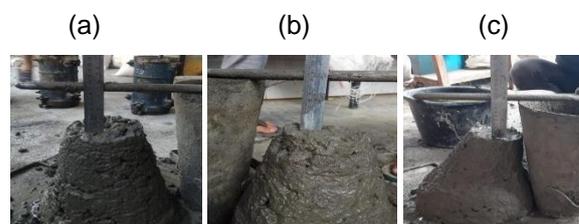
6. Pembuatan Benda Uji

Cara pembuatan benda uji sesuai dengan aturan SNI 2493:2011 yaitu ;

Pencampuran Bahan

Pencampuran material bahan campuran sesuai dengan komposisi *mix design* dan ukuran yang sedemikian rupa sehingga menyisakan 10% kelebihan setelah pencetakan benda uji.

Pengujian *slump test* dengan *slump test* rencana yaitu 75-100 mm.



Gambar 8. *Slump Test*

- (a) RHA 0% + BA 30% yaitu 8 cm,
- (b) RHA 10% + BA 30% yaitu 8,5 cm
- (c) RHA 15% + BA 30% yaitu 9,5 cm.

Pencetakan benda uji

Mencetak benda uji dilakukan berdekatan dengan tempat untuk penyimpanan selama 24 jam. Cetakan silinder diletakkan pada permukaan yang rata dan terhindar dari getaran ataupun gangguan lainnya.

Identifikasi benda uji atau pemberian kode identifikasi benda uji.

7. Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah dilepas dari cetakan dan diberikan kode dirawat dengan cara perendaman batas waktu pengujian kekuatan beton. Tujuan melakukan perawatan beton yaitu:

- a. Mencegah terjadinya keretakan pada permukaan benda uji yang diakibatkan oleh penguapan air yang terlalu cepat pada beton yang masih baru.
- b. Menstabilkan hidrasi semen agar beton dapat mencapai kuat tekan yang telah direncanakan.
- c. Pengujian Sifat Mekanik Beton
- d. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton akan dilakukan setelah melalui proses perawatan pada umur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari yang dilakukan sesuai dengan SNI 1974 - 2011.



Gambar 9. *Compression Testing Machine* kapasitas 2000 KN



Gambar 12. Pengujian modulus elastisitas

**Pengujian Kuat Tarik Belah**

Pengujian kuat tarik belah beton akan dilakukan dengan cara memberikan pembebanan pada sisi panjang silinder beton yang diuji pada umur 28 hari dilakukan sesuai dengan standar SNI 2491 - 2014.



Gambar 10. Pengujian Kuat tarik belah beton

**Pengujian Kuat Lentur**

Pengujian kuat lentur pada beton dilakukan terhadap benda uji yang berbentuk balok dengan umur 28 hari sesuai dengan standar SNI 4431- 2011. Alat pengujian kuat lentur yaitu *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine* Kapasitas 20 Ton.



Gambar 11. Pengujian kuat lentur beton

**Pengujian Modulus Elastisitas**

Pengujian modulus elastisitas beton akan dilakukan setelah melalui proses perawatan pada umur 28 hari yang diuji bersamaan dengan pengujian kuat tekat sesuai dengan standar ASTM C 469 - 02. Alat yang digunakan yaitu alat penekan (*Compression Testing Machine*) kapasitas 2000 KN dan *Modulus Of Elasticity In Concrete Test Set*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. Kuat Tekan Beton

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton RHA 0% + BA 30%

Ur	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan (MPa)
7	YT A1 7	16,977	16,788	25,828
	YT A2 7	15,845		
	YT A3 7	17,542		
21	YT A1 21	23,767	24,710	26,011
	YT A2 21	24,899		
	YT A3 21	25,465		
28	YT A1 28	26,031	26,125	26,125
	YT A2 28	16,977		
	YT A3 28	15,845		

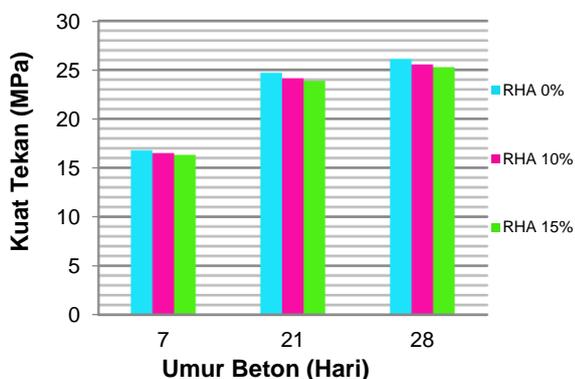
Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton RHA 10% + BA 30%

Ur	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan (MPa)
7	YT B1 7	16,694	16,505	25,392
	YT B2 7	15,845		
	YT B3 7	16,977		
21	YT B1 21	23,484	24,144	25,415
	YT B2 21	23,767		

	YT B3 21	25,182		
	YT B1 28	25,182		
28	YT B2 28	16,694	25,559	25,559
	YT B3 28	15,845		

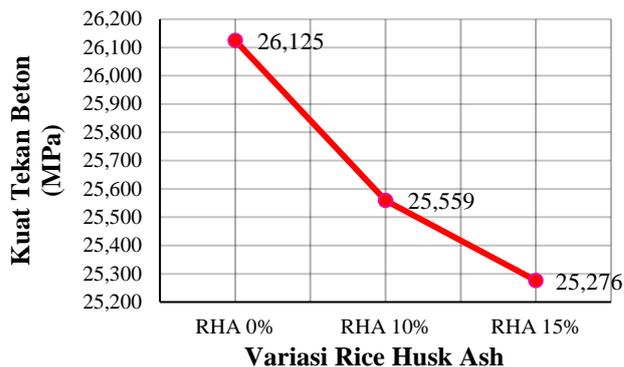
Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton RHA 15% + BA 30%

U m u r	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan (MPa)
	YT C1 7	15,562		
7	YT C2 7	16,411	16,316	25,102
	YT C3 7	16,977		
	YT C1 21	23,767		
21	YT C2 21	24,616	23,861	25,117
	YT C3 21	23,201		
	YT C1 28	25,465		
28	YT C2 28	15,562	25,276	25,276
	YT C3 28	16,411		



Gambar 13. Hubungan kuat tekan beton terhadap umur beton

Berdasarkan gambar 13 dapat dilihat bahwa kuat tekan yang diperoleh semakin meningkat seiring dengan besarnya umur pada beton, namun kuat tekan beton mengalami penurunan setiap bertambahnya variasi substitusi dari *Rice Husk Ash*.



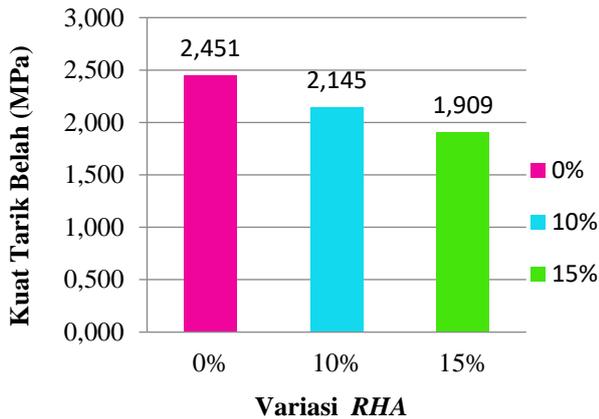
Gambar 14. Hubungan kuat tekan beton terhadap variasi RHA

Hasil dari pengujian kuat tekan beton dengan kuat rencana ( $f'_c$ ) yaitu 25 MPa pada variasi *rice husk ash* 0%, 10%, 15% sebagai substitusi semen dan variasi tetap *bottom ash* 30% sebagai substitusi agregat halus pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 26,125 MPa, 25,559 MPa, 25,276 MPa mengalami penurunan dari variasi RHA 0% ke RHA 10% menurun sebesar 2,2%, sedangkan variasi RHA 10% ke RHA 15% mengalami penurunan sebesar 1,1%.

## 2. Kuat Tarik Belah

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tarik belah

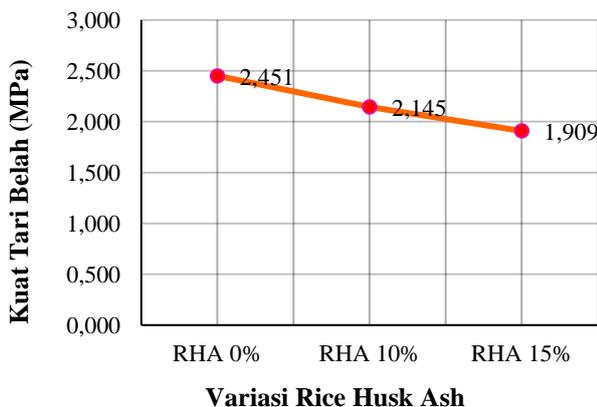
Variasi RHA	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Aktual (MPa)	Kuat Tarik Belah Aktual Rata-rata (MPa)	Kuat Tarik Belah 28 Hari Rata-rata (MPa)
0%	YTB A 28	2,616		
	YTB A 28	2,333	2,451	2,451
	YTB A 28	2,404		
10%	YTB B 28	2,333		
	YTB B 28	2,121	2,145	2,145
	YTB B 28	1,980		
15%	YTB C 28	1,838		
	YTB C 28	1,768	1,909	1,909
	YTB C 28	2,121		



Gambar 15. Hubungan kuat tarik belah terhadap variasi RHA

Berdasarkan gambar menunjukkan hubungan antara variasi RHA dengan kuat tarik belah, dimana nilai kuat tarik belah beton yang diperoleh mengalami penurunan setiap penambahan variasi *rice husk ash* pada campuran beton. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi berada pada variasi substitusi RHA sebesar 0% sebesar 2,451 MPa dan nilai terendah berada pada variasi substitusi RHA sebesar 15% sebesar 1,909 MPa.

Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 25 MPa pada variasi *rice husk ash* 0%, 10%, 15% sebagai substitusi semen dan variasi tetap *bottom ash* 30% sebagai substitusi agregat halus pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 2,451 MPa, 2,145 MPa, dan 1,909 MPa mengalami penurunan dari variasi RHA 0% ke RHA 10% menurun sebesar 14,29%, sedangkan variasi RHA 10% ke RHA 15% mengalami penurunan sebesar 12,35%.

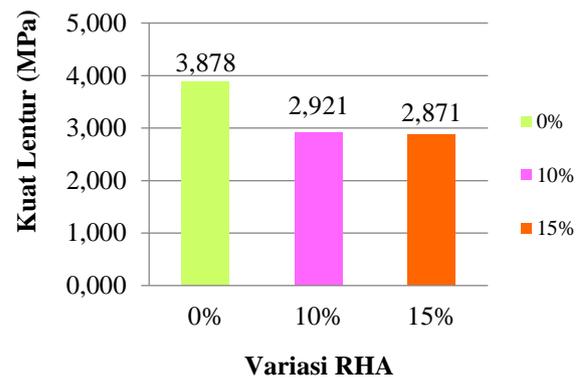


Gambar 16. Hubungan variasi substitusi RHA dan kuat tarik belah

### 3. Kuat Lentur Beton

Tabel 12. Hasil pengujian kuat lentur

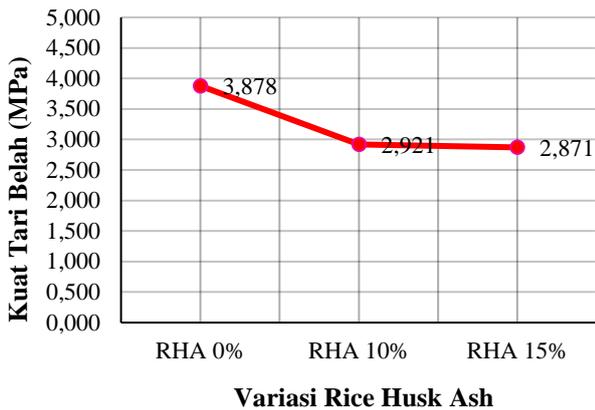
RHA (%)	Kode	Kuat Lentur Beton (MPa)	Rata-rata Kuat Lentur Beton Aktual (MPa)
0%	YKL A 28	3,928	3,878
	YKL A 28	3,626	
	YKL A 28	4,080	
10%	YKL B 28	2,720	2,921
	YKL B 28	3,173	
	YKL B 28	2,871	
15%	YKL C 28	2,720	2,871
	YKL C 28	2,871	
	YKL C 28	3,022	



Gambar 17. Hubungan kuat lentur terhadap variasi RHA

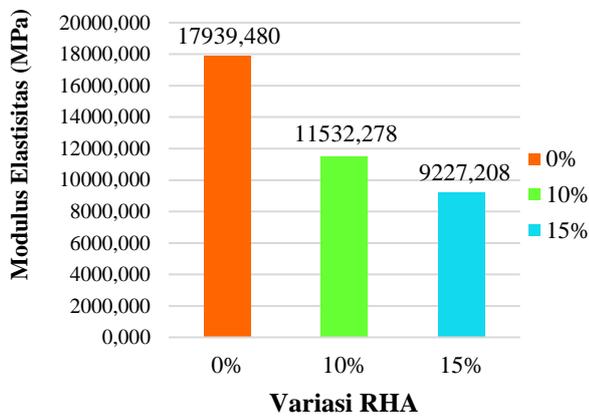
Berdasarkan gambar 17 menunjukkan hubungan antara kuat lentur dengan variasi RHA, yaitu nilai kuat lentur beton mengalami penurunan setiap penambahan variasi *rice husk ash* pada campuran beton. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi berada pada variasi substitusi RHA sebesar 0% sebesar 3,878 MPa dan nilai terendah berada pada variasi substitusi RHA sebesar 15% sebesar 2,871 MPa.

Hasil dari pengujian kuat lentur beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 25 MPa pada variasi *rice husk ash* 0%, 10%, 15% sebagai substitusi semen dan variasi tetap *bottom ash* 30% sebagai substitusi agregat halus pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 3,878 MPa, 2,921 MPa, dan 2,871 MPa mengalami penurunan dari variasi RHA 0% ke RHA 10% menurun sebesar 32,76%, sedangkan variasi RHA 10% ke RHA 15% mengalami penurunan sebesar 1,75%.



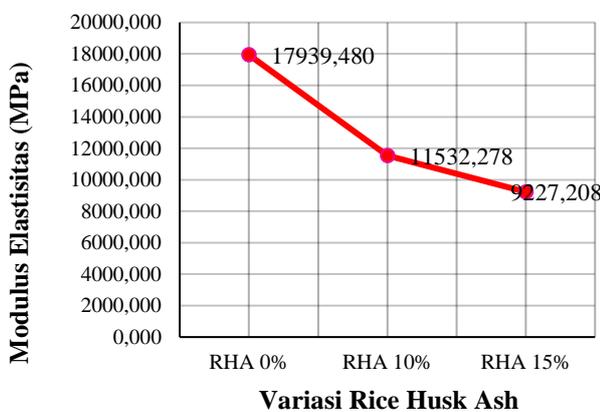
Gambar 18. Hubungan variasi substitusi RHA dan kuat lentur beton

Modulus Elastisitas Beton



Gambar 19. Hubungan modulus elastisitas beton dan variasi RHA

Berdasarkan gambar 19 di atas menunjukkan hubungan antara modulus elastisitas dengan variasi RHA, yaitu nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan setiap penambahan substitusi variasi RHA pada campuran beton.



Gambar 20. Hubungan modulus elastisitas terhadap variasi RHA

Hasil dari pengujian modulus elastisitas beton dengan kuat rencana ( $f'_c$ ) yaitu 25 MPa pada variasi *rice husk ash* 0%, 10%, 15% sebagai substitusi semen dan variasi tetap *bottom ash* 30% sebagai substitusi agregat halus pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 17939,480 MPa, 11532,278 MPa, dan 9227,208 MPa mengalami penurunan dari variasi RHA 0% ke RHA 10% menurun sebesar 55,56%, sedangkan variasi RHA 10% ke RHA 15% mengalami penurunan sebesar 24,98%.

4. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

Tabel 13. Perbandingan antara kuat tekan dan kuat tarik

No	Variasi	Perbandingan (%)	Rata-rata (%)
1	0 %	9,383	8,442
2	10 %	8,391	
3	15 %	7,553	

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa perbandingan antara kuat tekan dan kuat tarik belah yang diperoleh pada variasi RHA 0 % sebesar 9,383 %, RHA 10 % sebesar 8,391 %, dan RHA 15 % sebesar 7,553 %, sehingga rata-rata yang diperoleh 8,442 % dari nilai kuat tekan beton. Sehingga dari perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara kuat tekan beton dengan kuat tarik belah beton telah memenuhi interval yang berkisar antara 7 % - 11 % dengan rata-rata sekitar 10 % dari kuat tekannya.

5. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Tabel 14. Perbandingan kuat tekan beton dengan kuat lentur balok

Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ ) [MPa]	Kuat Lentur Beton ( $f_r$ ) [MPa]	Perbandingan	
		$\sqrt{(f'_c)}$	$\frac{f_r}{\sqrt{(f'_c)}}$
26,138	3,878	5,111	0,759
25,572	2,921	5,056	0,578
25,289	2,871	5,028	0,571

Sehingga dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada variasi RHA 0% nilai kuat lentur beton mencapai  $0,759\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan beton, RHA 10% nilai kuat lentur  $0,578\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan, dan RHA 15% nilai kuat lentur  $0,511\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan, sehingga diperoleh nilai rata-rata sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.3 adalah :  $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$ .

Persentase modulus keruntuhan pada variasi RHA 0% yaitu 14,84 % dari kuat tekannya, variasi RHA 10% yaitu 11,43 % dari kuat tekannya, dan variasi RHA 15 % yaitu 11,36 % dari kuat tekannya. Sehingga nilai yang diperoleh sesuai dengan standar modulus keruntuhan kuat lentur beton yang berkisar antara 11% - 23% dari kuat tekannya.

#### 6. Hubungan Antara Modulus Elastisitas Dengan Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 2847 : 2013, nilai korelasi antara modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton normal dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

Dari persamaan di atas maka diperoleh modulus elastisitas teoritis pada tiap variasi RHA 0%, 10%, dan 15% berturut-turut sebesar 23976,579 MPa, 23585,137 MPa, dan 22637,563 MPa.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian sifat mekanik beton diperoleh kuat tekan maksimal pada variasi RHA 0% dan BA 30% sebesar 26,125 MPa, untuk pengujian kuat tarik belah nilai maksimal pada variasi RHA 0% dan BA 30% yaitu sebesar 2,451 MPa, pengujian kuat lentur pada variasi RHA 0% dan BA 30% yaitu 3,878 MPa dan modulus elastisitas maksimal pada variasi RHA 0% dan BA 30% sebesar 17939,480 MPa. Pengaruh penggunaan RHA dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi dapat mempengaruhi sifat mekanik beton berdasarkan besarnya variasi, semakin besar variasi yang digunakan kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas pada beton semakin menurun. Namun pada penelitian ini kuat tekan beton yang diperoleh pada setiap variasi RHA memenuhi nilai kuat tekan rencana yaitu 25 MPa.

Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah yang diperoleh pada variasi RHA 0 % sebesar 9,383 %, RHA 10 % sebesar 8,391 %, dan RHA 15 % sebesar 7,553 %, sehingga rata-rata yang diperoleh 8,442 % dari nilai kuat tekan beton.

Hubungan kuat tekan dengan kuat lentur yang diperoleh pada variasi RHA 0% nilai kuat lentur  $0,759\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan, RHA 10% nilai kuat lentur  $0,578\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan, dan RHA 15% nilai kuat lentur  $0,511\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan, sehingga diperoleh nilai rata-rata sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.3 adalah :  $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$ .

Hubungan kuat tekan dan modulus elastisitas yang diperoleh variasi RHA 0%, 10%, dan 15% berturut-turut sebesar 23976,579 MPa, 23585,137 MPa, dan 22637,563 MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. H. L. Tobing, 2018, "Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Fly Ash Sebagai Pen-Substitusi Semen Pada Beton," *J. Online Mhs. JOM Bid. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1,
- [2] S. Pradita, 2012, "Pemanfaatan Abu Dasar (*Bottom Ash*) Sebagai Bahan Substitusi Pasir Pada Beton Mutu Normal,"
- [3] Z. Trisnasari, Wibowo, dan E. Safitri, 2017, "Kajian Pengaruh Variasi Komposisi *Rice Husk Ash* Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi", *Matriks Teknik Sipil*, vol.5, no.4, doi: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i4.36921>
- [4] M. Silaturrahmi, 2013, "Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Pada Campuran Beton Mutu K-250 Kg/Cm<sup>2</sup>", *J. Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol.1, no.1
- [5] Y. Sandya, Prihantono, dan S. Musalamah, 2019, "Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Geopolimer", *J. Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, vol.5, no.2, pp.59-63, doi: <https://doi.org/10.24114/ebjptbs.v5i2%20DES.16142>
- [6] SNI 1974 - 2011, "*Cara Uji Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [7] SNI 2491 - 2014, "*Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*". Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [8] SNI 03 - 4431 - 2011, "*Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [9] L. J. Murdock and K. M. Brook, 1991, "Bahan Dan Praktek Beton,"
- [10] A.S.T.M. C 469 - 02, 2001, "*Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*". West Conshohocken: ASTM Internasional.