

## Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* Sebagai Pengganti Semen Dengan Perendaman NaCl Terhadap Sifat Mekanik Beton

Stefanny \*<sup>1</sup>, Jonie Tanijaya \*<sup>2</sup>, Suryanti R. Tonapa\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar  
Email [stefanny0355@gmail.com](mailto:stefanny0355@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

Berdasarkan pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 101 tahun 2014 *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena, itu penulis memanfaatkan limbah *bottom ash* sebagai substitusi alternatif material campuran beton untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Sebagian besar permukaan bumi merupakan wilayah laut, unsur garam yang paling dominan terkandung dalam air laut adalah NaCl yang diketahui bersifat agresif terhadap beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase *bottom ash* pada campuran beton. Persentase penggunaan substitusi *bottom ash* sebagai semen sebesar 5%, 10% dan 15%. Dalam pembuatan benda uji dengan ukuran 15 cm x 30 cm dan 60 cm x 15 cm x 15 cm sebanyak 45 sampel, menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI). Pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas beton dengan kuat tekan rencana sebesar 23 MPa. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan 28 hari berturut-turut sebesar 26,031 MPa, 25,182 MPa, dan 23,201 MPa. Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui bahwa campuran beton dengan substitusi *bottom ash* ini mengakibatkan beton mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash*.

**Kata Kunci :** *Bottom ash*, NaCl dan sifat mekanik beton

### ABSTRACT

Based on Government Regulation (PP) No. 101 of 2014 bottom ash is categorized as hazardous and toxic waste (B3). Therefore, the author utilizes bottom ash waste as an alternative substitution of concrete mixture material to reduce environmental pollution. Most of the earth's surface is marine territory, the most dominant salt element contained in seawater is NaCl which is known to be aggressive towards concrete. This study was conducted to find out the influence of bottom ash percentage on concrete mixture. From the results of the study obtained a strong value press 28 days in a row of 26,031 MPa, 25,182 MPa, and 23,201 MPa. Based on this research, it can be known that the mixture of concrete with bottom ash substitution causes concrete to decrease strength as the percentage of bottom ash substitution increases.

**Keywords:** *Bottom ash*, NaCl and concrete mechanical properties

### PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya laju pembangunan fisik maka, kebutuhan bahan bangunan makin meningkat. Beton adalah material yang saat ini paling umum digunakan dalam proyek konstruksi. Sehubungan dengan meningkatnya kebutuhan beton maka bahan alternatif perlu diusahakan adanya dengan ketentuan memiliki sifat yang serupa dengan material pembuat beton.

Salah satu yang dapat digunakan adalah *bottom ash* atau abu dasar yaitu bahan buangan dari proses pembakaran batu bara dengan partikel yang lebih berat dan lebih besar ukurannya dari pada *fly ash* yang jumlahnya akan terus bertambah selama

industri terus diproduksi. Berdasarkan pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 101 tahun 2014 *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena, itu penulis memanfaatkan limbah *bottom ash* sebagai substitusi alternatif material campuran beton untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Permukaan bumi sebagian besar adalah wilayah laut dengan berbagai sumber daya alam didalamnya untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Air laut mengandung sekitar 3,5% garam, dengan garam-garam utamanya yang mengandung 78% natrium klorida (NaCl), 15% klorida (Cl-) dan magnesium sulfat (MgSO<sub>4</sub>). Unsur garam yang

paling dominan terkandung dalam air laut adalah NaCl yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain termasuk beton.

Tujuan penelitian untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas beton dengan perendaman NaCl yang menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap campuran beton dan untuk mengetahui pengaruh persentase *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap perendaman NaCl pada campuran beton.

Beton merupakan campuran dari agregat halus dan agregat kasar dengan semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu. (Wuryanti, 2001). [1]

*Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara dengan partikel yang lebih berat dan lebih besar ukurannya dari pada *fly ash*, mengakibatkan *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) dengan cara disemprot dengan air dikeluarkan dari tungku lalu dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

Natrium klorida (NaCl) juga dikenal dengan garam dapur atau halit adalah garam yang paling banyak memengaruhi cairan ekstraselular dan salinitas laut pada organisme multiseluler. Air laut mengandung rata-rata 3,5% kadar garam, artinya terdapat 35 gram garam dalam 1liter (1000 ml) air laut. Kekuatan dan keawetan beton dapat dipengaruhi dari kandungan garam yang tinggi. Dikarenakan adanya Clorida (Cl) yang adalah garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain dalam air laut termasuk beton.

Pengujian beton ini terdiri dari :

1. Kuat Tekan Beton (SNI 1974-2011)

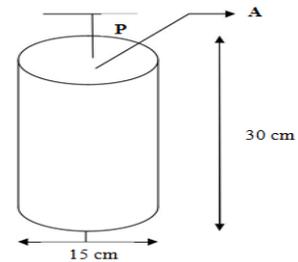
Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas, sehingga mengakibatkan silinder beton hancur karena beban yang dihasilkan oleh alat uji tekan. [2]

Berikut persamaan yang digunakan (1):

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

- $f_c$  = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>)



Gambar 1. Uji kuat tekan

2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton (SNI 4431:2011)

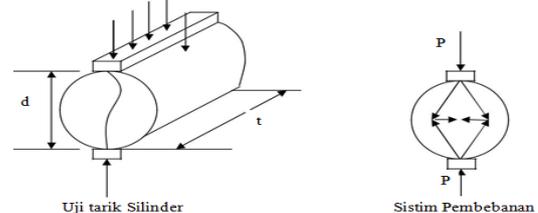
Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji tersebut patah. [3]

Pengujian dihitung dengan persamaan (2)

$$f_t = \frac{2P}{\pi Ld} \quad (2)$$

Dimana:

- $f_t$  = Kuat tarik belah (N/mm, MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- L = Panjang silinder (mm)
- d = Diameter silinder (mm)



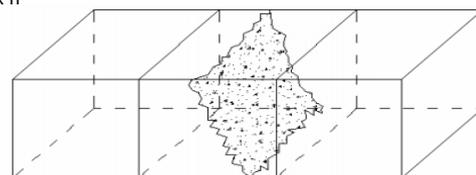
Gambar 2. Uji tarik belah

3. Pengujian Kuat Lentur Beton (SNI 2491:2014)

Kekuatan tarik belah pada umumnya lebih besar dari kekuatan tarik langsung dan lebih rendah dari kekuatan lentur (*modulus of rupture*). Kekuatan tarik telah digunakan dalam mendesain elemen struktur beton untuk mengevaluasi ketahanan geser beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari tulangan.[4]

Kuat lentur beton dihitung dengan menggunakan Persamaan (3), dengan mekanisme pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 3.

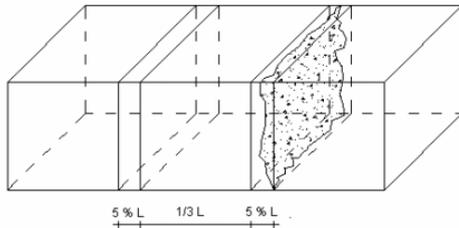
$$f_r = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (3)$$



Gambar 3. Kuat lentur dengan keruntuhan pada tengah bentang balok

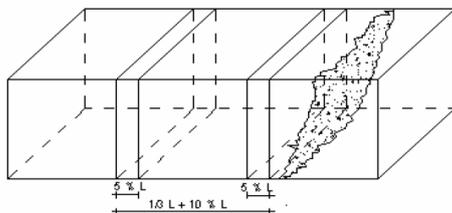
Persamaan (3) digunakan jika terjadi keruntuhan di tengah bentang dan untuk (Gambar 4) keruntuhan terjadi pada bagian luar tengah bentang digunakan persamaan (4).

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



Gambar 4. Kuat lentur dengan keruntuhan pada >5% bentang balok

Sedangkan untuk benda uji yang keruntuhannya di luar tengah bentang balok dan di luar batas 5% dari bentang balok maka hasil pengujian tidak digunakan seperti Gambar 5.



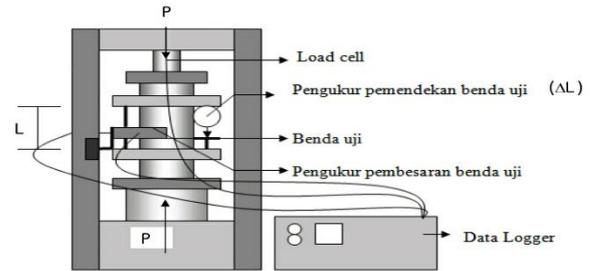
Gambar 5. Pengujian kuat lentur dengan keruntuhan di luar tengah bentang balok

Dimana:

- $f_r$  = 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 (cm)

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

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang (Murdock & Brook, 1991).[5] Modulus elastisitas ditentukan dari perubahan tegangan terhadap regangan dalam batas elastisnya.



Gambar 6. Alat pengujian modulus elastisitas beton

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_1 - 0,00005} \quad (5)$$

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

Berdasarkan penelitian Achmad Subki Arinata, M. Taufik Hidayat, Ari Wibowo (2014) yang menggunakan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen dengan variasi presentase 0%, 10%, 20% dan 25% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada variasi 10% dengan nilai sebesar 18,99 MPa dengan kuat tekan rencana 18,67 MPa.[6]

Berdasarkan penelitian Wisnu, M. Taufik Hidayat, Devi Nuralinah (2014) yang menggunakan abu dasar (*bottom ash*) batu bara sebagai pengganti semen dengan variasi presentase 0%, 10%, 20% dan 25% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada variasi 10% dengan nilai sebesar 18,80 MPa dan air laut sebagai air perendaman.[7]

#### METODE

##### 1. Pengadaan Material

Material yang digunakan yaitu semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) produksi PT Semen Tonasa, agregat halus yang digunakan yaitu abu batu berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan, agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan, air sumur bor di Laboratorium Teknologi dan Bahan Beton Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, dan *bottom ash*.

##### 2. Persiapan Alat Penelitian

1. Timbangan
2. Oven
3. Saringan/Ayakan
4. Mesin penggetar ayakan (*shieve shaker*)
5. Kerucut Terpancung (*Cone*)
6. Mesin Pencampur Bahan (*mixer/molen*)
7. Cetak Silinder 30 x 15
8. Cetak Balok 60 x 15 x 15

- 9. Bak Perendaman
- 10. Kerucut Abrams
- 11. Mesin Pengujian
- 12. Alat-alat Pendukung lainnya

### 3. Pemeriksaan Karakteristik Material

#### 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/ltr)	SNI 03-4804-1998
Berat volume gembur (kg/ltr)	SNI 03-4804-1998
Penyerapan (%)	SNI 1970-2008
Berat jenis SSD	SNI 1970-2008
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:20

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Kadar air (%)	4,167	3,00 - 5,00
Zat organik	2	< No. 3
Kadar lumpur (%)	1,8	0,20 - 6,00
Berat jenis SSD	2,5113	1,60 – 3,20
Absorpsi/ Penyerapan (%)	1,833	0,20 - 2,00
Berat Volume Padat (kg/m <sup>3</sup> )	1607	1400 – 1900
Berat Volume Gembur (kg/m <sup>3</sup> )	1491,6	1400 – 1900
Modulus Kehalusan	67	1900
	2,653	2,20 – 3,10

#### 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/ltr)	SNI 03-4804-1998
Berat volume gembur (kg/ltr)	SNI 03-4804-1998
Penyerapan (%)	SNI 1969-2008
Berat jenis (SSD)	SNI 1969-2008
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Kadar air (%)	0,718	0,50 - 2,00
Kadar lumpur (%)	0,680	0,20 - 1,00
Berat volume padat (kg/m <sup>3</sup> )	1611,1	1400 – 1900
Berat volume gembur (kg/m <sup>3</sup> )	1554,4	1400 – 1900
Berat Jenis SSD	2,646	1,60 – 3,20
Absorpsi/ Penyerapan (%)	2,145	0,20 - 3,00

#### Filler (Semen dan Bottom Ash)

Tabel 5. Hasil pemeriksaan berat jenis filler

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Berat jenis semen	3,15	3,0 – 3,2
Berat jenis Bottom Ash	3,10	3,0 – 3,2

#### Mix Design (ACI 211.2-98)

Tabel 6. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk 1 m<sup>3</sup>

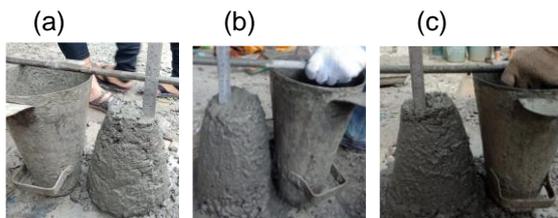
% BA	Berat (kg)				
	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Bottom Ash
5%	317,215	193	1102,636	676,569	16,696
10%	300,519	193	1102,636	676,569	33,391
15%	283,824	193	1102,636	676,569	50,087

#### 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* 7 hari diperoleh nilai kuat tekan diatas kuat tekan rencana yaitu 23 MPa. Jadi komposisi material untuk beton yang direncanakan tercapai.

#### 4. Pembuatan Benda Uji

Cara pembuatan benda uji sesuai dengan aturan SNI 2493:2011 yaitu: Mencampur beton ke dalam pencampur sehingga menyisakan 10% kelebihan setelah pencetakan benda uji yang sesuai takaran *mix design* dengan ukuran yang sedemikian rupa, pengujian *slump test* dengan *slump test* rencana yaitu 75-100 mm.



Gambar 7. Slump test

- (a) *Bottom ash* 5% yaitu 7,5 cm
- (b) *Bottom ash* 10% yaitu 8 cm
- (c) *Bottom ash* 15% yaitu 8 cm

Pencetakan benda uji dilakukan selama 24 jam sedekat mungkin dengan tempat penyimpanan. Pastikan meletakkan cetakan pada permukaan kaku yang bebas dari getaran dan gangguan lain, dan identifikasi benda uji atau pemberian kode identifikasi benda uji.

5. Perawatan Benda Uji

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

- a. Mencegah terjadinya keretakan pada permukaan benda uji yang diakibatkan dari penguapan air yang terlalu cepat pada beton yang masih muda.
- b. Menstabilkan hidrasi semen agar beton dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan.

6. Pengujian Sifat Mekanik Beton

Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 1974:2011 pengujian dilakukan setelah proses perawatan dan curing dengan masa pemeliharaan 7, 21, dan 28 hari dilakukan.



Gambar 8. Compression testing machine kapasitas 2000 KN

Kuat Tarik Belah

Berdasarkan SNI 2491-2014 pengujian dilakukan terhadap benda uji pada umur 28 hari dilakukan.

Kuat Lentur Balok

Berdasarkan SNI-4431-2011 pengujian dilakukan terhadap benda uji yang diuji pada umur 28 hari menggunakan alat *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine* Kapasitas 20 ton.



Gambar 9. Pengujian kuat tarik belah beton



Gambar 10. Pengujian kuat lentur beton

Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan setelah proses perawatan (*Curing*) dengan masa pemeliharaan 28 hari yang dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Pengujian ini berdasarkan (SNI 4431-2011). Adapun alat yang digunakan yaitu Mesin penekan (*Compression Testing Machine*) kapasitas 2000 KN dan *Modulus Of Elasticity In Concrete Test Set*.



Gambar 11. Pengujian modulus elastisitas

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. Kuat Tekan Beton

Berikut adalah hasil perhitungan dari kuat tekan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan beton BA 5%

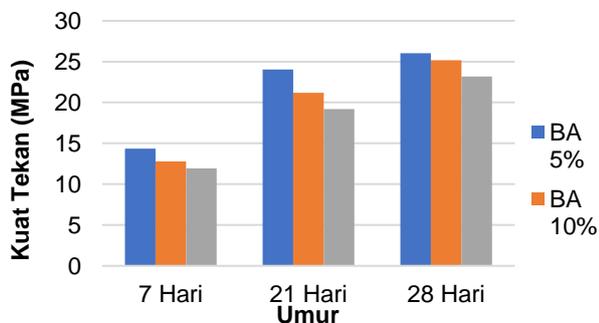
Umur	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	KT 1	15,228	14,345	22,069
	KT 2	13,242		
	KT 3	14,566		
21	KT 4	24,497	24,056	25,322
	KT 5	25,159		
	KT 6	22,511		
28	KT 7	26,314	26,031	26,031
	KT 8	24,899		
	KT 9	26,880		

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton BA 10%

Umur	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	KT 10	12,580	12,800	19,693
	KT 11	11,918		
	KT 12	13,904		
21	KT 13	21,187	21,187	22,302
	KT 14	23,173		
	KT 15	19,200		
28	KT 16	25,182	25,182	25,182
	KT 17	24,899		
	KT 18	25,465		

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan beton BA 15%

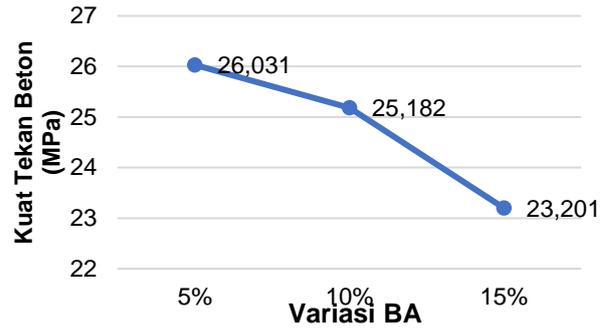
Umur	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	KT 19	11,918	11,918	18,335
	KT 20	12,580		
	KT 21	11,255		
21	KT 22	20,525	19,200	20,211
	KT 23	15,890		
	KT 24	21,187		
28	KT 25	22,635	23,201	23,201
	KT 26	23,767		
	KT 27	23,201		



Gambar 12. Hubungan Kuat Tekan Beton Dengan Umur Beton

Berdasarkan gambar 12, menunjukkan kuat tekan beton dengan variasi *bottom ash* meningkat seiring bertambahnya umur beton, namun kuat tekan beton mengalami penurunan setiap bertambahnya variasi substitusi dari *bottom ash* tetapi masih memenuhi nilai kuat tekan rencana yaitu 23 MPa.

Hasil dari pengujian kuat tekan beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 23 MPa pada variasi *bottom ash* 5%, 10%, 15% sebagai substitusi semen pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 26,031 MPa, 25,182 MPa, 23,201 MPa, dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kuat tekan beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.



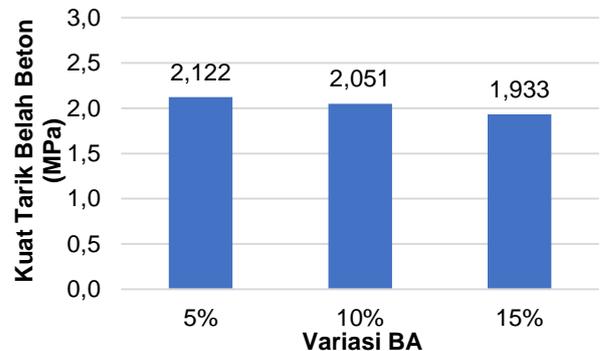
Gambar 13. Hubungan antara kuat tekan beton dan variasi BA

## 2. Kuat Tarik Belah

Berikut adalah hasil perhitungan dari pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

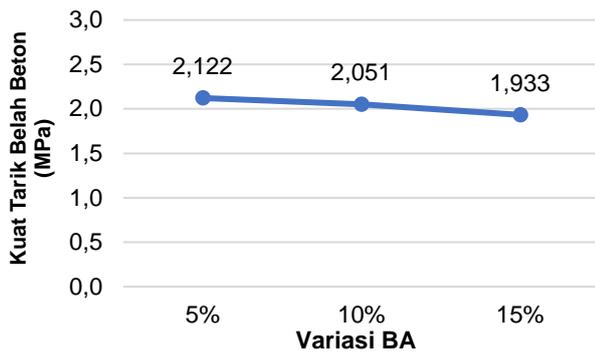
Tabel 10. Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Variasi	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
BA 5%	TB 1	2,051	2,122
	TB 2	2,193	
	TB 3	2,122	
BA 10%	TB 4	1,981	2,051
	TB 5	2,193	
	TB 6	1,981	
BA 15%	TB 7	1,839	1,933
	TB 8	2,051	
	TB 9	1,910	



Gambar 14. Kuat tarik belah beton berdasarkan variasi BA

Berdasarkan gambar 14, di atas menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton yang diperoleh mengalami penurunan setiap penambahan variasi *bottom ash* pada campuran beton. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi berada pada variasi substitusi *bottom ash* sebesar 5% sebesar 2,122 MPa dan nilai terendah berada pada variasi substitusi *bottom ash* sebesar 15% sebesar 1,933 MPa.



Gambar 15. Hubungan antara kuat tarik belah beton dan variasi BA

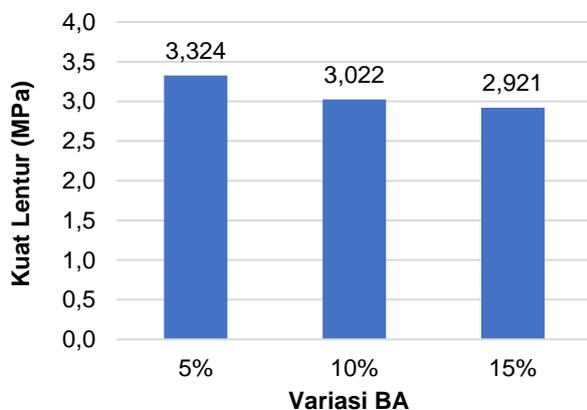
Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 23 MPa pada variasi *bottom ash* 5%, 10%, 15% sebagai substitusi semen pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 2,122 MPa, 2,051 MPa, 1,933 MPa, dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kuat tarik belah beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.

### 3. Kuat Lentur Beton

Berikut adalah hasil perhitungan dari pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 11. Hasil pengujian kuat lentur beton

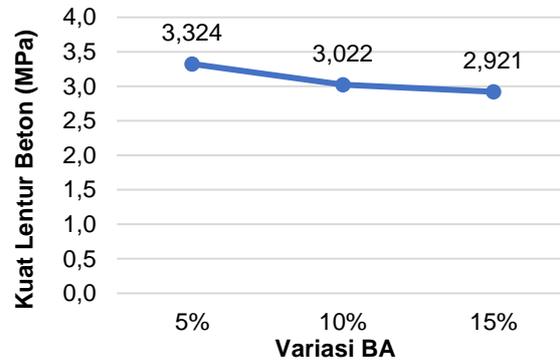
Variasi	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
BA 5%	KL 1	3,475	3,324
	KL 2	3,173	
	KL 3	3,324	
	KL 4	3,022	
BA 10%	KL 5	2,871	3,022
	KL 6	3,173	
	KL 7	2,871	
BA 15%	KL 8	2,871	2,921
	KL 9	3,022	



Gambar 16. Hubungan antara kuat lentur dan variasi BA

Berdasarkan gambar 16, menunjukkan hubungan antara kuat lentur dengan variasi *bottom ash*, yaitu

nilai kuat lentur beton mengalami penurunan setiap penambahan variasi *bottom ash* pada campuran beton. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi berada pada variasi substitusi *bottom ash* sebesar 5% sebesar 3,324 MPa dan nilai terendah berada pada variasi substitusi *bottom ash* sebesar 15% sebesar 2,921 MPa.



Gambar 17. Hubungan antara kuat lentur belah beton dan variasi BA

Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 23 MPa pada variasi *bottom ash* 5%, 10%, 15% sebagai substitusi semen pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 3,324 MPa, 3,022 MPa, 2,921 MPa, dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kuat lentur beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.

### 4. Modulus Elastisitas Beton

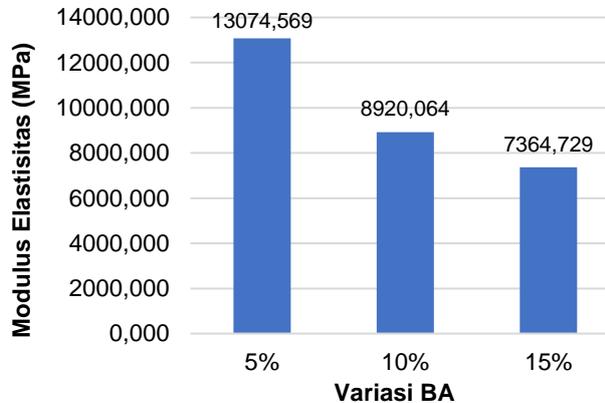
Tabel 12. Modulus elastisitas beton

Variasi	Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
BA 5%	KT 7	13094,1402	13074,5688
	KT 8	13646,8256	
	KT 9	12482,7406	
BA 10%	KT 16	9752,9292	8920,0642
	KT 17	8655,1091	
	KT 18	8352,1544	
	KT 25	7719,9137	
BA 15%	KT 26	7157,5313	7364,7291
	KT 27	7216,7424	

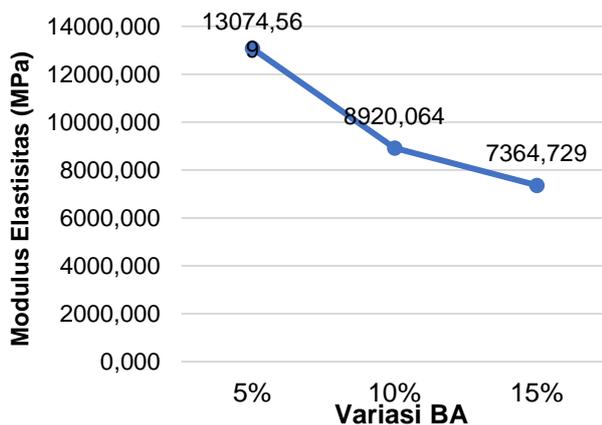
Berdasarkan gambar 18, menunjukkan hubungan antara modulus elastisitas dengan variasi *bottom ash*, yaitu nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan setiap penambahan substitusi variasi *bottom ash* pada campuran beton.

Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan kuat rencana ( $f_c$ ) yaitu 23 MPa pada variasi *bottom ash* 5%, 10%, 15% sebagai substitusi semen pada umur 28 hari yaitu berturut-turut sebesar 13074,569

MPa, 8920,064 MPa, 7364,729 MPa, dari hal tersebut dapat dilihat bahwa modulus elastisitas beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.



Gambar 18. Hubungan antara modulus elastisitas beton dan variasi *bottom ash*



Gambar 19. Hubungan antara modulus elastisitas dan variasi BA

#### 5. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

Berdasarkan hubungan kuat tekan beton dengan kuat tarik belah beton dengan substitusi *bottom ash* sebagai semen dengan variasi 5%, 10% dan 15% diperoleh berturut-turut sebesar 8,152%, 8,146% dan 8,333%. Nilai tersebut telah memenuhi nilai korelasi kuat tarik dengan kuat tekan, dimana menurut Agus Setiawan (2016) pada umumnya kuat tarik belah berkisar antara 7% hingga 11% dari kuat tekannya.

#### 6. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Berdasarkan tabel 13 pada variasi 5%, 10% dan 15% diperoleh nilai kuat lentur berturut-turut sebesar  $0,652\sqrt{f'c}$ ,  $0,602\sqrt{f'c}$  dan  $0,606\sqrt{f'c}$  dari nilai kuat tekannya. Sehingga dari hal tersebut, dapat diperoleh nilai rata-rata hubungan kuat tekan dengan kuat

lentur beton sebesar 0,620 dengan demikian persamaan yang didapatkan yaitu:

$$f_r = 0,620 \sqrt{f'c}$$

Tabel 13. Perbandingan kuat tekan dan kuat lentur

Kuat Tekan ( $f'c$ ) (MPa)	Kuat Lentur ( $f_r$ ) (MPa)	Perbandingan	
		$\sqrt{f'c}$	$\frac{f_r}{\sqrt{f'c}}$
26,031	3,324	5,102	0,652
25,182	3,022	5,018	0,602
23,201	2,921	4,817	0,606

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

Berdasarkan SNI 2847:2013, diberikan korelasi antara nilai modulus elastisitas dengan nilai kuat tekan beton normal yang dinyatakan dengan:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$$

Sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas teoritis pada tiap variasi *bottom ash* 5%, 10%, dan 15% berturut-turut sebesar 23976,5795 MPa, 23585,1366 MPa dan 22637,5627 MPa.

#### KESIMPULAN

Pengujian kuat tekan beton memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 23 MPa, hal tersebut dapat dilihat dari nilai kuat tekan beton diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 26,031 MPa, 25,182 MPa dan 23,201 MPa. Pengujian kuat tarik belah beton yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 2,122 MPa, 2,051 MPa dan 1,933 MPa. Pengujian kuat lentur beton yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 3,324 MPa, 3,022 MPa dan 2,921 MPa. Pengujian modulus elastisitas yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 13074,5688 MPa, 8920,0642 MPa dan 7364,7291 MPa.

Dari hasil pengujian dan penelitian beton yang mengandung variasi *bottom ash* pada perendaman NaCl dapat diketahui bahwa semakin tinggi persentase *bottom ash* maka semakin rendah nilai kuat tekan beton, tetapi masih memenuhi nilai kuat tekan rencana yaitu 23 MPa. Hal ini dapat dilihat dari nilai kuat tekan beton 28 hari dengan variasi 5%, 10% dan 15% berturut-turut sebesar 26,031 MPa, 25,182 MPa dan 23,201 MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Samekto and C. Rahmadiyanto, 2001, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius.

- [2] SNI 1974:2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [3] SNI 2491-2014, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [4] SNI 4431:2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [5] L. J. Murdock and K. M. Brook, 991, "Bahan Dan Praktek Beton,".
- [6] A.S.T.M. C 469-02, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. West Conshohocken: ASTM Internasional, 2001.
- [7] Wisnu, M. T. Hidayat, and D. Nuralinah, 2014, "Pengaruh Campuran Kadar *Bottom Ash* Dan Lama Perendaman Air Laut Terhadap Kapasitas Lentur Pada Balok," *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2
- [8] S. R. Tonapa, D. Sandy, dan H. Parung, 2015, "Behavior of Castellated Composite Beam-Columns Subjected to Monotonic and Cyclic Loadings", *International Journal of Engineering and Science Applications*, vol.2, no.2, pp.147-152
- [9] S. R. Tonapa, D. Sandy, dan L. Febriani, 2017, "Experimental Study of Porous Concrete with Various Addition of Rice Husk Ash" *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol.3., no.11, pp.7-14.
- [10] A. Taufik, 2012, "Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Bahan Tambah dalam Campuran Beton", *J. Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol.1, no.1