

Pengaruh *Fly Ash* Dan *Bottom Ash* Sebagai Bahan Substitusi Pada Beton

Marlyana Antika Pagau^{*1}, Jonie Tanijaya ^{*2}, Desi Sandy ^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
Email marlyanaap98@gmail.com

^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
Email jonie.tanijaya@gmail.com

^{*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
Email Sandy.mylife@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pada umumnya limbah pabrik tidak dapat dibuang langsung karena dapat mencemari lingkungan. Di kota Makassar, Sulawesi Selatan tepatnya di PT. Makassar Tene menggunakan batu bara sebagai bahan bakar pabrik, dimana sisa pembakaran batu bara tersebut menghasilkan limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton serta untuk mengetahui pengaruh persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* pada campuran beton. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI) dengan mutu rencana sebesar 23 MPa. Dari hasil penelitian dengan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% dan substitusi *bottom ash* sebagai agregat halus dengan persentase 0%, 5%, 10% dan 15%, diperoleh nilai kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 26,031 MPa, 25,088 MPa, 24,239 MPa dan 23,107 MPa, nilai kuat tarik belah beton sebesar 2,146 MPa, 2,075 MPa, 2,028 MPa dan 1,981 MPa serta nilai kuat lentur beton sebesar 3,274 MPa, 3,173 MPa, 3,022 MPa dan 2,921 MPa. Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui bahwa campuran beton dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* ini mengakibatkan beton mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash*.

Kata Kunci: *fly ash*, *bottom ash*, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur

ABSTRACT

Generally, factory waste cannot be disposed of directly because it can pollute the environment. In the city of Makassar, South Sulawesi, to be precise at PT. Makassar Tene uses coal as factory fuel, where the rest of the coal combustion produces fly ash and bottom ash waste which requires processing before disposal. This study aims to determine the value of compressive strength, split tensile strength and flexural strength of concrete and to determine the effect of the percentage of fly ash and bottom ash substitution in the concrete mixture. This research was conducted using the American Concrete Institute (ACI) method with a design quality of 23 MPa. Based on this research, it can be seen that the concrete mixture with fly ash and bottom ash substitution causes the concrete to experience a decrease in strength as the percentage of bottom ash substitution increases.

Keywords: *fly ash*, compressive strength, split tensile strength, flexural strength

PENDAHULUAN

Industri Indonesia mengalami perkembangan pesat, hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya pabrik yang beroperasi di berbagai daerah. Namun banyaknya pabrik tersebut juga menyebabkan limbah yang ada semakin bertambah.

Pada umumnya limbah hasil pengolahan pabrik tidak dapat dibuang langsung ke alam atau sembarang tempat, karena tak jarang beberapa

limbah tersebut dapat mencemari lingkungan sehingga limbah pabrik biasanya membutuhkan pengolahan terlebih dahulu sebelum di buang.

Di kota Makassar, Sulawesi Selatan tepatnya di PT. Makassar Tene yang merupakan pabrik pengolahan gula, menggunakan batu bara sebagai bahan bakar pengoprasian pabrik tersebut, dimana sisa pembakaran batu bara tersebut menghasilkan limbah yang terdiri atas limbah *fly ash* dan *bottom ash*.

Fly ash merupakan sisa hasil pembakaran batu bara berupa abu terbang di atas tungku pembakaran sedangkan *bottom ash* berupa endapan hasil pembakaran batu bara yang terletak di dasar tungku pembakaran. Limbah *fly ash* dan *bottom ash* tersebut memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang. Hal tersebut menjadi dasar pemikiran penggunaan/pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* sebagai alternatif bahan substitusi pada campuran beton.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi pada campuran beton.

Dan untuk mengetahui pengaruh persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* pada campuran beton.

Berdasarkan SNI 2847:2019, beton (*Concrete*) merupakan campuran antara semen *portland*, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). [1]

Berdasarkan SNI 2460:2014, *fly ash* (abu terbang) merupakan residu yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batubara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas. [2]

Bottom ash (abu dasar) merupakan limbah proses pembakaran batubara yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash* (abu terbang), sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang. [3]

Adapun pengujian beton yang dilakukan yaitu:

- a. Pengujian kuat tekan beton.
Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas, yang mengakibatkan benda uji (silinder) hancur ketika di beri beban dengan gaya tertentu, yang dihasilkan oleh alat uji tekan. [4]
- b. Pengujian kuat lentur beton
Berdasarkan SNI 4431:2011, yang dimaksud kuat lentur merupakan kemampuan dari benda uji (balok) untuk menahan gaya tegak lurus benda uji hingga benda uji tersebut patah. [5]
- c. Pengujian kuat tarik belah.
kuat tarik belah umumnya lebih besar dibandingkan dengan kuat tarik langsung dan lebih kecil dari kuat lentur. Kuat tarik belah digunakan dalam mendesain elemen struktur beton untuk mengevaluasi ketahanan geser

beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari tulangan, (SNI 2491:2014). [6]

Dengan menggunakan limbah abu dasar (*bottom ash*) batubara untuk beton normal, dengan variasi 10%, 20%, 30% dan 40% sebagai substitusi agregat halus, menghasilkan kuat tekan tertinggi untuk 28 hari pada variasi 30% dengan nilai kuat tekan sebesar 20,756 MPa. [3]. Dengan menggunakan limbah abu terbang (*fly ash*) batubara untuk beton mutu tinggi, dengan persentase *fly ash* mulai dari 5% sampai 12,5% dengan interval sebesar 2,5%, menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 404,03 Kg/cm² pada persentase substitusi *fly ash* 12,5% dengan persentase peningkatan 27,95%. [7]

METODE

1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*) dengan Metode *American Concrete Institute/ACI*

Perencanaan campuran (*Mix Design*) dilakukan untuk membuat komposisi campuran material beton yang baik dan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan yang maksimum. Penelitian ini menggunakan Metode *American Concrete Institute/ACI* sebagai metode *mix design*, metode ACI merupakan metode *mix design* yang lebih fokus pada ketersediaan material, nilai ekonomi material dan pengerjaan, kemudahan dalam pengerjaan, keawetan dan ketahanan beton serta kekuatan beton sesuai yang diinginkan.

2. *Trial Mix*

Trial mix dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi yang dihitung dan direncanakan pada *Mix Design* telah memenuhi kuat tekan rencana (*f'c*), Jika kuat tekan rencana (*f'c*) memenuhi maka bisa dilanjutkan ke pembuatan benda uji. Penelitian ini menggunakan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% dan *bottom ash* sebagai substitusi agregat halus sebesar 0% dengan menggunakan faktor 3 hari dan 7 hari dalam pengujian kuat tekan dan menghasilkan kuat tekan yang memenuhi kuat tekan rencana (*f'c*) 23 MPa.

3. Identifikasi dan Pembuatan Benda Uji

Identifikasi benda uji yaitu silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah, balok dengan panjang 60 cm lebar 15 cm dan tinggi 15 cm untuk pengujian kuat lentur, *slump test* yang digunakan 75 – 100 mm, dan jumlah sampel sebanyak 60 sampel.

Prosedur Pembuatan Benda Uji

- a. Menyiapkan alat dan bahan
- b. Membersihkan alat-alat yang akan digunakan dan menimbang material sesuai dengan komposisi *mix design* yang telah dibuat.

- c. Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan.
- d. Memasukkan material berupa agregat kasar dan agregat halus yang telah diberi substitusi *bottom ash* sesuai persentase variasi ke dalam molen, kemudian campur material tersebut hingga tercampur merata.
- e. Memasukkan semen yang telah diberi substitusi *fly ash* sebanyak 15% dari berat semen yang telah rencanakan, lalu campur campur kembali material tersebut hingga tercampur merata.
- f. Memasukkan air sesuai perencanaan secara bertahap kemudian campur hingga campuran beton tercampur dengan baik.
- g. Melakukan pengujian *slump* untuk mengukur *workability* adukan beton.
- h. Menuang adukan beton ke dalam cetakan benda uji, kemudian tumbuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat baja (dilakukan dalam 3 lapisan)
- i. Mengisi ruang kosong dalam cetakan dengan cara memukul lapisan luar cetakan benda uji dengan palu karet, kemudian meratakan permukaan benda uji.
- j. Mendinginkan adukan dalam cetakan benda uji selama ± 24 jam, lalu cetakan dibuka kemudian

dilakukan perawatan beton di dalam bak perendaman.

4. Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah dikeluarkan dari cetakan benda uji harus diberi perawatan sesuai SNI 2493:2011. Dalam hal ini perawatan beton dilakukan dengan cara merendam benda uji yang telah diberi tanda ke dalam bak perendaman hingga batas waktu pengujian akan dilakukan.

5. Pengujian Beton

Pengujian beton dilakukan setelah proses perawatan/*curing* dilaksanakan.

- a. Pengujian Kuat Tekan (SNI 1974:2011) pada penelitian ini dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.
- b. Pengujian Kuat Tarik Belah (SNI 2491:2014) ini dilakukan setelah perawatan selama 28 hari.
- c. Pengujian Kuat Lentur (SNI 4431:2011) pada penelitian ini dilakukan pada umur 28 hari.

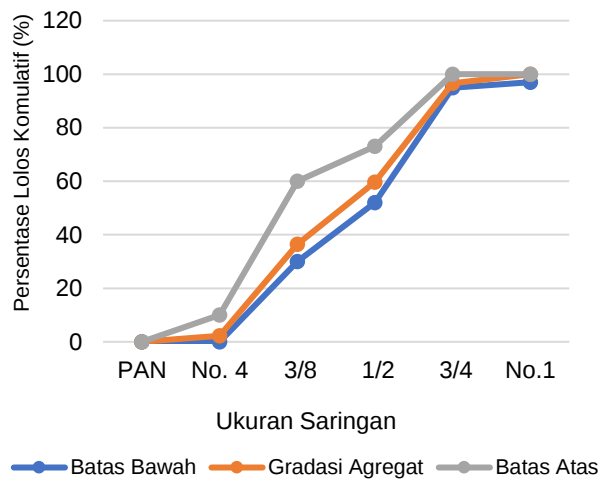
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat kasar

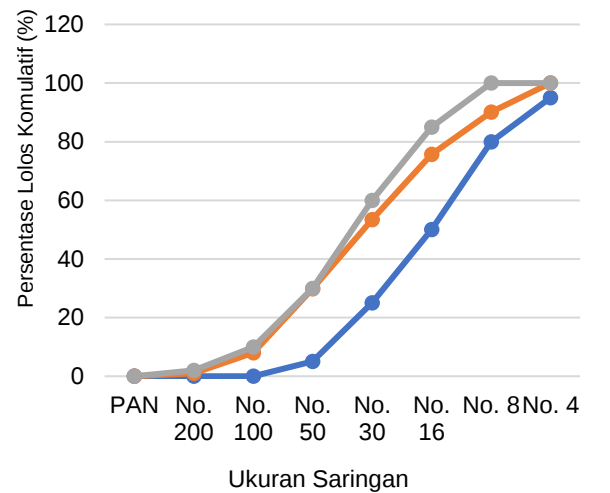
Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
Absorpsi (Penyerapan)	2,250%	0,20%-3,00%	Memenuhi
Berat Jenis SSD	2,632	1,60-3,20	Memenuhi
Berat Volume Gembur	1554,444 kg/m ³	1400- 1900 kg/m ³	Memenuhi
Berat Volume Padat	1617,222 kg/m ³	1400-1900 kg/m ³	Memenuhi
Kadar Air	0,946%	0,50%- 2,00%	Memenuhi
Kadar Lumpur	0,620%	0,20%- 1,00%	Memenuhi

Tabel 2. Rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat halus

Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
Absorpsi (Penyerapan)	1,730%	0,20% - 2,00%	Memenuhi
Berat Jenis SSD	2,506	1,60- 3,20	Memenuhi
Berat Volume Gembur	1506,667 kg/m ³	1400-1900 kg/m ³	Memenuhi
Berat Volume Padat	1606,667 kg/m ³	1400- 1900 kg/m ³	Memenuhi
Kadar Air	4,059%	3,00%- 5,00%	Memenuhi
Kadar Lumpur	2,20%	0,20%- 6,00%	Memenuhi
Modulus Kehalusan	2,430	2,20-3,10	Memenuhi
Zat Organik	2	< 3	Memenuhi



Gambar 1. Analisa saringan agregat kasar



Gambar 2. Analisa saringan agregat halus

Tabel 3. Rekapitulasi pemeriksaan karakteristik *bottom ash*

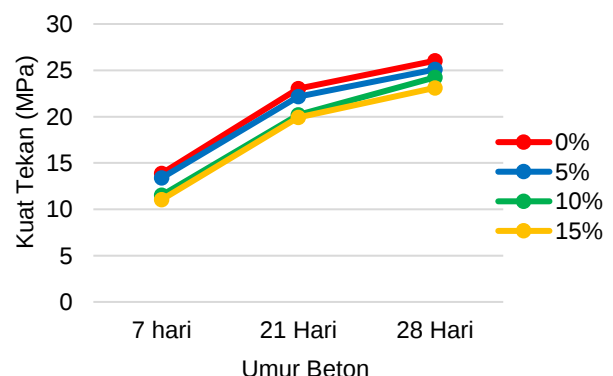
Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
Absorpsi (Penyerapan)	1,937%	0,20%- 2,00%	Memenuhi
Berat Jenis SSD	2,265	1,60- 3,20	Memenuhi
Berat Volume Gembur	1415 kg/m ³	1400-1900 kg/m ³	Memenuhi
Berat Volume Padat	1473,333 kg/m ³	1400 -1900 kg/m ³	Memenuhi
Kadar Air	3,199 %	3,00%- 5,00%	Memenuhi
Kadar Lumpur	2,30%	0,20%- 6,00%	Memenuhi
Modulus Kehalusan	2,474	2,20- 3,10	Memenuhi
Zat Organik	2	< 3	Memenuhi

Tabel 4. Kebutuhan material campuran beton untuk 1 m³

Material	Berat kg/m ³
Air	193
Semen	333,910
Agregat Kasar	1143,344
Agregat Halus	630,395

1. Kuat Tekan Beton

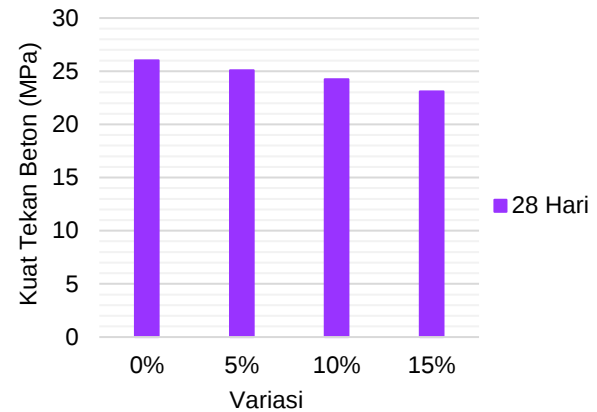
Berdasarkan grafik pada gambar 3 dapat diketahui bahwa kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring dengan umur pengujian beton. Hal ini menunjukkan proses pengikatan semen dengan agregat yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton hingga mencapai umur ideal beton yaitu 28 hari.



Gambar 3. Kuat tekan beton berdasarkan umur beton

Pada gambar 4 diperoleh nilai kuat tekan beton pada pengujian 28 hari dengan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% serta substitusi *bottom ash*

sebagai agregat halus dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% berturut-turut ialah 26,031 MPa, 25,088 MPa, 24,239 MPa dan 23,107 MPa. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa kuat tekan menurun seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash* dimana semakin tinggi persentase substitusi *bottom ash* maka kekuatan beton semakin rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa persentase substitusi *bottom ash* berbanding terbalik dengan kekuatan beton.



Gambar 4. Kuat tekan beton pada umur 28 Hari

Tabel 5. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tekan beton

Variasi	Umur	Beban Maksimum	Kuat tekan Aktual	Kuat tekan Aktual Rata-rata	Kuat tekan beton konversi 28 hari	Kuat tekan beton konversi 28 hari Rata-rata
		(KN)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0%	7 Hari	275	15,562	13,864	23,941	21,329
		240	13,581		20,894	
		220	12,449		19,153	
5%		230	13,015	13,393	20,024	20,604
		255	14,430		22,200	
		225	12,732		19,588	
10%		195	11,035	11,506	16,977	17,702
		200	11,318		17,412	
		215	12,167		18,718	
15%		170	9,620	11,035	14,800	16,977
		195	11,035		16,977	
		220	12,449		19,153	
0%	21 hari	390	22,069	23,013	23,231	24,224
		410	23,201		24,422	
		420	23,767		25,018	
5%		400	22,635	22,164	23,827	23,330
		385	21,787		22,933	
		390	22,069		23,231	
10%		330	18,674	20,183	19,657	21,145
		365	20,655		21,742	
		375	21,221		22,338	
15%		345	19,523	19,900	20,551	20,948
		355	20,089		21,146	
		355	20,089		21,146	
0%	28 Hari	445	25,182	26,031	25,182	26,031
		465	26,314		26,314	
		470	26,597		26,597	
5%		445	25,182	25,088	25,182	25,088
		435	24,616		24,616	
		450	25,465		25,465	
10%		435	24,616	24,239	24,616	24,239
		420	23,767		23,767	

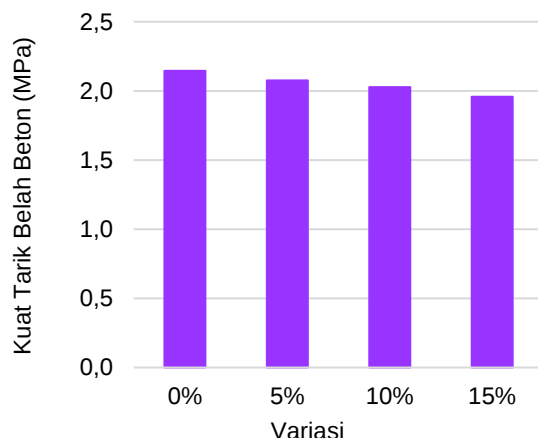
	430	24,333		24,333	
	405	22,918		22,918	
15%	420	23,767	23,107	23,767	23,107
	400	22,635		22,635	

2. Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah beton dengan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% serta substitusi *bottom ash* sebagai agregat halus dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% berturut-turut ialah 2,146 MPa, 2,075 MPa, 2,028 MPa dan 1,981 MPa. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kuat tarik belah beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.

Tabel 6. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tarik belah beton

Variasi	Kuat Tarik Belah Beton (MPa)	Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata (MPa)
0%	2,193	2,146
	2,122	
	2,122	
5%	1,981	2,075
	2,122	
	2,122	
10%	1,910	2,028
	2,122	
	2,051	
15%	2,051	1,981
	1,910	
	1,981	

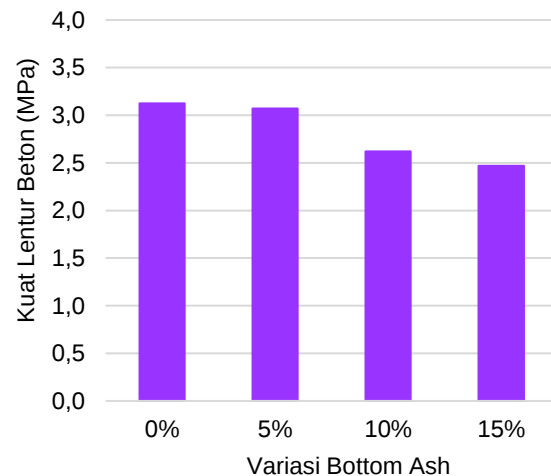


Gambar 5. Kuat tarik belah beton berdasarkan variasi *bottom ash*

3. Kuat Lentur Beton

Tabel 7. Hasil pengujian dan perhitungan kuat lentur beton

Variasi	Kuat Lentur Beton (MPa)	Kuat Lentur Beton Rata-rata (MPa)
0%	3,022	3,274
	3,324	
	3,475	
5%	3,324	3,173
	3,022	
	3,173	
10%	2,871	3,022
	3,173	
	3,022	
15%	3,022	2,921
	2,871	
	2,871	



Gambar 6. Grafik Kuat Lentur Beton Berdasarkan Variasi *Bottom Ash*

Berdasarkan gambar 6, nilai kuat lentur beton dengan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% serta substitusi *bottom ash* sebagai agregat halus dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% berturut-turut ialah 3,274 MPa, 3,173 MPa, 3,022 MPa dan 2,921 MPa. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kuat lentur beton menurun seiring bertambahnya variasi substitusi *bottom ash*.

4. Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Kuat

Tarik Belah Beton

Tabel 8. Persentase hubungan kuat tekan beton dengan kuat tarik belah beton

Variasi	Kuat Tarik Belah (f_t) (Mpa)	Kuat Tekan (f'_c) (Mpa)	Persentase Hubungan f_t dengan f'_c (%)
0%	2,146	26,031	8,243
5%	2,075	25,088	8,271
10%	2,028	24,239	8,366
15%	1,981	23,107	8,571

Berdasarkan tabel 8, nilai tertinggi persentase hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah beton terjadi pada variasi 15% yaitu sebesar 8,571%. Nilai pada tabel 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. [8]

5. Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Kuat Lentur Beton

Tabel 9. Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton

Variasi	Kuat Lentur (f_r) (Mpa)	Kuat Tekan (f'_c) (Mpa)	Perbandingan $\frac{f_r}{\sqrt{f'_c}}$	$\frac{f_r}{\sqrt{f'_c}}$
0%	3,274	26,031	5,102	0,642
5%	3,173	25,088	5,009	0,633
10%	3,022	24,239	4,923	0,614
15%	2,921	23,107	4,807	0,608

Berdasarkan tabel 9, pada variasi 0%, 5%, 10% dan 15%, diperoleh nilai kuat lentur berturut-turut sebesar $0,642\sqrt{f'_c}$, $0,633\sqrt{f'_c}$, $0,614\sqrt{f'_c}$ dan $0,608\sqrt{f'_c}$ dari nilai kuat tekannya. Sehingga dari hal tersebut, dapat diperoleh nilai rata-rata hubungan kuat tekan dengan kuat lentur sebesar 0,624 dengan demikian persamaan yang didapatkan yaitu:

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c}$$

KESIMPULAN

Pengujian kuat tekan beton memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 23 MPa, hal tersebut dapat dilihat dari nilai kuat tekan beton yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 26,031

MPa, 25,088 MPa, 24,239 MPa dan 23,107 MPa. Pengujian kuat tarik belah beton yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 2,146 MPa, 2,075 MPa, 2,028 MPa dan 1,981 MPa. Pengujian kuat lentur beton yang diperoleh berturut-turut sesuai variasi sebesar 3,274 MPa, 3,173 MPa, 3,022 MPa dan 2,921 MPa.

Dari penelitian ini, beton dengan substitusi *fly ash* sebagai semen sebesar 15% serta *bottom ash* sebagai agregat halus dengan variasi 0%, 5%, 10% dan 15% mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash* dimana semakin tinggi persentase substitusi *bottom ash* maka kekuatan beton semakin rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 2847:2019, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [2] SNI 2460:2014, *Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [3] Suarnita, I Wayan. 2012. "Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Beton". *J. Tek. Sipil Dan Infrastruktur*, Vol. 2, No. 2, Art. No. 2, Feb. 2013.
- [4] SNI 1974:2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [5] SNI 2491:2014, *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [6] SNI 4431:2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [7] Setiawati, Mira. 2018. "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton". *Pros. Semnastek*, Vol. 0, No. 0, Art. No. 0, Nov. 2018, Accessed: Jan. 18, 2021.
- [8] Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga, 2016.
- [9] 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

- [10] 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.