

Karakteristik Beton Normal Substitusi Agregat Halus *Bottom Ash* Pada Perendaman Asam Sulfat

Iksal Lagalung^{*1} Jonie Tanijaya ^{*2}, Suryanti R. Tonapa^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
Email iksallagalung17@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 suryantirt19@gmail.com

ABSTRAK

Bottom ash (abu dasar) adalah sisa pembakaran batu bara di Indonesia di kategorikan sebagai limbah (B3). Kandungan logam berat dalam limbah B3 menyebabkan pencemaran lingkungan. *Bottom ash* melimpah dan kurang dimanfaatkan. Oleh karena itu berbagai inovasi dilakukan peneliti agar penggunaan konstruksi beton layak digunakan terhadap pengaruh hujan asam serta pengelolaan *bottom ash* sebagai material konstruksi beton. Pada penelitian ini persentase substitusi *bottom ash* agregat halus sebanyak 0%, 25%, 35% dapat digunakan untuk campuran beton dengan perendaman asam sulfat pH-4. Dengan benda uji yang digunakan berukuran 15 cm x 30 cm dan 60 cm x 15 cm x 15 cm sebanyak 45 sampel, menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI). Pengujian tersebut berupa pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton dengan mutu rencana sebesar 30 MPa. Pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan sebesar 32,727 Mpa, 33,859 Mpa, 36,782 Mpa. Beton dengan substitusi *bottom ash* sebagai agregat halus dengan variasi 0%, 25% dan 35% mengalami peningkatan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash* dimana semakin tinggi persentase substitusi *bottom ash* maka kekuatan beton semakin tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa persentase substitusi *bottom ash* berbanding lurus dengan kekuatan beton.

Kata Kunci: *bottom ash*, asam sulfat, kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur

ABSTRACT

This study conducted a feasibility test for bottom ash as a concrete construction material. In this study, the percentage of fine aggregate bottom ash substitution of 0%, 25%, 35% can be used for concrete mixtures with pH-4 sulfuric acid soaking. With the test object used measuring 15 cm x 30 cm and 60 cm x 15 cm x 15 cm as many as 45 samples, using the American Concrete Institute (ACI) method. The test is a compressive strength test, tensile strength and flexural strength of concrete with a design quality of 30 MPa. At the age of 28 days, the compressive strength values were 32.727 Mpa, 33.859 Mpa, 36.782 Mpa. Concrete with substitution of bottom ash as fine aggregate with variations of 0%, 25% and 35% has increased strength as the percentage of bottom ash substitution increases where the higher the percentage of bottom ash substitution, the higher the strength of the concrete, so it can be said that the percentage of bottom ash substitution is directly proportional with concrete strength.

Keywords: *bottom ash*, sulfuric acid, compressive strength, split tensile strength, flexural strength

PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi yang saat ini paling umum digunakan adapun penggunaan beton yang sering dijumpai adalah penggunaan konstruksi beton sekitar daerah rawah, empang, pembakaran batu bara, PLTU dan lain-lain yang mempunyai tingkat keasaman yang tinggi. Lingkungan daerah rawa dan empang sering dimanfaatkan dalam pembangunan konstruksi karena terbatasnya lahan yang digunakan. Sedangkan pembakaran batu bara, PLTU sering terjadi hujan asam yang mengandung unsur kimia asam yaitu asam Sulfat (H₂SO₄) yang merupakan

segala macam hujan dengan pH <5,6. Hujan asam salah satunya di akibatkan karena pembakaran fosil dari proses pembangkit listrik. Hujan asam dapat melepaskan butiran-butiran partikel beton sehingga menjadi keropos dimulai dengan merusak dari tepi dan sudut beton secara perlahan.

Bottom ash (abu dasar) di kategorikan sebagai limbah B3. Oleh karena itu berbagai inovasi dilakukan peneliti agar penggunaan konstruksi beton layak digunakan terhadap pengaruh hujan asam serta pengelolaan *bottom ash* sebagai material konstruksi beton.

Beton menurut propertiesnya tersusun dari agregat kasar, agregat halus, air, semen Portland dan beberapa modifikasi zat *admixtures* dan *addictive* yang kemudian dicampur dengan komposisi yang telah ditentukan. Kualitas beton yang semakin membaik seiring dengan nilai kebutuhan akan beton meningkat pula. Maka dari itu peneliti terinspirasi membuat beton dengan komposisi baru tanpa merusak beton dan menghabiskan sumber daya alam tersebut yang dalam penelitian ini menggunakan *bottom ash* substitusi agregat halus dari PT. Makassar Tene kota Makassar, Sulawesi Selatan.

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai substitusi dan untuk agregat halus variasi 0%, 25%, 35% dapat digunakan untuk campuran beton dengan perendaman asam sulfat pH-4.

Beton normal Menurut SK SNI T-15-1991-03, ialah beton yang berat isinya 2200–2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang tanpa dipecah atau dipecah. [1]

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. *Bottom ash* dapat ditemukan di PLTU. Pemanfaatan *bottom ash* di Indonesia sebagai salah satu material konstruksi belum maksimal. Salah satunya penggunaan *bottom ash* sebagai bahan tambah agregat halus pada beton.

Asam sulfat adalah asam anorganik kuat karena bersifat higroskopis asam sulfat murni tidak ditemukan secara alami di bumi namun komponen utamanya adalah hujan asam. Produk utama dari pembakaran bahan bakar seperti belerang dan batu bara adalah sulfur dioksida.

1. Pengujian Beton

Pengujian beton ini terdiri dari:

a. Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 1974-2011 Kuat tekan dihitung dari beban tekan maksimum yang dapat ditahan dibagi dengan luas penampang. [2]

Berikut persamaan yang dipakai:

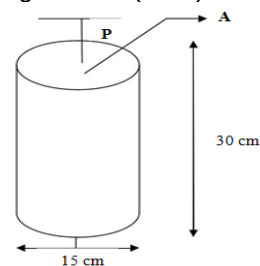
$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang silinder (mm²)



Gambar 1. Uji kuat tekan

b. Kuat Tarik Belah Beton

Menurut SNI 4431:2011, yang dimaksud 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]

Berikut persamaan yang digunakan

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

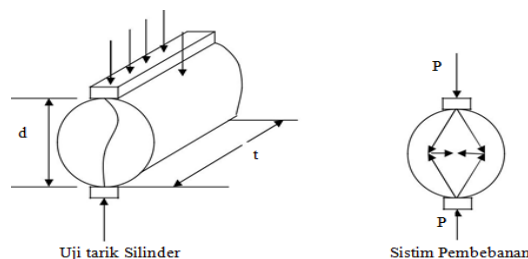
Dimana:

f_t = Kuat tarik belah beton (N/mm, MPa)

P = Beban Maksimum (N)

L = Panjang Silinder (mm)

d = Diameter Silinder (mm)



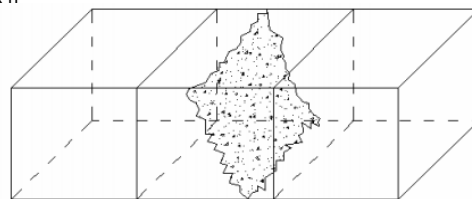
Gambar 2. Uji tarik belah

c. Pengujian kuat lentur beton

Pada umumnya kuat tarik belah lebih besar dibanding kekuatan tarik langsung namun lebih rendah dari kuat lentur (*modulus of rupture*). [4]

Berikut persamaan Kuat lentur yang digunakan

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

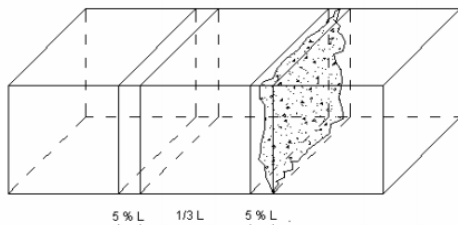


Gambar 3. Metode uji kuat lentur keruntuhan di tengah bentang

Jika terjadi keruntuhan seperti pada gambar di atas maka persamaan yang digunakan yaitu (3) dan jika

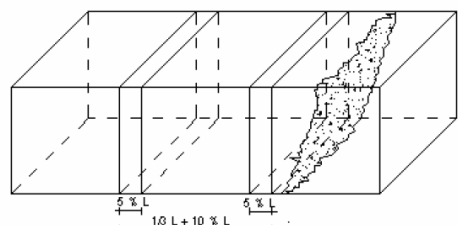
terjadi keruntuhan seperti gambar di bawah ini persamaan yang digunakan yaitu (4)

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



Gambar 4. Metode uji kuat lentur keruntuhan di luar tengah bentang

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 pada gambar dibawah.



Gambar 5. Metode uji kuat lentur keruntuhan di luar tengah bentang balok

Dimana:

- f_r = Kuat lentur (Mpa)
- P = Beban maksimum (N)
- L = Jarak bentang dari garis perletakan (cm)
- H = Lebar penampang arah vertikal (cm)
- b = Lebar penampang arah horizontal (cm)
- a = Jarak rata-rata penampang patah dari tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (cm)

Tegangan maksimum pada pengujian kuat lentur terjadi pada bagian bawah balok beton tanpa tulangan sehingga yang berpengaruh adalah nilai kuat tarik. Kekuatan beton dalam tarik merupakan sifat penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Nilai kuat lentur beton berkisar antara 10% sampai 15% dari kuat tekannya.(Ferguson, 1986) [5]

Berdasarkan penellitian yang menggunakan variasi bubuk kaca sebagai substitusi pasir w/c 0,60 dan 0,65 dengan nilai penurunan kuat tekan pada umur 28 hari substitusi w/c 0,60 rata-rata sebesar 8,325 % sedangkan untuk nilai penurunan kuat tekan w/c 0,65 rata-rata sebesar 12,72%. [6]. Penggunaan *bottom ash* sebagai pengaruh karakteristik pada campuran aspal beton menghasilkan nilai stabilitas *void in mineral aggregate* yang memenuhi persyaratan lalu lintas pada penggunaan *bottom ash* sebesar 10% diperoleh nilai *air void* yaitu sebesar 6,65%.[7], penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada mortar Hvfa dengan penggantian 100% *coarse and bottom ash* kuat tekan dari mortar yaitu 75%. sehingga diperoleh campuran yang hampir sama hanya memiliki selisi 3 mpa (4,65%) pada umur 28 h[8] .

METODE

1. Pengadaan Material

- a. Semen yang digunakan yaitu *Portland Composite Cement* (PCC)
- b. Agregat halus yaitu abu batu berasal dari Sungai Jeneberang.
- c. Agregat kasar yaitu batu pecah berasal dari Sungai Jeneberang.
- d. Air yaitu air sumur bor
- 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 x15
- 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 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
Kadar Organik (warna)	SNI 2816-2014

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Kadar lumpur (%)	0,7	0,20 - 6,00
Kadar air (%)	4,058	3,00 – 5,00
Berat Volume Padat (kg/m ³)	1563	1400 – 1900
Berat Volume Gembur (kg/m ³)	1473,333	1400 – 1900
Penyerapan (%)	1,73	0,20 - 2,00
Berat Jenis SSD	2,49	1,60 – 3,20
Analisa Saringan	2,55	2,20 – 3,10
Kadar Organik (warna)	1	<No 3

Tabel 3. Hasil pengujian substitusi agregat halus *bottom ash*

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Kadar lumpur (%)	2,3	0,20 - 6,00
Kadar air (%)	3,519	3,00 – 5,00
Berat Volume Padat (kg/m ³)	1471,667	1400 – 1900
Berat Volume Gembur (kg/m ³)	1413,333	1400 – 1900
Penyerapan (%)	1,523	0,20 - 2,00
Berat Jenis SSD	2,265	1,60 – 3,20
Analisa Saringan	2,498	2,20 – 3,10
Kadar Organik (warna)	2	<No 3

b. Agregat Kasar

Tabel 4. 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 5. 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 ³)	1599,444	1400 – 1900
Berat Volume Gembur (kg/m ³)	1505,556	1400 – 1900
Penyerapan (%)	1,178	0,20 – 3,00
Berat jenis SSD	2,813	1,60 – 3,20

c. *Filler* (Semen)

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *Filler*

Karakteristik	Hasil	Interval SNI
Berat Jenis Semen	3,15	3,0 – 3,2

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

Tabel 7. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton untuk 1 m³

BA (%)	Berat (kg)				
	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Bottom Ash
0%	357,407	193	1111,294	707,001	0
25%	357,407	193	1111,294	530,251	176,75
35%	357,407	193	1111,294	459,551	247,45

5. Trial Mix

Pembuatan *trial mix* dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi yang telah dihitung telah 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 30 MPa. Jadi komposisi material untuk beton yang direncanakan tercapai.

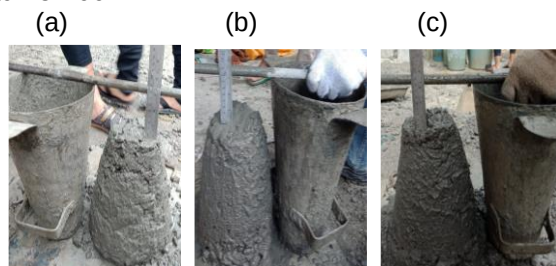
6. Pembuatan Benda Uji

Cara pembuatan benda uji sesuai dengan aturan SNI-2493-2011 yaitu ; [9]

a. Pengadukan beton

Mencampur beton ke dalam pencampur sehingga menyisakan 10% kelebihan setelah pencetakan benda uji yang sesuai takaran *mix design* dengan ukuran yang sedemikian rupa.

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



Gambar 6. *Slump test*

(a) *Bottom ash* 0% yaitu 7,5 cm

(b) *Bottom ash* 25% yaitu 8 cm

(c) *Bottom ash* 35% yaitu 8 cm

c. Pencetakan benda uji

Dilakukan selama 24 jam sedekat mungkin dengan tempat penyimpanan. Pastikan meletakkan cetakan pada permukaan yang kaku yang bebas dari getaran dan gangguan lain.

d. Identifikasi benda uji atau pemberian kode identifikasi benda uji.

7. Perawatan Benda Uji

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

- Mencegah terjadi keretakan pada beton yang masih muda yang mengakibatkan terjadinya retak permukaan karena uap air terlalu cepat.
- Menstabilkan hidrasi semen agar beton dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan.

8. Pengujian Sifat Mekanik Beton

a. Kuat Tekan Beton

Pengujian benda uji dilakukan setelah proses pemeliharaan 7, 14, dan 28 hari dilakukan berdasarkan SNI 1974:2011.



Gambar 7. *Compression Testing Machine* kapasitas 2000 KN

b. Kuat Tarik Belah

Pengujian dilakukan pada benda uji umur 28 hari yang mengacu pada SNI 2491-2014.



Gambar 8. Kuat tarik belah beton

c. Kuat Lentur Balok

Pada umur (28H) dilakukan percobaan kuat lentur pada benda uji mengacu pada SNI-4431-2011. Adapun penggunaan alat yaitu *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine* Kapasitas 20 Ton



Gambar 9. Pengujian kuat lentur beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kuat Tekan Beton

Berikut adalah hasil perhitungan dari kuat tekan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai kuat tekan beton BA 0%

Umur (Hari)	Kode	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	BVKT 1	19,863	19,642	30,218
	BVKT 2	19,863		
	BVKT 3	19,200		
14	BVKT 1	29,132	29,794	31,362
	BVKT 2	31,780		
	BVKT 3	28,470		
28	BVKT 1	33,953	32,727	32,727
	BVKT 2	31,407		
	BVKT 3	32,821		

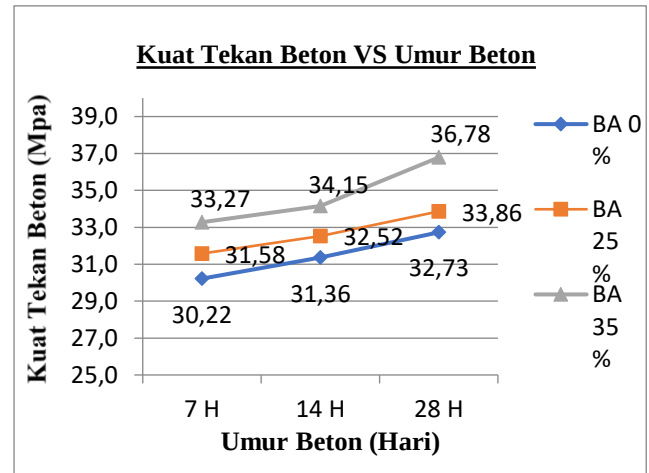
Tabel 9. Nilai kuat tekan beton BA 25%

Umur (Hari)	Kode	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	BVKT 1	19,863	20,525	31,576
	BVKT 2	21,187		
	BVKT 3	20,525		
14	BVKT 1	31,780	30,897	32,523
	BVKT 2	29,132		
	BVKT 3	31,780		
28	BVKT 1	32,821	33,859	33,859
	BVKT 2	33,953		
	BVKT 3	34,802		

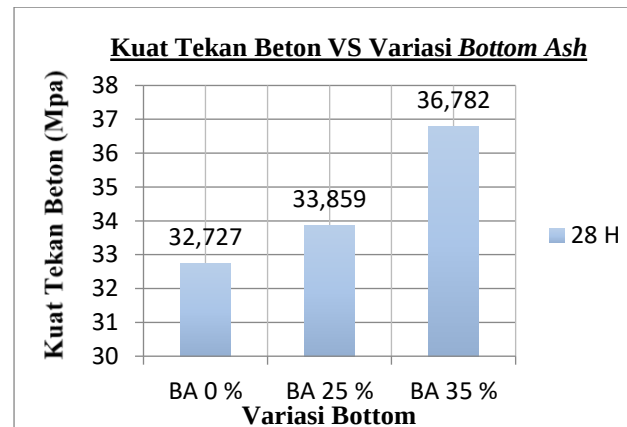
Tabel 10. Nilai kuat tekan beton BA 35%

Umur (Hari)	Kode	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Aktual Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
7	BVKT 1	21,187	21,628	33,274
	BVKT 2	21,187		
	BVKT 3	22,511		
14	BVKT 1	32,442	32,442	34,150
	BVKT 2	31,780		
	BVKT 3	33,104		
28	BVKT 1	37,348	36,782	36,782
	BVKT 2	36,500		
	BVKT 3	36,500		

Berdasarkan grafik pada gambar 10, dapat disimpulkan bahwa proses pengikatan semen dengan agregat meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton.



Gambar 10. Hubungan antara kuat tekan beton dengan umur beton



Gambar 11. Hubungan antara kuat tekan beton dengan variasi BA

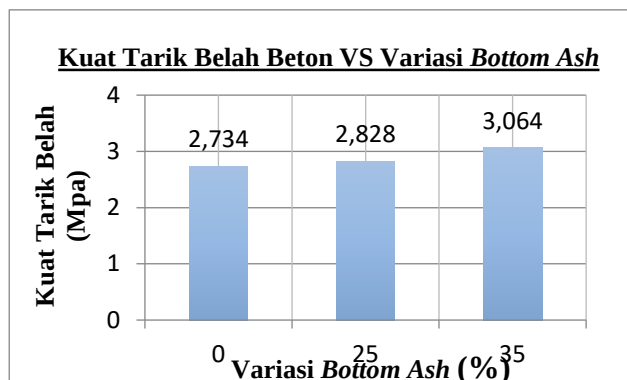
Berdasarkan Diagram Batang pada gambar 11 di atas dapat dikatakan bahwa kuat tekan meningkat seiring bertambahnya variasi beton dan umur beton.

2. Kuat Tarik Belah

Berikut adalah hasil perhitungan dari kuat tarik belah beton di bawah ini.

Tabel 10. Nilai kuat tarik belah beton

Variasi	Kode	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
BA 0%	BTB S1	2,828	2,734
	BTB S2	2,616	
	BTB S3	2,758	
BA 25%	BTB S1	2,758	2,828
	BTB S2	2,828	
	BTB S3	2,899	
BA 35%	BTB S1	3,111	3,064
	BTB S2	3,040	
	BTB S3	3,040	



Gambar 12. Hubungan antara kuat tarik belah beton berdasarkan variasi *bottom ash*

Dari diagram batang pada gambar 12 diatas dapat dikatakan bahwa bertambahnya nilai variasi *bottom ash* maka nilai kuat tarik belah beton meningkat.

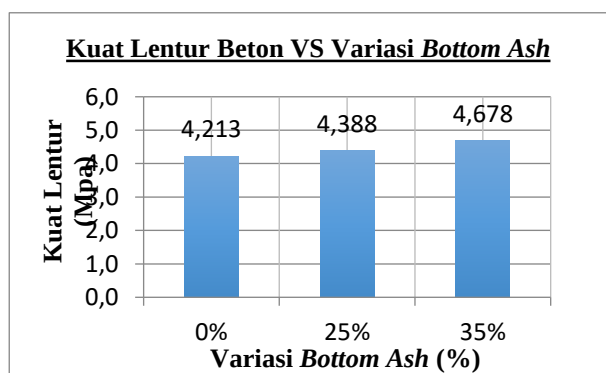
3. Kuat Lentur Beton

Berikut adalah hasil perhitungan dari uji kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel 11.

Dari gambar 16, nilai kuat lentur beton meningkat seiring bertambahnya variasi *bottom ash*.

Tabel 11. Nilai kuat lentur beton

Variasi	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
BA 0%	BKL 1	4,184	4,213
	BKL 2	4,271	
	BKL 3	4,184	
BA 25%	BKL 1	4,271	4,388
	BKL 2	4,533	
	BKL 3	4,359	
BA 35%	BKL 1	4,533	4,678
	BKL 2	4,794	
	BKL 3	4,707	



Gambar 16. Hubungan antara kuat lentur dengan variasi *bottom ash*

4. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

Berdasarkan nilai dari kuat tekan beton dengan kuat tarik belah beton dengan substitusi agregat halus

bottom ash dengan variasi 0%, 25% dan 35% yaitu 8,354%, 8,353% dan 8,330%. Nilai pada tabel tersebut telah memenuhi nilai koreksi kuat tarik dengan kuat tekan dimana berkisar 7% - 11% dari kuat tekannya. [10]

5. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Tabel 12. Nilai kuat tekan dengan kuat lentur Perbandingan

Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	$\sqrt{f'_c}$	$\frac{f_r}{\sqrt{f'_c}}$
32,727	4,213	5,721	0,736
33,859	4,388	5,819	0,754
36,782	4,678	6,065	0,771

Berdasarkan tabel 12 di atas, pada variasi 0%, 25% dan 35% diperoleh nilai kuat lentur berturut-turut sebesar $0,736\sqrt{f'_c}$, $0,754\sqrt{f'_c}$ dan $0,771\sqrt{f'_c}$ dari nilai kuat tekannya. Sehingga dari hal tersebut, dapat diperoleh nilai rata-rata hubungan kuat lentur dengan kuat tekan sebesar 0,754 dengan demikian persamaan yang didapatkan yaitu:

$$f_r = 0,754 \sqrt{f'_c}$$

KESIMPULAN

Nilai kuat tekan, kuat tarikbelah dan kuat lentur beton substitusi *bottom ash* sebagai agregat halus dengan perendaman asam sulfat pH-4 mengalami peningkatan seiring bertambahnya variasi *bottom ash*. Nilai kuat tekan beton dengan *bottom ash* 0%,25%,35% yaitu 32,727 Mpa, 33,859 Mpa, 36,782 Mpa, nilai kuat tarik belah dengan *bottom ash* 0%,25%,35% yaitu 2,266 Mpa, 2,557 Mpa, 2,935 Mpa. Sedangkan nilai kuat lentur *bottom ash* 0%,25%,35% yaitu 2,266 Mpa, 2,557 Mpa, 2,935 Mpa.

Nilai kuat tarik belah variasi bottom ash 0%,25%,35% yaitu 2,734 MPa, 2,828 MPa, 3,064 MPa. Maka di peroleh hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah beton substitusi bottom ash 0%,25%,35% berturut-turut 8,354%, 8,353% dan 8,330%. Nilai kuat lentur variasi bottom ash 0%,25%,35% berturut-turut yaitu 4,213 MPa, 4,388 MPa dan 4,678 MPa. Sehingga di peroleh hubungan kuat tekan dan kuat lentur substitusi bottom ash 0%,25%,35% berturut-turut $0,736\sqrt{f'_c}$, $0,754\sqrt{f'_c}$ dan $0,771\sqrt{f'_c}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI T-15-1991-03, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan

- Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1991.
- [2] SNI 1974-2011, *Cara Uji Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- [3] SNI 2491-2014, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [4] SNI 03-4431-2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- [5] Ferguson, Phil M, and Prof, 1986, *Dasar – Dasar Beton Bertulang*. Jakarta Pusat: Erlangga
- [6] Fanisa Eki G. P dan Gunawan Tanzil, 2013, *Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Subtitusi Sebagian Pasir dengan w/c 0,60 dan 0,65*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 1, No 1
- [7] Patrick, 2003, *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra
- [8] A. Vincent Sulistio, D. Hardjito, Antoni, and S. Wahjudi, 2016, *Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Mortar Hvf*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra
- [9] SNI 2493-2011, *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [10] A. Setiawan, 2016, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga