

# PENGARUH PENAMBAHAN BOTTOM ASH DENGAN AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Yosaphan Gery<sup>1)</sup>, Bambang Sujatmiko <sup>2)</sup>, Budi Hastono<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo,  
Surabaya, Indonesia

Email: [geriora18@gmail.com](mailto:geriora18@gmail.com)

<sup>2)</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo  
Surabaya, Indonesia

Email: [bambang Sujatmiko@unitomo.ac.id](mailto:bambang Sujatmiko@unitomo.ac.id)

<sup>3)</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo  
Surabaya, Indonesia

Email: [budi hastono@unitomo.ac.id](mailto:budi hastono@unitomo.ac.id)

## Abstract

The purpose of this study is to analyze the effect of adding Bottom Ash to Fine Aggregate and to determine the maximum value of concrete compressive strength in order to produce optimum value. The variation of Bottom Ash percentage used in this study is 0%, 20%, 25%, 30%, 35% of the weight of Fine Aggregate. This study refers to the mixture design of SNI 03-2834-2000, with the planned concrete quality  $f'c = 25$  MPa. The method used in this study is an experimental method carried out at the Concrete Technology Laboratory of Dr. Soetomo University, Surabaya. The test object is in the form of a cylinder with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. In this study there are two variables consisting of the independent variable, namely the percentage of Bottom Ash and the dependent variable, namely the compressive strength and volume weight. The results showed that the maximum concrete compressive strength occurred in Normal concrete with 0% Bottom Ash mixture. and for the variation of bottom ash 20%, 25%, 30%, 35% did not meet the target. According to the research results, the addition of Bottom Ash with Fine Aggregate to the concrete mixture results in a decrease and does not exceed the value of normal concrete so that it cannot be recommended in the concrete mixture.

Keywords: Addition of Bottom Ash, Fine Aggregate, Concrete Compressive Strength

## Abstrak

Tujuan dari penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh penambahan Bottom Ash dengan Agregat Halus dan untuk mengetahui nilai maksimal kuat tekan beton Agar menghasilkan nilai yg optimum. Adapun variasi persentase Bottom Ash yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0%, 20%, 25%, 30%, 35% dari berat Agregat Halus. Penelitian ini mengacu pada desain campuran SNI 03-2834-2000, dengan mutu beton yang direncanakan  $f'c = 25$  MPa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium teknologi beton Universitas Dr. Soetomo Surabaya. Benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm. Dalam penelitian ini terdapat dua variabel yang terdiri dari variabel bebas (independent variable) yaitu persentase Bottom Ash dan variabel tak bebas (dependent variable) yaitu kuat tekan dan berat volume. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton maksimum Terjadi Pada beton Normal 0% campuran Bottom Ash. dan untuk variasi bottom ash 20%, 25%, 30%, 35% tidak memenuhi target. Menurut hasil penelitian, penambahan Bottom Ash dengan Agregat Halus pada campuran beton hasil nya menurun dan tidak melebihi dari hasil nilai dari beton normal sehingga tidak dapat direkomendasikan dalam campuran pembuatan beton.

**Kata Kunci :** Penambahan Bottom Ash, Agregat Halus, Kuat Tekan Beton

## PENDAHULUAN

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan yang telah lama dikenal dikalangan masyarakat dan paling banyak juga digunakan secara luas oleh masyarakat. Hal ini dikarenakan beton memiliki keunggulan dengan dibandingkan material struktur lainnya yakni memiliki tekanan yang tinggi, sifatnya ini mudah dibentuk sesuai dengan keinginan, dan bahan dasar penyusun beton mudah didapatkan dan perawatan

Teknologi yang sedang berkembang pada saat ini adalah pengolahan limbah industry untuk di gunakan sebagai bahan baku atau material bangunan. dengan adanya penemuan inovasi-inovasi bahan tersebut di harapkan dapat mengganti bahan bangunan sehingga dapat menekan biaya produksi serta mengurangi Limbah industry. perikayaan material saat ini mengalami perkembangan menuju penggunaan limbah industri sebagai aplikasi teknologi material berkelanjutan (sustainable material). Banyak peneliti yang sudah menemukan kegunaan dari fly ash, para peneliti ini mendapatkan hasil yang cukup signifikan yaitu bahwa fly ash dengan karakteristik tertentu cukup bagus digunakan sebagai bahan campuran atau filler dalam

pembuatan beton , tetapi untuk limbah batubara yang lain, yaitu bottom ash masih sedikit kegunaan yang diketahui.

Sari Utama Dewi dan Febri Prasetyo (2021) Meneliti tentang Analisa Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. Penelitian ini memvariasikan Bottom Ash antara 0 %, 3 %, 7% dan 9 % sebagai penambah pada agregat halus. Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari, diperoleh untuk beton normal dan beton dengan penggunaan Bottom Ash sebagai penambahan agregat halus untuk variasi 0 %, 3 %, 7%, 9 % dari berat agregat halus adalah sebesar 25,790 MPa, 28,850 MPa, 27,490 Mpa dan 29,211 MPa. Kuat tekan maksimal terjadi pada variasi 9% dan kuat tekan terendah terdapat pada variasi 7 % dari Variasi Bottom Ash 3% yang sebesar 28,850 Mpa. Kuat tekan pada umur 28 hari terjadi penurunan kuat tekan pada variasi 7 %, antara 1,360 %, sedangkan pada variasi 9% terjadi peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 3,421 %.

Dari hasil penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini peneliti mencoba menggunakan Bottom Ash untuk mengetahui nilai kuat tekan dan berat volume pada beton sebagai penambahan pada agregat halus untuk

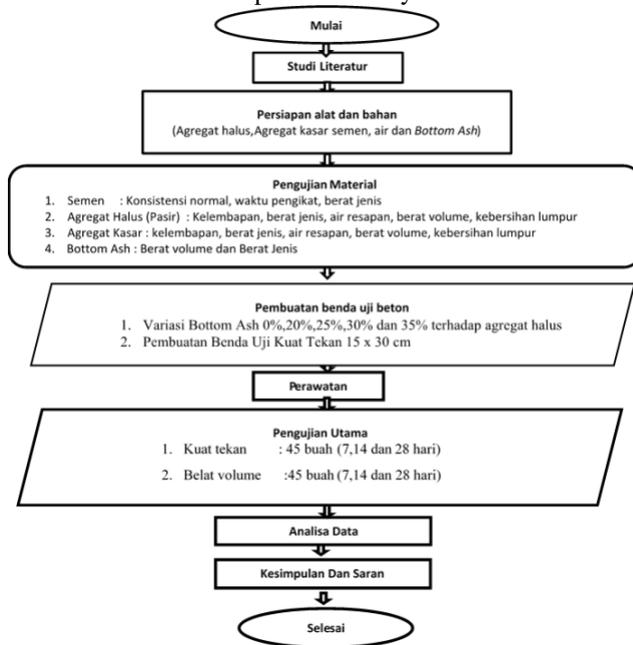
campuran pembuatan beton dengan komposisi 0%, 20%, 25%, 30% dan 35%.

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menghitung Variasi bottom ash pada agregat halus yang dapat meningkatkan kuat tekan beton; untuk menentukan persentase penggunaan Bottom Ash pada agregat halus yang baik pada kuat tekan tertinggi; dan untuk menganalisa nilai kuat tekan beton mutu normal dan berat volume beton pada umur 28 hari yang dapat dicapai dari substitusi Bottom Ash pada Agregat halus (pasir) beton.

## METODE PENELITIAN

### Diagram Alir (Flow Chart)

Berikut flowchart penelitian ini yaitu:



Gambar 1 Bagan Alir (Flowchart) Penelitian

### Variabel Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium yaitu dengan Pemanfaatan Limbah batu bara (*Bottom Ash*) sebagai Penambahan agregat halus untuk campuran pembuatan beton dengan komposisi 0%, 20%, 25%, 30% dan 35% untuk mencari komposisi optimum yang di hasilkan. Benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm Sebanyak 3 buah tiap variasi untuk pengujian berat jenis, kuat tekan dan berat volume kemudian diuji kekuatannya dengan variasi umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Dari hasil pengamatan penelitian terhadap beton yang dieksperimenkan, diharapkan dapat mengetahui Pemanfaatan limbah batu bara (*bottom ash*) sebagai agregat halus untuk campuran pembuatan beton.

### Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton Universitas Dr. Soetomo pelaksanaan Surabaya yang dimulai dari pengujian bahan, rancangan campuran, pengecoran, perawatan benda uji dan pengetestan benda uji.

### Desain dan Jumlah Benda Uji

Desain benda uji adalah sebagai berikut: Silinder ukuran 15 x 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan berat volume. Variasi persentase *Bottom Ash* 0% , 20% ,25%,30% dan 35%; *Bottom ash* yang sudah di hancurkan Benda uji yang dihasilkan adalah 45 buah; Jumlah benda uji yang akan dibuat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Kebutuhan Benda Uji

Kuat Tekan Beton				
Komposisi Bottom Ash	Umur Beton			Jumlah Total
	7 hari	14 hari	28 hari	
0%	3	3	3	9
20%	3	3	3	9
25%	3	3	3	9
30%	3	3	3	9
35 %	3	3	3	9
<b>Total benda uji</b>				<b>45</b>

Sumber : olahan peneliti (2024)

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang diperlukan dalam Penelitian ini: Compression Testing Machine Kapasitas 1000 KN; Mesin pencampur bahan (mixer/molen); Cetakan berbentuk silinder 15 x 30 cm ; Oven; Timbangan, Bak Perendam, Mistar/Penggaris, Alat Pengayak atau penyaringan material. Slump test; Gelas ukur; Alat pengukur waktu; Tongkat penumbuk; Alat pendukung lainnya

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini: (1) Semen. Semen yang dipakai dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe 1 yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik; (2) Agregat halus ( pasir Lumajang ). Air yang digunakan dalam penelitian ini baik untuk pembuatan campuran maupun untuk perawatan beton berasal dari laboratorium teknologi beton universitas Dr. Soetomo; (3) Limbah Batu Bara (*Bottom Ash*) yang di ambil dari perusahaan pembuatan minyak goreng.

### Metode Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji, adalah : (1) Membersihkan alat-alat yang akan digunakan kemudian menyiapkan dan menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi hasil mix design; (2) Memasukkan bahan-bahan ke dalam molen, aduk hingga bahan-bahan tersebut tercampur dengan baik; (3) Kemudian masukkan *Bottom Ash* ke dalam molen sesuai dengan variasi yang telah ditentukan; (4) Dilakukan uji slump untuk mengukur tingkat workability adukan; (5) Apabila nilai slump sudah sesuai yang direncanakan, tuangkan campuran ke dalam cetakan silinder dan dirojok agar campuran menjadi padat dan permukaannya diratakan; (6) Diamkan cetakan selama 24 jam, kemudian cetakan dibuka dan dilakukan perawatan beton.

### Metode Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara direndam dalam bak 1 hari sebelum sampel di uji. Hal ini dimaksudkan agar pada waktu di uji, sampel dalam keadaan tidak basah. Pengujian dilakukan pada saat sampel berumur 7, 14 dan 28 hari. Hal ini berarti benda uji diangkat dari bak perendaman pada saat berumur 6, 13 dan 27 hari.

### Model Benda Uji

Analisa kekuatan tekan dengan campuran Bottom Ash sebagai penambah agregat halus untuk campuran pembuatan beton secara acak (random) pada beton, yaitu pada benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

### HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### Rekapitulasi Hasil Pengujian Bahan Penelitian

**Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Bahan Penelitian**

No	Bahan Uji	Uraian	Hasil Pengujian	Syarat Izin	Ket.
1	semen	Konsistensi	26.80%	Penurunan 10 mm	Oke
		Waktu Ikut	180 menit	Penurunan 0 mm	Oke
		Berat Jenis	2.29	3.7	Oke
		Berat Volume	1.2 gr/cm <sup>3</sup> 1.17 gr/cm <sup>3</sup>	1-1.2 gr/cm <sup>3</sup>	Oke
2	Agregat halus (pasir Lumajang)	Kelembaban	3.40%	Maks. 6%	Oke
		Berat Jenis	2.42	2.4-2.9	Oke
		Air resapan	2.04%	Maks. 4%	Oke
		Berat volume	1.47 gr/cm <sup>3</sup> 1.39 gr/cm <sup>3</sup>	1.25-1.59 gr/cm <sup>3</sup>	Oke
		Pengendapan	3.10%	Maks 5%	Oke
		Pencucian	2,5%	Maks 5%	Oke
		Ayakan	Zona II	?	Oke
3	Agregat kasar (koral Mojokerto)	Kelembaban	1%	Maks. 1%	Oke
		Berat Jenis	2.37	2.3-2.75	Oke
		Air resapan	2.42%	Maks 4%	Oke
		Berat volume	1.28 gr/cm <sup>3</sup> 1.15 gr/cm <sup>3</sup>	1.35-1.75 gr/cm <sup>3</sup>	Oke
		Pencucian	0.90%	Maks. 1%	Oke
		Abrasi	23.63%	Maks. 50%	Oke
		Ayakan	< 40 mm	?	Oke
4	Bottom Ash	Berat Jenis	1.81 gr	?	Oke

Sumber : Hasil pengujian 2024

Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil pengujian bahan penelitian maka semua pengujian material sudah memenuhi standar yang sudah ditetapkan SNI dan ASTM, sehingga layak untuk dipakai pada penelitian ini.

### Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Metode perhitungan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton adalah metode SNI 03-2834-2000. Adapun tahapan yang dilakukan dalam perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton ( $f'c$ ) pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 25 MPa.
2. Menetapkan nilai deviasi standar (S).

**Tabel 3 Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.**

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000

Deviasi standar dihitung berdasarkan volume pembebanan yang akan dibuat dan mutu pekerjaan. Nilai deviasi standar yang digunakan dalam perencanaan campuran ini sebesar 7 MPa yaitu tingkat pengendalian mutu pekerjaan jelek karena belum mempunyai pengalaman sebelumnya.

#### 3. Menghitung nilai tambah

Nilai tambah dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini, adapun hasilnya sebagai berikut ini.

$$M = 1,64 \times 7 = 11,48 \text{ MPa} \approx 12 \text{ MPa}$$

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ( $f'cr$ ) menggunakan persamaan dibawah ini, maka.

$$f'cr = f'c + M$$

$$= 25 + 12$$

$$f'cr = 37 \text{ MPa}$$

5. Jenis semen yang telah ditetapkan adalah semen portland tipe I.

6. Jenis agregat halus yang digunakan yaitu pasir Lumajang.

7. Jenis agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah ukuran maksimal 40 mm.

8. Menentukan nilai faktor air semen dengan cara menggunakan grafik “hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen” sebagai berikut ini

a. Perkiraan kekuatan tekan dari Tabel 4, dapat diketahui dari jenis semen, jenis agregat, bentuk benda uji yang digunakan dan umur beton pada kekuatan tekan Tabel 4.24 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,425 dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.

**Tabel 4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,425 dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.**

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

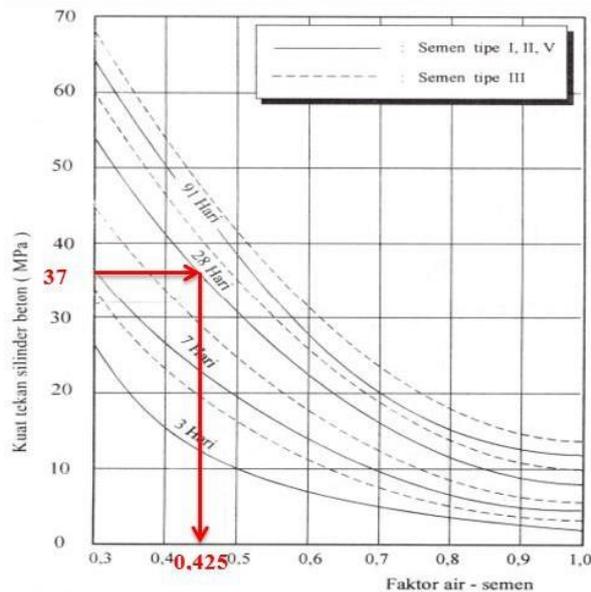
Sumber: SNI 03-2834-2000

Dari tabel diatas didapatkan kekuatan tekannya yaitu sebesar 37 MPa.

b. Setelah itu, lihat pada Gambar 4.6, yaitu tentang hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen dengan benda uji berbentuk silinder.

c. Buat garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,425 sampai memotong kurva dengan warna merah, selanjutnya buat garis lurus ke kanan dari angka kuat tekan 37 MPa sampai garis tersebut menyentuh garis warna merah.

- d. Lalu buat garis lengkung melalui titik perpotongan dari sub. Butir b secara proporsional
- e. Kemudian buat garis lurus ke kanan dari angka fcr sebesar 37 MPa sampai menyentuh garis lengkung (kurva baru) yang sudah dibuat atau ditentukan dari sub butir c, diatas .
- f. Selanjutnya buat garis lurus ke bawah melalui titik perpotongan tersebut. Kemudian dari garis tersebut didapatkan nilai fas sebesar 0,425 dan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm × Tinggi 300 mm)**  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

9. Menentukan nilai factor air semen maksimum

Setelah ditentukan nilai fas dari gambar diatas, kemudian dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (fas) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 5

**Tabel 5 Persyaratan fas dan Jumlah Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus**

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m <sup>3</sup> beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton didalam ruang bangunan		
a.keadaan keliling on-korosif	275	0,6
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a.tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b.terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
a.mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b.mendapat pengaruhsul fat dan alkali dari tanah		Tabel 3.10
Beton yang kontinu berhubungan Dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.11

Sumber: SNI 03-2834-2000

**Nilai faktor air semen maksimum yang didapat dari Tabel 4.25 adalah sebesar 0,6 yaitu jenis pembetonan di luar ruang bangunan dengan keadaan tidak terlindung dari hujan dan matahari.**

10. Menentukan nilai slump

Tinggi slump perencanaan yang ditetapkan adalah sebesar 30-60 mm.

11. Menentukan ukuran agregat maksimum

Ukuran besar butir agregat maksimum yang digunakan yaitu sebesar 40 mm.

12. Menentukan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 4, dengan menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan slump rencana. Setelah didapatkan hasil perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton.

**Tabel 6 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik Beton**

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Kemudian jumlah kebutuhan air dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{air}} &= 2/3 W_h + 1/3 W_k \\
 &= 2/3 \times 160 + 1/3 \times 190 \\
 &= 170 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kadar air bebasnya adalah sebesar 170 kg.

1. Menghitung kebutuhan semen

Jumlah kebutuhan semen dapat dihitung berdasarkan rumus berikut ini.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{semen}} &= W_{\text{air}} / \text{fas} \\
 &= 170 / 0,425 \\
 &= 400 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kadar air bebasnya adalah sebesar 400 kg.

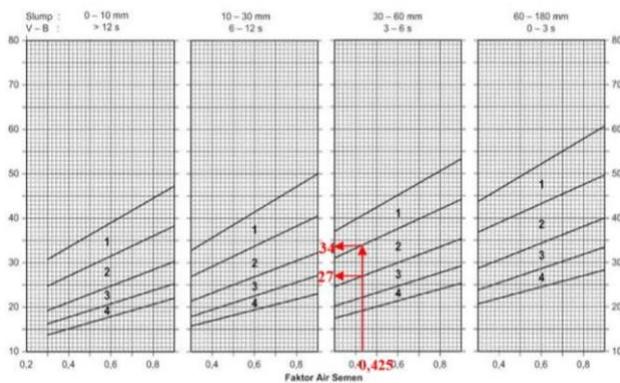
2. Menentukan kebutuhan semen yang digunakan

Setelah menghitung kebutuhan semen dengan persamaan 13, maka perlu dicari kebutuhan semen minimum dengan melihat Tabel 3. Dari tabel tersebut didapatkan nilai kebutuhan semen minimumnya adalah sebesar 325 kg. Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari perhitungan ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum berdasarkan Tabel 3, maka yang digunakan adalah kebutuhan semen dengan nilai yang terbesar dari kedua cara tersebut.

3. Menentukan presentase agregat halus dan kasar

Persentase jumlah agregat ditentukan oleh besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Untuk menentukan persentase jumlah agregat halus dapat dilihat pada Gambar 2. karena ukuran butir maksimum yang digunakan yaitu 40 mm dan *slump* yang digunakan adalah sebesar 30-60 mm. Selain itu, digunakan gradasi daerah nomor 2 yang dihasilkan dari hasil pengujian modulus halus butir agregat halus.

- Tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen yang sudah didapatkan sebelumnya sebesar 0,425 sampai memotong kurva bagian atas pada daerah gradasi no. 2.
- Kemudian dari titik perpotongan batas lengkung kurva atas dan batas lengkung kurva bawah pada daerah gradasi nomor 2, ditarik garis mendatar ke kiri sampai memotong sumbu tegak.
- Dari penarikan garis atas dan garis bawah tersebut didapatkan angka yaitu sebesar 34 dan 27.



**Gambar 3** Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI 03 - 2834-2000).

- Nilai persentase agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\%AH = (34 + 27)/2$$

$$= 30,5\%$$

$$\%AK = 100\% - \%AH$$

$$= 100\% - 30,5\%$$

$$= 69,5\%$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai persentase agregat halus (%AH) sebesar 30,5% dan agregat kasar (%AK) sebesar 69,5 %.

- Menghitung berat jenis SSD agregat gabungan

Berat jenis SSD agregat halus dan agregat kasar dapat diketahui dari pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar yang sudah dijelaskan pada laporan hasil pengujian bahan. Dari pengujian berat jenis tersebut didapatkan angka berat jenis agregat halus (BJAH) yaitu sebesar 2,42 dan berat jenis agregat kasar (BJAK) yaitu sebesar 2,37. Setelah didapatkan berat jenis kedua agregat tersebut, kemudian berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan di bawa ini:  
BJgabungan = %AH x BJAH + %AK x BJAK

$$= 30,5\% \times 2,42 + 69,5\% \times 2,37$$

$$= 2,38$$

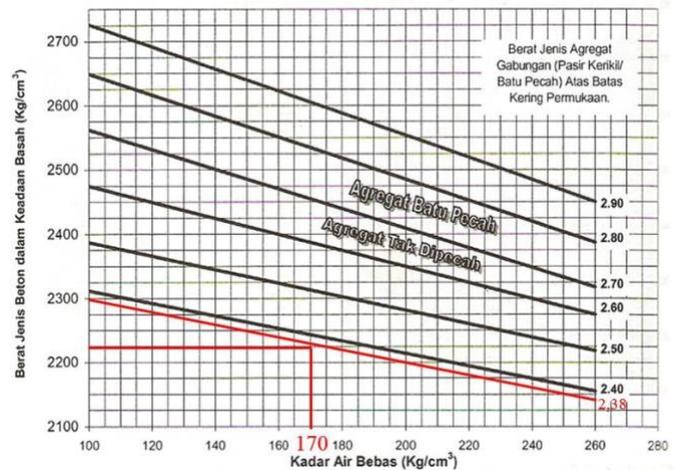
Dari perhitungan diatas didapatkan berat jenis agregat gabungannya (BJgabungan) yaitu sebesar 2,38

- Menentukan berat isi beton

Berat isi beton basah ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 3. dengan memasukkan berat jenis agregat gabungan dan kadar air bebas.

- Buat kurva baru sesuai dengan berat jenis agregat gabungan secara proporsional dengan memperhatikan kurva sebelah atas dan bawahnya yang sudah ada.
- Lalu tarik garis tegak lurus ke atas dari nilai kadar air yang digunakan yaitu 170 kg/m<sup>3</sup> sampai memotong kurva baru berat jenis gabungan tersebut.
- Kemudian dari titik potong tersebut, ditarik garis mendatar kearah kiri sampai memotong sumbu tegak.

Dari penarikan garis tersebut didapatkan nilai berat isi beton adalah sebesar 2.220 kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 4** Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- Menghitung proporsi campuran beton  
Proporsi campuran yang dihitung adalah proporsi campuran kebutuhan material penyusun beton.

$$W_{AH} = (W_{isi\ beton\ basah} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AH$$

$$= (2.220 - 400 - 170) \times 30,5\%$$

$$= 503,2\ kg/m^3$$

$$W_{AK} = (W_{isi\ beton\ basah} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AK$$

$$= (2.220 - 400 - 170) \times 69,5\%$$

$$= 1.146,7\ kg/m^3$$

Dari perhitungan diatas didapatkan berat agregat halus (WAH) adalah sebesar 503,2 kg/m<sup>3</sup> dan berat agregat kasar (WAK) adalah sebesar 1.146,7 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabel 7** Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

No	Uraian	Nilai	Tabel/Grafik
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25 Mpa	Ditetapkan
2	Deviasi standar (S)	7 Mpa	Ditetapkan

No	Uraian	Nilai	Tabel/Grafik		
3	Nilai tambah margin (M)	12 Mpa	1,64 x 7		
4	Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan	37 Mpa	1 + 3		
5	Jenis semen	Tipe 1	Ditetapkan		
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	Ditetapkan		
7	Jenis agregat halus	Pasir lumajang	Ditetapkan		
8	Faktor air semen	0,425	Tabel 2 grafik 1		
9	Slump	30 mm - 60 mm	Ditetapkan		
10	Ukuran agregat maksimum	40 mm	Hasil Pengujian		
11	Kadar air bebas	170 kg/m <sup>3</sup>	Tabel 3 grafik 3		
12	Jumlah semen	400 kg/m <sup>3</sup>	11 : 08		
13	Kadar semen maksimum	-	-		
14	Kadar semen minimum	325 kg/m <sup>3</sup>	Tabel 3		
15	Faktor air semen yang disesuaikan	0,425	Tabel 2 grafik 1		
16	Susunan besar butir agregat halus	Zona II	Ditetapkan		
17	Persen agregat halus	30,5%	Ditetapkan		
18	Berat jenis relatif agregat (gabungan) SSD	2,385	Hasil perhitungan		
19	Berat isi beton	2.220 kg/m <sup>3</sup>	Tabel 3 grafik 3		
20	Kadar agregat gabungan	1.650 kg/m <sup>3</sup>	19 - 12 - 11		
21	Kadar agregat halus	503,2 kg/m <sup>3</sup>	17 x 20		
22	Kadar agregat kasar	1.146,7 kg/m <sup>3</sup>	20 - 21		
23	Proporsi campuran				
	Banyaknya bahan teoritis (agregat kondisi SSD)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat	
				Halus (kg)	Kasar (kg)
	Kebutuhan Bahan campuran Setiap m <sup>3</sup>	400	170	503,2	1.146,7

Proporsi Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> beton :

- Semen Portland = 400 kg/m<sup>3</sup>
- Air = 170 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat Halus = 503,25 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat Kasar = 1.146,75 kg/m<sup>3</sup>

## 1. Koreksi Kelembapan dan Resapan

- Pasir (agregat halus)
  - Kelembapan = 3.84 %
  - Resapan = 2.04 %
  - Koreksi campuran =  $(3.84 - 2.04) / 100 \times 503.2$   
= 9.05 kg  
= 503,2 + 9.05  
= 512,25 kg

- Batu Pecah (agregat kasar)

- Kelembapan = 1 %
- Resapan = 2.42 %
- Koreksi campuran =  $(2.42 - 1) / 100 \times 1.146,7$   
= 16.27 kg  
= 1.146,7 - 16.27  
= 1,130,42 kg

- Air

$$\text{Air} = 170 - (8-4)/100 \times 503,2 + (2,5-2)/100 \times 1146,7 = 144,14 \text{ liter}$$

## 2. Perhitungan Kebutuhan Material

Kebutuhan material untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran Ø 15 cm x 30 cm, sebanyak 45 buah.

$$\begin{aligned} \text{Volume benda uji} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2 \times 30 \text{ cm} \\ &= 5301 \text{ cm}^3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah benda uji} = 45 \text{ buah}$$

- Kebutuhan material untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran Ø 15 cm x 30 cm, sebanyak 45 buah

- Semen = 0,0053 x 460 x 45  
= 109,71 kg
- Pasir Lumajang = 0,0053 x 512,25 x 45  
= 122,11 kg
- Kerikil = 0,0053 x 1.130,42 x 45  
= 269,60 kg
- Air = 0,0053 x 144,14 x 45  
= 46,63 liter

- Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm

- Semen = 0,0053 x 460 x 3  
= 7,314 kg
- Pasir Lumajang = 0,0053 x 512,25 x 3  
= 8,140 kg
- Kerikil = 0,0053 x 1.130,42 x 3  
= 17,970 kg
- Air = 0,0053 x 144,14 x 3  
= 2,301 liter

Kebutuhan material untuk 1 buah benda uji silinder Ø15 cm x 30 cm dengan variasi Bottom Ash berkait

- Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm dengan variasi 0% Bottom Ash berkait dari pasir

- Semen = 7,314 kg
- 0% Bottom Ash = 0
- Pasir Lumajang = 8,140 kg
- Kerikil = 17,970 kg
- Air = 2,301 liter

- Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm dengan variasi 20 % Bottom Ash berkait dari berat pasir

- Semen = 7,314 kg

- 20 % Bottom Ash = 1,628 kg
  - Pasir Lumajang = 8,140 kg
  - Kerikil = 17,970 kg
  - Air = 2,301 liter
3. Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm dengan variasi 25% serat Bottom Ash berkait dari berat pasir
- Semen = 7,314 kg
  - 25 % Bottom Ash = 2,035 kg
  - Pasir Lumajang = 8,140 kg
  - Kerikil = 17,970 kg
  - Air = 2,301 liter
4. Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm dengan variasi 30% Bottom Ash berkait dari berat Pasir
- Semen = 7,314 kg
  - 30 % Bottom Ash = 2,442 kg
  - Pasir Lumajang = 8,140 kg
  - Kerikil = 17,970 kg
  - Air = 2,301 liter
5. Kebutuhan material untuk 3 buah benda uji silinder Ø 15 cm x 30 cm dengan variasi 35% Bottom Ash berkait dari berat Pasir
- Semen = 7,314 kg
  - 35 % Bottom Ash = 2,840 kg
  - Pasir Lumajang = 8,140 kg
  - Kerikil = 17,970 kg
  - Air = 2,301 liter

**Analisa Hasil Pengujian Beton**

**Hasil Pengujian Berat Volume Beton**

Pengujian berat volume beton dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari dengan variasi penambahan Bottom Ash 0%, 20%, 25%, 30% dan 35 %. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur dimensi serta menimbang berat dari benda uji tersebut sebelum dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Untuk mendapatkan nilai berat volume beton dapat menggunakan persamaan 2.2. Berikut hasil pengujian berat volume beton pada penelitian ini:

**Tabel 8 Hasil Pengujian Berat Volume Beton Umur 7 Hari**

Umur (Hari)	Variasi Bottom Ash	Berat (Kg)	Volume silinder(cm)	Berat Volume (Kg/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata (Kg/cm <sup>3</sup> )
7	0%	12.350	5.301	2,33	2,34
		12.400	5.301	2,34	
		12.450	5.301	2,35	
	20%	11.600	5.301	2,19	2,17
		11.500	5.301	2,17	
		11.450	5.301	2,16	
	25%	11.260	5.301	2,12	2,13
		11.320	5.301	2,14	
		11.330	5.301	2,14	
	30%	11.420	5.301	2,15	2,14
		11.320	5.301	2,14	
		11.360	5.301	2,14	
	35%	11.200	5.301	2,11	2,11
		11.200	5.301	2,11	
		11.200	5.301	2,11	

Sumber : olahan peneliti 2024

**Tabel 9 Hasil Pengujian Berat Volume Beton Umur 14 Hari**

Umur (Hari)	Variasi Bottom Ash	Berat (Kg)	Volume silinder(cm)	Berat Volume (Kg/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata (Kg/cm <sup>3</sup> )
14	0%	12.500	5.301	2,36	2,35
		12.450	5.301	2,35	
		12.500	5.301	2,36	
	20%	11.700	5.301	2,21	2,19
		11.600	5.301	2,19	
		11.500	5.301	2,17	
	25%	11.300	5.301	2,13	2,13
		11.350	5.301	2,14	
		11.300	5.301	2,13	
	30%	11.600	5.301	2,19	2,17
		11.550	5.301	2,18	
		11.400	5.301	2,15	
	35%	11.300	5.301	2,13	2,14
		11.350	5.301	2,14	
		11.320	5.301	2,14	

Sumber : olahan peneliti (2024)

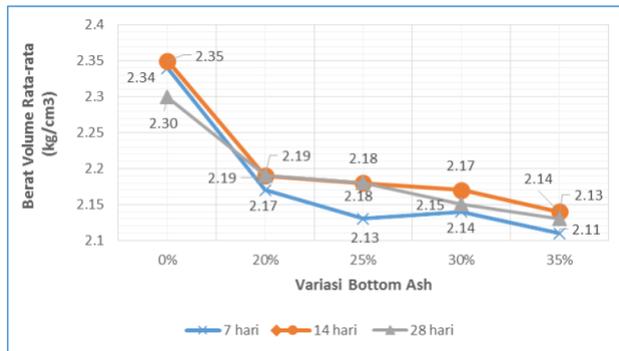
**Tabel 10 Hasil Pengujian Berat Volume Beton Umur 28 Hari**

Umur (Hari)	Variasi Bottom Ash	Berat (Kg)	Volume silinder(cm)	Berat Volume (Kg/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata (Kg/cm <sup>3</sup> )
28	0%	12.200	5.301	2,30	2,30
		12.200	5.301	2,30	
		12.170	5.301	2,30	
	20%	11.430	5.301	2,16	2,19
		11.800	5.301	2,23	
		11.540	5.301	2,18	
	25%	11.650	5.301	2,20	2,18
		11.550	5.301	2,18	
		11.500	5.301	2,17	
	30%	11.500	5.301	2,17	2,15
		11.300	5.301	2,13	
		11.450	5.301	2,16	
	35%	11.350	5.301	2,14	2,13
		11.300	5.301	2,13	
		11.250	5.301	2,12	

Sumber : olahan peneliti (2024)

**Tabel 11 Rekapitulasi Berat Volume Beton**

Umur (Hari)	variasi Bottom Ash	Berat Volume Rata-rata (kg/cm <sup>3</sup> )
7	0%	2,34
14		2,35
28		2,30
7	20%	2,17
14		2,19
28		2,19
7	25%	2,13
14		2,13
28		2,18
7	30%	2,14
14		2,17
28		2,15
7	35%	2,11
14		2,14
28		2,13



**Gambar 5 Grafik Rekapitulasi Berat Volume Beton Terhadap Umur Dan Variasi Bottom Ash**

Berdasarkan tabel 4.31 dan gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentase Bottom Ash ke dalam campuran beton maka berat volume beton semakin menurun, hal ini disebabkan karena Bottom Ash memiliki berat jenis yang cukup Kecil.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari, dengan menggunakan mesin uji tekan dan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm serta tinggi 30 cm. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan persamaan 2.1. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium teknologi beton Universitas Dr. Soetomo diperoleh data-data sebagai berikut :

**Tabel 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari**

Variasi bottom ash	Berat (kg)	Beban (N)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan(Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata(Mpa)
0%	12.500	280	17,670	15,846	14,148
	12.450	230	17,670	13,016	
	12.500	240	17,670	13,582	
20%	11.700	135	17,670	7,640	6,697
	11.600	110	17,670	6,225	
	11.500	110	17,670	6,225	
25%	11.300	110	17,670	6,225	5,659
	11.350	100	17,670	5,659	
	11.300	90	17,670	5,093	
30%	11.600	130	17,670	7,357	7,357
	11.550	120	17,670	6,791	
	11.400	140	17,670	7,923	
35%	11.300	100	17,670	5,659	5,376
	11.350	90	17,670	5,093	
	11.320	95	17,670	5,376	



**Gambar 6 Grafik Kuat Tekan Beton Terhadap Umur 7 Hari Dan Variasi Bottom Ash**

Dari tabel 12 dan gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar persentase variasi Bottom Ash yang digunakan maka mengakibatkan terjadinya penurunan nilai

kuat tekan beton. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada beton normal yaitu dengan persentase 0% sebesar 14,148 MPa, sedangkan nilai kuat tekan paling rendah terjadi pada beton yang menggunakan variasi Bottom Ash sebagai penambahan pada agregat halus dengan persentase 35% sebesar 5,376 Mpa.

Hasil pengujian kuat tekan beton umur 14 hari dapat dilihat pada tabel 13 dan Grafik kuat tekan beton terhadap umur dan variasi serat dapat dilihat pada gambar 7

**Tabel 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari**

Variasi bottom ash	Berat (kg)	Beban (N)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan(Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata(Mpa)
0%	12.500	280	17,670	15,846	15,469
	12.450	270	17,670	15,280	
	12.500	270	17,670	15,280	
20%	11.700	180	17,670	10,187	8,678
	11.600	130	17,670	7,357	
	11.500	150	17,670	8,489	
25%	11.300	120	17,670	6,791	6,980
	11.350	120	17,670	6,791	
	11.300	130	17,670	7,357	
30%	11.600	140	17,670	7,923	7,451
	11.550	125	17,670	7,074	
	11.400	130	17,670	7,357	
35%	11.300	115	17,670	6,508	5,905
	11.350	100	17,670	5,659	
	11.320	98	17,670	5,546	



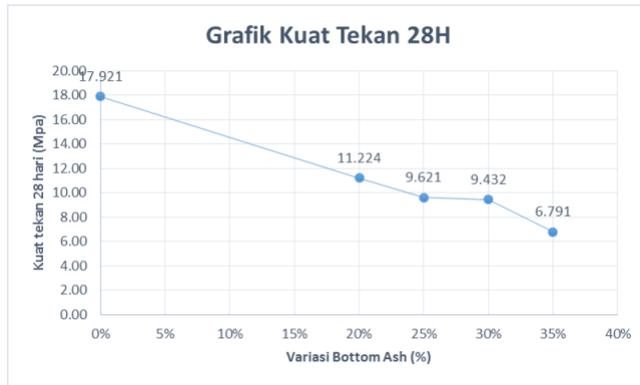
**Gambar 7 Grafik Kuat Tekan Beton Terhadap Umur 14 Hari Dan Variasi Bottom Ash**

Dari tabel 13 dan Grafik 7 menunjukkan bahwa semakin besar persentase dengan variasi Bottom Ash yang digunakan maka mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada beton normal dengan persentase 0% sebesar 15,469 MPa, sedangkan nilai kuat tekan paling rendah terjadi pada beton 35% sebesar 5,905 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 14 dan Grafik kuat tekan beton terhadap umur dan variasi serat dapat dilihat pada gambar 8

**Tabel 14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari**

Variasi bottom ash	Berat (kg)	Beban (N)	Luas(mm <sup>2</sup> )	Nilai Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata(Mpa)
0%	12.200	280	17,670	15,846	17,921
	12.200	380	17,670	21,505	
	12.170	290	17,670	16,412	
20%	11.430	220	17,670	12,450	11,224
	11.800	175	17,670	9,904	
	11.540	200	17,670	11,319	
25%	11.650	200	17,670	11,319	9,621
	11.550	180	17,670	10,187	
	11.500	130	17,670	7,357	
30%	11.500	150	17,670	8,489	9,432
	11.300	170	17,670	9,621	
	11.450	180	17,670	10,187	
35%	11.350	120	17,670	6,791	6,791
	11.300	110	17,670	6,225	
	11.250	130	17,670	7,357	



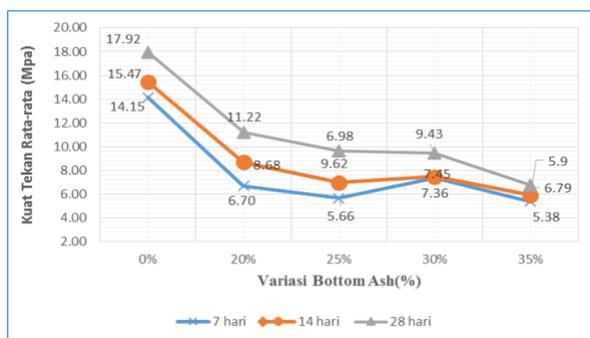
**Gambar 8 Grafik Kuat Tekan Beton Terhadap Umur 28 Hari Dan Variasi Bottom Ash**

Dari tabel 4.34 dan Grafik 4.12 menunjukkan bahwa semakin besar persentase Bottom Ash yang digunakan maka semakin kecil pula nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada beton normal dengan persentase 0% dengan nilai sebesar 17,921 MPa, sedangkan nilai kuat tekan paling rendah terjadi pada beton menggunakan Penambahan Bottom Ash 35% sebesar 5,85 MPa.

**Tabel 15 Rekapitulasi Kuat Tekan Beton**

Umur (Hari)	variasi Bottom Ash	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
7	0%	14,148
14		15,469
28		17,921
7	20%	6,697
14		8,678
28		11,224
7	25%	5,659
14		6,980
28		9,621
7	30%	7,357
14		7,451
28		9,432
7	35%	5,376
14		5,905
28		6,791

Sumber : olahan peneliti (2024)



**Gambar 9 Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Dan Variasi Bottom Ash**

Berdasarkan tabel 15 dan grafik 9 diatas menunjukkan bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya umur beton. Beton dengan umur 28 hari memiliki kuat tekan tertinggi di mana pada beton normal 0% tanpa menggunakan Bottom Ash sebesar 17,92 MPa, sementara untuk beton yang menggunakan variasi Bottom Ash 20% memiliki kuat tekan 11,22 Mpa dan variasi bottom ash lainnya juga mengalami penurunan yang tidak maksimal seiring dengan bertambahnya umur beton.

**Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya**

Dari hasil pengujian kuat tekan beton yang didapatkan pada penelitian ini kemudian dilakukan perbandingan dengan penelitian sebelumnya yaitu dari dari penelitian yang di lakukan oleh Sari Utama Dewi dan Febri Prasetyo (2021). Pada penelitian ini Sari Utama Dewi dan Febri Prasetyo (2021) Mutu Beton yang di rencanakan  $F_c' = 25$  Mpa, Variasi Bottom Ash yang di tambahkan pada agregat halus yaitu 0%,3%,7% dan 9%, Jumlah benda uji 36 buah untuk kuat tekan beton.untuk umur uji 7, 14,dan 28 hari. sedangkan pada penelitian ini mutu beton yang di rencanakan  $F_c' = 25$  Mpa,Variasi Bottom Ash yag di tambahkan yaitu 0%,20%,25%,30% dan 35 %, Jumlah benda uji 45 buah.untuk umur uji 7, 14,dan 28 hari.di tinjau terhadap kuat tekan.

Untuk perbandingan hasil pengujian kuat tekan dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 16 Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Umur 28 Hari**

Penelitian Sekarang					
	Variasi Bottom Ash				
Pengujian	0%	20%	25%	30%	35%
Pengujian Kuat Tekan Beton (Mpa)	17,9	11,2	6,98	9,43	6,79

Penelitian terdahulu				
	Variasi Bottom Ash			
Pengujian	0%	3%	7%	9%
Pengujian Kuat Tekan Beton (Mpa)	25,8	28,9	27,49	29,2

Sumber : olahan peneliti(2024),Sari Utama dewi dkk(2021)

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium teknologi beton universitas Dr. Soetomo, maka penulis dapat memberikan beberapa kesimpulan mengenai pengaruh penggunaan bottom ash kedalam campuran beton, sebagai berikut:

1. Penambahan Bottom Ash pada agregat halus dengan variasi 0% ,20 %,25 %, 30% dan 35 % kedalam campuran beton dapat mempengaruhi Performa beton, dimana beton dengan menggunakan variasi bottom ash mengalami penurunan kuat tekan dari beton normal.
2. Penambahan Bottom Ash pada campuran beton mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan beton, dimana semua variasi bottom tidak memiliki nilai kuat tekan melebihi beton normal.kuat tekan beton tertinggi dengan variasi terjadi pada persentase 20% yaitu 11,22 Mpa sedangkan beton normal 17,92 Mpa,berkurang sekitar 6,70

% dari beton normal. Menunjukkan penurunan kuat tekan yang signifikan untuk semua variasi Bottom Ash.

3. Nilai kuat tekan beton mutu normal yang di dapatkan dari penelitian pada umur 28 hari 17,92 Mpa, belum mencapai mutu beton yang direncanakan yaitu 25 mpa, dan berat beton untuk mutu normal dan volume beton stabil tidak mengalami penurunan yang signifikan dengan berjalannya umur beton.

Berdasarkan hasil penelitian beton dengan penambahan bottom ash pada agregat halus tidak direkomendasikan karena peningkatan kuat tekan menurun seiring bertambahnya Bottom ash walaupun penurunan terlalu signifikan atau relatif sangat kecil.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini berterima kasih kepada pihak-pihak yang membantu khususnya dosen pembimbing dan kedua orangtua serta seluruh keluarga tercinta yang telah memberikan semangat yang luar biasa, dan Almamater kebanggaan

### DAFTAR PUSTAKA

Hertika . (2014). Pengaruh Penggunaan Bottom ash Sebagai Bahan Pengganti Sebaiaian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton. Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung. 87 Hlm.

SNI 03-4810-1998. 1998. Metode Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Lapangan. Bandung: Badan Standar Nasional.

SNI 15-2049-2004. 2004. Semen Portland. Bandung: Badan Standar Nasional.

Syarifudin, A., Yunanda, M., & Anjani, C. (2021). Analisis Kuat Tekan Beton K 225 Menggunakan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar. J. Tek. Sipil.

ASTM, 2002, Concrete and Aggregate, Annual Book of ASTM Standards 2002, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia

Sulistiyowati, N. A., "Bata Beton Berlubang Dari Abu Batubara (Fly Ash Dan Bottom Ash) Yang Ramah Lingkungan", Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan, 15(1), 87–96, 2013.

Tanubrata, M., "Bahan-Bahan Konstruksi dalam Konteks Teknik Sipil", Jurnal Teknik Sipil, 11(2), 132–154, 2019.

Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S., "Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton", Jurnal Sipil Statik, 3(5), 313–321, 2015.

Darwis, Z., Soelarso, & Hidayat, T., "Pemanfaatan limbah bottom ash sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan beton", JURNAL FONDASI, 4(1), 52–57, 2015.

Gunawan, B., & Slamet, S., "Pembuatan Biobriket Dari Limbah Bottom Ash P L T U Dengan Biomassa Cangkang Kopi", Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer, 6(2), 289, 2015.

Rahamudin, R. H., Manalip, H., & Mondoringin, M., "Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen", Jurnal Sipil Statik, 4(3), 225–231, 2016.

SNI 03-2491-2002. 2002. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Bandung: Badan Standar Nasional.