



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Pengaruh Penggunaan Air Tawar dan Air Laut pada Pemanfaatan *fly ash* Sebagai Pengganti Semen dan *Bottom ash* Sebagai Pengganti Sebagian Pasir dalam Beton Kualitas 20 MPa

Roma Dearnia^a, Dedi Enda^b, Muhamad Akbar^c

^{a,b,c}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis, Jalan Bathin Alam, Sungaialam, Bengkalis, Riau, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 27 November 2025

Revisi Akhir: 23 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Beton 20 Mpa

fly ash

Bottom ash

Limbah Batubara

Kuat Tekan

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: romadearni@polbeng.ac.id

ABSTRACT

Pembangunan infrastruktur yang cepat mendorong peningkatan kebutuhan akan sistem transportasi yang ramah lingkungan, serta inovasi dalam teknik rekayasa struktural, khususnya dalam hal teknologi material bangunan. Beton, yang merupakan material utama dalam konstruksi, perlu adanya inovasi untuk meningkatkan ketahanan dan performanya, salah satunya melalui penggunaan bahan tambahan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai penggunaan limbah dari pembakaran batubara, yakni *fly ash* dan *Bottom ash*, dalam campuran beton dengan mutu 20 MPa. *fly ash* diimplementasikan sebagai pengganti semen, sedangkan *Bottom ash* menggantikan sebagian dari agregat halus. Tujuan penggunaan limbah ini adalah untuk menekan biaya produksi beton dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah batubara. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pemanfaatan *Bottom ash* dan *fly ash* dapat memengaruhi kekuatan tekan beton. Pada usia 7 hingga 28 hari, kekuatan tekan beton biasanya menurun, tetapi meningkat pada usia 56 hari, baik dalam perawatan dengan air tawar maupun air laut. Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan alat pengujian tekan dan menggunakan benda uji berbentuk kubus atau silinder pada usia 7, 28, dan 56 hari. Hasil dari pengujian kekuatan tekan pada campuran beton dengan proporsi 30% *Bottom ash* menunjukkan hasil kekuatan tekan tertinggi pada usia 56 hari. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan *fly ash* dan *Bottom ash* tidak hanya mampu mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga dapat menghasilkan beton dengan performa optimal, terutama pada usia beton yang lebih lama.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur mendorong inovasi rekayasa struktur, terutama dalam teknologi bahan konstruksi, untuk menciptakan material berkualitas dengan biaya efisien. Salah satu contohnya adalah inovasi pada beton, bahan konstruksi paling populer yang terdiri dari semen, agregat, air, dan kadang bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan, keawetan, atau *workability*.

Penelitian terbaru fokus pada pemanfaatan limbah sebagai bahan tambahan/pengganti dalam campuran beton, bertujuan menekan biaya produksi dan mengurangi

dampak lingkungan dari limbah. Limbah yang akan dianalisis dalam penelitian ini berasal dari sisa pembakaran batubara. Di Indonesia, jumlah limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara terus meningkat setiap tahunnya, sejalan dengan peningkatan konsumsi batubara sebagai bahan baku di sektor PLTU. Saat batubara digunakan sebagai bahan bakar padat untuk energi, proses pembakarannya menghasilkan limbah padat yang terdiri dari abu dasar dan abu terbang, yang dikenal sebagai FABA, yang dapat berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Banyak peneliti yang telah mengeksplorasi penggunaan FABA dalam campuran beton sebagai

pengganti agregat halus dan semen, yang cocok untuk konstruksi seperti jalan akses, dinding penahan, batako, dan beton nonstruktural. Penggunaan *fly ash* dalam pembuatan beton didasarkan pada sifatnya yang mirip dengan semen. Persamaan ini terletak pada dua aspek utama, yaitu karakteristik fisik dan kimia. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan dengan semen dalam hal ukuran butir. Dalam hal gradasi, *Bottom ash* termasuk dalam kategori zona 2 pasir sedikit halus, sehingga berfungsi sebagai agregat halus yang bertindak sebagai pengisi. Kandungan kimia di dalamnya didominasi oleh unsur Fe dan Si, dengan proporsi masing-masing sekitar 57,71% untuk Fe dan 19,6% untuk Si. Kandungan Fe dan Si yang tinggi ini sangat mirip dengan yang terdapat dalam pasir. Melihat masalah di atas, penulis berusaha memanfaatkan *Bottom ash* sebagai sebagian pengganti pasir dan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton dengan kekuatan 20 MPa, dengan tujuan meningkatkan pemanfaatan limbah batubara dan menjaga keberlanjutan lingkungan dari dampak polusi batubara. Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dapat memperbaiki workability, mengurangi panas hidrasi, serta meningkatkan daya tahan beton dalam jangka waktu yang lama (Mehta dan Monteiro, 2014). Dengan memanfaatkan *Bottom ash* sebagai pengganti sebagian pasir dengan rasio volume tertentu dan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dengan rasio berat pada beton berkelas ($f'c$) 20 MPa, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen serta *Bottom ash* sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat tekan beton mutu 20 MPa, pada perawatan dengan air tawar dan air laut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *fly ash*

fly ash merupakan salah satu bahan tambahan yang sering dipakai sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Berdasarkan ASTM C618 (2019), *fly ash* terbagi menjadi dua kategori, yaitu Kelas F dan Kelas C, yang ditetapkan berdasarkan komposisi kimia serta karakteristik pozolaniknya. Kelas F biasanya dihasilkan dari proses pembakaran batubara bituminus atau antrasit, sementara Kelas C dihasilkan dari batubara sub-bituminus atau lignit (Siddique, 2012). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Naik et al. (2011) menunjukkan bahwa beton dengan penggantian *fly ash* hingga 30% mampu mencapai kekuatan tekan yang baik setelah 28 hari, dengan peningkatan performa di kondisi agresif seperti di dalam air laut.

Bottom ash, limbah padat dari pembakaran batubara, juga berpotensi sebagai pengganti agregat halus dalam beton. Menurut Singh & Siddique (2016), *Bottom ash* memiliki karakteristik fisik yang mirip dengan pasir alami sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada material alam.

Studi oleh Andrade et al. (2009) membuktikan bahwa penggunaan *Bottom ash* hingga 20% dalam campuran beton tidak signifikan mengurangi kuat tekannya, tetapi meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan klorida.

Perawatan beton dalam air laut dan air tawar memengaruhi perkembangan kuat tekan dan durabilitasnya. Menurut Neville (2011), lingkungan air laut mempercepat karbonasi dan korosi tulangan akibat kandungan garam, sementara perawatan air tawar cenderung menghasilkan pengerasan yang lebih stabil. Namun, penelitian Thomas et al. (2018) menunjukkan bahwa beton dengan *fly ash* memiliki ketahanan lebih baik dalam air laut karena reaksi pozolanik yang mengurangi porositas dan penetrasi ion klorida.

2.2. Pengujian Sifat Mekanik Beton

Kekuatan tekan beton merupakan salah satu aspek penting dari beton. Kekuatan ini menunjukkan seberapa baik beton dapat menahan gaya tekan per satuan luas. Meskipun terdapat sedikit tegangan tarik di dalam beton, diasumsikan bahwa seluruh tegangan tekan ditanggung oleh beton itu sendiri. Pengukuran kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat penguji kekuatan tekan serta benda uji seperti kubus atau silinder setelah berusia 28 hari.

Untuk menentukan tegangan hancur dari benda uji tersebut, perhitungan dilakukan dengan cara berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dimana:

- $f'c$ = Kuat tekan beton pada umur 28 (mpa)
- P = Beban maksimum
- A = Luas penampang benda uji

3. METODOLOGI

3.1. Tahapan Penelitian

Material penyusun beton yang digunakan

- a. Agregat Kasar : batu pecah/ granit dari Tanjung Balai
- b. Agregat halus : pasir alami dan *Bottom ash*
- c. Semen : semen padang PCC dan *fly ash*
- d. Air : sumur bor Politeknik Negeri Bengkalis
- e. Abu terbang (*fly ash*) yang digunakan berasal dari PT. Dumai Jaya Beton.
- f. *Bottom ash* yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batu bara dari PT. Dumai Jaya Beton.

Tahapan pengujian sifat-sifat ini terdiri dari:

- a. a. Analisis ayakan agregat menurut SNI 03-1968-1990.
- b. b. Penilaian kandungan air pada agregat yang dinyatakan dalam persentase sesuai SNI 03-1971-1990.
- c. c. Uji kandungan lumpur pada agregat dengan menggunakan SNI 03-4142-1996 melalui metode pencucian yang menggunakan ayakan no. 200.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui presentase lumpur yang terdapat dalam agregat. Untuk agregat halus yang digunakan dalam proses pembuatan beton adalah. Pemeriksaan berat jenis agregat halus menggunakan menggunakan metode SNI 03-1970-1990 sedangkan pemeriksaan berat jenis agregat kasar menggunakan metode SNI 03-1969-1990.

Tahap perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu $f'c$ 20 MPa. Tahap pembuatan sampel dimulai dengan membuat sampel percobaan. Adapun sampel percobaan yang akan dibuat sebagai berikut :

Tabel 1 Jumlah Variasi Sampel Percobaan

No	Variasi	Jumlah Sampel
1	Normal	3
2	<i>Bottom ash</i> 20%	3
3	BA 20% + FA 20%	3
4	BA 20% + FA 17,5%	3
5	BA 20% + FA 15%	3
6	BA 20% + FA 12,5%	3
7	BA 20% + FA 10%	3
8	<i>Bottom ash</i> 25%	3
9	BA 25% + FA 20%	3
10	BA 25% + FA 17,5%	3
11	BA 25% + FA 15%	3
12	BA 25% + FA 12,5%	3
13	BA 25% + FA 10%	3
14	<i>Bottom ash</i> 30%	3
15	BA 30% + FA 20%	3
16	BA 30% + FA 17,5%	3
17	BA 30% + FA 15%	3
18	BA 30% + FA 12,5%	3
19	BA 30% + FA 10%	3
Total		57

Sampel eksperimen dengan berbagai variasi komposisi akan menjalani pengujian kekuatan tekan pada umur 7 hari. Dari hasil pengujian kekuatan tekan setelah 7 hari, akan dipilih 2 komposisi yang menunjukkan nilai kekuatan tekan terbaik sebagai acuan untuk melakukan pengecoran. Jumlah sampel yang digunakan dalam studi ini bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

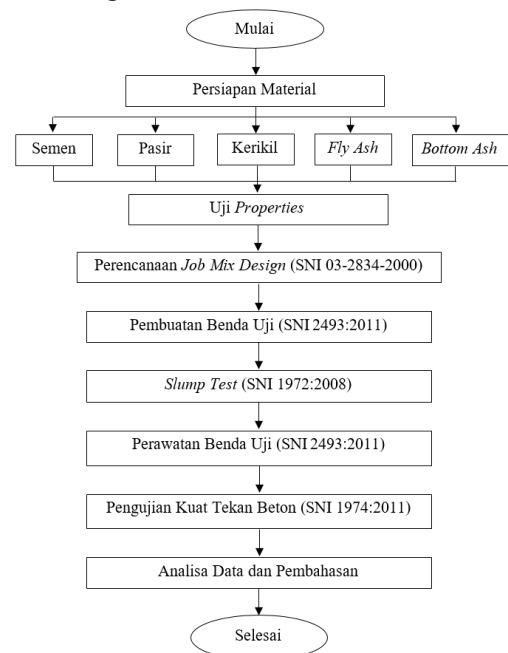
Tabel 2 Jumlah Sampel Keseluruhan

Tipe Pengecoran	Perawatan	7 hari	28 hari	56 hari	Jumlah
Normal 20 Mpa	Air Tawar	3	3	3	18
	Air Laut	3	3	3	
Komposisi beton uji kuat tekan tertinggi 1	Air Tawar	3	3	3	18
	Air Laut	3	3	3	
Komposisi beton uji kuat tekan tertinggi 2	Air Tawar	3	3	3	18
	Air Laut	3	3	3	
Total Keseluruhan		54 Sampel			

Dari data yang terlihat, jumlah total silinder beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 54 sampel. Sesuai dengan SNI 2493:2011 yang mengatur tentang cara pembuatan dan pemeliharaan benda uji beton di laboratorium, pada penelitian ini digunakan silinder beton dengan diameter 100 mm, sehingga diameter penumbuk yang digunakan adalah 10 mm dengan jumlah tumbukan setiap lapisan sebanyak 25 tumbukan/lapis.

Proses pengujian benda uji mencakup pengujian kuat tekan dan juga pengujian *Workability (Slump)*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur dan menentukan kuat tekan beton pada campuran yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen serta *Bottom ash* sebagai substitusi sebagian pasir. Dalam penelitian ini, waktu yang ditetapkan untuk menguji kuat tekan benda uji adalah pada hari ke-7, ke-28, dan ke-56.hari

3.2. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

3.3. Metode Pengumpulan dan Analisis Data

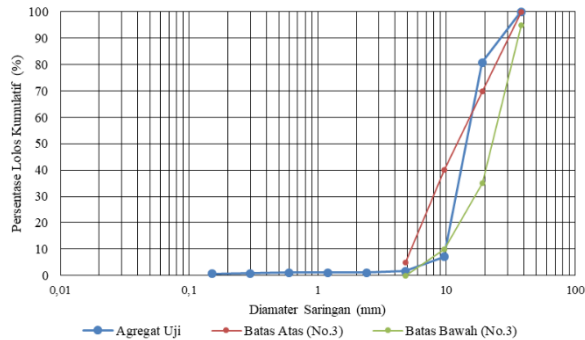
Pada riset yang bersifat eksperimen, langkah-langkah pengumpulan data dilakukan dengan mengamati hasil dari perlakuan dan manipulasi yang diterapkan pada sampel yang diteliti. Dalam studi ini, pengumpulan data dilakukan dengan metode eksperimental yang menghasilkan informasi berbentuk angka statistik. Penelitian ini berasumsi bahwa tes yang dilakukan pada sampel

berfungsi sebagai alat untuk mengumpulkan data dalam penelitian ini. Tes yang dimaksud adalah pengujian kekuatan tekan beton yang menggunakan campuran *fly ash* dan *Bottom ash*.

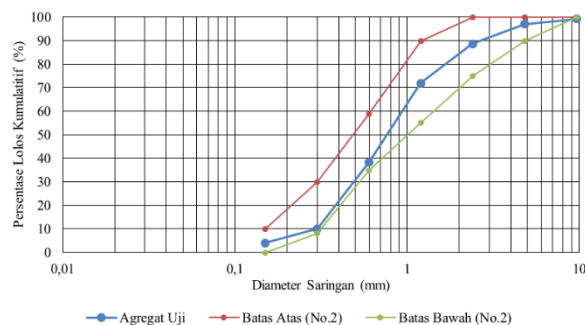
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pengujian Sifat Fisik Material

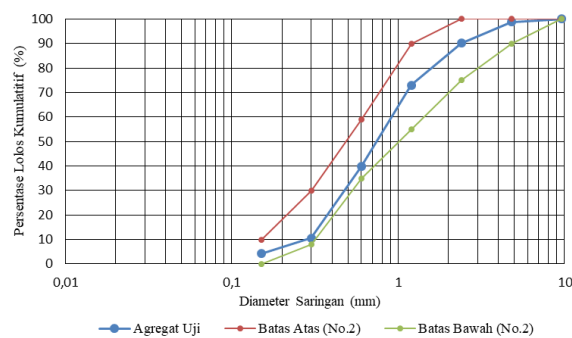
4.1.1 Pengujian Gradasi/Analisa Saringan Agregat (SNI 03-1968-1990)



Gambar 2. Gradasi Agregat Kasar
(Sumber : Pengolahan Data Pengujian, 2022)



Gambar 3. Gradasi Agregat Halus
(Sumber : Pengolahan Data Pengujian, 2022)



Gambar 4. Gradasi *Bottom ash*

(Sumber : Pengolahan Data Pengujian, 2022)

Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar = 7,5772 (memenuhi spesifikasi 5 – 8), Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus = 2.905 (memenuhi spesifikasi 1,50 – 3,8), Modulus Halus Butir (MHB) *Bottom ash* = 2.11 (memenuhi spesifikasi 1,50 – 3,8)

4.1.2 Pengujian Kadar Air Agregat (SNI 03 – 1971 – 1990)

Data yang diperoleh dari pemeriksaan kadar air pada agregat kasar dan halus adalah sebagai berikut:

Rata-rata kadar air pada agregat kasar adalah 0.54%, dan jika dibandingkan dengan absorpsi agregat kasar, kadar airnya lebih tinggi daripada absorpsi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengurangan jumlah air.

Kadar Air rata rata Agregat Halus 3.76%, Jika dibandingkan dengan absorpsi agregat halus, maka kadar air agregat kasar lebih besar dari absorpsi, sehingga diperlukan pengurangan air.

Kadar Air *Bottom ash* rata rata sebesar 1.12 %. Jika dibandingkan dengan absorpsi *Bottom ash*, maka kadar air *Bottom ash* lebih kecil dari absorpsi, sehingga diperlukan penambahan air.

4.1.3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat (SNI 03-4142-1996)

Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar menunjukkan rata-rata sebesar 0,72%, yang memenuhi standar yang telah ditentukan (SNI 03-4142-1996) yaitu nilai batas maksimum kadar lumpur pada agregat kasar.

Dari analisis kandungan lumpur pada agregat halus, diperoleh angka 2.77%. Agregat halus ini dapat dimanfaatkan karena hasil uji di laboratorium menunjukkan bahwa ia telah memenuhi kriteria yang ditetapkan (SNI 03-4142-1996), di mana batas maksimal kandungan lumpur agregat halus adalah <5%. Kadar lumpur pada agregat halus yang telah melalui pengujian ini sudah sesuai dengan standar yang ada.

4.1.4 Hasil Uji Berat Jenis Agregat

A. Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990).

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh nilai berat jenis agregat kasar:

Kerapatan spesifik tampak 2,61

Kerapatan spesifik massa pada Dasar Kering 2,59

Kerapatan spesifik massa pada Dasar SSD 2,6

Persentase penyerapan air 0,35

Kasar SSD tercatat 2,59 gr/cm³. Angka ini sesuai dengan kriteria spesifikasi berat jenis menurut SNI 03-1969-1990, yaitu berkisar antara 2,58 gr/cm³ hingga 2,83 gr/cm³.

B. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus (SNI 03-1970-1990)

Gravitasi spesifik yang jelas 2,63

Gravitasi spesifik bulk pada Dasar Kering 2,55

Gravitasi spesifik bulk pada Dasar SSD 2,58

% Penyerapan air 1,17

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus SSD adalah 2,62 gr/cm³. Angka tersebut sesuai dengan kriteria spesifikasi berat jenis yang

ditetapkan oleh SNI 03-1970-1990, yang berkisar antara 2,58 gr/cm³ hingga 2,83 gr/cm³. (Tjokrodinuljo, 1995) Jika agregat memiliki berat jenis yang lebih tinggi, maka beton yang dihasilkan akan menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi juga.

C. Hasil Pengujian Berat Jenis *Bottom ash* (SNI 03-1970-1990)

Cara perhitungan :

Sampel 1

Gravitasi spesifik yang terlihat 1,865

Gravitasi spesifik bulk pada Dasar Kering 1,616

Gravitasi spesifik bulk pada Dasar SSD 1,749

% Penyerapan air 8,272

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis *Bottom ash* SSD adalah 1,749 gr/cm³. Nilai ini tidak memenuhi kriteria spesifikasi berat jenis sesuai dengan SNI 03-1970-1990, yaitu antara 2,58 gr/cm³ hingga 2,83 gr/cm³. (Tjokrodinuljo, 1995) Jika agregat memiliki berat jenis yang lebih tinggi, maka beton yang dihasilkan juga akan memiliki kekuatan tekan yang lebih besar.

4.1.5 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat (SNI 03-4804-1998)

Dari Dari pengujian berat volume yang telah dilakukan untuk agregat kasar, diperoleh hasil bahwa berat volume agregat kasar berdasarkan metode ketok mencapai 1505. 89 kg/m³, sedangkan berat volume agregat kasar rata-rata menurut metode tusuk sebesar 1510. 96 kg/m³, dan untuk yang lepas mencapai 1422. 96 kg/m³.

A. Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Hasil dari pengujian berat volume untuk agregat halus menunjukkan bahwa berat volume agregat halus secara ketok adalah sebesar 1762. 13 kg/m³, sedangkan berat volume agregat halus rata-rata menurut metode tusuk memiliki nilai 1711. 90 kg/m³, dan berat volume agregat halus rata-rata lepas adalah 1581. 26 kg/m³.

B. Hasil Pengujian Berat Volume *Bottom ash*

Dari hasil pengujian berat volume yang dilakukan untuk *Bottom ash*, didapatkan bahwa berat volume *Bottom ash* rata-rata lepas adalah 302.87 kg/m³.

C. Hasil Pengujian Berat Volume Semen

Dalam pengujian berat volume semen yang telah dilakukan, diperoleh bahwa berat volume semen rata-rata lepas adalah 1021. 45 kg/m³.

D. Hasil Pengujian Berat Volume *fly ash*

Dari hasil pengujian berat volume yang dilakukan untuk *fly ash*, ditemukan bahwa berat volume *fly ash* rata-rata lepas adalah 620.44 kg/m³.

4.1.6 Hasil evaluasi tentang Abrasi (SNI 03-2417-2008)

Pemeriksaan tingkat abrasi pada agregat kasar mengikuti prosedur yang ditetapkan dalam SNI 03-2417-2008. Tingkat Abrasi Agregat Kasar adalah 36.09%

274

4.1.7 Hasil Uji Kadar Organik Agregat Halus (03-2816-1992)

Kadar organik merujuk pada unsur-unsur yang terdapat dalam pasir yang dapat menyebabkan kekurangan pada mortar atau beton. Penilaian kandungan organik pada agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-2816-1992. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi keberadaan bahan organik dalam agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton.



Gambar 5 Kadar Organik Agregat Halus
(Sumber : Pengolahan Data Pengujian, 2022)

4.2. Komposisi Rencana Campuran Beton (Mix Design)

Berdasarkan informasi yang ada, dapat ditentukan jenis bahan yang dibutuhkan dan rasio yang dihasilkan antara semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan pengganti semen yang diperlukan dalam pencampuran beton sesuai dengan kualitas yang direncanakan.

Rasio campuran untuk agregat kasar, agregat halus, semen, air, *fly ash*, dan *Bottom ash* diperoleh untuk masing-masing tiga sampel pengujian seperti berikut:

Tabel 3 Komposisi Campuran Beton Untuk Masing-Masing Sampel Uji Silinder 10 X 20 Cm

No	1	2	3
Variasi	Normal	<i>Bottom ash</i> 20%	BA 20% + FA 20%
Semen	2,516	2,516	2,012
Air	1,258	1,258	1,258
Pasir	5,041	4,033	4,033
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	-	0,176	0,176
FA	-	-	0,306
No	4	5	6
Variasi	BA 20% + FA 17,5%	BA 20% + FA 15%	BA 20% + FA 12,5%
Semen	2,075	2,138	2,201
Air	1,258	1,258	1,258
Pasir	4,033	4,033	4,033
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	0,176	0,176	0,176
FA	0,267	0,229	0,191
No	7	8	9
Variasi	BA 20% + FA 10%	<i>Bottom ash</i> 25%	BA 25% + FA 20%
Semen	2,264	2,516	2,012
Air	1,258	1,258	1,258

No	7	8	9
Variasi	BA 20% + FA 10%	Bottom ash 25%	BA 25% + FA 20%
Pasir	4,033	3,781	3,781
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	0,176	0,220	0,220
FA	0,153	-	0,306
No	10	11	12
Variasi	BA 25% + FA 17,5%	BA 25% + FA 15%	BA 25% + FA 12,5%
Semen	2,075	2,138	2,201
Air	1,258	1,258	1,258
Pasir	3,781	3,781	3,781
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	0,220	0,220	0,220
FA	0,267	0,229	0,191
No	13	14	15
Variasi	BA 25% + FA 10%	Bottom ash 30%	BA 30% + FA 20%
Semen	2,264	2,516	2,012
Air	1,258	1,258	1,258
Pasir	3,781	3,529	3,529
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	0,220	0,264	0,264
FA	0,153	-	0,306
No	16	17	18
Variasi	BA 30% + FA 17,5%	BA 30% + FA 15%	BA 30% + FA 12,5%
Semen	2,075	2,138	2,201
Air	1,258	1,258	1,258
Pasir	3,529	3,529	3,529
Granit	7,255	7,255	7,255
BA	0,264	0,264	0,264
FA	0,267	0,229	0,191
No	19		
Variasi	BA 30% + FA 10%		
Semen	2,264		
Air	1,258		
Pasir	3,529		
Granit	7,255		
BA	0,264		
FA	0,153		

4.3. Pengadukan Beton dan Pengujian Slump

Tabel 4 Nilai Slump Untuk Setiap Komposisi

Nilai Slump Beton (mm)		
Normal	BA 30%	BA 30%+FA 12.5 %
83	81	83

4.4. Hasil Pengujian Sampel Percobaan (Trial Error)

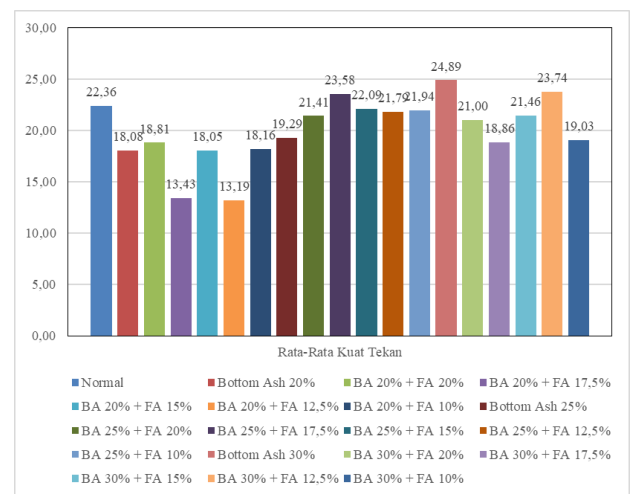
Tahap pembuatan sampel dimulai dengan pembuatan sampel percobaan. Sampel percobaan tersebut memiliki berbagai variasi komposisi dan akan diuji untuk kekuatan tekan pada usia 7 hari. Dari hasil uji kekuatan tekan pada usia 7 hari, akan dipilih dua komposisi yang memiliki nilai

kekuatan tekan optimum sebagai dasar untuk menentukan variasi yang digunakan dalam proses pengecoran. Berikut hasil kekuatan tekan beton pada usia 7 hari dari trial eror.:

Tabel 5 Hasil Uji Kuat Tekan Sampel Percobaan (Trial Error)

NO	Variasi	Rata-Rata Kuat Tekan
1	Bottom ash 20%	18.08
2	BA 20% + FA 20%	18.81
3	BA 20% + FA 17,5%	13.43
4	BA 20% + FA 15%	18.05
5	BA 20% + FA 12,5%	13.19
6	BA 20% + FA 10%	18.16
7	Bottom ash 25%	19.29
8	BA 25% + FA 20%	21.41
9	BA 25% + FA 17,5%	23.58
10	BA 25% + FA 15%	22.09
11	BA 25% + FA 12,5%	21.79
12	BA 25% + FA 10%	21.94
13	Bottom ash 30%	24.89
14	BA 30% + FA 20%	21.00
15	BA 30% + FA 17,5%	18.86
16	BA 30% + FA 15%	21.46
17	BA 30% + FA 12,5%	23.74
18	BA 30% + FA 10%	19.03

Sumber : Hasil Pengolahan Data Tugas Akhir 2023



Gambar 6 Grafik Hasil Uji Tekan Trial Error Umur 7 Hari

(Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir, 2022)

Berdasarkan tabel dan grafik hasil pengujian kuat tekan, sampel yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi adalah BA 30% dengan kuat tekan sebesar 24,89 MPa, sedangkan BA 30% + FA 12,5% memiliki kuat tekan sebesar 23,74 MPa.

4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji, dalam menentukan kuat tekan beton pada campuran beton yang menggunakan fly ash sebagai pengganti semen dan Bottom ash sebagai pengganti sebagian pasir. Pengujian dilakukan pada benda uji yang

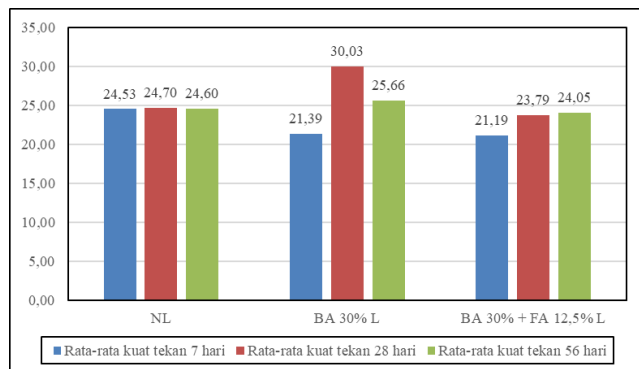
direndam dalam air tawar dan air laut. Berikut hasil uji kuat tekan maksimum beton dengan mutu 20 MPA untuk perendaman dalam air tawar dan air laut sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil Uji Tekan Rata-Rata Beton Perawatan Pada Air Tawar

Komposisi	NT	BA 30% T	BA 30% + FA 12,5% T
Rata-rata kuat tekan 7 hari	25.16	23.65	21.40
Rata-rata kuat tekan 28 hari	27.75	23.76	21.96
Rata-rata kuat tekan 56 hari	24.21	28.31	26.24

(Sumber : Hasil Pengolahan Data 2023)

Dari tabel dan diagram yang disajikan dapat dilihat nilai kuat tekan beton untuk komposisi normal dengan perendaman dalam air tawar selama 7 hari sebesar 25,16 Mpa, 28 hari sebesar 27,75 Mpa, dan 56 hari sebesar 24,21 Mpa. Untuk komposisi BA 30% dengan perendaman dalam air tawar, nilai kuat tekan beton pada 7 hari sebesar 23,65 Mpa, 28 hari sebesar 23,76 Mpa, dan 56 hari sebesar 28,31 Mpa. Sementara itu, untuk komposisi BA 30% + FA 12,5% dengan perendaman dalam air tawar, nilai kuat tekan beton pada 28 hari sebesar 21,96 Mpa dan 56 hari sebesar 26,24 Mpa.

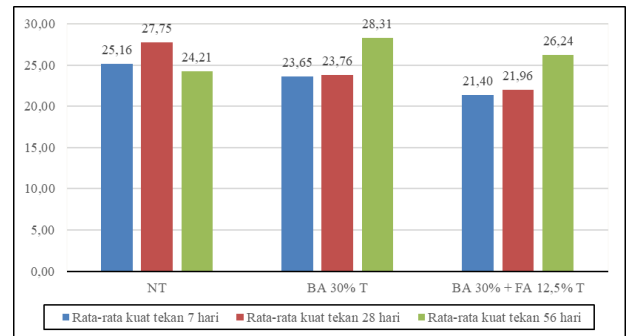


Gambar 7 Diagram Kuat Tekan Beton Air Tawar
(Sumber : Hasil Pengolahan Data 2023)

Tabel 7 Hasil Uji Tekan Beton Rata-Rata Perawatan Pada Air Laut

Komposisi	NL	BA 30% L	BA 30% + FA 12,5% L
Rata-rata kuat tekan 7 hari	24.53	21.39	21.19
Rata-rata kuat tekan 28 hari	24.70	30.03	23.79
Rata-rata kuat tekan 56 hari	24.60	25.66	24.05

Sumber : Hasil Pengolahan Data 2023.



Gambar 8 Hasil Uji Tekan Beton Air Laut

Sumber : Hasil Pengolahan Data 2023

Dari tabel dan diagram yang disajikan, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan beton untuk komposisi normal dengan perendaman dalam air laut pada hari ke-7 adalah 24,53 Mpa, pada hari ke-28 adalah 24,70 Mpa, dan pada hari ke-56 adalah 24,60 Mpa. Untuk komposisi BA 30%, nilai kuat tekan beton pada hari ke-7 adalah 21,39 Mpa, pada hari ke-28 adalah 30,03 Mpa, dan pada hari ke-56 adalah 25,66 Mpa. Sementara itu, untuk komposisi BA 30% + FA 12,5%, nilai kuat tekan beton pada hari ke-7 adalah 21,19 Mpa, pada hari ke-28 adalah 23,79 Mpa, dan pada hari ke-56 adalah 24,05 Mpa.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen dan *Bottom ash* sebagai pengganti sebagian pasir, maka pada usia 7 sampai 28 hari, kekuatan tekan beton dengan mutu 20 Mpa yang dirawat dengan air tawar mengalami penurunan. Namun, pada usia 56 hari, kekuatan tekan tersebut meningkat.
2. Dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen dan *Bottom ash* sebagai pengganti sebagian pasir, maka pada usia 7 sampai 28 hari, kekuatan tekan beton dengan mutu 20 Mpa yang dirawat dengan air tawar mengalami penurunan. Namun, pada usia 56 hari, kekuatan tekan tersebut meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjokrodinuljo, M., *Spesifikasi Agregat dan Beton*, Jakarta: Sinar Grafika, 1995.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1969-1990: Agregat Kasar untuk Beton*, Jakarta: BSN, 1990.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1970-1990: Agregat Halus untuk Beton*, Jakarta: BSN, 1990.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2417-2008: Metode Uji Abrasi Agregat Kasar*, Jakarta: BSN, 2008.

- [5] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-4142-1996: Persyaratan Agregat untuk Campuran Beton*, Jakarta: BSN, 1996.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2816-1992: Pengujian Kandungan Organik Agregat Halus*, Jakarta: BSN, 1992.
- [7] Tjokrodimuljo, M., *Pemberdayaan Limbah fly ash dan Bottom ash dalam Beton*, Jurnal Teknik Sipil, vol. 22, no. 3, pp. 135-145, 2022.
- [8] M. S. A. Hussain and M. I. S. Yusoff, "Penggunaan fly ash sebagai Bahan Pengganti Semen dalam Campuran Beton", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 11, no. 5, pp. 101-113, 2022.
- [9] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [10] ASTM C618, *Standard Specification for Coal fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM International, 2019.
- [11] Siddique, R., *Utilization of fly ash in Concrete: A Review, Resources, Conservation and Recycling*, vol. 50, no. 4, pp. 234-243, 2012.
- [12] Naik, T. R., & Singh, S., *Use of fly ash in Concrete: A Review of Recent Studies*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 6, pp. 851-858, 2011.
- [13] Singh, G., & Siddique, R., *Bottom ash as an Alternative to Fine Aggregate in Concrete: A Review, Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 8, pp. 3217-3225, 2016.
- [14] Andrade, C., Oliveira, J., & Lima, M., *Use of Bottom ash as Fine Aggregate in Concrete: Effects on Durability and Mechanical Properties*, *Cement and Concrete Research*, vol. 39, no. 6, pp. 451-458, 2009.
- [15] Neville, A. M., *Properties of Concrete*, 5th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2011.
- [16] Thomas, M. D. A., Yang, J., & Bentz, D. P., *Durability of Concrete Containing fly ash in Marine Environments*, *Cement and Concrete Composites*, vol. 87, pp. 116-123, 2018.