

## PEMANFAATAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH PLTU REMBANG UNTUK PEMBUATAN BETON MENGGUNAKAN SEMEN PPC

### *Utilization of Fly Ash and Bottom Ash at PLTU Rembang for Concrete Production using Portland Pozzolan Cement*

**Kinan Wintang Wardhani<sup>\*</sup>, Endah Kanti Pangestuti, Rini Kusumawardani, Muh Arief Firdaus**

Program Studi Teknik Sipil/Jurusan Teknik Sipil/Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, Gunungpati, Semarang 50229

<sup>\*</sup>Korespondensi: [kimanwardhani02929@students.unnes.ac.id](mailto:kimanwardhani02929@students.unnes.ac.id)

#### **ABSTRAK**

Penelitian bertujuan untuk mengurangi jumlah limbah pembakaran batu bara berupa fly ash dan bottom ash PLTU Rembang sebagai substitusi semen dan pasir pada pembuatan beton mutu K-225 dan kedap air menggunakan semen Portland Pozzolan. Metode dilakukan eksperimen di laboratorium dengan membuat benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm sejumlah 50 sampel untuk pengujian kuat tekan umur 28 hari, 60 hari, dan uji daya serap. Benda uji dibuat 5 variasi yaitu beton normal (tanpa substitusi) dan beton substitusi 20% bottom ash dan campuran fly ash 0%, 5%, 10%, 15%. Kuat tekan K-225 terjadi pada umur 60 hari pada beton substitusi bottom ash 20% dengan fly ash 0%, 5%, 10%, dan 15% masing-masing sebesar 245 kg/cm<sup>2</sup>, 254,67 kg/cm<sup>2</sup>, 250,67 kg/cm<sup>2</sup>, dan 250,67 kg/cm<sup>2</sup>. Daya serap beton pada umur 28 hari substitusi bottom ash 20% dan abu terbang 0%, 5%, 10%, 15% diperoleh hasil sebesar 4,85%, 5,17%, 5,05%, dan 5,18%. Hasil penelitian menunjukkan beton yang dibuat memenuhi mutu K-225 dan daya serap yang lebih baik dari beton normal.

**Kata kunci:** abu terbang, abu dasar, beton mutu tinggi, kuat tekan, daya serap beton

#### **ABSTRACT**

The research aims to reduce the amount of coal burning waste of fly ash and bottom ash PLTU Rembang as a substitution of cement and sand in the production of quality concrete K-225 and waterproof using Portland Pozzolan cement. The method was experimented in the laboratory by making 50 samples of 15 x 15 x 15 cm<sup>3</sup> test objects for 28 days, 60 days, and water absorption tests. The test object was made in 5 variations: normal concrete (without substitution) and 20% bottom ash substitution concrete and fly ash mixture 0%, 5%, 10%, 15%. Strong K-225 pressure occurs at the age of 60 days on bottom ash substituted concrete 20% with fly ash 0%, 5% 10% and 15% respectively of 245 kg/cm<sup>2</sup>, 254,67 kg/cm<sup>2</sup>, 250,67 kg/cm<sup>2</sup>, dan 250,67 kg/cm<sup>2</sup>. Water absorption of concrete at 28 days of ashes substitution was less than 20% and ashes flew below 0% and 5%, 10% 15% resulted in 4.85%, 5.17%, 5.05%, and 5.18%. The results of the research showed that the concrete made meets the K-225 quality and better absorption than normal concrete.

**Keywords:** fly ash, bottom ash, high strength concrete, concrete absorption

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik setiap penduduk Rembang terus meningkat seiring dengan berjalannya waktu menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang meningkatkan jumlah produksi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU Rembang berasal dari hasil pembakaran batu bara. Akibat dari pembakaran batu bara yang menerus dengan jumlah besar mengakibatkan PLTU Rembang sebagai salah satu kontribusi limbah dan polusi bagi lingkungan.

Hasil pembakaran batu bara PLTU Rembang menghasilkan limbah berupa abu yang terdiri dari 80-90% abu terbang (*fly ash*) dan 10-20% abu dasar (*bottom ash*) [1]. Debu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) tergolong sebagai bahan berbahaya yang berdampak negatif bagi kesehatan warga sekitar yang menghirup langsung hasil pembakaran yang berakibat buruk bagi keadaan lingkungan sekitar yang tercemar [2]. Banyaknya limbah pembakaran batu bara, terutama pada *fly ash* yang dihasilkan menyebabkan kualitas ekosistem yang berubah baik pada tanaman, air, maupun kualitas udara. *Fly ash* berterbangan bersamaan dengan angin yang menyatu dengan tanaman, air, jatuh ke tanah, bahkan terhirup oleh manusia yang menyebabkan gangguan pernapasan [1]. Sedangkan limbah pembakaran berupa *bottom ash* yang masih jarang pemanfaatannya jika tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan penimbunan limbah yang terus bertambah. Penelitian terdahulu [3] penggunaan 15% *fly ash* memberikan hasil yang optimal dengan kuat tekan mencapai 29,80 MPa setelah 28 hari dan 34,42 MPa setelah 56 hari. Penggunaan *bottom ash* sebanyak 20% mampu meningkatkan kuat tekan hingga 50% dan kuat lentur sebesar 28,3% pada umur 28 hari. Kadar *bottom ash* 20% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 157,55 kg/cm<sup>2</sup> [4]. Kuat tekan beton terus menurun dari beton normal dibanding beton dengan substitusi *fly ash* sebanyak 0% (beton normal), 20%, 25%, dan 30% dengan umur pengujian 7, 21, dan 28 hari [5].

Beton merupakan campuran semen Portland atau hidrolis lainnya dengan agregat halus, agregat kasar, air, dan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Perencanaan beton yang baik harus memenuhi kriteria perancangan yang berlaku, yaitu kekuatan, kekentalan untuk kemudahan dalam pengerjaan, keawetan, ekonomis, dan menggunakan agregat normal tanpa bahan tambahan. [6]

**Tabel 1 Kelas dan Mutu Beton**

Kelas	Mutu	$\sigma_{bk}'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{bk}' s = 46$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Tujuan
I	B0	-	-	Non struktural
	B1	-	-	Struktural
II	K-125	125	200	Struktural
	K-175	175	250	Struktural
	K-225	225	300	Struktural
III	>K-225	> 225	> 300	Struktural

Sumber: PBI 1971 [7]

**Tabel 2 Klasifikasi Mutu dan Kegunaan Beton**

Mutu Beton	$f_c'$ (MPa)	$\sigma_{bk}'$	Kegunaan
Mutu Tinggi	35 – 65	K400 K800	Umumnya digunakan sebagai beton prategang seperti pada tiang pancang, gelagar beton, dan sejenisnya.
Mutu Sedang	20 - <35	K250 – < K400	Umumnya digunakan pada beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, dan bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	15 - <20	K175 – < K250	Umumnya digunakan untuk beton struktur tanpa tulangan seperti pada beton siklus, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10 - <15	K125 – < K175	Umumnya digunakan sebagai lantai kerja dan penimbunan kembali dengan beton

Sumber: Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-07-2005-B [8]

*Fly ash* adalah residu berbentuk halus dari hasil pembakaran batu bara kemudian ditransportasikan oleh aliran udara panas [9]. *Fly ash* sebagai pengganti semen karena memiliki

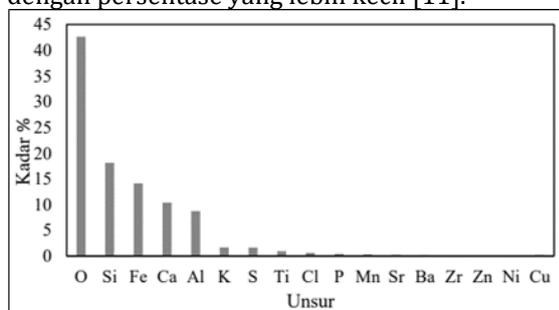
kemiripan sifat fisik dan kimiawi. Secara fisik, material *fly ash* memiliki tingkat kehalusan butir seperti semen dan menurut ACI Committee 226, butiran yang dimiliki *fly ash* cukup halus yaitu lolos ayakan No. 325 sebanyak 5-27% dengan *specific gravity* 2,15-2,6 dan memiliki warna abu kehitaman. *Fly ash* dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan banyaknya silika, kalsium, aluminium, dan kadar besi dari *fly ash* [9]

**Tabel 3 Persyaratan Kimia dan Pembagian Kelas Fly Ash**

Uraian	Kelas		
	N	F	C
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , min (%)	70	70	50
SO <sub>3</sub> , maks (%)	4	5	5
Kadar air, maks (%)	3	3	3
Hilang pijar, maks (%)	10	6A	6

Sumber: SNI 2460-2014

*Fly ash* mengandung silika dan alumina dengan persentase hingga 80% sehingga menjadikan *fly ash* sebagai alternatif pengganti jumlah semen sebagai material penyusun beton [10]. Sedangkan pengujian kimia *fly ash* PLTU Rembang dengan pengujian XRF menghasilkan unsur tertinggi hingga terendah pada sampel yaitu silika (Si) sebesar 18,11%, besi (Fe) sebesar 14,10%, carbon (C) sebesar 10,37%, aluminium sebesar 8,69% dan beberapa senyawa lainnya dengan persentase yang lebih kecil [11].



**Gambar 1 Pengujian XRF Abu Tebang PLTU Rembang**

Sumber: Iron Extraction from Coal Fly Ash Using HCl Solution:2021

*Bottom ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki ukuran partikel lebih besar dari *fly ash* serta memiliki luas permukaan dan porositas tinggi. Kandungan Si dan Al yang cukup besar menjadikan *bottom ash* memiliki kemiripan sifat dengan zeolite atau adsorben [12]. *Bottom ash* memiliki penampilan fisik yang mirip dengan pasir sungai alami dan memiliki gradasi yang bervariasi menyerupai pasir halus dan kasar. Kemiripan fisik yang mirip dengan pasir menjadikan peneliti menjadi tertarik untuk menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti dalam produksi beton [13].

**Tabel 4 Sifat Fisik Bottom Ash**

Sifat Fisik	Keadaan Basah	Keadaan Kering
Bentuk	Angular/ bersiku	Berbutir granular kecil
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tekstur	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus dan sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
<i>Specific gravity</i>	2,3-2,9	2,1-2,7
<i>Dry unit weight</i>	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	0,3 –1,1%	0,8 –2,0%

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag- Material Description, 2000

**Tabel 5 Hasil Pengujian Kandungan Kimia Bottom Ash**

No.	Parameter	Persentase (% wt)
1.	SiO <sub>2</sub>	26,98
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,40
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,62
4.	CaO	0,63
5.	MgO	0,56
6.	Na <sub>2</sub> O	0,15
7.	SO <sub>3</sub>	0,59

Sumber: Indriani Santoso et al., 2003

## METODE

Penelitian dilakukan dengan penelitian eksperimental. Penelitian yang dilakukan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan oleh peneliti [15]. Penelitian dilakukan dengan persiapan melalui studi literatur, persiapan material, pengujian material, pembuatan sampel, dan pengujian sampel. Material yang diuji harus memenuhi standar yang dipakai.

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampurkan semen PPC, pasir, kerikil, air, dan bahan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* kemudian perawatan beton berupa curing selama 28 hari dan 60 hari untuk kuat tekan dan daya serap pada umur 28 hari.

Semen PPC yang dipakai menggunakan semen dengan merk edar Bima. Agregat kasar berupa batu pecah ukuran 1-2 cm<sup>3</sup>. Agregat halus berupa pasir yang digunakan berasal dari quarry Muntilan, Kabupaten Magelang, bahan substitusi berupa *fly ash* dan *bottom ash* berasal dari hasil pembakaran batu bara PLTU Rembang Kecamatan Sluke. Air yang digunakan bersih, terbebas dari kandungan kimia, dan lumpur yang berasal dari air yang berada di Laboratorium

Struktur dan bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Benda uji berupa kubus 15 x 15 x 15 cm dengan beton normal sebagai kontrol dan dibuat 4 variasi substitusi *fly ash* dan *bottom ash*. Setiap campuran dibuat sebanyak 10 sampel dengan 4 sampel untuk uji tekan 28 hari, 3 sampel untuk uji tekan 60 hari, dan 3 sampel untuk uji daya serap. Total sampel untuk penelitian ini sebanyak 50 sampel.

Kuat tekan rencana sampel K-225 atau beton mampu menahan beban maksimum sebesar 225 kg/cm<sup>3</sup> dengan metode pengujian yang mengacu pada SNI 1974-2011[16].

**Tabel 6 Jumlah dan Komposisi Sampel**

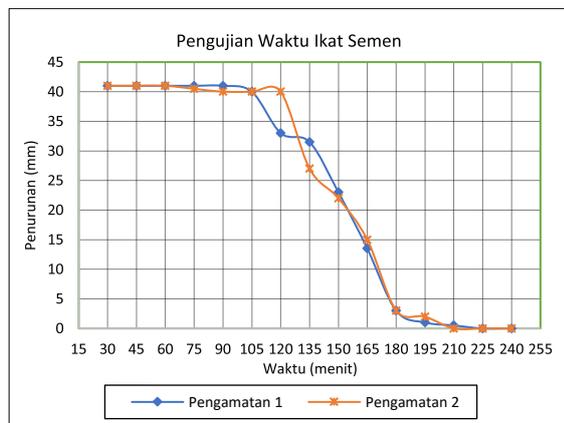
Kode Sampel	FA (%)	BA (%)	Jumlah Sampel	
			Kuat Tekan	Daya Serap
Normal	0	0	7	3
V1	20	0	7	3
V2	20	5	7	3
V3	20	10	7	3
V4	20	15	7	3

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pemeriksaan Material

#### Semen

Hasil pengujian semen PPC memenuhi spesifikasi waktu ikat yang berlaku. Berat jenis semen yang diuji tidak sama dengan persyaratan pada SNI 15-2531-1991 [17] tetapi semen tetap digunakan karena berat jenis tidak mempengaruhi kualitas semen.



**Gambar 2 Grafik Uji Waktu Ikat Semen PPC**

**Tabel 7 Rekap Pengujian Semen PPC**

Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan	Ket
Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	3,019	3,15	SNI 2531:2015	OK

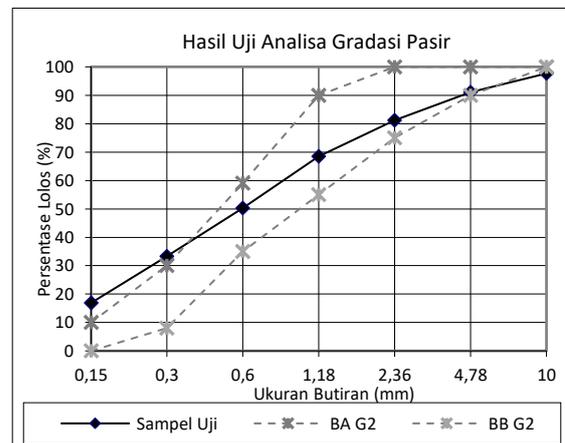
Waktu Ikat (menit)	210	45– 420	SNI 15-0302-2004	OK
--------------------	-----	---------	------------------	----

#### Pasir

Agregat halus yang digunakan dari *quary* Muntilan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian gradasi, berat jenis, berat isi, dan kadar lumpur. Hasil pengujian menunjukkan pasir yang digunakan memenuhi spesifikasi namun tidak pada kadar lumpur. Pasir sebaiknya dilakukan perawatan berupa pencucian atau disiram dengan air untuk mengurangi kadar lumpur dan agar agregat yang digunakan dapat saling mengikat dengan baik. Pasir yang diuji tetap digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui kondisi apa adanya di lapangan.

**Tabel 8 Hasil Uji Gradasi Pasir**

Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)
9,5	46,4	2,32	2,32
4,78	131,6	6,58	8,90
2,36	199,1	9,95	18,85
1,18	253,9	12,70	31,55
0,6	362,5	18,12	49,67
0,3	340,5	17,02	66,70
0,15	328,0	16,40	83,10
Pan	338,1	16,90	100,00
Jumlah	2000,0	83,10	261,09
Modulus Halus Butir (MHB) :			2,61



**Gambar 3 Grafik Analisa Gradasi Pasir**

**Tabel 9 Rekap Pengujian Pasir Muntilan**

Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan
Gradasi (OK)	Zona II	Zona I - IV	SNI 03-2834-2000
MHB (OK)	2,61	1,50 – 3,80	SK SNI S-04-1989-F
Berat Jenis (OK)	2,66 – 2,70	2,50 – 2,70	SNI 1970-2008

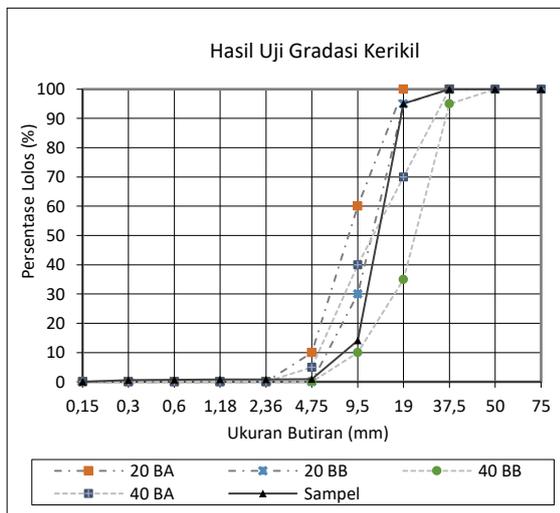
Berat Isi (OK)	1,81	1,4 – 1,9	SNI-1971-2011
Penyerapan (OK)	1,78%	<3%	SNI 1970-2008
Kadar Lumpur (NO)	6,941%	<3%	ASTM C33-03 2003

### Kerikil

Agregat kasar penyusun beton yang digunakan berukuran 1-2 cm, bersudut tajam, dan berwarna hitam gelap. Pemeriksaan yang digunakan pada kerikil yaitu pengujian gradasi, berat jenis, berat isi, dan kadar lumpur. Kerikil yang diuji dan yang akan dipakai sudah sesuai dengan spesifikasi yang dipakai menurut SNI, PBI, dan PUBI. Rekap pengujian dilampirkan pada **Tabel 11**.

**Tabel 10 Ukuran Butir Maksimal Kerikil Tertahan**

Saringan	Ukuran Butir Maksimal			Hasil
	10	20	40	
0,15	0	0	0	0,46
0,3	0	0	0	0,59
0,6	0	0	0	0,71
1,18	0	0	0	0,75
2,36	0	0	0	0,78
4,75	0 – 10	0 – 10	0 – 5	0,88
9,5	50 – 85	30 – 60	10 – 40	14,13
19	100	95 – 100	35 – 70	95,03
37,5	-	100	95 – 100	100
50	-	-	100	100
75	-	-	100	100



**Gambar 4 Grafik Analisa Gradasi Kerikil**

**Tabel 11 Rekap Hasil Uji Kerikil**

Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan
Gradasi (OK)	Zona II	Zona I, II, III	SNI 03-2834-2000
MHB (OK)	6,90	6,00 – 7,10	SK SNI S 04-1989-F
Berat Jenis (OK)	2,64 – 2,70	2,50 – 2,80	SNI 1969-1990

Penyerapan (OK)	2,08%	<3%	SNI 1969-1990
Kadar Lumpur (OK)	0,104%	<1%	PBI 1971
Keausan (OK)	18,096%	<50%	PUBI 1981

### Fly Ash

Berasal dari PLTU Rembang dan digunakan sebagai substitusi semen. Pengujian dilakukan sebagai perbandingan dengan semen yaitu kandungan kimia dengan XRF, berat jenis, berat isi, dan waktu ikat.

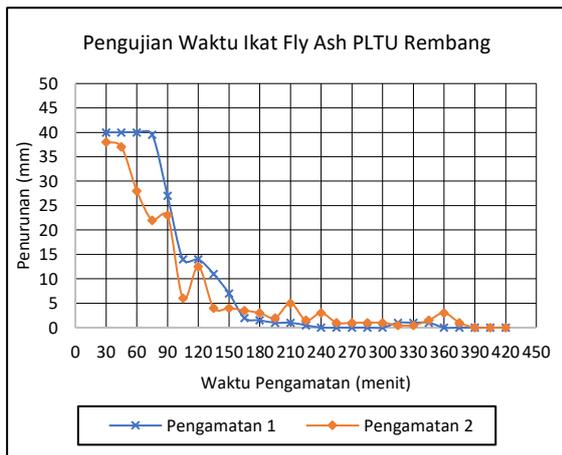
**Tabel 12 Hasil Uji XRF Fly Ash PLTU Rembang**

No.	Komponen	Hasil	Satuan
1	Total	792	mg/cm <sup>2</sup>
2	SiO <sub>2</sub>	25	mass%
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,3	mass%
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	mass%
5	CaO	9,77	mass%
6	SO <sub>3</sub>	1,83	mass%
7	K <sub>2</sub> O	1,36	mass%
8	MgO	0,88	mass%
9	TiO <sub>2</sub>	0,88	mass%
10	MnO	0,271	mass%
11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,269	mass%
12	SrO	0,128	mass%
13	ZnO	0,0432	mass%
14	ZrO <sub>2</sub>	0,0271	mass%
15	CuO	0,0225	mass%
16	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0142	mass%
17	Balance	29,5	mass%
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		55	mass%

**Tabel 13 Hasil Uji Waktu Ikat Fly Ash PLTU Rembang**

No.	Waktu Penurunan (Menit)	Sampel 1 (mm)	Sampel 2 (mm)
1	30	40	38
2	45	40	37
3	60	40	28
4	75	39,5	22
5	90	27	23
6	105	14	6
7	120	14	12,5
8	135	11	4
9	150	7	4
10	165	2	3,5
11	180	1,5	3
12	195	1	2
13	210	1	5
14	225	0,5	1,5
15	240	0	3
16	255	0	1
17	270	0	1
18	285	0	1
19	300	0	1

No.	Waktu Penurunan (Menit)	Sampel 1 (mm)	Sampel 2 (mm)
20	315	1	0,5
21	330	1	0,5
22	345	1	1,5
23	360	0	3
24	375	0	1
25	390	0	0
26	405	0	0
27	420	0	0



**Gambar 5 Grafik Waktu Ikat Fly Ash PLTU Rembang**

**Tabel 14 Rekap Pengujian Fly Ash**

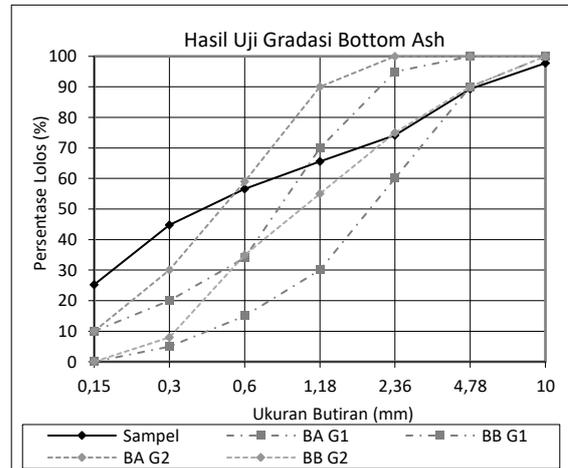
Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan
Kelas (OK)	Kelas C	Kelas N, C, F	SNI 2460:2014
Berat Jenis (OK)	2,78	3,15	SNI 2531:2015
Waktu Ikat (OK)	420	45– 420	SNI 15-0302-2004

### Bottom Ash

Akan digunakan sebagai substitusi pasir karena sifat fisiknya sehingga, spesifikasi *bottom ash* yang dipakai ditargetkan harus memenuhi spesifikasi pasir menurut SNI pasir. *Bottom ash* yang dipakai dan diuji memenuhi spesifikasi, berat jenis, berat isi, penyerapan, dan kadar lumpur pasir. Tetapi untuk gradasi, *bottom ash* yang dipakai tidak memasuki zona manapun menurut SNI 03-2834-2000, melainkan berada diantara gradasi zona I dan zona II. *Bottom ash* lolos saringan 0,15, 0,30, 0,60 jumlahnya lebih besar dari pasir sedangkan pada saringan 1,18, 2,23, 4,75, dan 9,50 jumlahnya lebih kecil dari pasir. Sehingga *bottom ash* yang digunakan memiliki butiran kasar dan halus lebih besar dari pasir. Untuk penelitian ini *bottom ash* diharapkan dapat mengisi ruang kosong pada pasir untuk membuat beton yang padat dan kedap air. *Bottom ash* yang diuji memenuhi spesifikasi SK SNI S-04-1989-F dengan modulus kehalusan butir sebesar 2,47.

**Tabel 15 Batasan Lolos Saringan Bottom Ash**

Saringan	Gradasi 1	Gradasi 2	Hasil
0,15	0 – 10	0 – 10	25,3
0,3	5 – 20	8 – 30	44,7
0,6	15 – 34	35 – 59	56,6
1,18	30 -70	55 -90	65,5
2,36	60 – 95	75 – 100	74,2
4,75	90 – 100	90 – 100	89,3
9,5	100	100	97,8



**Gambar 6 Grafik Hasil Uji Gradasi Bottom Ash PLTU Rembang**

**Tabel 16 Rekap Pengujian Bottom Ash PLTU Rembang**

Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan
Gradasi (NOT OK)	-	Zona I - IV	SNI 03-2834-2000
MHB (OK)	2,47	2,3 – 3,1	ASTM C33-86
Berat Jenis (OK)	2,24	2,1-2,7	Coal bottom ash description
Berat Isi (OK)	1,08 – 1,18	1,4 – 1,9 0,8-2,0	SNI-1971-2011 Coal bottom ash description
Penyerapan (OK)	2,40	<3%	SNI 1970-2008
Kadar Lumpur (OK)	1,20%	<3%	ASTM C33-03 2003

### Mix Desain

Pembuatan *mix desain* diawali dengan penentuan mutu rencana. Nilai FAS (faktor air semen) ditentukan berdasarkan grafik pada SNI 03-2843-2000 yaitu sebesar 0,56, kebutuhan air 195 liter/m<sup>3</sup>, dan kebutuhan semen minimum 275 kg/m<sup>3</sup> untuk beton mutu rencana K-225 dengan perbandingan berat semen : pasir : kerikil sebesar 1 : 1,8 : 3,4.

Sampel beton yang dibuat yaitu beton normal dan 4 variasi beton substitusi *bottom ash* dan *fly ash* dengan persentase *bottom ash* 20% dan *fly ash* 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pada penjelasan selanjutnya abu terbang/*fly ash* akan

disimbolkan dengan (FA) dan abu dasar/ *bottom ash* sebagai (BA). *Mix desain* beton untuk kebutuhan 10 sampel dengan penambahan 15% per variasi beton dilampirkan pada **Tabel 17**.

**Tabel 17 Mix Desain Beton 10 Sampel**

Var.	Subs. (%)		Air (lt)	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	BA (kg)	Semen (kg)	FA (kg)
	BA	FA						
N	0	0	7,57	45,58	24,54	0	13,52	0
1	20	0	7,57	45,58	19,64	4,13	13,53	0
2	20	5	7,57	45,58	19,64	4,13	12,84	0,59
3	20	10	7,57	45,58	19,64	4,13	22,09	1,18
4	20	20	7,57	45,58	19,64	4,13	11,49	1,77

### Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil UNNES.



**Gambar 7 Alat Uji Kuat Tekan**

**Tabel 18 Kuat Tekan Beton FABA 28 Hari**

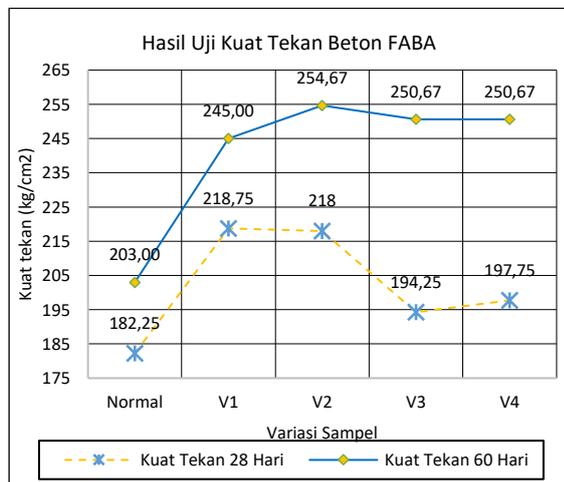
Variasi	Sampel	Berat beton (kg)	Rata-rata (kg)	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Kenaikan (%)
Normal	1	8,02	7,85	192	182,25	0,00%
	2	7,65		182		
	3	7,89		180		
	4	7,83		175		
Variasi 1 0% FA 20%BA	1	8,21	8,14	227	218,75	20,03%
	2	8,13		224		
	3	7,92		213		
	4	8,28		211		
Variasi 2 5% FA 20%BA	1	8,11	8,13	235	218,00	19,62%
	2	8,08		229		
	3	8,18		209		
	4	8,13		199		
Variasi 3 10%FA 20%BA	1	7,97	8,05	202	194,25	6,58%
	2	8,08		194		
	3	8,12		193		
	4	8,04		188		
Variasi 4 15%FA 20%BA	1	8,28	8,09	209	197,75	8,50%
	2	7,81		207		
	3	8,14		191		
	4	8,11		184		

**Tabel 19 Kuat Tekan Beton FABA 60 Hari**

Variasi	Sampel ke-	Berat beton (kg)	Rata-rata (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Kenaikan (%)
Normal	1	8,06	8,14	213	203,00	0,00%
	2	8,16		199		
	3	8,21		197		
Variasi 1 0% FA 20%BA	1	7,95	8,09	223	245,00	20,69%
	2	8,12		255		
	3	8,19		257		
Variasi 2 5%FA 20%BA	1	8,21	8,06	249	254,67	25,45%
	2	7,87		232		
	3	8,09		283		
Variasi 3 10%FA 20%BA	1	7,96	8,10	248	250,67	23,48%
	2	8,19		247		
	3	8,16		257		
Variasi 4 15%FA 20%BA	1	8,16	8,10	251	250,67	23,48%
	2	8,25		227		
	3	7,88		274		

**Tabel 20 Perbandingan Kuat Tekan Beton FABA 28 Hari dengan 60 Hari**

Sampel ke-	Normal	Variasi 1 0% FA 20% BA	Variasi 2 5% FA 20% BA	Variasi 3 10% FA 20% BA	Variasi 4 15% FA 20% BA
28 Hari	182,25 kg/cm <sup>2</sup>	218,75 kg/cm <sup>2</sup>	218 kg/cm <sup>2</sup>	194,25 kg/cm <sup>2</sup>	197,75 kg/cm <sup>2</sup>
60 Hari	203 kg/cm <sup>2</sup>	245 kg/cm <sup>2</sup>	254,67 kg/cm <sup>2</sup>	250,67 kg/cm <sup>2</sup>	250,67 kg/cm <sup>2</sup>
Kenaikan	11,39%	12,00%	16,82%	29,04%	26,76%



**Gambar 8 Grafik Uji Kuat Tekan**

Hasil uji 28 hari kuat tekan beton, beton normal memiliki kuat tekan 182,25 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan mengganti 20% pasir dengan *bottom ash*, kuat tekan beton normal meningkat menjadi 19,73%, atau 216 kg/cm<sup>2</sup>. Ketika 20% *bottom ash* ditambahkan *fly ash* 5%, kuat tekan beton mulai menurun namun tetap lebih tinggi dari beton normal. Beton pada variasi 2, 3, dan 4 memiliki kuat tekan sebesar 212,8 kg/cm<sup>2</sup>, 192,6 kg/cm<sup>2</sup>,

dan 194,6 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk kenaikan variasi 2, variasi 3, dan variasi 4 dari beton normal yaitu 17,96%, 6,76%, dan 7,87%. Pada kuat tekan beton 28 hari, penggunaan *bottom ash* 20% sebagai substitusi pasir mampu menaikkan kuat tekan. Sedangkan dengan penambahan *fly ash* 5%, kuat tekan mulai menurun.

Sedangkan ketika beton mencapai umur 60 hari, kuat tekan beton normal menjadi 203 kg/cm<sup>2</sup>. Penambahan *bottom ash* 20% untuk substitusi pasir mampu menaikkan kuat tekan beton normal 60 hari mencapai 20,69% yaitu 245 kg/cm<sup>2</sup> dan *bottom ash* 20% yang ditambahkan *fly ash* sebanyak 5%, 10%, dan 15% kuat tekan beton mengalami kenaikan menjadi 254,67 kg/cm<sup>2</sup>, 250,67 kg/cm<sup>2</sup>, dan 250,67 kg/cm<sup>2</sup> untuk beton variasi 2, variasi 3, dan variasi 4.

Penambahan *fly ash* pada umur 60 hari mengakibatkan kuat tekan beton lebih tinggi dari beton normal maupun dengan beton dengan campuran *bottom ash*. Berdasarkan **Gambar 8**, kuat tekan tertinggi berada pada beton variasi 2 dengan substitusi *bottom ash* 20% yang ditambahkan dengan *fly ash* 5%.

Beton dengan penambahan FABA efektif menaikkan kekuatan tekan beton. Beton FABA pada umur 60 hari pada variasi 2 dengan *bottom ash* sebagai pengganti pasir 20% dan *fly ash* sebagai pengganti semen PPC sebanyak 5% memiliki kuat tekan 254,67 kg/cm<sup>2</sup>. Penggunaan *bottom ash* yang ditambahkan *fly ash* pada umur 28 hari akan menurunkan kuat tekan, sedangkan sebaliknya pada umur beton 60 hari *bottom ash* yang ditambahkan dengan *fly ash* mampu menaikkan kuat tekan. Sehingga dari kedua pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 60 hari, kuat tekan beton FABA memenuhi mutu rencana K-225 pada umur 60 hari.

Dari penelitian hasil kuat tekan, penambahan *fly ash* pada umur 60 hari cenderung mengalami kenaikan lebih besar daripada beton yang berumur 28 hari. Menurut Tjokrodinuljo[19], semen yang ditambah *fly ash* pada pembuatan beton akan memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal tetapi memiliki laju kenaikan kekuatan beton yang cenderung lebih lambat daripada beton tanpa tambahan *fly ash* atau murni menggunakan semen.

Penelitian ini juga sesuai dengan yang disebutkan pada Salain [20], beton dengan semen PPC akan terus bertambah kuat tekannya setelah umur 28 hari karena kecenderungan semen PPC berkaitan dengan lambatnya reaksi pozzolanik yang diperlukan kapur bebas untuk bereaksinya pozzolan hanya bersumber dari hasil reaksi mineral C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dengan air. Dengan berlalunya waktu hidrasi, kapur bebas yang dilepas pada proses hidrasi mineral C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pozzolan untuk menghasilkan senyawa perekat C-S-H tambahan. Hal ini terlihat dari terjadinya perkembangan kuat tekan yang terus berlanjut disaat perkembangan kuat tekan beton dengan perekat lainnya terlihat melambat atau mengalami stabilisasi. Penambahan *fly ash* pada beton menyebabkan CaO dan SiO<sub>2</sub> yang bertambah pula pada campuran beton yang merupakan komposisi yang menghasilkan senyawa C-S-H. Sehingga penelitian yang dilakukan sesuai jika waktu ikat beton mulai

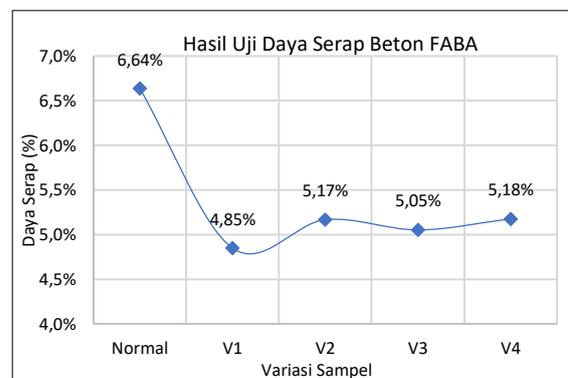
meningkat setelah umur 28 hari karena senyawa C-S-H yang menghasilkan perekat tambahan akan dimanfaatkan secara optimal saat berlalunya waktu hidrasi.

Substitusi *fly ash* sebanyak 5% cenderung menaikkan kuat tekan jauh diatas beton normal. Hal ini disebabkan penambahan *fly ash* akan menyebabkan penambahan jumlah silika pada campuran beton. Sehingga semakin banyak silika maka semakin banyak yang terikat dengan kapur bebas dan kuat tekan akan meningkat.

Substitusi *fly ash* sebanyak 10% dan 15%, grafik kuat tekan cenderung lebih turun namun tetap berada diatas beton normal. Semakin banyak *fly ash* yang digunakan maka semen yang digunakan semakin sedikit, sehingga jumlah kapur bebas yang digunakan sebagai pelekatan akan semakin berkurang dan kandungan silika yang tidak berikatan dan bereaksi akan mengendap dan tidak akan menaikkan kuat tekan.

### Pengujian Daya Serap

Pengujian daya serap beton dilakukan dengan merendam beton selama 28 hari sebelum diuji kemudian dikeringkan dengan lap penyerap air, hingga menghasilkan beton kondisi kering permukaan atau SSD. Beton kemudian ditimbang dan dihilangkan seluruh kadar airnya dengan oven selama 24 jam. Daya serap dinyatakan dalam persen (%).



Gambar 9 Grafik Hasil Pengujian Daya Serap

Tabel 21 Hasil Pengujian Daya Serap Beton FABA

Variasi	Sampel ke-	Berat SSD setelah direndam (gr)	Berat kering (gr)	Daya Serap (%)	Rata-rata (%)
Normal	1	8,14	7,62	6,78	6,64
	2	8,21	7,69	6,75	
	3	8,10	7,61	6,38	
Variasi 1 0% FA 20%BA	1	8,23	7,88	4,44	4,85
	2	7,88	7,51	4,87	
	3	8,33	7,91	5,23	
Variasi 2 5% FA	1	7,94	7,57	4,81	5,17
	2	7,89	7,48	5,50	

20%BA	3	8,00	7,61	5,19	
Variasi 3	1	8,17	7,78	5,08	
10%FA	2	8,07	7,69	5,04	5,05
20%BA	3	7,94	7,56	5,03	
Variasi 4	1	8,21	7,82	5,05	
15%FA	2	7,95	7,58	4,88	5,18
20%BA	3	8,10	7,67	5,60	

Substitusi pasir dengan *bottom ash* menurunkan serapan air pada beton karena *bottom ash* yang digunakan berada pada antara zona I dan II sedangkan pasir yang digunakan berada di zona II. *Bottom ash* memiliki butiran berukuran kecil lebih banyak yang tertahan saringan No 0,15, 0,30, dan 0,60 daripada pasir yang digunakan dan sebaliknya pasir lebih banyak tertahan di saringan yang lebih besar yaitu pada saringan No 1,18, 2,36, 4,75, dan 9,5. Penambahan *bottom ash* yang menurunkan daya serap beton disebabkan ukuran butiran dan kadar lumpur yang lebih kecil dari pasir sehingga dapat saling mengisi ruang kosong pada pasir sehingga menghasilkan beton yang padat, kuat, dan tahan terhadap air.

Adanya penambahan *fly ash* yang mengandung kapur menjadikan beton berpori dan mudah ditembus air. Penambahan *fly ash* dan *bottom ash* pada beton FABA tidak efisien jika beton yang diinginkan memiliki daya serap tinggi. Namun, pada kenyataannya beton yang baik memiliki daya serap rendah atau kedap air agar bangunan yang dibuat tidak mudah ditembus air melalui pori-pori beton sehingga tidak menurunkan kualitas dan kekuatan tulangan karena adanya karat pada bangunan karena air yang merembes pada beton.

### Rekomendasi Penggunaan

Dari penelitian, beton memiliki nilai kuat tekan berkisar antara 245 kg/cm<sup>2</sup> hingga 250,67 kg/cm<sup>2</sup>. Menurut peraturan beton bertulang Indonesia PBI 1971, beton yang diteliti karena memiliki kuat tekan 245 kg/cm<sup>2</sup> hingga 250,67 kg/cm<sup>2</sup> atau berada pada batas 225-300 kg/cm<sup>2</sup> maka beton ini termasuk beton dengan kelas II. Sedangkan berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-07-2005-B oleh Departemen Pekerjaan Umum, beton ini termasuk ke dalam beton dengan mutu rendah yang umumnya digunakan untuk beton struktur tanpa tulangan seperti pada beton siklop, trotoar, pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu, dan untuk rumah 2 lantai.

### KESIMPULAN

Kuat tekan beton memenuhi mutu K-225 pada umur 60 hari pada variasi 1, variasi 2, variasi 3, dan variasi 4 dengan kuat tekan 245 kg/cm<sup>2</sup>,

254,67 kg/cm<sup>2</sup>, 250,67 kg/cm<sup>2</sup>, dan 250,67 kg/cm<sup>2</sup>. Penambahan *bottom ash* dan *fly ash* cenderung meningkatkan kuat tekan pada umur 60 hari.

Substitusi *fly ash* dan *bottom ash* dalam pembuatan beton menurunkan daya serap dari kemampuan beton normal yang berarti baik digunakan untuk bangunan struktur. Penggantian pasir dengan *bottom ash* 20% mampu menurunkan daya serap hingga 26,95% dari beton normal yang daya serap awal 6,64% menjadi 4,85%. Ketika *bottom ash* ditambahkan *fly ash* 5% daya serap mulai naik menjadi 5,17% namun tetap dibawah beton normal. Daya serap pada menggunakan *bottom ash* 20% dengan *fly ash* 10% dan 15% secara berurutan yaitu 5,05%, dan 5,18%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu menyelesaikan pembuatan benda uji dan penyusunan artikel penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. . S. Murniasih, "Distribusi Radionuklida Alam Pada Sampel Tanah, Air Dan Tanaman Di Sekitar Pltu Rembang," pp. 1-9, 2019.
- [2] G. N. Qolbi, B. Gunawan, and Y. S. Sugandi, "Alternatif Kebijakan Untuk Fly Ash and Bottom Ash (Studi Kasus: Pp No. 22 Tahun 2021)," *Sci. J. Reflect. Econ. Accounting, Manag. Bus.*, vol. 6, no. 3, pp. 502-512, 2023
- [3] K. Lincolen, "Pengaruh Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Beragregat Halus Bottom Ash," *Fak. Tek. Univ. Lampung*, p. 78, 2017.
- [4] A. Susilowati and T. Oktaviana, "Pengaruh Variasi Bottom Ash terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik pada Mortar Semen," vol. 07, no. 03, pp. 163-171, 2021.
- [5] E. K. Pangestuti, S. Handayani, M. Purnomo, D. C. Silitonga, and M. H.

- Fathoni, "The Use of Fly Ash as Additive Material to High Strength Concrete," vol. 20, no. 2, pp. 65-70, 2018.
- [6] SNI 03-2834, "SNI 03-2834-2000: Tata cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," *Badan Standar Nas. Indonesia.*, pp. 1-34, 2000.
- [7] PBI 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1971.
- [8] Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Pd T-07-2005-B Pelaksanaan pekerjaan beton untuk jalan dan Jembatan," *Badan Peneliti. dan Pengembangan PUPR*, pp. 1-21, 2005.
- [9] SNI 2460, "SNI - 2460-2014 - Spesifikasi Abu Terbang Batu Bara Dan Pozolan," *Badan Standardisasi Nasional*, 2014.
- [10] R. R. ro Irianto, Disik S.S, Suparjo, *Beton "Jenis dan Kegunaannya,"* 1st Editio. Makasar, 2023.
- [11] S. B. Setyo, T. Sulistyaningsih, A. T. Prasetya, and E. Kusumastuti, "Iron Extraction from Coal Fly Ash Using HCl Solution," *Indonesia J. Chem. Sci.*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [12] Fatimah, B. Pratama Tarigan, and A. Ramadhan, "Aktivasi Bottom Ash dari Pembakaran Batubara untuk Menurunkan Kandungan Senyawa Fosfat dalam Air," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 8, no. 2, pp. 72-78, 2019.
- [13] R. S. Malkit Singh, "Properties of concrete containing high volumes of coal bottom ash as fine aggregate," *J. Clean. Prod.*, vol. Volume 91, no. ISSN 0959-6526, p. Pages 269-278, 2015.
- [14] Indriani Santoso, Patrick Patrick, Andarias Andarias, and Salil Kumar Roy, "Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 5, p. pp.75-81, 2003.
- [15] Soegiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. 2011.
- [16] SNI 1974-2011, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Badan Standardisasi Nasional*, 2011.
- [17] SNI 15-2531-1991, "Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland," *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 2531, 1991.
- [18] SNI 03-2843-2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Badan Standardisasi Nasional*, 2000.
- [19] K. Tjokrodimuljo, *Teknologi Beton*, 2nd ed. Yogyakarta: KMTS FT UGM, 2007.
- [20] I. M. Salain, "Pengaruh jenis semen dan jenis agregat kasar terhadap kuat tekan beton," *Teknologi dan Kejururuan*, vol. 32, no. 1, pp. 63-71, 2009.