



PEMANFAATAN LIMBAH FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI CAMPURAN BETON

Devie Hestianita

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara

e-mail: deviehestianita123@gmail.com

ABSTRACT : PLTU waste produces a large enough amount that requires management so as not to cause environmental problems. In the field of construction, fly ash and bottom ash have the potential to be developed, one of which is their use as a base material. Potential if developed, one of which is its use as a basic ingredient in the concrete making mixture. This research aims to determine the percentage of increase or decrease in compressive strength of concrete produced with the addition of fly ash and bottom ash with a variation of 0%. Fly ash and bottom ash have variation of 0%, 7.5%, 15%, and 22.5%, with the age of 14 days, 21 days, and 28 days. 14 days, 21 days, and 28 days for each combination of mixtures with a plan quality of K-250 and know the comparison of compressive strength of concrete without mixtures and using a mixture of fly ash and bottom ash. Based on the research showed that the substitution of fly ash as cement and bottom ash as fine aggregate with a percentage of 0%, 7.5%, 15%, and 22.5%, the compressive strength of days-old concrete was 236 kg/cm², 193 kg/cm², 175 kg/cm², 148 kg/cm², 21 days-old concrete compressive strength values of 168 kg/cm², 257 kg/cm², 210 kg/cm², 185 kg/cm² and the compressive strength of concrete aged 28 days by 324 kg/cm², 281 kg/cm², 237 kg/cm², 212 kg/cm². The existence of the substitution of fly ash and bottom ash to normal concrete by 7.5%, 15%, and 22.5% decreased in strength as percentage of fly ash substitution to cement and bottom ash to normal concrete increased. Fly ash is to cement, and bottom ash is to sand. The greater the substitution of fly ash and bottom ash substitution to normal concrete, the more the strength of concrete decreased due to the reduced composition of fine aggregate gradation and cement to normal concrete.

Keywords : Concrete, Compressive Strength, Fly Ash, Bottom Ash

ABSTRAK: Limbah PLTU ini menghasilkan jumlah yang cukup besar sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan. Dalam bidang konstruksi abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) merupakan suatu hal yang sangat potensial bila dikembangkan, salah satu penggunaannya sebagai bahan dasar campuran pembuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase peningkatan atau penurunan kuat tekan beton yang dihasilkan dengan tambahan *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi sebesar 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% dengan umur 14 hari, 21 hari serta 28 hari untuk setiap kombinasi campuran dengan mutu rencana K-250 dan mengetahui perbandingan kuat tekan beton tanpa campuran dan memakai campuran *fly ash* dan *bottom ash*. Berdasarkan dari hasil penelitian dengan substitusi *fly ash* sebagai semen dan *bottom ash* sebagai agregat halus dengan persentase 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5%, diperoleh nilai kuat tekan beton umur 14 hari sebesar 236 kg/cm², 193 kg/cm², 175 kg/cm², 148 kg/cm², nilai kuat tekan beton umur 21 hari sebesar 168 kg/cm², 257 kg/cm², 210 kg/cm², 185 kg/cm² dan nilai kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 324 kg/cm², 281 kg/cm², 237 kg/cm², 212 kg/cm². Adanya substitusi *fly ash* dan *bottom ash* terhadap beton normal sebesar 7,5%, 15%, dan 22,5% mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *fly ash* terhadap semen dan *bottom ash* terhadap pasir. Semakin besar substitusi *fly ash* dan *bottom ash* terhadap beton normal, semakin menurun kekuatan beton disebabkan karena berkurangnya komposisi gradasi agregat halus dan semen terhadap beton normal.

Kata Kunci : Beton, Kuat Tekan, Fly Ash, Bottom Ash

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, perkembangan selalu mengalami peningkatan seperti dalam bidang konstruksi yang tidak lepas dari teknologi bahan yang divariasikan seperti menggunakan limbah hasil dari perusahaan industri. Dengan seiring waktu di bidang konstruksi, beton masih banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi seperti bangunan gedung, pembangunan infrastruktur dan bangunan lainnya.

Penggunaan batu bara dalam sektor pembangkit listrik di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat setiap tahun. Penggunaan batu bara untuk pembangkit listrik akan meningkat kira-kira mengalami pertumbuhan dengan rata-rata 7,1% per tahun selama kurun waktu 2013-2050 (Anindhita, et.al., 2015).

Dalam bidang konstruksi abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) merupakan suatu hal yang sangat potensial bila dikembangkan, salah satu penggunaannya sebagai bahan dasar campuran pembuatan beton. Abu terbang (*fly ash*) memiliki kesamaan dengan semen dalam sifat dan ukuran. Maka dari itu, *fly ash* dapat dimanfaatkan menjadi salah satu bahan substitusi semen terhadap campuran beton. Sedangkan sifat dan ukuran abu dasar (*bottom ash*) dengan pasir memiliki kesamaan dan merupakan menjadi pilihan untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi pasir dalam campuran beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase peningkatan atau penurunan kuat tekan beton yang dihasilkan dengan tambahan *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi sebesar 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% dengan umur 14 hari, 21 hari serta 28 hari untuk setiap kombinasi campuran serta mengetahui perbandingan kuat tekan beton tanpa campuran dan memakai campuran *fly ash* dan *bottom ash*. Material yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, semen, *fly ash*, dan *bottom ash*. Benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* yaitu 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% dan dibuat 27 benda uji dengan umur perawatan 14, 21, dan 28 hari.

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis ingin meliti “Pengaruh Substitusi *Fly Ash* dan *Bottom Ash* pada Beton Terhadap Kuat Tekan Dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Batubara” yang memanfaatkan limbah PLTU Malinau yaitu *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi semen dan pasir dalam campuran beton yang tidak hanya memiliki kekuatan yang tinggi namun juga ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan. Kegiatan di laboratorium adalah proses untuk memperoleh data melalui pengujian.

2.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

2.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah :

1. Semen Tiga Roda
2. Agregat Kasar
3. Agregat Halus
4. *Fly Ash*
5. *Bottom Ash*
6. Air

2.2.2. Peralatan Penelitian

1. Cetakan Kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm
2. Mesin Molen Kapasitas 0.5 M³
3. Saringan Agregat
4. Timbangan Digital
5. Kerucut Abrams, Tongkat Pematik dan Mistar
6. Cetok
7. *Compression Testing Machine* (CTM)

2.3. Pengujian Material

Material yang digunakan dalam campuran beton merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan kuat tidaknya beton. Sehingga analisis material perlu dilakukan agar dapat menjamin kualitas beton. Analisis agregat dilakukan walaupun hanya sebagai bahan pengisi, tetapi agregat begitu berpengaruh kepada sifat-sifat beton, sehingga dalam pemilihan agregat merupakan hal yang penting dalam proses pembuatan beton. Pengujian pada penelitian ini terdiri dari:

2.3.1. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil alami yang berasal batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000), Adapun pengujian kualitas agregat kasar di lakukan dengan pengujian sebagai berikut:

- Analisa Saringan dengan modulus kehalusan untuk agregat kasar adalah 6-7,1 (SNI S-04-1989-F).
- Berat Volume Merupakan berat beton persatuan isi. Batas minimum dari nilai berat isi untuk agregat halus maupun agregat kasar adalah 0,4 – 1,9 kg/m³ (SNI 03-1973- 2008).
- Kadar Air Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam agregat. Peralatan yang akan digunakan yaitu gelas/nampan, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram serta oven.
- Kadar Lumpur Lumpur merupakan gumpalan atau lapisan yang menutup permukaan agregat dan lolos ayakan No.200 sehingga kandungan kadar lumpur pada butiran agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan akan mengurangi kekuatan dan ketahanan beton.

2.3.2. Pengujian Agregat Halus

- Analisa saringan merupakan pembagian besar kecilnya butir analisa agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan (SNI 03-1968-1990). nilai dari modulus kehalusan agregat halus adalah 1,5-3,8. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran butiran agregat dari yang besar hingga halus untuk keperluan design beton.
- Berat Volume Merupakan berat beton persatuan isi. Batas minimum nilai berat isi untuk agregat halus adalah 0,4 – 1,9 kg/m³ (SNI 03-1973-2008). Pengujian berat isi terdiri dari 2 kondisi yaitu, kondisi lepas (gembur) dan kondisi padat.
- Kadar Air digunakan untuk menentukan besarnya kadar air agregat. Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam agregat.
- Kadar Lumpur, gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan agregat dan lolos ayakan No.200 sehingga kandungan kadar lumpur pada butiran agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan akan mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Kadar lumpur agregat halus harus <5% (SNI 03-2834-2000).

2.3.3. Pengujian Semen

- Kehalusan Semen, kehalusan sangat mempengaruhi pengerasan semen dan juga kekuatannya, makin halus semen maka makin cepat dan lebih efektif terjadinya interaksi dengan air serta kuat tekannya pun makin tinggi.
- Berat Jenis Semen, berdasarkan standard ASTM C-188, berat jenis semen yang disyaratkan melalui pengujian dengan metode Le Chatelier adalah 3-3,2 gr/m³.
- Konsistensi Normal Semen untuk menentukan presentase air yang dibutuhkan semen untuk dapat melakukan proses hidrasi secara sempurna, yaitu sampai pada saat beton mengeras.

2.3.4. Pengujian Fly Ash

- Kehalusan, dilakukan pengujian kehalusan untuk mengetahui kehalusan sampel fly ash. Ukuran ϕ 1 mikron - ϕ 1 mm dengan kehalusan 70% - 80% lolos saringan no.200 (75 mikron) berdasarkan ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R 6 dan ASTM C 618.
- Berat Jenis, *specific gravity* atau berat jenis pada sifat fisik *fly ash* menurut ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Parts 1 226.3R 6 dan ASTM C 618 berkisar antara 2,2 – 2,8.

2.3.5. Pengujian Bottom Ash

- a. Gradasi merupakan pembagian besar kecilnya butir analisa agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan (SNI 03-1968-1990). Nilai dari modulus kehalusan agregat halus adalah 1,5-3,8 maka agregat tersebut dapat digunakan.
- b. Berat jenis adalah suatu besaran yang spesifik untuk jenis benda dan zat bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat *bottom ash* dalam kondisi SSD dengan volume air.

2.4. Perencanaan Campuran Semen

Dalam melaksanakan proses pembuatan beton uji baiknya membuat perencanaan campuran beton terlebih dahulu yang sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia), SNI yang digunakan adalah SNI-7656-2012.

2.5. Tahap Pembuatan Benda Uji

Setelah melakukan pengujian terhadap material yang akan dipakai selanjutnya yaitu tahap pembuatan benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 dengan membuat *mix design* yang mengacu pada (SNI-7656-2012). Benda uji akan di buat sebanyak 27 di setiap variasi persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* dan 27 untuk beton normal. Jumlah sampel pengujian direncanakan adalah 108 buah.

2.6. Slump Test

Pengujian slump ini dilakukan agar dapat diketahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton yang masih baru. Proses pengesanan slump menurut SNI 1972:2008.

2.7. Perawatan Benda Uji

1. Penutupan setelah finishing, dimana benda uji ditutup dengan bahan yang menahan kelembaban sampai benda uji dikeluarkan dari cetakan.
2. Menggunakan pemeriksaan proporsi campuran sebagai dasar penerimaan atau control kualitas dengan cara berikut :
 - a. Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16 °C sampai 27°C dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas.
 - b. Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar.
 - c. Jika benda uji tidak akan diangkut selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam ± 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.
3. Perawatan standar untuk benda uji sebagai berikut:
 - a. Dalam waktu 30 menit sesudah dilepas dari cetakan, harus disimpan dalam keadaan lembab pada suhu 23°C ± 1,7°C.
 - b. Tidak lebih dari 3 jam sebelum pengujian pada suhu antara 20°C sampai 30°C.
 - c. Benda uji tidak boleh terkena tetesan atau aliran air.
 - d. Penyimpanan benda uji dalam keadaan basah, yaitu dengan perendaman dalam air atau dengan ditutupi kain basah

2.8. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan akan dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 1974-2011. Sebelum diuji kuat tekan beton benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk dapat mengetahui berat jenis betonnya. Adapun rumus untuk menghitung kuat tekan beton sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan beton } f_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

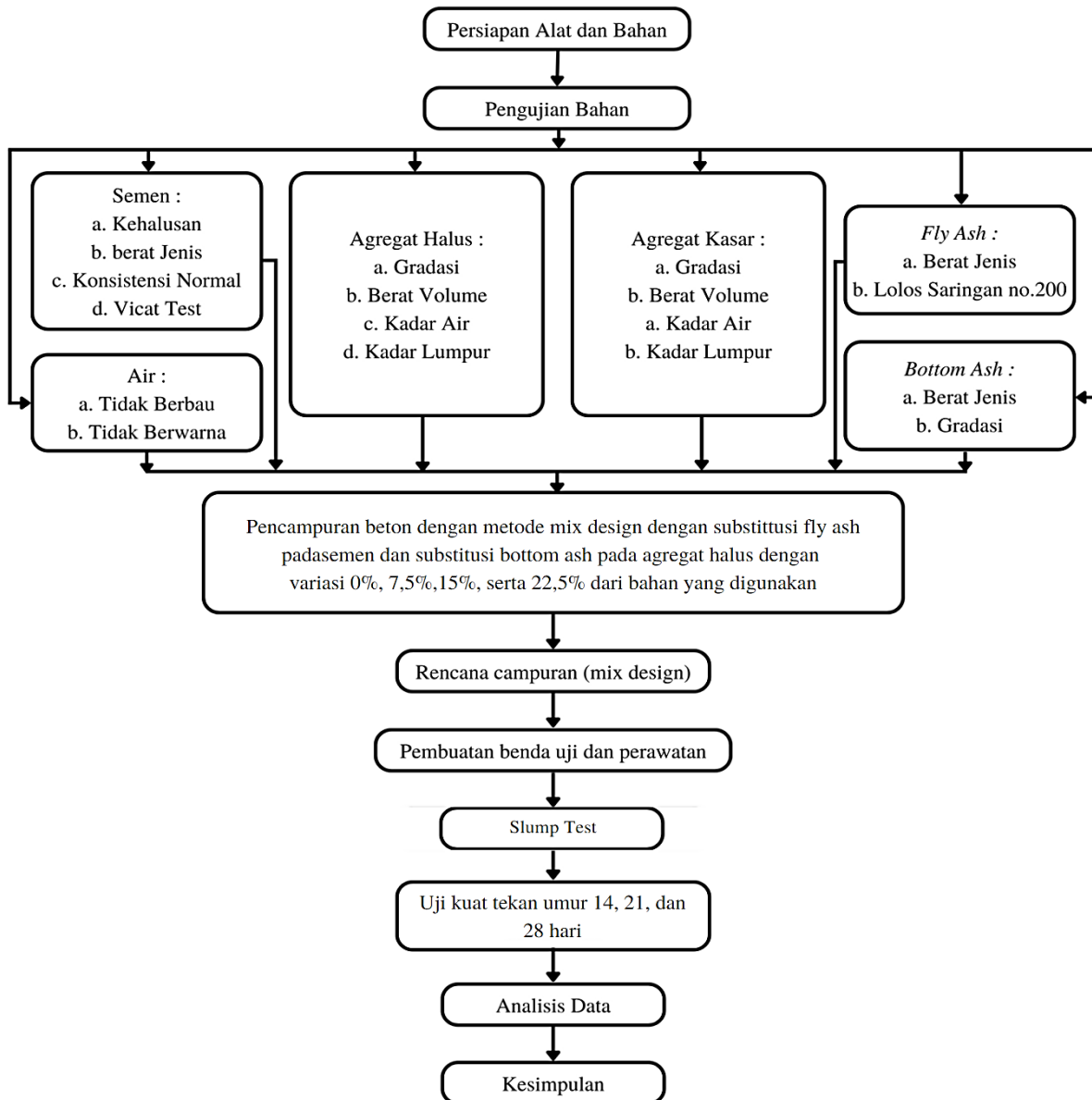
f'_{ck} = Kuat Tekan (Mpa atau N/mm²)

P = Beban Tekan (N)

A = Luas Penampang (mm²)

2.9. Bagan Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Material	Satuan
Analisa Saringan	7,041 %	6-7,1%
Kadar Air	2,426 %	-
Kadar Lumpur	4,064 %	1%
Berat Volume	1,5817 kg/m ³	0,4-1,9 kg/m ³
Berat Jenis	2,290 gr/cm ³	Min 2,1
Penyerapan Air	2,991 %	-

3.2. Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Material	Ketentuan
Analisa Saringan	1,878 %	1,5-3,8 %
Kadar Air	5,219	-
Kadar Lumpur	0,924 %	5%
Berat Volume	1,566 kg/m ³	0,4-1,9 kg/m ³
Berat Jenis	2,610 gr/cm ³	2,5-2,7 gr/cm ³
Penyerapan Air	0,301 %	-

3.3. Rekapitulasi Pengujian Semen

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Semen

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Material	Ketentuan
Kehalusan Semen	5,329 %	0-22 %
Berat Jenis Semen	2,98 gr/cm ³	3-3,2 gr/cm ³
Konsistensi Normal	25 %	-

3.4. Rekapitulasi Pengujian Fly Ash

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Fly Ash

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Material	Ketentuan
Berat Jenis	2,31 gr/cm ³	2,2-2,8 gr/cm ³
Kehalusan	75,4 %	70-80 %

3.5. Rekapitulasi Pengujian Bottom Ash

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Bottom Ash

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Material	Ketentuan
Berat Jenis	2,553 gr/cm ³	-
Gradasi	1,821 %	1,5-3,8 %

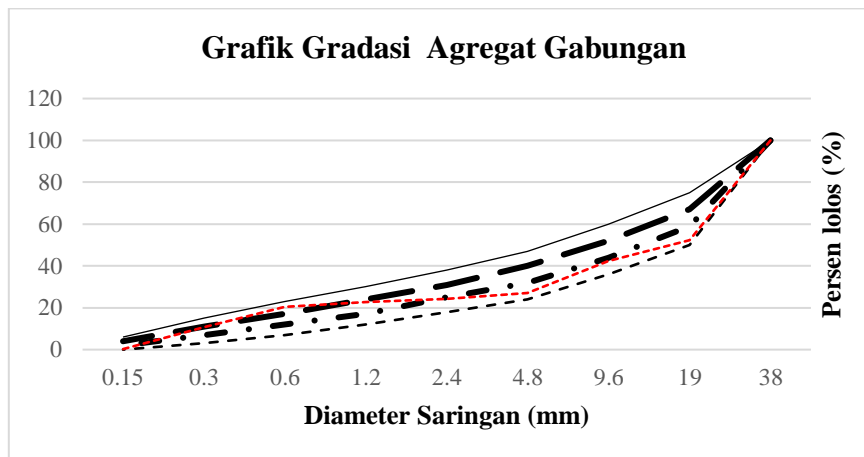
3.6. Pengujian Gradasi Agregat Gabungan

Hasil yang diperoleh telah sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000. Dengan menggunakan metode trial and error dalam memperoleh gradasi gabungan antara agregat kasar dan agregat halus diperoleh persentase 25% untuk agregat halus dan 75% untuk agregat kasar.

Tabel 6 Pengujian Gradasi Agregat Gabungan

Diameter	Jumlah Butir Lolos Agregat Halus	Jumlah Butir Lolos Agregat Kasar	Presentase Agregat Halus	Presentase Agregat Kasar	Gradasi Gabungan
mm	%	%	%	%	%
			25	75	
38	100.000	100.000	0	75.000	100.000
19	100.000	69,642	0	52,231	52,231
9.6	100.000	23.240	25.000	17.430	42,430
4.8	98.791	3.021	24.698	2.266	26,963

2.4	96.831	0	24.208	0	24,208
1.2	91.273	0	22.818	0	22,818
0.6	81.572	0	20.393	0	20,393
0.3	42.755	0	10.689	0	10,689
0.15	0.975	0	0.244	0	0,244



Gambar 2 Gradasi Agregat Gabungan Max 40 mm

3.7. Pengujian Benda Uji

Pada pembuatan beton diperlukan komposisi yang akan digunakan dalam pencampuran beton yang dapat dilihat dari mix design sesuai dengan SNI 7656-2012. Dalam penelitian ini menggunakan *mix design* k-250 atau dalam f'_{ck} yaitu 19,664 Mpa atau dibulatkan menjadi 19,7 Mpa.

3.8. Pengujian Slump Test

Sebelum memasukan beton segar kedalam cetakan, dilakukan pengujian slump terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar nilai slump tidak keluar dari nilai slump yang direncanakan. Berikut merupakan hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 7

Tabel 7 Hasil Pengujian Slump

Kode Campuran	Rencana Slump (mm)	Slump Terukur (mm)
BN 1	75-100	83
BN 2	75-100	85
BN 3	75-100	89
7,5% 1	75-100	89
7,5% 2	75-100	90
7,5% 3	75-100	93
15% 1	75-100	95
15% 2	75-100	97
15% 3	75-100	98
22,5% 1	75-100	98
22,5% 2	75-100	100
22,5% 3	75-100	102

3.9. Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm. umur 14 hari, 21 hari, dan juga 28 hari dari setiap umur di bagi menjadi 4 variabel yaitu beton normal, variasi substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 7,5%, variasi substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 15%, dan variasi substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 27,5%. Pada Tabel 6 terdapat rekapitulasi nilai rata-rata kuat tekan beton umur 14 hari yaitu sebagai berikut :

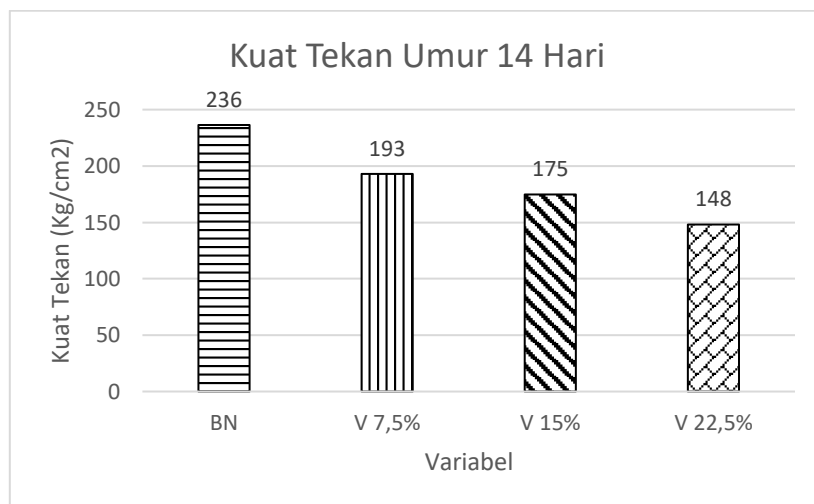
3.9.1. Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Pada tabel 8 dapat dikatakan bahwa variable BN memiliki hasil pengujian kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel beton lainnya. Pada umur 14 hari, semua variabel memiliki hasil pengujian kuat tekan yang sesuai dengan kuat tekan rencana sebesar 250 kg/cm².

Tabel 8 Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Kode Variasi	Variasi Beton	Kuat Tekan Beton (Kg/cm ²)
BN	Beton Normal	236
V 7,5%	Beton Variasi 7,5%	193
V 15%	Beton Variasi 15%	175
V 22,5%	Beton Variasi 22,5%	148

Pengujian kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya persentase sebesar 7,5%, 15% dan 22,5% ke dalam campuran beton normal.



Gambar 3 Diagram Batang Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

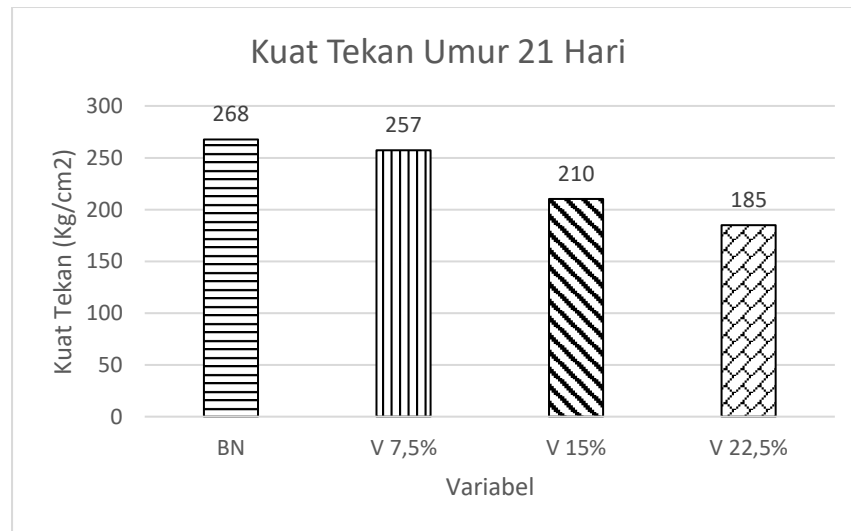
3.9.2. Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 21 Hari

Pada Tabel 7 terdapat rekapitulasi nilai rata-rata kuat tekan beton umur 21 hari yaitu sebagai berikut :

Tabel 9 Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 21 Hari

Kode Variasi	Variasi Beton	Kuat Tekan Beton (Kg/cm ²)
BN	Beton Normal	268
V 7,5%	Beton Variasi 7,5%	257
V 15%	Beton Variasi 15%	210
V 22,5%	Beton Variasi 22,5%	185

Pada tabel 9 dapat dikatakan bahwa variable BN memiliki hasil pengujian kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel beton lainnya. Pada umur 21 hari, variabel BN dan variasi 7,5% memiliki hasil pengujian kuat tekan yang sesuai dengan kuat tekan rencana sebesar 250 kg/cm² sedangkan variabel 15% dan 22,5% memiliki hasil pengujian kuat tekan yang tidak sesuai dengan umur rencana sebesar 250 kg/cm². Pengujian kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya persentase sebesar 7,5%, 15% dan 22,5% ke dalam campuran beton normal.



Gambar 4 Diagram Batang Hasil Kuat Tekan Beton Umur 21 Hari

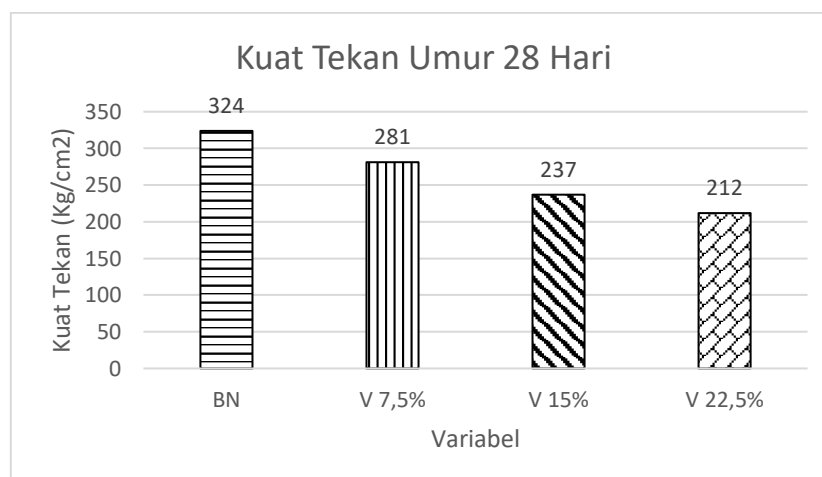
3.9.3. Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Pada Tabel 8 terdapat rekapitulasi nilai rata-rata kuat tekan beton umur 28 hari yaitu sebagai berikut :

Tabel 10 Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Kode Variasi	Variasi Beton	Kuat Tekan Beton (Kg/cm ²)
BN	Beton Normal	324
V 7,5%	Beton Variasi 7,5%	281
V 15%	Beton Variasi 15%	237
V 22,5%	Beton Variasi 22,5%	212

Pada tabel 10 dapat dikatakan bahwa variable BN memiliki hasil pengujian kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel beton lainnya. Pada umur 28 hari, variabel BN dan variasi 7,5% memiliki hasil pengujian kuat tekan yang sesuai dengan kuat tekan rencana sebesar 250 kg/cm² sedangkan variabel 15% dan 22,5% memiliki hasil pengujian kuat tekan yang tidak sesuai dengan mutu rencana sebesar 250 kg/cm². Pengujian kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya persentase sebesar 7,5%, 15% dan 22,5% ke dalam campuran beton normal



Gambar 5 Diagram Batang Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

3.10. Pembahasan

Dari penelitian ini, beton dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* sebesar 7,5%, 15%, dan 22,5% mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *fly ash* terhadap semen dan *bottom ash* terhadap pasir. Hasil uji kuat tekan beton mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada umur 28 hari bila dibandingkan pada beton umur 14 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi pada beton masih berjalan. Kenaikan kekuatan tersebut merupakan akibat dari kombinasi antara proses hidrasi semen dan reaksi *pozzolanic* yang terkandung pada *fly ash*. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa kuat tekan menurun seiring bertambahnya persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* maka kekuatan beton semakin rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa persentase substitusi *fly ash* dan *bottom ash* berbanding terbalik dengan kekuatan beton.

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil dari pengujian kuat tekan beton yang masih memenuhi kekuatan rencana diperoleh dengan penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* variasi 7,5% yaitu sebesar 281 kg/cm² pada umur beton 28 hari. Sedangkan pada variasi 15% dan 22% tidak mencapai mutu rencana sebesar 250 kg/cm².

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang ditarik dalam penelitian ini yaitu :

1. Kuat tekan yang didapat dari masing-masing variabel dapat dilihat sebagai berikut :
 - a. Kuat tekan pada umur 14 hari
Pada umur ini setiap variabel beton memperoleh hasil kuat tekan masing-masing beton normal sebesar 236 kg/cm², beton variasi 7,5% sebesar 193 kg/cm², beton variasi 15% sebesar 175 kg/cm², beton variasi 22,5% sebesar 148 kg/cm²
 - b. Kuat tekan pada umur 21 hari
Pada umur ini setiap variabel beton memperoleh hasil kuat tekan masing-masing beton normal sebesar 168 kg/cm², beton variasi 7,5% sebesar 257 kg/cm², beton variasi 15% sebesar 210 kg/cm², beton variasi 22,5% sebesar 185 kg/cm²
 - c. Kuat tekan pada umur 28 hari
Pada umur ini setiap variabel beton memperoleh hasil kuat tekan masing-masing beton normal sebesar 324 kg/cm², beton variasi 7,5% sebesar 281 kg/cm², beton variasi 15% sebesar 237 kg/cm², beton variasi 22,5% sebesar 212 kg/cm².
2. Adanya substitusi *fly ash* dan *bottom ash* terhadap beton normal sebesar 7,5%, 15%, dan 22,5% mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *fly ash* terhadap semen dan *bottom ash* terhadap pasir. Semakin besar substitusi *fly ash* dan *bottom ash* terhadap beton normal, semakin menurun kekuatan beton disebabkan karena berkurangnya komposisi gradasi agregat halus dan semen terhadap beton normal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para dosen maupun staf di lingkungan Teknik Sipil serta pihak Laboratorium Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan yang telah membantu proses penyelesaian penelitian ini, serta PLTU Malinau atas material *fly ash* dan *bottom ash* untuk campuran beton pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- America Association of State Highway and Transportation Officials Standard. (n.d.). *Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33*. American.
- America Association of State Highway and Transportation Officials Standard. (n.d.). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzoland for Use as a Minerale Admixture in Concrete. ASTM C-618-03*. American.
- Andoyo. (2006). *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Anindhita, F., Boedoyo, M. S., Sugiyono, A. 2015. Outlook Energi Indonesia 2015: Pengembangan Energi Untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi (PTPSE). Jakarta
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1989). *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A. SNI S-04-1989-F*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode Pengujian Kadar air Agregat. SNI 03-1971-1990*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Kasar dan Halus. SNI 03-1968-1990*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1991). *Spesifikasi abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. SNI 03-2460-1991*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1998). *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. SNI 03-4804-1998*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. SNI 03-2834-2000*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Insulasi. SNI 2461-2002*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara Uji Slump Beton. SNI 1972-2008*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. SNI 1974-2011*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. SNI 2493-2011*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. SNI 2493-2011*. Indonesia.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2019*. Indonesia.
- Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolymer Cements*. France: Geopolymer Institute.
- Dipohusodo, I. (1996). *Manajemen Proyek dan Konstruksi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM.
- Kusdiyono, Supriyadi, Wahyono, H. L. 2017. Pengaruh Penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Pada Pembuatan Beton Mutu F'c 20 Mpa Dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Industri. Wahana Teknik Sipil: *Jurnal Pengembangan Teknik Sipil* Vol: 22 No: 1