

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan, beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. (SNI, 2013).

Dalam industri batuan yang berupa agregat memiliki kualitas yang sesuai standar yang di isyaratkan oleh SNI atau Bina Marga (Hakzah, A. Sulfanita, and Y. Yulianti). Perencanaan campuran beton adalah suatu cara untuk menentukan perbandingan bahan-bahan campurannya sedemikian sehingga untuk keadaan tertentu dihasilkan beton dengan sifat -sifat yang diisyaratkan dan dengan harga ekonomis, (SNI 03-2894-2000)

Limbah *Bottom Ash* Dan *Fly Ash* ketersediaannya melimpah *Fly Ash* merupakan sisa hasil pembakaran batu bara berupa abu terbang di atas tungku pembakaran sedangkan *bottom ash* berupa endapan hasil pembakaran batu bara yang terletak di dasar tungku pembakaran. Limbah *fly ash* dan *bottom ash* tersebut memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang. (Pagau M., 2020)

Komposisi pembakaran batubara menghasilkan 80-90% *Fly Ash* dan *Bottom Ash* 10- 20%. Pemanfaatan *Fly ash* sangat luas misalnya dalam bidang konstruksi, tambang, sub-base jalan, pertanian, cat, komposit pengganti kayu dan sebagai adsorben berbiaya rendah untuk menghilangkan senyawa organik (Dwinta, A., 2023).

Bottom ash (abu dasar) merupakan limbah proses pembakaran batubara yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *Fly ash* (abu terbang), sehingga *bottom ash* akan jatuh Pada dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampung debu (ash hopper) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang(Pagau M., 2020)) *Bottom Ash* merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara, ukurannya yang lebih besar dari *fly ash* mengakibatkan *bottom ash* jatuh ke dasar tungku pembakaran. Bentuk fisik *bottom ash* seperti pasir sungai alami yang memiliki gradasi dari butiran halus sampai kasar.Campuran beton dengan menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat.

Untuk mengatasi kedua isu tersebut, penelitian tentang “**Penambahan Limbah *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Pasir Dan *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton**” ini mengeksplorasi penggunaan limbah *bottom ash* dan *fly ash* sebagai substitusi semen dalam campuran beton. *Fly ash*, yang berasal dari debu hasil pembakaran batu bara, telah lama digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat beton, *Fly ash* menjadi pengganti semen yang efektif karena komposisi kimianya yang serupa dengan semen Portland, terutama kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang tinggi. Ketika digunakan dalam

beton, fly ash bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan selama hidrasi semen melalui reaksi pozzolanik, membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton. Sebagai produk sampingan pembakaran batubara di pembangkit listrik, fly ash juga menawarkan keuntungan ekonomis dan lingkungan dengan mengurangi kebutuhan semen (yang produksinya menghasilkan emisi CO_2 tinggi), menurunkan panas hidrasi, meningkatkan workability campuran beton, dan mengurangi permeabilitas.

Penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen (biasanya 15-35%) menghasilkan beton yang lebih tahan lama dengan ketahanan sulfat yang lebih baik dan risiko reaksi alkali-silika yang lebih rendah. seperti kekuatan dan ketahanan. *Bottom ash*, meskipun lebih jarang digunakan, menawarkan potensi sebagai substitusi semen karena sifat fisiknya yang unik. Penggunaan kedua jenis limbah ini sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan dari proses pembuatan semen sekaligus mengelola limbah dengan lebih efektif.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut dapat dibuat suatu rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *bottom ash* sebagai substitusi pasir dan *fly ash* sebagai substitusi semen pada campuran beton?
2. Bagaimana kelayakan penambahan limbah *bottom ash* sebagai substitusi pasir dan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tujuan dari penelitian ini, yaitu;

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah *Bottom Ash* sebagai substitusi pasir dan *Fly Ash* sebagai substitusi semen pada campuran beton.
2. Untuk mengetahui kelayakan kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penambahan limbah *bottom ash* dan *fly ash*.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Menggunakan beton silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm
3. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.
4. Material tambahan yang digunakan adalah *Bottom ash* dan *Fly ash*
5. *Bottom ash* sebagai substitusi pasir dan *Fly ash* sebagai substitusi semen

6. *Bottom ash* dan *Fly ash* yang digunakan dalam campuran beton adalah 5%, 10%, 15%.
7. Jumlah benda uji dari masing masing variasi adalah 3 buah.
8. Pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 1974-2011.
9. Kuat tekan beton rencana F_c sebesar 25 Mpa

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan limbah *bottom ash* dan *fly ash* terhadap beton.
2. Sebagai bahan alternatif baru pembuatan beton dengan menggunakan *bottom ash* dan *fly ash* sebagai bahan tambah pada campuran beton.
3. Berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kerusakan lingkungan.
4. Memacu pengembangan teknik dan formula baru dalam beton

F. Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan diatur dalam pedoman skripsi fakultas teknik universitas muhammadiyah parepare sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdapat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Dalam bab ini membahas tentang dasar teori mengenai rumus rumus pada penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini terdapat gambaran umum alur penelitian, mulai waktu dan lokasi penelitian, serta diagram alir penelitian tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil yang telah dicapai dari penelitian yang telah dilakukan dari hasil uji laboratorium.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh penulisan, serta saran-saran yang dikemukakan berupa sumbangan pemikiran penulis tentang permasalahan tersebut diatas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus, yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara keduanya, serta kadang-kadang ditambahkan *additive*. (Kardiono Tjokrodimuljo., 2004). Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur. Bisa dikatakan semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya struktur gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan banyak lagi bangunan struktur lainnya.

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampurkan merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituangkan dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan.

Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu yang panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. (Wicaksono, 2005).

1. Klasifikasi Beton

Secara umum beton dapat dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu:

a. Beton berdasarkan Mutu dan Kelas

Mutu beton dapat dibagi menjadi beberapa tingkatan dimulai dari K100-K500. Angka dibelakang huruf K menunjukkan beban dalam satuan kilogram. Apabila kualitas beton K100 maka kekuatan beton mencapai 100 kg/cm². Berdasarkan peraturan SNI, kualitas beton dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

1) Beton Kelas I

Umumnya dimanfaatkan pada proses pembangunan non struktural. Pelaksanaan untuk pembangunan kelas I ini tidak membutuhkan kemampuan khusus. Maka dari itu, pengawasan mutu hanya perlu pembatasan pada pengawasan secara ringan pada kualitas bahan material saja. Selain itu, pada kuat tekan tidak perlu dipersyaratkan pemeriksaan dan pengawasannya ringan.

Kelas beton ini terdiri atas K100, K125, K150, K175 dan K200. Pemakaian jenis kelas ini diperuntukkan pada konstruksi jalanan, lantai dasar dan pondasi kolom.

2) Beton Kelas II

Penggunaan jenis mutu beton ini dapat digunakan untuk pekerjaan bersifat struktural ringan. Pada penggunaannya memerlukan keahlian yang sesuai dan harus dipakai oleh tenaga ahli. Kualitas beton ini terdiri atas K225, K250 dan K275.

3) Beton Kelas III

Proses pembuatan mutu beton ini, membutuhkan komposisi dengan nilai perbandingan khusus dan detail. Pengerjaan beton ini wajib dilakukan oleh tenaga ahli profesional dan melalui pemeriksaan ketat.

Pengawasan pada kualitas beton ini juga secara berkelanjutan. Mutu beton ini dapat meliputi, K325, K350, K375, K500 dan lainnya. Umumnya, penggunaan

jenis beton ini diperuntukkan pada area saluran air, landasan pesawat, area truk tronton dan lain sebagainya.

b. Jenis Beton

Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1) Beton Normal

Beton normal merupakan beton yang paling umum digunakan untuk berbagai macam konstruksi, seperti bangunan gedung, jembatan dan lain lain. Beton normal memiliki daya tahan yang cukup baik dan umumnya digunakan untuk struktur non-kritikal.

2) Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang sering digunakan untuk struktur yang membutuhkan daya tahan rendah, seperti dinding partition atau plafond. Beton ringan biasanya terbuat dari batu apung atau pasir silika. Batu apung memiliki sifat seperti styrofoam, sehingga memberikan beton ringan sifat yang lebih ringan dan mudah diatur.

3) Beton Keras

Beton keras adalah beton yang digunakan untuk struktur kritis yang membutuhkan daya tahan tinggi, seperti dinding penahan gempa atau pondasi bangunan. Beton keras biasanya terbuat dari agregat besar dan semen dengan komposisi yang lebih tebal dan kuat.

4) Beton *Pavement*

Beton *pavement* adalah beton yang digunakan untuk jalan raya,

trottoar, dan lantai parkir. Beton pavement memiliki sifat lebih cepat mengeras ketimbang beton normal, sehingga cocok untuk aplikasi pada lapisan permukaan jalan raya.

5) Beton *High Strength*

Beton high strength merupakan jenis beton yang lebih kuat dibandingkan beton keras. Beton *high strength* biasanya digunakan untuk struktur yang memerlukan daya tahan tinggi, seperti jembatan dan struktur teknik mesin. Beton high strength terbuat dari agregat yang lebih halus dan menggunakan campuran semen yang lebih kuat.

2. Kelebihan dan Kekurangan Beton.

Beton memiliki peranan penting dalam menentukan umur dan kekuatan suatu bangunan, hal itu terjadi karena beton memiliki kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan dari beton menurut (kardiyono, 2007) adalah:

- a. Harganya relatif murah karena bahan-bahannya tersedia di alam bebas kecuali semen.
- b. Biaya perawatannya murah karena beton adalah elemen yang awet, tahan aus, dan tahan api.
- c. Kuat tekton beton sangat tinggi.
- d. Beton segar sangat mudah untuk dipindahkan, dicetak dan dibentuk.

Menurut (Tri Mulyono, 2005)

Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan yaitu :

- a. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah.

- b. Berat sendiri beton yang sangat besar yaitu kisaran antara 1800 kg/m³ sampai 2400 kg/m³.
- c. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
- d. Daya pantul suara yang besar.

Beton memiliki kuat tekan yang sangat tinggi namun memiliki kuat tarik yang rendah, untuk menahan gaya tarik beton perlu ditambah tulangan

B. Material Penyusun Beton

1. Semen Portland

Semen adalah bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan yang pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah selesai pengadukan, dan juga dapat memperbaiki ketahanan beton yang dikerjakan. Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, semen dan air sekitar 25%-40%, dan agregat halus dan agregat kasar sekitar 60%-75%.

Semen portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan diseluruh dunia sebagai bahan dasar beton, mortar, plester, dan adukan non-spesialisasi. Menurut ASTM C-150, 1985, mendefinisikan semen portland sebagai semen hidraulis (semen yang tidak hanya mengeras dengan bereaksi dengan air tetapi juga membentuk produk tahan air) yang dihasilkan oleh klinker penghancur yang pada dasarnya terdiri dari kalsium silikat hidraulisis, biasanya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai penambahan antar tanah.

Kandungan pada semen portland yang sering digunakan dalam konstruksi,

antara lain :

Tabel 2.1 Susunan unsur semen portland (*Sumber:Tjokrodimuljo,2007*)

No	Oksida	Persentase
1.	Kapur (CaO)	60-65
2.	Silika (SiO ²)	17-25
3.	Alumina (Al ² O ³)	3-8
4.	Besi (Fe ² O ³)	0,5-6
5.	Magnesia (MgO)	0,5-4
6.	Sulfur (SO ³)	1-2
7.	Soda/potash (Na ² O+K ² O)	0,5-1

Menurut kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat (2021), Semen Portland terdiri atas 5 tipe dengan perbedaan manfaat sebagai berikut:

- a. Semen Portland Tipe 1 adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland utamanya yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama- sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.
- b. Semen Portland Tipe II yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Semen Portland Tipe III semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Semen Portland Tipe IV yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Semen Portland Tipe V yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Fungsi semen adalah mengikat agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga udara diantara butir-butir agregat. Semen yang digunakan dalam pengerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

2. Agregat

Agregat adalah salah satu dari bahan material beton yang berupa sekumpulan batu pecah, kerikil, pasir baik berupa hasil alam atau lainnya. Agregat merupakan suatu material yang digunakan dalam adukan beton yang membentuk suatu semen hidrolis. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan, secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat halus dan agregat kasar.

a. Agregat halus

Agregat halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat yang mempunyai berat jenis 1400 kg/m³. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5% dari berat, tidak mengandung bahan organik lebih banyak, terdiri dari butiran yang tajam dan keras, dan bervariasi.

Berdasarkan SNI 1970-2008, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Tabel 2.1 Batasan gradasi untuk agregat halus (*sumber:ASTM C-33*)

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap
9,5 mm	100
4,76 mm	95-100
2,36 mm	80-100
1,19 mm	50-85
0,595 mm	25-60
0,300 mm	10-30
0,150 mm	2-10

b. Agregat kasar

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci).

Berdasarkan ASTM C33 Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm.

Tabel 2.2 Batas-batas gradasi agregat kasar (*Sumber:SNI 7656-2012*)

Ukuran ayakan (mm)	Pemisahan ukuran
	Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan
25	100
19	90-100
9,5	20-55
4,75	0-10
2,36	0-5

Selain jenis jenis agregat terdapat juga beberapa klasifikasi agregat, diantaranya, yaitu:

1) Agregat ringan

Agregat ringan dapat berasal dari sumber daya alam atau hasil dari olahan manusia. Sumber daya alam yang besar adalah material vulkanik. Buatan atau sintetis, agregat yang diproduksi oleh proses termal di pabrik- pabrik. Agregat ringan mempunyai berat 1100 kg/m^3 atau kurang dari berat tersebut. Tujuan dari agregat ringan untuk membuat beton dengan tujuan khusus. Agregat ringan ini berupa batu tulis, terak pecah, tanah foamed, batu apung dan yang berupa hasil olahan manusia seperti bola plastik $\pm 6 \text{ m}$, polyethylene terphthalate (PET) yg telah dioalah dari limbah plastik, kedua agregat ringan tersebut telah diteliti dan layak digunakan sebagai agregat ringan.

2) Agregat normal

Agregat normal ini yaitu jenis agregat dengan berat isi antara 300-1800 kg/m^3 . Kegunaan dari beton normal yaitu untuk membuat beton tanpa persyarat khusus, biasanya agregat yang dipakai pada umumnya berupa jenis batuan beku, batuan malihan, dan batuan endapan.

3) Agregat berat

Agregat berat merupakan agregat untuk membuat beton dengan berat isi $>2400 \text{ kg/m}^3$ yang bertujuan untuk menahan radiasi yang berbahaya bagi manusia. Untuk membuat beton tersebut biasanya menggunakan batu barite (BaSO_4) dengan berat isi 4,15-4,45 t/m^3 , dan butirannya seberat 6,80-7,60 t/m^3 .

3. Air

Ada beberapa kegunaan air dalam pekerjaan beton yaitu sebagai bahan

pembersih agregat untuk menghilangkan kotoran yang menempel dan sebagai media pencampur. Selain itu, air bertindak sebagai bahan baku yang mengarah ke proses kimia sehingga semen bereaksi dan kemudian mengeras. Air pada dasarnya berasal dari alam yang bersumber seperti sungai, laut, sumur, tetapi tidak semua air dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat beton yang bisa menghasilkan beton berkualitas tinggi. Air yang dapat digunakan sebagai pencampur pembuatan beton adalah air yang tidak mengandung zat yang dapat mencegah proses pengikatan antara semen dan agregat.

C. Bahan Tambah Beton

Penambahan bahan tambahan pada campuran beton bertujuan untuk mengubah, memperbaiki sifat-sifat beton dan meningkatkan kuat tekan beton. Bahan tambah yang dipakai bisa berupa kimia dan mineral. Selain bertujuan untuk mengubah sifat-sifat beton, penggunaan bahan tambah mampu mengurangi penggunaan semen agar lebih ekonomis dan kuat tekan yang dihasilkan dapat meningkat tanpa banyak menggunakan bahan semen (Haris, 2021).

Adapun bahan tambah yang digunakan penulis yaitu:

1. Bottom ASH

a. Pengertian

Abu dasar atau yang lebih dikenal sebagai *Bottom Ash* adalah sisa proses batubara yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dibanding *Fly Ash*, sehingga akan jatuh pada dasar tungku (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk, 2019).



Gambar 2.1 Bottom Ash

Sumber : (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A.,dkk., 2019)

Bottom ash (abu dasar) merupakan limbah proses pembakaran batubara yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada fly ash (abu terbang), sehingga bottom ash akan jatuh Pada dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampung debu (ash hopper) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang(S. U. Dewi and F. Prasetyo) Bottom Ash merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara, ukurannya yang lebih besar dari fly ash mengakibatkan bottom ash jatuh ke dasar tungku pembakaran. Bentuk fisik bottom ash seperti pasir sungai alami yang memiliki gradasi dari butiran halus sampai kasar.Campuran beton dengan menggunakan bottom ash sebagai bahan pengganti agregat halus.

b. Ukuran

Ukuran *bottom ash* lebih mendekati ukuran pasir, biasanya 50 % - 90 % lolos pada saringan 4.75 mm (No. 4), 10 % - 60 % lolos pada saringan 0.6 mm (No. 40), 0 % - 10 % lolos pada saringan 0.075 mm (No. 200), dan ukuran paling besar berkisar antara 19 mm (3/4 in) sampai 38.1 mm (1- 1/2 in).

Tabel 2.3 Ukuran butiran dari pertikel bottom-ash (persentase lolos saringan)

Ukuran	Bottom-Ash
--------	------------

Saringan	Glasgow	New Haven	Moundsville
38 mm (1-1/2 in)	100	99	100
19 mm (3/4 in)	100	95	100
9.5 mm (3/8 in)	100	87	73
4.75 mm (No. 4)	90	77	52
2.36 mm (No. 8)	80	57	32
1.18 mm (No. 16)	72	42	17
0.60 mm (No. 30)	65	29	10
0.30 mm (No. 60)	56	19	5
0.15 mm (No. 100)	35	15	2
0.075 mm (No. 200)	9	41	1

Sumber: Kurniasari, 2017

c. Karakteristik

Dalam tulisan (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk, 2019), sifat fisik dari *Bottom Ash* adalah:

Tabel 2. 4 Sifat Fisik Bottom Ash

No	Sifat Fisik	Basah	Kering
1	Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
2	Warna	Hitam	Abu-abu gelap
3	Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, berpori
4	Ukuran	No. 4 (90-100%)	1,5 – ¾ in (100%)
5	% Lolos ayakan	No. 10 (40-60%) No. 40 (≤10%) No. 200 (≤5%)	No. 4 (50-90%) No. 10 (10-60%) No. 40 (0-10%)
6	Berat jenis spesifik	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
7	Berat unit kering	960 – 1440kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
8	Penyerapan	0,3 – 1,1 %	0,8 – 2 %

Sumber : (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk., 2019)

2. Fly ASH

a. Pengertian

Menurut SNI 03-6414-2002, *Fly Ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Sedangkan ASTM C-618 dalam Suraneni P. dkk. (2021), *Fly Ash* didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk

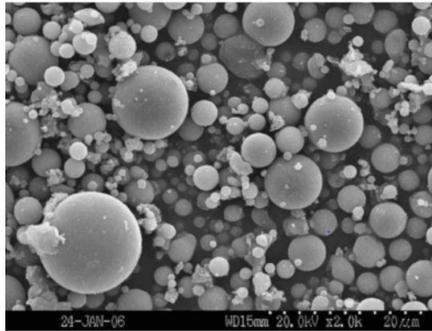
batu bara.

Fly ash atau abu terbang yang adalah sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. *Fly Ash* berukuran 0,074- 0,005 mm, yang merupakan abu terbang yang diperoleh dari pembakaran batubara dengan suhu 1600 oC yang memiliki kandungan komponen silika sebesar 72,2% menurut pengujian dari balai riset dan standarisasi industri Medan. Karena sifatnya menyerupai semen sehingga dapat berfungsi sebagai bahan perekat dan dapat mengurangi penggunaan semen.(Yongko D, 2017)

Fly Ash adalah sisa hasil proses pembakaran batu bara yang keluar dari tungku pembakaran. Mengingat limbah tersebut meningkat setiap tahunnya, maka perlu penanggulangannya. Limbah *Fly Ash* dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama polusi udara terhadap kehidupannya sekitarnya. Oleh sebab itu diupayakan agar *Fly Ash* dapat menjadi bahan yang berguna, antara lain pemanfaatan *Fly Ash* salah satunya sebagai bahan tambah semen pada campuran beton.(Mohamad R M ., 2020)

b. Ukuran

Ukuran partikel *Fly Ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1 μm (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100 μm , sebagian besar partikel berukuran $< 20 \mu\text{m}$. Umumnya hanya sekitar 10 % sampai 30 % ukuran partikel *Fly ash* lebih besar dari 50 μm . Luas permukaan *Fly Ash* umumnya berkisar 300 m^2/kg – 500 m^2/kg *Fly ash*, dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk, 2019).



Gambar 2. 2 Ukuran *Fly Ash*
Sumber: Ditjen PSLB3, 2019

c. Klasifikasi

Menurut ASTM C-618 *Fly Ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *Fly Ash* kelas F dan *Fly Ash* kelas C.

1) Kelas F

Fly ash kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous coal*. Sifat *fly ash* jenis ini tidak *self-hardening* akan tetapi umumnya bersifat pozzolan. Jadi dengan adanya air *fly ash* ini bereaksi dengan kapur untuk membentuk hasil-hasil yang bersifat cementitious. Reaksi pozzolan ini berlangsung secara lambat.

2) Kelas C

Fly ash kelas ini biasanya merupakan hasil pembakaran batubara yang sub-bituminous dan lignite yang selain mempunyai sifat pozzolan juga mempunyai sifat *self-hardening* sehingga pada waktu dicampur dengan air *fly ash* jenis ini akan mengeras akibat hidrasi seperti halnya pada semen portland.



Gambar 2.3 (a). Fly Ash Kelas F; (b). Bottom Ash Kelas C
(Sumber: Ditjen PSLB3, 2019)

Kriteria penggolongan abu terbang berdasar hasil Analisa senyawa-senyawa oksida adalah :

Tabel 2.5 Kriteria Kelas Abu Terbang

No	Senyawa Oksida	Kelas F	Kelas C
1	SiO ₂ (%)	55	40
2	Al ₂ O ₃ (%)	26	17
3	Fe ₂ O ₃ (%)	7	6
4	CaO (lime) (%)	9	24
5	MgO (%)	2	5
6	SO ₃ (%)	1	3

Sumber : KLHK; Ditjen PSLB3, 2019

Tabel 2.6 Komposisi Fly Ash PLTU Barru

Origin Fly Ash	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ %	CaO %	Setting Time	28 hari	Class	Application
				MPa		
Barru	65,05	20,2	1:10		C	AVERAGE

Sumber: (Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk, 2019).

D. Pengujian Beton

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah perbandingan antara tingkatan beban yang diberikan dengan luas penampang, (Nurfitriana, Hakzah, Hamsyah, 2023). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara 10-65 Mpa. Untuk struktur beton bertulang

pada umumnya menggunakan beton dengan kekuatan berkisar 17-30 Mpa, sedangkan untuk beton prategang berkisar 30-45 Mpa. Untuk keadaan dan keperluan struktur khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 Mpa dan untuk memproduksi beton kuat tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium. (SNI 1974:2011).

Menurut SNI 1974-2011 mengenai Cara Uji Kuat Tekan Beton, perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji berbentuk silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

F_c : Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)

P : Beban yang bekerja (kg)

A : Luas penampang benda (cm^2)



Gambar 2.4 Alat Uji Kuat Tekan Beton
(Sumber: Lab UMPAR)

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor air semen (water cement ratio = w/c), sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan (*workability*), perawatan (*curing*) beton dan umur beton.

a. Faktor air semen

Faktor air semen yaitu (*water cement ratio* = w/c) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil nilai w/c nya maka jumlah airnya sedikit yang akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar.

b. Sifat dan jenis agregat

Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan dihasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Selain itu susunan besar butiran agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

c. Jenis campuran

Jenis campuran beton dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Jumlah pasta semen harus cukup untuk melumasi seluruh permukaan butiran agregat dan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dihasilkan beton dengan kuat tekan yang diinginkan.

d. Perawatan (*curing*)

Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, dapat timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini dapat menyebabkan kekuatan beton turun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi

kimiawi penuh.

e. Umur beton

Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton dianggap mencapai 100 % setelah beton berumur 28 hari.

E. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. Kinan Wintang Wardhani, Endah Kanti Pangestuti, Rini Kusumawardani, Muh Arief Firdaus pada tahun 2024. dengan Judul Pemanfaatan Limbah Fly Ash Dan Bottom Ash PLTU Rembang Untuk Pembuatan Beton Menggunakan Semen PCC, dalam jurnal *Inovasi Konstruksi*. Penelitian bertujuan untuk mengurangi jumlah limbah pembakaran batu bara berupa *fly ash* dan *bottom ash* 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/cm², 254,67 kg/cm², 250,67 kg/cm², dan 250,67 kg/cm². 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.
2. Harjunan, Irwan Lakawa, Hujiyanto, Viccky Anggra Ilham, Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Campuran Beton, pada tahun 2023. Karakteristik beton dengan substitusi *fly ash* sebagai

semen sebesar 10% serta bottom ash sebagai agregat halus dengan variasi 10%, 15%, 20% adalah untuk umur 7 hari berturut-turut ialah 12,31 MPa, 11,89 MPa, dan 11,46 MPa. Sedangkan pada umur 28 hari berturut-turut ialah 19,11 MPa, 16,99 MPa dan 15,29 MPa. Hasil dari test kuat tekan dengan penambahan *bottom ash* dan *fly ash* mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash* dimana semakin tinggi persentase substitusi *bottom ash* maka kekuatan beton semakin rendah. Sehingga tidak memenuhi kuat tekan beton yang direncanakan dan dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *bottom ash* dan *fly ash* dengan persentase lebih dari 10% tidak dapat digunakan pada mutu kuat tekan 20 MPa(200 kg/cm)

3. Andini Salsabila Fitra dengan judul Pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dan *bottom ash* sebagai substitusi pasir pada beton 20 MPa dengan metode kering, pada tahun 2023, dalam jurnal *Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT), Politeknik Negeri Bengkalis*. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dan bottom ash sebagai substitusi pasir pada beton 20 MPa dengan metode kering memberikan pengaruh negatif terhadap kuat tekan beton yang dirawat di air tawar, dimana kuat tekan beton mengalami penurunan pada yang menggunakan *bottom ash* maupun *fly ash* sebagai pengganti pasir maupun semen jika dibandingkan dengan beton normal metode kering. . Penggunaan *bottom ash* sebagai substitusi pasir pada beton 20 MPa dengan metode kering memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton yang dirawat di air laut sedangkan beton yang menggunakan *fly ash* sebagai

substitusi semen dan *bottom ash* sebagai substitusi pasir pada beton 20 MPa dengan metode kering memberikan pengaruh negatif terhadap kuat tekan beton yang dirawat di air laut dibandingkan dengan beton normal metode kering. Perendaman beton 20 MPa dengan metode kering pada air laut dan air tawar memberikan pengaruh negatif terhadap kuat tekan beton, dimana kuat tekan beton mengalami penurunan pada beton yang dirawat di air laut dibandingkan dengan air tawar.

4. Muh Ridha Abd Rahim, Mustakim Mustakim, Misbahuddin Misbahuddin, dengan judul pengaruh penggunaan *Fly Ash* sebagai substitusi semen terhadap kapasitas kuat tekan *Paving Block* pada tahun 2024. Dalam jurnal *Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*. Berdasarkan metode British Standard 6717 nilai faktor koreksi 1.18 dengan tebal 0,88 mm dari hasil pengujian kuat tekan rata-rata *paving block* balok menggunakan *fly ash* pada 3 variasi yaitu, variasi 10% sebesar 14,23 Mpa, variasi 20% sebesar 13,49 Mpa, dan variasi 30% sebesar 11,14 Mpa. Sedangkan menurut SNI 03-0691 1996 yaitu, *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 Mpa, variasi 20% sebesar 10,63 Mpa, dan variasi 30% sebesar 8,67 Mpa. Jadi hasil kuat tekan metode BS 6717 lebih kuat daripada SNI 03-0691 1996. Hasil kuat tekan *paving block* menggunakan *fly ash* yang optimum terdapat pada *paving block* balok variasi 10% sebesar 14,23 Mpa dan *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 Mpa.
5. Verinazul Septriansyah, Zuul Fitriana Umari dengan judul Analisis campuran *Bottom Ash* sebagai bahan campuran agregat halus dalam pembuatan beton

ringan pada tahun 2022. Dalam jurnal Program Studi Teknik Sipil Penelitian ini merupakan experimental dari bahan limbah *bottom ash* yang terdapat pada limbah pembakaran batu bara. Kesimpulan yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah *Bottom ash* merupakan bahan limbah yang bisa digunakan sebagai bahan substitusi pasir dalam pembuatan beton dengan komposisi yang sesuai. Semakin banyak *bottom ash* yang digunakan maka kuat tekan akan menjadi semakin lemah tetapi berat jenis akan semakin rendah. Semakin banyak material *bottom ash* yang digunakan maka tingkat workability semakin tinggi. Penggunaan sebagian pasir dengan penggunaan *bottom ash* dengan JHP 30% dapat meningkatkan kekuatan sebanyak 39,12 Mpa dan density 1.994 Kg/m³ dengan umur pengujian 28 hari. Untuk JHP 50% *bottom ash* dilakukan pengujian kuat tekan didapatkan hasil 18,73 Mpa dengan density 1.738 kg/m³. Hal ini terjadi penurunan kuat tekan pada JHP 50% *bottom ash* disebabkan terjadinya banyak pori-pori yang muncul pada permukaan sampel. Dimana material *bottom ash* memiliki karakteristik porous yang banyak menyerap air. Sehingga menyebabkan meningkatnya kebutuhan air yang mengakibatkan bertambahnya pori pada beton. Dengan bertambahnya suatu pori pada specimen beton maka bisa menghasilkan beton yang ringan tetapi memiliki kuat tekan yang rendah.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya disertai gambar, tabel, atau grafik. Kemudian data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu dengan membandingkan 4 (empat) variasi campuran yaitu :

B. Lokasi dan Waktu

Lokasi dan waktu penelitian dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare.

2. Waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan yaitu dimulai pada tanggal 30 September 2024 sampai dengan November 2024.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

NO	JENIS KEGIATAN	Tahun 2024		
		September	Oktober	November
1	Studi literatur			
2	Persiapan laboratorium			
3	Pengujian bahan dasar			
4	Pembuatan benda uji			
5	Uji kuat tekan beton			
6	Analisa hasil penelitian			

C. Alat dan Bahan

Untuk melakukan proses penelitian, maka yang harus diperlukan adalah alat dan bahan penelitian, guna mendukung kegiatan tersebut. Adapun alat dan bahan sebagai berikut:

1. Alat penelitian

a. Jenis saringan

- 1) Saringan dengan nomor berturut-turut 4,75 mm (No. 4), 2,40 mm (No.8), 1,2 mm (No. 16), 0,60 mm (No. 30), 0,30 mm (No. 50), 0,15 mm (No. 100), No. 200 yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat halus (pasir).
- 2) Saringan dengan nomor berturut-turut No. $\frac{3}{4}$, No. $\frac{1}{2}$, No. $\frac{3}{8}$, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat kasar (kerikil).

b. Alat ukur

1) Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang bahan susun adukan beton.

2) Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur banyaknya air yang digunakan dalam pembuatan beton.

3) Piknometer

Piknometer dengan kapasitas 500 gr digunakan untuk mencari B_j agregat halus.

4) Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur semua dimensi benda uji.

5) Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur nilai slump.

c. Mesin lab stuktur dan bahan

1) Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat pada pengujian kadar air, B_j , dan gradasi agregat.

2) Mesin aduk beton

Mesin aduk beton digunakan untuk mengaduk bahan penyusun beton

3) Mesin uji tekan

Mesin uji tekan digunakan untuk menguji kuat tekan, kuat tarik belah.

4) Mesin *Los Angeles*

Mesin *Los Angeles* digunakan untuk menguji ketahanan aus agregat yang dilengkapi dengan bola-bola baja.

d. Peralatan pendukung

1) Kerucut *abrams*.

Kerucut *abrams* digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton (nilai *slump*).

2) Cetakan beton

Cetakan beton yang digunakan adalah bentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm.

3) Batang baja

Batang baja digunakan untuk memadatkan adukan beton.

2. Bahan penelitian

a) Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Tonasa (50 kg) atau Semen Tipe I.

b) Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dan agregat halus.

c) Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dari laboratorium struktur dan bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare.

d) Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* dan *bottom ash*.

D. Prosedur dan Rancangan Penelitian

1. Tahapan pemeriksaan

Persiapan serta pemeriksaan bahan yang akan digunakan untuk campuran beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Proses pemeriksaan bahan tersebut meliputi :

a. Agregat

- 1) Analisis gradasi butiran agregat halus dan agregat kasar (*SNI 03-2847- 2002*)

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir dari suatu agregat. Bila butir-butir agregat memiliki ukuran butir yang sama (seragam) maka volume rongganya besar dan tekanannya rendah. Sebaliknya, jika ukuran butirnya bervariasi maka kapasitas ruangnya rendah sehingga kekuatannya tinggi. Maka dari itu, hal tersebut memerlukan pemeriksaan gradasi agregat dalam pembuatan beton. Berdasarkan *SNI 03-2847-2002* interval untuk analisis gradasi butiran agregat kasar yaitu 6,0 – 8,0. Prosedur pelaksanaan pengujian analisis gradasi butiran agregat halus dan agregat kasar sebagai berikut:

- a) Keringkan agregat yang akan diperiksa dengan oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap kemudian diambil sampel sebanyak (agregat halus (pasir) sebanyak 1000 gram dan agregat kasar (kerikil) sebanyak 2000 gram).
- b) Atur ayakan menurut susunannya yaitu saringan sesuai dengan yang telah ditentukan
- c) Saring agregat dengan ayakan yang telah disusun dengan

menggunakan mesin *Sieve Shaker* selama 15 menit.

- d) Butiran yang tertahan pada masing-masing saringan kemudian ditimbang untuk mencari modulus halus butir agregatnya.
- 2) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus (pasir) (SK SNI 03-1970-1990)

Pasir mempunyai sifat-sifat tersendiri terhadap beratnya, yang tergantung pada tingkat kepadatan, bentuk butir maupun tingkat kebasahannya. Oleh karena itu, untuk pasir dikenal berat jenis, berat satuan, berat jenis semu, maupun berat jenis jenuh kering muka. Berdasarkan *SK SNI : 03-1970-1990* interval untuk berat jenis agregat halus yaitu antara 1,60 – 3,0 sedangkan untuk penyerapan (absorpsi) yaitu maks 2%, interval untuk analisis gradasi butiran agregat halus yaitu antara 1,50 – 3,80. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan pasir dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Keringkan pasir dalam tungku dengan suhu sekitar 105°C sampai beratnya 12 tetap.
- b) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- c) Buang air per endam dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbuang. kemudian keringkan pasir hingga mencapai keadaan jenuh kering muka (ssd).
- d) Masukkan pasir jenuh kering muka ke dalam *piknometer* sekitar 500 gram. kemudian tambahkan air suling sampai 90 % penuh. *Piknometer* diputar dan diguling-gulingkan untuk

mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap diantara butir-butir pasir. Pengeluaran gelembung udara dapat juga dilakukan dengan memanasi *piknometer*.

- e) Tambahkan air pada *piknometer* sampai tanda batas penuh agar gelembung udara terbuang.
 - f) Timbang *piknometer* yang sudah ditambahkan air sampai penuh 100% dan sudah dihilangkan gelembung udaranya dengan ketelitian 0,1 gram (bt).
 - g) Keluarkan pasir dari *piknometer* dan keringkan sampai beratnya tetap. penimbangan dilakukan setelah pasir dikeringkan dan didinginkan dalam desikator (bk).
 - h) Isi piknometer kosong dengan air sampai penuh kemudian timbang
- 3) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (kerikil) (SNI 03-1970-1990)

Kerikil mempunyai sifat-sifat tersendiri terhadap beratnya, yang tergantung pada kekasaran permukaan, bentuk butir maupun tingkat basahnya. Oleh karena itu, untuk kerikil dikenal berat jenisnya, berat satuan, maupun berat jenuh kering muka. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 interval untuk berat jenis agregat kasar yaitu antara 1,60 – 3,0 sedangkan untuk penyerapan (*absorpsi*) yaitu maks 4%. Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut:

- a) Benda uji dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran

dan debu.

- b) Masukkan benda uji kedalam oven pada suhu 105°C sampai beratnya tetap.
 - c) Dinginkan benda uji sampai pada suhu ruangan (± 3 jam), kemudian timbang ditimbang (bk).
 - d) Benda uji kemudian direndam dalam suhu ruangan selama ± 24 jam.
 - e) Benda uji kemudian dilap dengan kain sampai kondisinya jenuh kering muka.
 - f) Timbang benda uji jenuh kering muka (bj).
 - g) Masukkan benda uji kedalam keranjang kawat, kemudian guncangkan agar udara yang didalam keluar. Lalu timbang dalam air (Ba).
- 4) Pemeriksaan berat volume dan rongga udara dalam agregat halus dan agregat kasar (*ASTM C29/29M-97/SNI 03-4804-1998*)

Berat volume agregat adalah berat agregat per satuan isi. Ruang-ruang udara dalam satuan volume komposit adalah ruang-ruang di antara butir-butir yang dipadatkan yang dapat diisi dengan partikel padat. Berdasarkan *ASTM C29/29M- 97/SNI 03-4804-2002* interval berat volume untuk agregat kasar yaitu antara 1,60 – 1,90 kg/ltr sedangkan untuk agregat halus yaitu antara 1,40 – 1,90 kg/ltr. Prosedur pemeriksaan berat volume dan rongga udara dalam agregat halus dan agregat kasar yaitu: Masukkan jumlah dalam talam hampir sama dengan volume wadah sesuai nomor daftar. 1. Keringkan dalam oven

pada suhu $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$ sampai terjadi perubahan berat untuk digunakan sebagai bahan uji.

5) Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dan agregat kasar (*SK SNI S-04-2002-F*)

Lumpur dan debu halus hasil pemecahan batu adalah partikel berukuran antara 0,002 mm s/d 0,006 mm (2 s/d 6 *mikron*). Lumpur untuk campuran beton tidak diperbolehkan dalam jumlah banyak, untuk kadar lumpur yang disyaratkan pada setiap agregat masing-masing berbeda. Kadar lumpur agregat normal yang disyaratkan menurut *SK SNI S-04-2002-F* untuk agregat halus adalah maksimal 5% dan untuk agregat kasar maksimal 1%. Adanya lumpur dan tanah liat menyebabkan bertambahnya air pengaduk yang diperlukan dalam pembuatan beton, disamping itu pula akan menyebabkan turunnya kekuatan beton yang bersangkutan. Berdasarkan *ASTM C117-95/SNI 03-4142-2002* standar spesifikasi kadar lumpur untuk agregat kasar yaitu maks 1,00% sedangkan untuk agregat halus yaitu maks 5,00% , prosedur pelaksanaan pengujian pemeriksaan kandungan lumpur sebagai berikut:

- a) Ambil agregat kering tungku seberat 500 gram (Pasir) atau 1000 gram (Kerikil) (w_1).
- b) Masukkan agregat tersebut ke dalam nampan pencuci dan tambahkan air secukupnya sampai semuanya terendam.
- c) Benda uji dituangkan ke dalam ayakan no. 200.
- d) Ulangi langkah (3) sampai air cucian tampak jernih / tidak

keruh.

- e) Masukkan butir-butir pasir yang tersisa di ayakan no. 200 ke dalam nampan dan keringkan kembali dalam tungku pengering selama ± 24 jam.
 - f) Timbang pasir kering tungku kembali (w_2)
- 6) Pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar (*ASTM C556-97/SNI 03-1971-2002*)

Kadar air gabungan adalah rasio antara berat total dalam kondisi kering dan berat aktual yang dinyatakan dalam persentase. Jumlah kadar ini digunakan untuk mengatur volume air campuran beton yang disesuaikan dengan kondisi pemadatan di lapangan. Berdasarkan *ASTM C556-97/SNI 03-1971-2002* interval kadar air untuk agregat kasar yaitu antara 0,50% - 2,00% sedangkan untuk agregat halus yaitu antara 2,00% - 5,00%. Prosedur pelaksanaan pengujian kadar air agregat sebagai berikut:

- a) Talam ditimbang kemudian catat beratnya (W_1)
- b) Benda uji dimasukkan ke dalam talam dan kemudian berat talam + benda uji ditimbang. Catat beratnya (W_2).
- c) Berat benda uji dihitung dengan rumus : $W_3 = W_2 - W_1$.
- d) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai mencapai bobot tetap.
- e) Setelah kering, benda uji ditimbang kemudian catat hasil timbangan (W_4) .

Berat benda uji kering dihitung dengan menggunakan rumus :

$$W5 = W4 - W1.$$

7) Pemeriksaan zat organik pada agregat halus (*ASTM C40-99/SNI 03-2816-2004*)

Dari segi persyaratan, kandungan organik dalam agregat halus tidak boleh melebihi batas yang diizinkan menurut uji warna *Abrams-Harder* dengan larutan NaOH (3%). Penggunaan agregat halus yang tidak memenuhi syarat tersebut dapat dilakukan dengan syarat kekuatan tekan beton umur 28 hari yang dihasilkan dengan menggunakan agregat halus tersebut tidak kurang dari 95% dari kekuatan beton yang sama tetapi dengan agregat yang standar, pada umur yang sama. Berdasarkan *ASTM C40-99/SNI 03-2816-1992*, prosedur pelaksanaan pengujian pemeriksaan kandungan organik sebagai berikut:

- a) Masukkan benda uji kedalam botol.
 - b) Tambahkan senyawa NaOH 3%. Setelah dikocok, total volume menjadi kira-kira $\frac{3}{4}$ volume botol.
 - c) Eratkan penutup pada botol, kemudian botol tersebut dikocok dan setelah itu botol didiamkan selama 24 jam.
 - d) Setelah 24 jam, kemudian dibandingkan dengan warna standar No. 3 (Apakah warnah cairan lebih tua atau lebih muda).
- 8) Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles* (*SNI 2417:2008*)

Ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa dengan menggunakan percobaan abrasi *Los Angeles* (*Abrasion Los*

Angeles Test).

Pengujian ini memberikan ringkasan yang berkaitan dengan kekerasan dan kekuatan batu, serta kemungkinan terjadinya pecah butir-butir selama pengepakan, pergerakan, atau selama pengangkutan. Kekerasan batu berhubungan dengan kekuatan beton. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian ketahanan aus ini adalah persentase antara berat bagian halus (dengan lubang 2 mm) setelah pengujian dan berat awal sebelum pengujian. Makin banyak yang aus makin kurang tahan keausannya. Berdasarkan *SNI 2417:2008* interval untuk keausan agregat kasar yaitu maks 50%. Prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles* sebagai berikut:

- a) Cuci dan keringkan agregat gradasi A pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap
- b) Masukkan benda uji dan bola baja ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*.
- c) Putar mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm ; jumlah putaran gradasi A adalah 500 putaran.
- d) Pada saat pemutaran selesai, benda uji dikeluarkan dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12 (1,7 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya keringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

2. Tahapan pembuatan benda uji

- a. Pemeriksaan material campuran beton

- 1) Timbang material campuran beton, yaitu semen, agregat (halus dan kasar), dan air sesuai dengan berat yang telah ditentukan dalam rancangan campuran beton.
 - 2) Mempersiapkan peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pencampuran beton.
- b. Pencampuran beton
- 1) Masukkan air kedalam mesin sebanyak 80% dari yang telah ditentukan kemudian masukkan juga agregat dan semen.
 - 2) Masukkan sedikit demi sedikit sisa air yang tadi kedalam mesin yang berputar dengan tidak kurang dari 3 menit sampai airnya habis.
 - 3) Setiap variasi percobaan dilakukan pengadukan sebanyak 1 (satu) kali dan setiap pengadukan dilakukan pengujian nilai slump.
- c. Pemeriksaan nilai slump
- 1) Masukkan campuran beton segar kedalam kerucut *abrams* sebanyak $\frac{1}{3}$ bagian dengan 3 lapisan, setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali.
 - 2) Setelah lapisan terakhir selesai ditusuk, tunggu selama 30 detik kemudian angkat kerucut ke atas, nilai *slump* yaitu selisih tinggi antara kerucut *abrams* dengan permukaan atas beton setelah ditarik.
 - 3) Setiap pencampuran beton dilakukan sebanyak 2 kali uji nilai

slump kemudian dirata-ratakan hasilnya.

d. Pembuatan benda uji

- 1) Campuran beton segar dimasukkan kedalam cetakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm, yang sebelumnya telah diberi minyak pelumas pada bagian dalam.
- 2) Cetakan diisi dengan campuran beton segar sebanyak 3 (tiga) lapis, setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali secara merata dan cetakan penuh
- 3) Kemudian bagian atas permukaan campuran beton diratakan hingga rata dengan bagian atas cetakan dengan menggunakan tongkat perata.

3. Tahapan perawatan beton

Setelah 24 jam beton dibuka dari cetakan, kemudian diberi tanda untuk selanjutnya dilakukan perendaman didalam bak air selama periode waktu yang telah ditentukan.

4. Tahapan pengujian

a. Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan pada beton bertujuan untuk mengetahui berapa besar nilai kuat tekan pada beton dengan umur beton rencana yaitu 7, 14, dan 28 hari. Pada pengujian kuat tekan beton, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.

- 2) Benda uji diletakkan pada *Universal Testing Machine*.
- 3) Mesin *Universal Testing Machine* dihidupkan kemudian benda uji akan mendapatkan beban gaya untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tekan pada benda uji.
- 4) Pada saat benda uji mencapai beban maksimum benda uji akan retak atau bahkan pecah, jarum manometer akan berhenti.

5. Variasi benda uji

Dalam penelitian ini, jumlah sampel untuk semua variasi campuran beton adalah sebanyak 36 buah. Setiap variasi campuran, dengan substitusi semen menggunakan limbah FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat total semen, akan dilakukan pengujian kuat tekan beton. Jumlah sampel yang dibutuhkan pada setiap variasi adalah:

- a. Beton normal sebanyak 9 buah.
- b. Beton dengan substitusi limbah FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dari berat total semen sebanyak 9 buah.
- c. Beton dengan substitusi limbah FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 10% dari berat total semen sebanyak 9 buah.
- d. Beton dengan substitusi limbah FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 15% dari berat total semen sebanyak 9 buah.

Tabel 3.3 menunjukkan jumlah benda uji yang digunakan, sedangkan Tabel 3.4 memuat komposisi bahan campuran beton untuk setiap variasi substitusi FABA, sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Kuat Tekan

VARIASI	UMUR HARI (BUAH)
---------	------------------

CAMPUARAN BETON	7	14	28
BN	3	3	3
FABA 5%	3	3	3
FABA 10%	3	3	3
FABA 15%	3	3	3
Jumlah	12	12	12
Total: 36 buah benda uji			

Tabel 3.3 Persentase Komposisi Bahan Campuran Beton

Kode	Limbah FABA	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air
BN	0%	100%	100%	100%	100%
FABA 5%	5%	95%	95%	100%	100%
FABA 10%	10%	90%	90%	100%	100%
FABA 15%	15%	85%	85%	100%	100%

Keterangan : FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) : *Fly Ash Bottom Ash*
 BN : Beton Normal

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan penelitian kuantitatif dengan melakukan beberapa pengujian terhadap benda uji di laboratorium. Teknik pengumpulan data terdiri atas 2 (dua) yaitu sebagai berikut :

1. Data primer

Data primer diperoleh dari beberapa hasil penelitian yang dilakukan diLaboratorium, yaitu sebagai berikut :

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan keausan (agregat kasar) dan pemeriksaan kadar organik (agregat halus)
- d. Pemeriksaan berat volume agregat.
- e. Pemeriksaan kadar air agregat.

- f. Pemeriksaan kadar lumpur agregat
- g. Perbandingan dalam campuran beton (*Mix design*).
- h. Kekentalan adukan beton segar (*Slump test*).
- i. Uji kuat tekan beton.

2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai referensi yang memiliki kaitan dengan penelitian yang dilakukan, baik itu dari SNI (Standar Nasional Indonesia), buku-buku atau penelitian terdahulu yang dapat menunjang penelitian yang dilakukan, ataupun informasi dari dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Parepare.

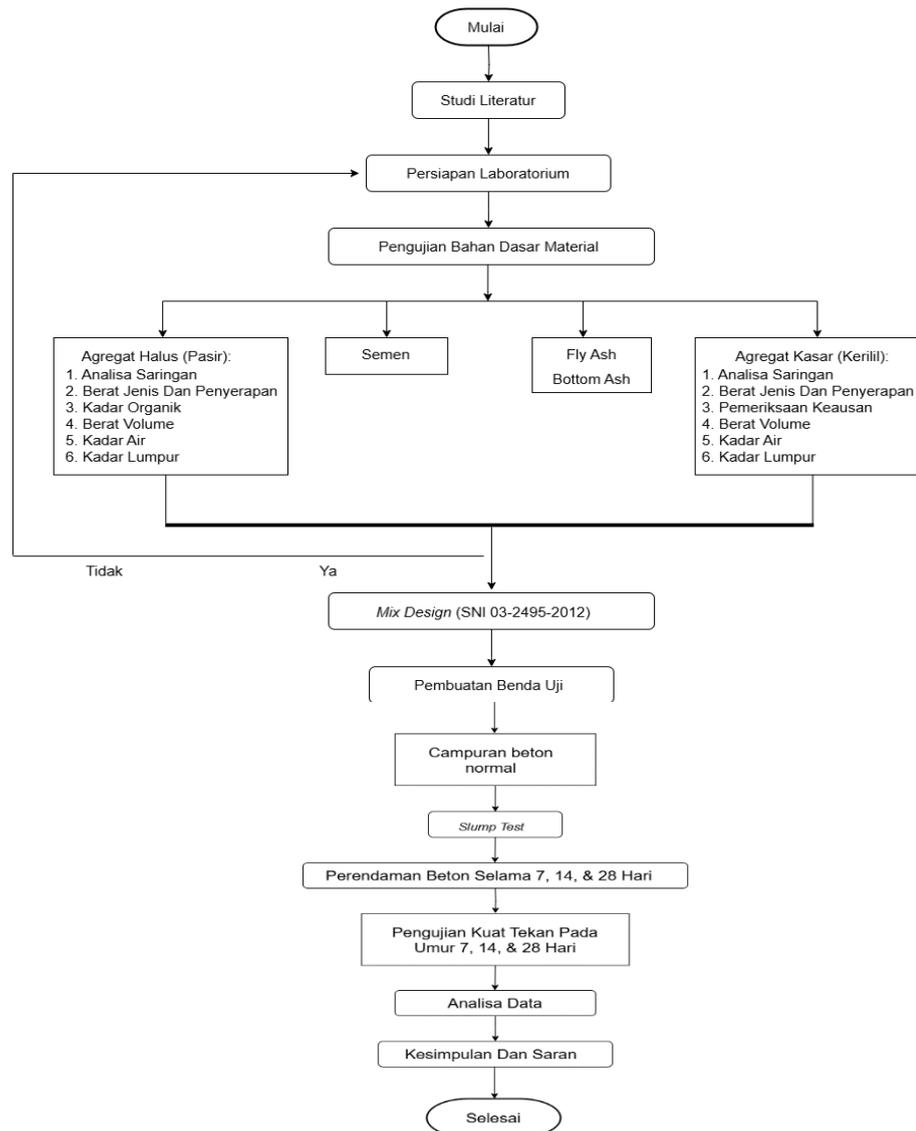
F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu data yang dihasilkan dari pengujian dan penelitian akan dikumpulkan kemudian dilakukan analisa data sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Data yang diperoleh dari analisis data selanjutnya dibuat grafik atau kurva yang dapat mempermudah dalam menarik kesimpulan. Secara garis besar analisis data yang akan dilakukan yaitu :

1. Analisis data pengujian agregat yang digunakan dalam campuran beton.
Pengujian agregat kasar dan halus seperti analisis saringan, berat jenis, berat volum, kadar air, kadar lumpur.
2. Analisis data perancangan campuran beton (*Mix Design*).
Perancangan *mix design* sesuai aturan SNI yang akan digunakan dalam penelitian.
3. Analisis data uji kuat tekan pada beton.
Selanjutnya akan di uji kuat tekan untuk dengan variasi pengambil air

hujan sehingga mendapatkan hasil kekuatan beton yang optimal

G. Diagram Alir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Agregat kasar, halus, dan halus diuji berdasarkan Standar Nasional Indonesia, atau SNI Rekapitulasi percobaan Laboratorium menunjukkan hasil total uji:

1. Agregat Halus

Tabel 4.1 Rekapitulasi pengujian agregat halus (Sumber: Hasil olah data)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4,6%	5,0%	4,80%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1	No. 1	No. 1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4,17%	4,38%	4,28%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,40	1,40	1,40	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,49	1,48	1,49	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	3,95%	0,00%	1,98%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,81	2,53	2,67	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,53	2,53	2,53	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,63	2,53	2,58	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,64	2,38	2,51	Memenuhi

Hasil dari pengujian agregat halus sebelumnya adalah sebagai berikut:

a. Kadar lumpur agregat

Uji menunjukkan bahwa agregat halus dapat digunakan untuk campuran beton tanpa dicuci terlebih dahulu; kadar lumpurnya adalah 4,8%, lebih kecil dari

5%, dan sesuai dengan spesifikasi.

b. Kadar organik agregat

Setelah dicuci, agregat halus dapat digunakan tanpa dicuci terlebih dahulu. Hasil pengujian kadar organik sampel menunjukkan kadar organik agregat halus yang sangat rendah, yang ditunjukkan dengan warna kekeruhan nomor 1 pada standar warna.

c. Kadar air agregat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air agregat halus 4,28 % sesuai dengan spesifikasi, berada di antara 2,00% dan 5,00%. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir, atau agregat halus, dapat digunakan

d. Berat volume agregat

Jumlah semen minimal dan faktor air semen maksimum yang diperlukan untuk berbagai jenis pembetonan dalam kondisi tertentu Kedua hasil ini sesuai dengan spesifikasi, dengan nilai antara 1,4 dan 1,49 kg/liter, yang menunjukkan bahwa agregat halus adalah material.

e. Penyerapan air agregat

Hasilnya, yang mencapai 1,98% sesuai dengan spesifikasi dan berada di antara 0,2% dan 2%, menunjukkan bahwa agregat halus (pasir) dapat digunakan sebagai campuran beton.

f. Berat jenis agregat

Uji menunjukkan bahwa berat jenis nyata 2,67, berat jenis kering 2,53, dan berat jenis kering permukaan 2,58, masing-masing sesuai dengan spesifikasi, yang berada di antara 1,6 dan 3,3 kg per liter. Ini menunjukkan bahwa agregat halus atau

pasir dapat digunakan sebagai campuran beton.

2. Agregat Kasar

Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (*Sumber : Hasil olah data*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,9%	0,70%	0,80%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	28,0%	23,0%	25,5%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,01%	1,01%	1,01%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,63	1,63	1,63	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,69	1,68	1,69	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	1,94%	3,56%	2,75%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,50	2,57	2,53	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,38	2,35	2,37	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,43	2,44	2,43	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,74	6,55	6,64	Memenuhi

a. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat kasar di atas menunjukkan hasil 0,80%, yang mirip spesifik dan lebih kecil dari 1%. Hasil tersebut menunjukkan material agregat kasar bisa digunakan sebagai campuran beton tanpa di cuci dulu.

a. Keausan Agregat

Hasil pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin Los Angeless di atas menunjukkan nilai 25,5%, yang lebih rendah dari 50%.

b. Kadar Air

Dimungkinkan untuk menggunakan agregat kasar dalam campuran beton karena hasil pengujian kadar air di atas menunjukkan nilai 1,01%, yang lebih rendah

dari 2%.

c. Berat Volume

Sebagai bahan campuran beton, agregat kasar dapat digunakan. Hasil pengujian berat volume rongganya adalah 1,63, sedangkan nilai berat volume padatnya adalah 1,69. Nilai keseluruhan masih berada di antara 1,6 dan 1,9 kilogram per liter.

d. Penyerapan Air

Ini ditunjukkan oleh hasil pengujian penyerapan air agregat kasar di atas, di mana nilainya mencapai 2,75% dan tetap dalam rentang hingga 4% sehingga agregat kasar dapat digunakan.

e. Berat Jenis

Uji menunjukkan bahwa berat jenis nyata 2,53, berat jenis kering 2,37, dan berat jenis kering permukaan 2,43, masing-masing sesuai dengan spesifikasi, yang berada di antara 1,6 dan 3,3 kg per liter. Ini menunjukkan bahwa agregat halus atau pasir dapat digunakan sebagai campuran beton.

f. Modulus Kehalusan

Interval modulus kehalusan adalah antara 6,0 dan 8,0, menurut SNI karakteristik agregat kasar. Hasil penelitian, 6,64, sesuai dengan spesifikasi dan dapat digunakan dalam campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012 dengan hasil data sebagai berikut :

Diketahui data material:

Mutu beton	= 25 Mpa
<i>Slump</i>	= 75-100 mm
Ukuran agregat maksimum	= 20
Berat kering oven agregat kasar	= 1,686
BJ semen tanpa tambahan udara	= 3,08
Modulus kehalusan agregat halus	= 2.51
Berat jenis (SSD) agregat halus	= 2.58
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2.43
Penyerapan air agregat halus	= 1.98%
Penyerapan air agregat kasar	= 2,75%
Kadar Air agregat halus	= 4.28%
Kadar Air agregat kasar	= 1.01%

Perhitungan

1. Deviasi Standart

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

Digunakan mutu pengendalian dengan tingkat jelek dikarenakan peneliti sebelumnya tidak pernah melakukan penelitian atau tidak ada pengalaman sama sekali.

2. Nilai tambah

$$\begin{aligned} M &= 1,64 \times SR \\ &= 1,64 \times 7 \\ &= 11,48 \text{ Mpa} \cong 12 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

3. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

$$\begin{aligned}
 f_c \text{ target} &= f'c + m \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

4. Jenis Semen

Semen Portland Tipe 1

5. Jenis Agregat

Agregat Halus = Alami

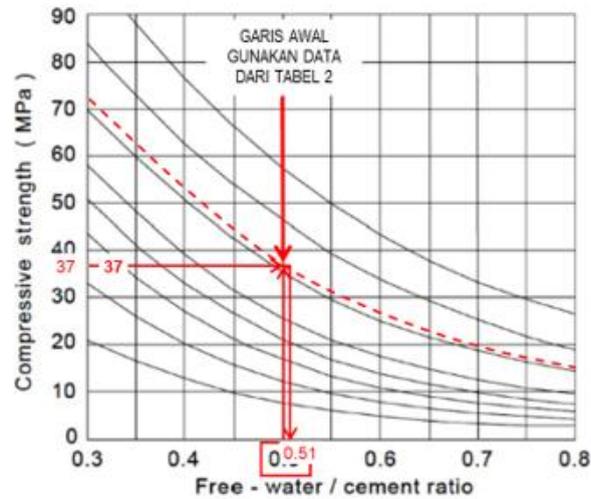
Agregat Kasar = Batu Pecah

6. Faktor Air Semen Bebas

$$= 0,51 \text{ Mpa}$$

Tabel 4.3 Kekuatan tekan (Mpa) perkiraan dengan faktor air semen dan agregat kasar (*Sumber: SNI 03-02-2834*)

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Uji
		Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	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	25	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	
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 4. 1 Grafik perkiraan faktor air semen (*Sumber: SNI 03-2834:2000*).

$$f'c \text{ rencana} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f'c \text{ target} = 36,48 \text{ Mpa}$$

$$f_{as} \text{ pakai} = 0,51$$

7. Faktor Air Semen Maksimum

$$= 0,60$$

Tabel 4.4 jumlah semen minimal dan faktor air semen maksimum yang diperlukan untuk berbagai jenis pembetonan dalam kondisi tertentu (*Sumber: SNI 03-2834:2000*).

Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
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	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

8. Slump

Biasanya untuk pengecoran di dalam indor slump yang mudah dikerjakan adalah 10 ± 2 , atau setara dengan 8 cm – 12 cm, yang dimana didalam grafik slump pada SNI dikategorikan pada wilayah:

$$= 60 - 180$$

9. Ukuran Agregat Maksimum

$$= 20 \text{ mm}$$

Tabel 4.5 Kadar air bebas (Kg/m³) yang diperlukan untuk membuat adukan beton dengan berbagai tingkat kemudahan (*Sumber: SNI 03-2834:2000*)

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
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

10. Kadar Air Bebas

$$W_h = 195$$

$$W_k = 225$$

W_k adalah jumlah air yang diproyeksikan untuk agregat kasar, sedangkan W_h adalah jumlah air yang diproyeksikan untuk agregat halus.

$$W = \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k$$

$$W = \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225$$

$$W = 203,00 \text{ kg/m}^3$$

11. Kadar Semen

Jika FAS max lebih besar dari FAS bebas maka digunakan :

$$C = W / \text{FAS Max}$$

Jika FAS Max lebih kecil dari FAS bebas maka digunakan :

$$C = W / \text{FAS Bebas}$$

Karena FAS max yang diperoleh lebih besar dari FAS bebas, maka :

$$C = W / \text{FAS Max}$$

$$C = 397,58 \text{ Kg/m}^3$$

12. Kadar Semen Minimum

$$= 325,00 \text{ Kg/m}^3$$

13. Faktor Air Semen Yang di Sesuaikan

$$= 397,58 \text{ Kg/m}^3$$

14. Susunan Besar Butir Agregat Halus

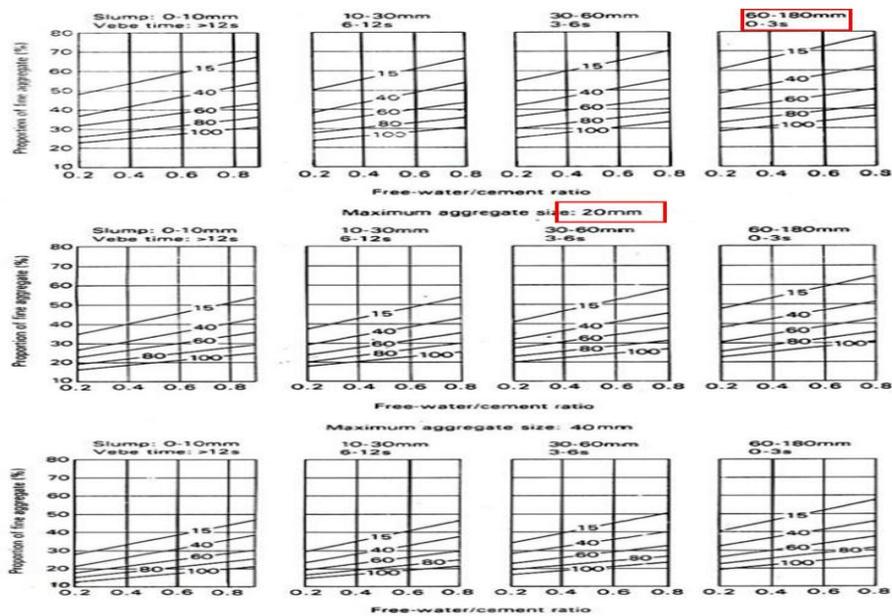
$$\text{Jenis pasir} = \text{Agak Halus}$$

15. Berat Jenis Agregat

$$\text{Berat Jenis Agregat Halus} = 2,58$$

$$\text{Berat Jenis Agregat Kasar} = 2,43$$

16. Persen Agregat Halus



Gambar 4.2 Perkiraan Persen Agregat (Sumber: SNI 03-2834:2000).

$$\begin{aligned} \text{Persen Agregat Halus} &= 59 \% + 25 \% / 2 \\ &= 41 \% \end{aligned}$$

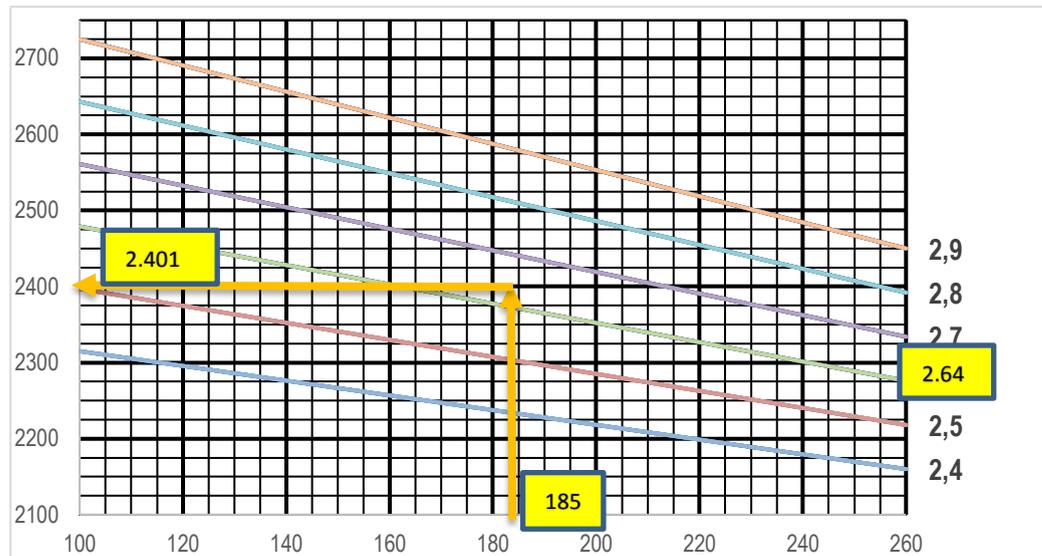
$$\begin{aligned} \text{Persen Agregat Kasar} &= 100 \% - \text{Persen Agregat Halus} \\ &= 100 \% - 41 \% \\ &= 59 \% \end{aligned}$$

17. Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan

Berat jenis agregat gabungan dihitung dengan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Bj Ag.Gab} &= (\text{Persen Ag.Halus} \times \text{Bj.Ag.Halus}) + (\text{Persen Ag.Kasar} \times \\ &\text{Bj.Ag.Kasar}) \\ &= 249\% \\ &= 2,49 \end{aligned}$$

18. Berat Isi Beton



Gambar 4.3 Grafik perkiraan berat isi beton (Sumber: SNI 03-2834:2000).

$$\text{Berat isi beton} = 2401,36' \text{ kg/m}^3$$

19. Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Kadar Ag.gab} = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadari air bebas}$$

$$\text{Kadar Ag.gab} = 1.800,42 \text{ kg/m}^3$$

20. Kadar Agregat Halus

$$\text{Kadar Ag.halus} = \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar Ag.gabungan}$$

$$= 576,13 \text{ kg/m}^3$$

21. Kadar Agregat Kasar

$$\text{Kadar Ag.Kasar} = \text{Kadar agregat gabungan} - \text{Kadar agregat halus}$$

$$= 1.224,28 \text{ kg/m}^3$$

22. Berat Absolute Pasir tiap 1 m³ beton

$$\text{Vol. Air} = 203,0 = 0,20 \text{ m}^3$$

Vol. padat semen	=	448,1	=	0,146 m ³
Vol. absolute Ag. Kasar	=	1073,6	=	0,441 m ³
Vol. udara terperangkap	=	1,9%	=	0,019 m ³
Jumlah Vol.padat selain Ag. Halus	=	0,809 m ³		
Vol. Ag. Halus	=	0,191 m ³		
Berat Ag halus kering	=	0,191	=	492,1 kg

23. Koreksi Terhadap Kadar Air

Sebelum pencampuran, kadar air material diuji, dan hasilnya dapat dilihat pada SNI. 03-1971-19990

Misal, kadar air yang didapat

$$\text{Ag.Kasar} = 1,01\%$$

$$\text{Ag.Halus} = 4,28\%$$

Sehingga berat massa penyesuaian berdasarkan kadar air adalah

$$\text{Ag.Kasar (Basah)} = 1,01 \% \times 1224,28 = 12,367 \text{ kg}$$

$$\text{Ag.Halus (Basah)} = 4,28 \% \times 576,134 = 24,632 \text{ kg}$$

Air yang diserap harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan karena tidak termasuk dalam air pencampur:

$$\text{Air yang diberikan Ag.kasar} = 1,89\% \times 1224,28 = 24,180 \text{ kg}$$

$$\text{Air ang diberikan Ag.halus} = 2,75\% \times 567,134 = 15,842 \text{ kg}$$

Dengan demikian kebutuhan air adalah sebagai berikut

$$203,0 - 37,0 + 40,022 = 206,024 \text{ kg}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagi berikut

$$\text{Air (yang ditambahkan)} = 206,024 \text{ kg}$$

Semen	= 454,822	kg
Ag.Kasar	= 1212,470	kg
Ag.Halus	= 584,924	kg

24. Kebutuhan campuran beton untuk 1 m³ beton

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Campuran Bahan Untuk 1 m³ Beton (*Sumber: Hasil olah data*)

Bahan material beton	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
Air (berat bersih)	206,0	203,0	203,0
Semen	454,8	448,1	448,1
Ag. Kasar (kering)	1212,5	1073,7	1073,7
Ag. Halus (kering)	584,9	625,2	492,1

Perbandingan berat = W semen : W pasir : W kerikil : W air

1	1,10	2,40	0,45
---	------	------	------

25. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :

Dibutuhkan beton berbentuk silinder = 9 silinder beton

Diameter (d) = 0,15 m

Tinggi (h) = 0,3 m

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\
 &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\
 &= 0,005301 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3 \times 9
 \end{aligned}$$

$$= 0,04771 \text{ m}^3$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %.

$$\text{Volume tambahan} = \text{Vol. 9 silinder} \times 15\%$$

$$= 0,04771 \text{ m}^3 \times 15\%$$

$$= 0,00716 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total} = \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan}$$

$$= 0,04771 \text{ m}^3 + 0,00716 \text{ m}^3$$

$$= 0,05487 \text{ m}^3$$

A. Kebutuhan Beton Normal

1. Fly Ash

$$\text{Vol. Fly Ash} = \text{V. Semen} \times 5\%$$

$$= 0,1262 \times 5\%$$

$$= 0,006 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat Fly Ash} = \text{Vol. Fly Ash} \times \text{BJ.Fly Ash}$$

$$= 0,006 \text{ m}^3 \times 3.450$$

$$= 21,773 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Semen} = \text{V. Semen} \times 95\%$$

$$= 0,1262 \times 95\%$$

$$= 0,120 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat Semen} = \text{Vol. Semen} \times \text{BJ.Semen}$$

$$= 0,120 \text{ m}^3 \times 3.150$$

$$= 377,703 \text{ m}^3$$

2. Bottom Ash

$$\begin{aligned} \text{Vol. Bottom Ash} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 5\% \\ &= 0,3901 \quad \times \quad 5\% \\ &= 0,020 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Bottom Ash} &= \text{Vol. Bottom Ash} \quad \times \quad \text{BV.Bottom Ash} \\ &= 0,020 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.515 \\ &= 29,537 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Pasir} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 95\% \\ &= 0,3901 \quad \times \quad 95\% \\ &= 0,371 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pasir} &= \text{Vol. Pasir} \quad \times \quad \text{BV.Pasir} \\ &= 0,371 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.445 \\ &= 535,286 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk 9 silinder beton normal
(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	397,583 kg	2,424 kg	21,815 kg
W pasir	563,459 kg	3,435 kg	30,917 kg
W kerikil	1227,345 kg	7,483 kg	67,344 kg
W air	212,614 kg	1,296 kg	11,666 kg
W Fly Ash	0,000 kg	0,000 kg	0,000 kg
W Bottom Ash	0,000 kg	0,000 kg	0,000 kg

B. Untuk variasi penambahan 5% FABA Bottom Ash dan Fly Ash

1. Fly Ash

$$\text{Vol. Fly Ash} = \text{V. Semen} \quad \times \quad 5\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,1262 \quad \times \quad 5\% \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Fly Ash} &= \text{Vol. Fly Ash} \quad \times \quad \text{BJ.Fly Ash} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \quad \times \quad 3.450 \\
 &= 21,773 \text{ m}^3 \\
 \text{Vol. Semen} &= \text{V. Semen} \quad \times \quad 95\% \\
 &= 0,1262 \quad \times \quad 95\% \\
 &= 0,120 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \quad \times \quad \text{BJ.Semen} \\
 &= 0,120 \text{ m}^3 \quad \times \quad 3.150 \\
 &= 377,703 \text{ m}^3 \\
 & \\
 &2. \text{ Bottom Ash} \\
 \text{Vol. Bottom Ash} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 5\% \\
 &= 0,3901 \quad \times \quad 5\% \\
 &= 0,020 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Bottom Ash} &= \text{Vol. Bottom Ash} \quad \times \quad \text{BV.Bottom Ash} \\
 &= 0,020 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.515 \\
 &= 29,537 \text{ kg} \\
 \text{Vol. Pasir} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 95\% \\
 &= 0,3901 \quad \times \quad 95\% \\
 &= 0,371 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Pasir} &= \text{Vol. Pasir} \quad \times \quad \text{BV.Pasir} \\
 &= 0,371 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.445
 \end{aligned}$$

$$= 535,286 \text{ kg}$$

Tabel 4. 8 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 5% (FABA Bottom Ash dan Fly Ash)

(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	377,703 kg	2,303 kg	20,725 kg
W pasir	535,286 kg	3,263 kg	29,371 kg
W kerikil	1227,345 kg	7,483 kg	67,344 kg
W air	212,614 kg	1,296 kg	11,666 kg
W Fly Ash	21,773 kg	0,133 kg	1,195 kg
W Bottom Ash	29,537 kg	0,180 kg	1,621 kg

C. Untuk variasi penambahan 10% FABA Bottom Ash dan Fly Ash

1. Fly Ash

$$\begin{aligned} \text{Vol. Fly Ash} &= \text{V. Semen} \quad \times \quad 10\% \\ &= 0,1262 \quad \times \quad 10\% \\ &= 0,013 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Fly Ash} &= \text{Vol. Fly Ash} \quad \times \quad \text{BJ.Fly Ash} \\ &= 0,013 \text{ m}^3 \quad \times \quad 3.450 \\ &= 43,547 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Semen} &= \text{V. Semen} \quad \times \quad 90\% \\ &= 0,1262 \quad \times \quad 90\% \\ &= 0,114 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \quad \times \quad \text{BJ.Semen} \\ &= 0,114 \text{ m}^3 \quad \times \quad 3.150 \\ &= 357,824 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Bottom Ash

$$\begin{aligned} \text{Vol. Bottom Ash} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 10\% \\ &= 0,3901 \quad \times \quad 10\% \\ &= 0,039 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Bottom Ash} &= \text{Vol. Bottom Ash} \quad \times \quad \text{BV.Bottom Ash} \\ &= 0,039 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.515 \\ &= 59,074 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Pasir} &= \text{V. Pasir} \quad \times \quad 90\% \\ &= 0,3901 \quad \times \quad 90\% \\ &= 0,351 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pasir} &= \text{Vol. Pasir} \quad \times \quad \text{BV.Pasir} \\ &= 0,351 \text{ m}^3 \quad \times \quad 1.445 \\ &= 507,113 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 10% FABA Bottom Ash dan Fly Ash (*Sumber: Hasil olah data*)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	357,824 kg	3,150 kg	19,634 kg
W pasir	507,113 kg	3,092 kg	27,825 kg
W kerikil	1227,345 kg	7,483 kg	67,344 kg
W air	212,614 kg	1,296 kg	11,666 kg
W Fly Ash	43,547 kg	0,265 kg	2,389 kg
W Bottom Ash	59,074 kg	0,360 kg	3,241 kg

D. Untuk variasi penambahan 15% FABA Bottom Ash dan Fly Ash

1. Fly Ash

$$\text{Vol. Fly Ash} = \text{V. Semen} \quad \times \quad 15\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,1262 \quad \times 15\% \\
 &= 0,019 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Fly Ash} &= \text{Vol. Fly Ash} \quad \times \text{BJ.Fly Ash} \\
 &= 0,019 \text{ m}^3 \quad \times 3.450 \\
 &= 65,320 \text{ m}^3 \\
 \text{Vol. Semen} &= \text{V. Semen} \quad \times 85\% \\
 &= 0,1262 \quad \times 85\% \\
 &= 0,107 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \quad \times \text{BJ.Semen} \\
 &= 0,107 \text{ m}^3 \quad \times 3.150 \\
 &= 337,945 \text{ m}^3 \\
 &2. \text{ Bottom Ash} \\
 \text{Vol. Bottom Ash} &= \text{V. Pasir} \quad \times 15\% \\
 &= 0,3901 \quad \times 15\% \\
 &= 0,059 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Bottom Ash} &= \text{Vol. Bottom Ash} \quad \times \text{BV.Bottom Ash} \\
 &= 0,059 \text{ m}^3 \quad \times 1.515 \\
 &= 88,611 \text{ kg} \\
 \text{Vol. Pasir} &= \text{V. Pasir} \quad \times 85\% \\
 &= 0,3901 \quad \times 85\% \\
 &= 0,332 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Pasir} &= \text{Vol. Pasir} \quad \times \text{BV.Pasir} \\
 &= 0,332 \text{ m}^3 \quad \times 1.445
 \end{aligned}$$

$$= 478,940 \text{ kg}$$

Tabel 4. 10 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 15% FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) (Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	337,945 kg	2,060 kg	18,543 kg
W pasir	478,940 kg	2,920 kg	26,279 kg
W kerikil	1227,345 kg	7,483 kg	67,344 kg
W air	212,614 kg	1,296 kg	11,666 kg
W Fly Ash	65,320 kg	0,398 kg	3,584 kg
W Bottom Ash	88,611 kg	0,540 kg	4,862 kg

C. Nilai Slump

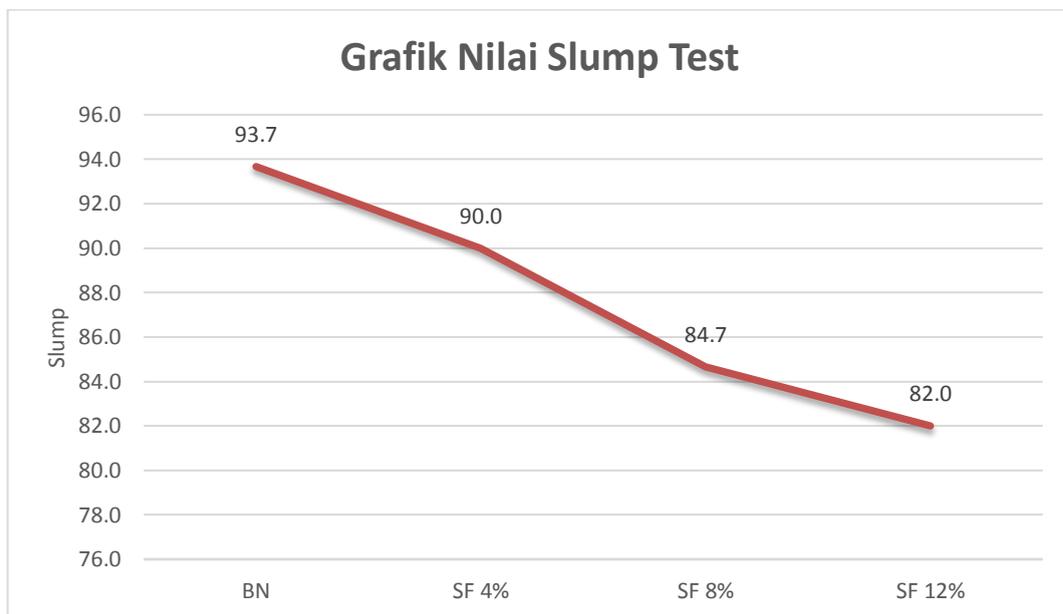
Berbeda dengan nilai slump yang digunakan untuk menilai konsistensi beton dan workability pada kondisi tertentu, hasil pemeriksaan *slump test* digunakan untuk melihat perubahan kadar air campuran beton. Semakin rendah nilai slump, semakin kental beton tersebut, dan proses pemadatan atau pekerjaan beton akan semakin sulit dan memakan waktu. Lebih mudah untuk diterapkan dan tidak memakan banyak waktu selama proses pemadatan saat bekerja atau bekerja saat memadatkan.

Kerucut Abrams digunakan untuk menilai validitas *Slump tes*. Kerucut Abrams pertama kali dibasahi sebelum diletakkan di permukaan yang rata. Kerucut kemudian diisi dengan tiga lapis beton baru, yang bagian atasnya diratakan setelah tiap lapis diisi dengan 1/3 volume kerucut abrams dan ditusuk 25 kali, dengan tusukan berlanjut hingga dasar tiap lapis. Kerucut dinaikkan perlahan secara vertikal selama sekitar 30 detik, setelah itu nilai slump dihitung dengan mengukur tinggi campuran dan membandingkannya dengan tinggi kerucut.

Tabel 4. 11 Hasil pengujian nilai slump test (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2024*)

Variasi	Titik			Rata-Rata (mm)	Ket
	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)		
BN	96	94	91	93,7	9
FABA 5%	91	90	86	90,0	7
FABA 10%	86	84	84	84,7	6
FABA 15%	84	81	81	82,0	5

Berdasarkan tabel 4.12 di atas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* antara masing-masing variasi. Di mana pada keempat variasi beton yang didapatkan nilai *Slump test* yang memenuhi *slump* rencana dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Perbandingan nilai slump pada setiap variasi
(*Sumber: Hasil olah data*)

D. Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan uji kuat tekan terhadap benda uji. Pengujian kuat tekan dilakukan pada

saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan sebanyak 3 sampel yang terdiri dari 4 variasi campuran yaitu beton normal, Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5%, Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 10%, Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 15%. Untuk masing-masing variasi campuran disiapkan 3 sampel silinder dengan ukuran benda uji 150 x 300 mm. sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

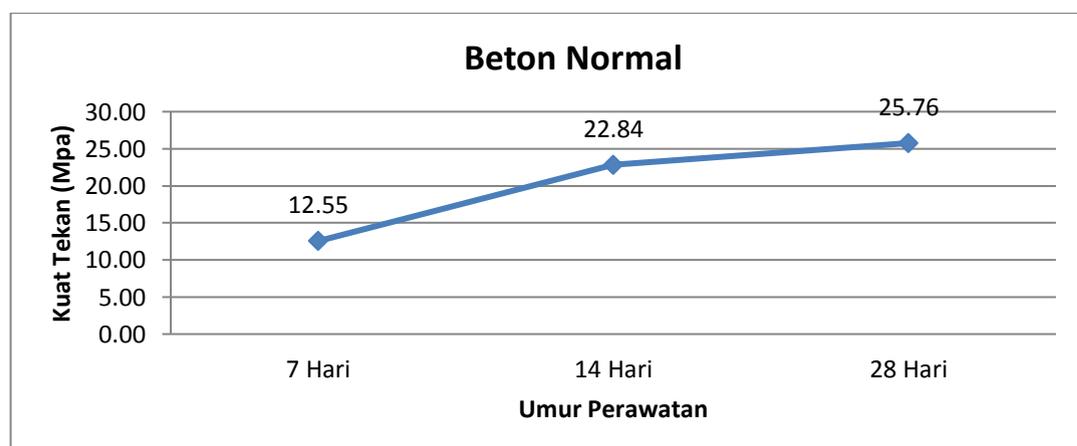
Adapun dari hasil pengujian kuat tekan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Beton Normal

Tabel 4. 12 Rekap hasil kuat tekan beton normal.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	11,996	221,7	12,55
2	14 Hari	11,874	403,3	22,84
3	28 Hari	12,068	455,0	25,76

Terdapat tiga sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 12,55 Mpa selama 7 hari, 22,84 Mpa selama 14 hari, dan 25,76 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.5 Grafik pengujian kuat tekan beton normal

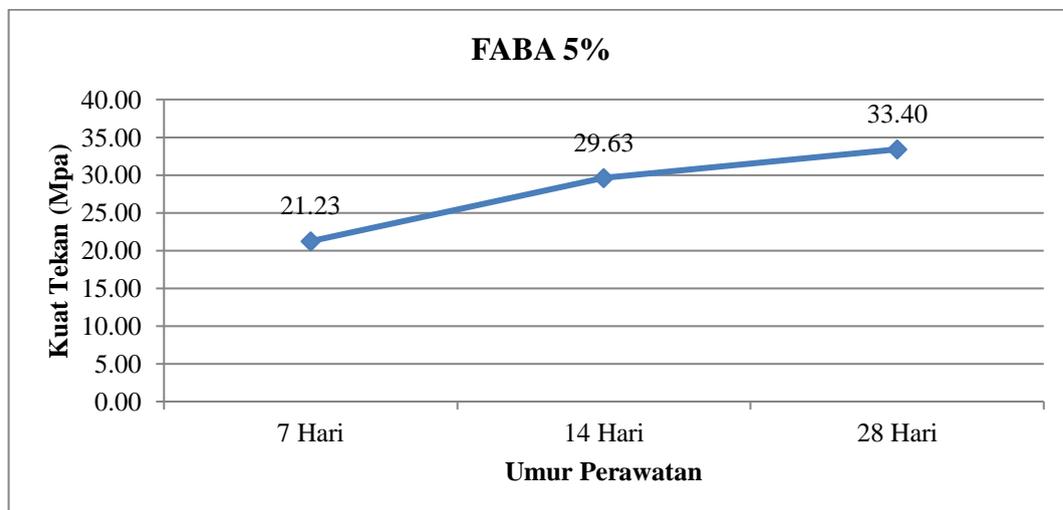
Pada gambar diatas beton normal mengalami peningkatan 10,29 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 2,92 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

2. Beton Fly Ash dan Bottom Ash 5%

Tabel 4. 13 Rekan hasil kuat tekan beton FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5%

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	11,928	375,0	21,2
2	14 Hari	11,902	523,3	29,6
3	28 Hari	11,889	590,0	33,4

Pada pengujian sampel uji beton dengan penambahan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 21,2 Mpa selama 7 hari, 29,6 Mpa selama 14 hari, dan 33,4 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.6 Grafik pengujian kuat tekan beton FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5%
(Sumber: Hasil olah data)

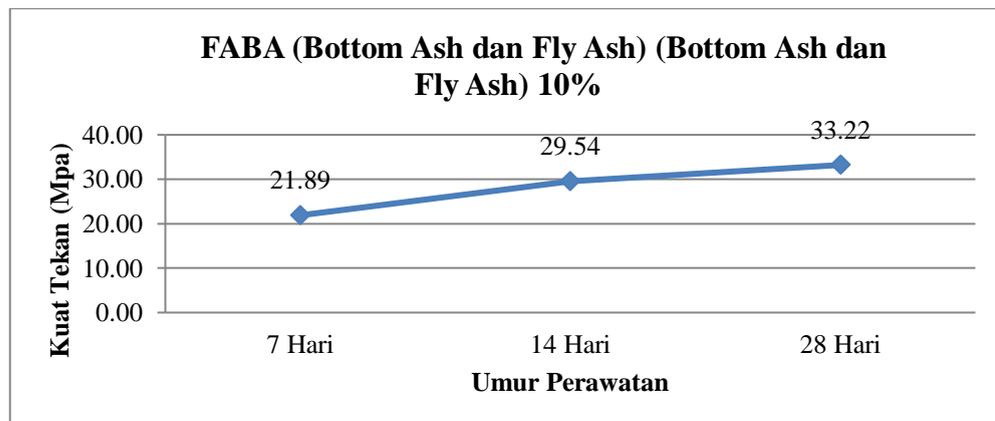
Pada gambar diatas beton dengan penambahan Faba 5% mengalami peningkatan 8,4 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 3,77 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

3. Beton Fly Ash dan Bottom Ash 10%

Tabel 4. 14 Rekan hasil kuat tekan beton FABa (Bottom Ash dan Fly Ash) 10%

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,042	386,7	21,89
2	14 Hari	11,859	521,7	29,54
3	28 Hari	11,863	586,7	33,22

Pada pengujian sampel uji dengan beton Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 10% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 21,89 Mpa selama 7 hari, 29,54 Mpa selama 14 hari, dan 33,22 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.7 Grafik pengujian kuat tekan beton FABa (Bottom Ash dan Fly Ash) 10%
(Sumber: Hasil olah data)

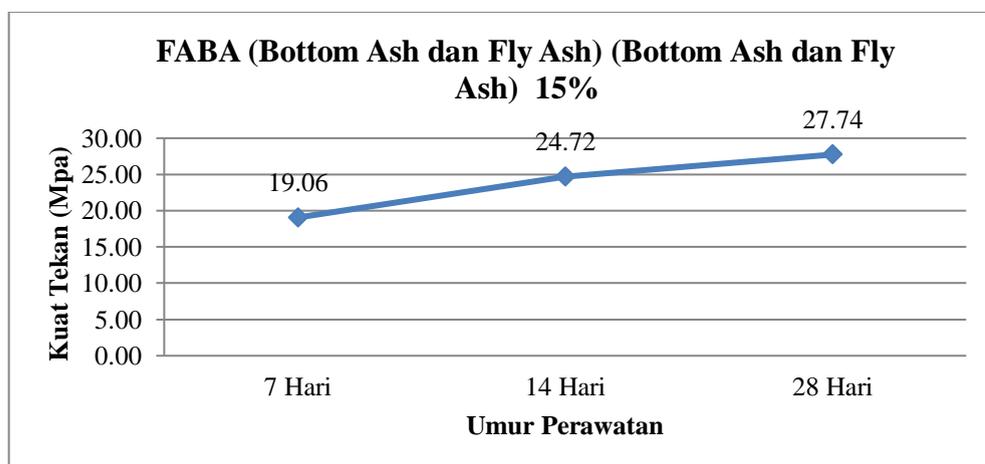
Pada gambar diatas beton dengan penambahan silika fume 8% mengalami peningkatan 7,65 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 3,68 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

4. Beton Fly Ash dan Bottom Ash 15%

Tabel 4. 15 Rekan hasil kuat tekan beton FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 15%.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	11,799	336,7	19,06
2	14 Hari	11,816	436,7	24,72
3	28 Hari	12,051	490,0	27,74

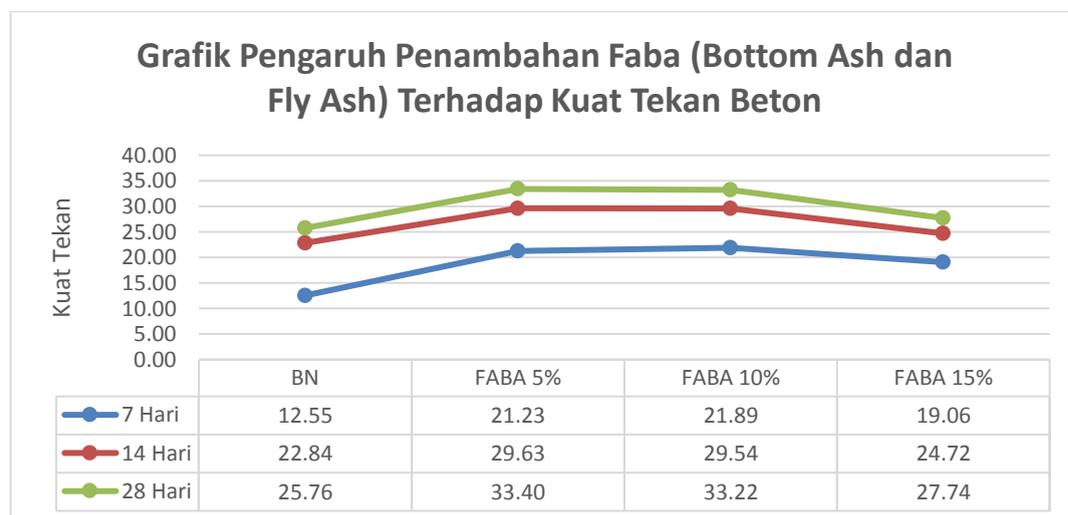
Pada pengujian sampel uji dengan beton SF 12% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 19,06 Mpa selama 7 hari, 24,72 Mpa selama 14 hari, dan 27,74 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.8 Grafik pengujian kuat tekan beton FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 15% (Sumber: Hasil olah data)

Pada gambar diatas beton dengan penambahan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 15% mengalami peningkatan 5,66 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 3,02 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

Berikut adalah grafik gabungan pengaruh penambahan Faba terhadap kuat tekan beton.



Gambar 4.9 Grafik gabungan pengaruh penambahan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Beton (*Sumber: Hasil olah data*)

Penambahan bahan tambah Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, terutama dalam rentang kadar 5% hingga 10%. Pada umur 7 hari, beton tanpa Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) (BN) memiliki kuat tekan 12,55 MPa, sementara beton dengan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% mencapai 21,23 MPa dan 21,89 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) dapat mempercepat peningkatan kekuatan awal beton, diduga karena perannya sebagai bahan pengisi yang meningkatkan kepadatan atau sebagai katalis dalam reaksi hidrasi semen. Namun, kadar Faba 15% hanya menghasilkan 19,06 MPa, mengindikasikan bahwa penambahan berlebih justru mengurangi efektivitasnya. Hal ini dapat terlihat pada umur 14 dan 28 hari, di mana Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% tetap unggul, sementara Faba (Bottom

Ash dan Fly Ash) 15% tertinggal.

Perkembangan kuat tekan beton dari waktu ke waktu juga menunjukkan pola yang menarik. Pada umur 14 hari, beton BN meningkat menjadi 22,84 MPa, sedangkan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% mencapai sekitar 29,63 Mpa dan 29,54. Kenaikan ini lebih lambat dibandingkan periode 7 hari, tetapi tetap signifikan. Namun, pada kadar 15%, kuat tekan hanya mencapai 24,72 MPa, jauh di bawah performa Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5-10%. Hal ini menguatkan dugaan bahwa kelebihan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) dapat mengganggu keseimbangan campuran dan juga tidak mencapai kuat tekan rencana sebesar 25 Mpa, misalnya dengan meningkatkan porositas atau mengurangi ikatan antar partikel. Pada umur 28 hari, beton BN mencapai 25,76 MPa, sementara Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% stabil di atas 33 MPa. Kuat tekan maksimum ini menunjukkan bahwa Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% sampai 10% tidak hanya mempercepat pengerasan awal, tetapi dapat juga menjaga konsistensi kekuatan hingga tahap akhir.

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) pada kadar 5% sampai 10% memberikan manfaat tertinggi. Kadar ini mampu meningkatkan kepadatan matriks beton melalui sifat pozolanik Faba, sehingga mengurangi porositas dan meningkatkan daya tahan. Sebaliknya, kadar 15% justru menurunkan performa akibat ketidakseimbangan rasio bahan dalam campuran, yang berpotensi menyebabkan segregasi atau retak mikro. Dengan itu, penggunaan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) perlu dikontrol secara ketat untuk memastikan efisiensi dan keamanan struktural. Rekomendasi praktisnya adalah

menggunakan Faba (Bottom Ash dan Fly Ash) dalam rentang waktu 5% sampai 10% untuk memaksimalkan kekuatan beton tanpa risiko overdosis, sekaligus memanfaatkan keunggulannya dalam mempercepat pengerasan awal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh penambahan limbah bottom ash sebagai substitusi pasir dan fly ash sebagai substitusi semen pada campuran beton, dapat disimpulkan bahwa kombinasi kedua material ini memberikan dampak positif terhadap kuat tekan beton. Pada umur 7 hari, beton dengan campuran FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan, dari 12,55 MPa pada beton normal menjadi 21,23 MPa dan 21,89 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi bottom ash sebagai pengganti pasir dan fly ash sebagai pengganti semen berperan efektif dalam mempercepat pengerasan awal beton. Pada masa perawatan 14 hari, beton dengan campuran FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% terus menunjukkan peningkatan kuat tekan yang stabil, mencapai sekitar 29,63 MPa dan 29,54 MPa, sementara beton normal hanya mencapai 22,84 MPa. Meskipun laju peningkatan kuat tekan lebih lambat dibandingkan periode 7 hari pertama, namun tetap menunjukkan tren positif yang konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa substitusi kedua material tidak hanya efektif pada tahap awal pengerasan tetapi juga mendukung proses pengerasan berkelanjutan. Pengujian pada umur 28 hari memperlihatkan hasil yang sangat memuaskan, dimana beton dengan kandungan FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 5% dan 10% mencapai kuat tekan optimal sekitar 33 MPa, jauh melampaui beton normal yang hanya mencapai 25,76 MPa. Namun, perlu diperhatikan bahwa

penambahan FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) 15% justru memberikan hasil yang kurang optimal, dengan kuat tekan hanya mencapai 27,74 MPa pada umur 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat batasan optimal dalam penggunaan kombinasi bottom ash dan fly ash sebagai material substitusi.

2. Kombinasi bottom ash sebagai pengganti pasir dan fly ash sebagai pengganti semen terbukti layak digunakan dalam rentang 5-10%. Pada rentang ini, kedua material berfungsi efektif dalam meningkatkan kepadatan matriks beton, dimana bottom ash berperan sebagai agregat halus pengganti pasir dan fly ash memberikan sifat pozzolanik yang mengurangi porositas serta meningkatkan daya tahan beton. Namun, penggunaan di atas 10% dapat mengganggu keseimbangan campuran dan berpotensi menyebabkan segregasi atau retak mikro.
3. Penambahan FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) sebesar 10% menunjukkan hasil uji kuat tekan tertinggi karena pada kadar ini terjadi keseimbangan optimal antara efek pozzolanik dan substitusi semen. Pada 10% FABA (Bottom Ash dan Fly Ash), material pozzolanik bereaksi secara efektif dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen untuk membentuk lebih banyak kalsium silikat hidrat (C-S-H), sekaligus memberikan efek pengisi pori-pori mikro yang meningkatkan kepadatan beton. Hal ini terbukti dari nilai kuat tekan yang mencapai 21,89 MPa (7 hari), 29,54 MPa (14 hari), dan 33,22 MPa (28 hari), sementara penambahan FABA (Bottom Ash dan Fly Ash) yang lebih tinggi (15%) justru mengurangi kuat tekan karena menggantikan terlalu banyak semen yang diperlukan untuk reaksi hidrasi utama.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Dalam aplikasi praktis, penggunaan bottom ash sebagai substitusi pasir dan fly ash sebagai substitusi semen sebaiknya dibatasi pada rentang 5-10% untuk hasil optimal, dengan memperhatikan kontrol kualitas yang ketat terhadap proporsi campuran untuk menghindari segregasi dan retak mikro, terutama pada saat proses pencampuran dan pengecoran beton.
2. Perlu mengurangi penambahan bottom ash pada campuran beton agar memperbaiki penurunan kuat tekan pada substitusi di atas 10%.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif mengenai durabilitas jangka panjang, ketahanan terhadap kondisi lingkungan agresif, serta pengujian terhadap sifat-sifat beton lainnya seperti workability, permeabilitas, dan karakteristik mekanik untuk mendapatkan pemahaman yang lebih menyeluruh tentang pemanfaatan kedua material ini.
4. Eksplorasi kombinasi bahan tambahan seperti zat adiktif untuk memperbaiki penurunan kuat tekan pada substitusi di atas 10%.
5. Diperlukan pengembangan standar dan spesifikasi teknis yang detail untuk penggunaan bottom ash dan fly ash dalam campuran beton, disertai dengan studi kelayakan ekonomi untuk mengevaluasi efisiensi biaya, termasuk aspek transportasi dan pengolahan material, sehingga dapat menjamin implementasi yang efektif dan ekonomis di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini Salsabila Fitra. (2023). Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen dan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Pasir pada Beton 20 MPA dengan Metode Kering. *Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT)*, Politeknik Negeri Bengkalis. 407-51.
- Asrisnawanti. (2023). *Potensi Penggunaan Campuran Fly Ash dan Botton Ash Dengan Tanah Sebagai Liner Material Penahan Logam Berat*. Skripsi tidak dipublikasikan. Gowa: Universitas Hasanuddin Gowa.
- A. Dwinta, “Kajian efektivitas dan efisiensi pemanfaatan limbah batu bara dalam pembuatan paving block ramah lingkungan,” *J. Tek. Sipil Dan Teknol. Konstr.*, vol. 9, no. 2, 2023.
- Bakri, E. P., Rolliyah., Zen, I., Artono, A, RT., Karim, A., dkk, 2019 Ukuran partikel Fly Ash
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Mix design SNI 2012 Metode pengujian kadar air agregat*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). *SNI 03-2816-1992 Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656-2012 Metode pengujian jumlah bahan dalam agregate yang lolos saringan nomor 200 (0,0075 mm)*, Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI 03-4804-1998 Metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2894-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 1970-2008 Agregat untuk Beton*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002 Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6820-2002 Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 Cara uji kuat tekan beton*

dengan benda uji silinder yang dicetak, Jakarta: BSN.

- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974-2011 Tata cara uji kuat tekan beton*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, Jakarta: BSN
- Harjunan, Irwan Lakawa, dkk.(2023). Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Campuran Beton. *Sultra Civil Engineering Journal (SCiEJ)*.4(2): 133-139.
- Hakzah, A. Sulfanita, and Y. Yulianti, “Studi Kelayakan Sifat Fisik Agregat Untuk Struktur Perkerasan Jalan,” *J. Karajata Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- I. A. Wicaksono, “Tinjauan Permeabilitas Beton Kedap Air Sistem Integral dengan Bahan Tambah Cebex-031 dan Conplast-X421M,” Tugas Akhir. Jur. Tek. Sipil Fak. Tek. Univ. Sebel. Maret Surakarta, 2005.
- Kinan Wintang Wardhani, Endah Kanti Pangestuti, dkk. (2024). Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* PLTU Rembang Untuk Pembuatan Beton Menggunakan Semen PPC. *Jurnal Inovasi Konstruksi*. 03(01): 35-45.
- Kurniasari, Paramita Tri (2017) Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer.
- Muh Ridha Abd Rahim, Mustakim Mustakim, dkk.(2024). Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Paving Block. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*. 2(2): 145-156.
- Mohamad, R. M., Rachman, A., & Mointi, R. (2020). Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. Radial, Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna.
- M. A. Pagau, J. Tanijaya, and D. Sandy, “Pengaruh Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Pada Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 4, pp. 306–313, 2020
- Nurfitriana¹, Hakzah², Hamsyah³ “Studi kelayakan agregat kasar dari gunung buccumpare dan agregat halus dari sungai lasape ,” Vol. 3No. 1, Januari 2023
- S. P. R. Wardani, “Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan,” 2008.

- S. U. Dewi and F. Prasetyo, “Analisa Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton,” *J. Infrastructural Civ. Eng.*, vol. 2, no. 02, pp. 31–45, 2021.
- Verinazul Septriansyah, Zuul Fitriana Umari. (2022). Analisa Campuran *Bottom Ash* Sebagai Bahan Campuran Agregat Halus Dalam Pembuatan Beton Ringan. *Jurnal Universitas Tridinanti Palembang*. 07(04).190-19
- Yongko, D. (2017). Pengaruh Substitusi Fly Ash Terhadap Semen Dan Bottom Ash Terhadap Agregat Halus Dalam Sifat Mekanik Beton SCC (Self Compacting Concrete). Universitas Sumatera Utara, Medan