

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di Indonesia saat ini mengalami perkembangan yang cukup pesat, khususnya dalam bidang konstruksi. Beton merupakan salah satu material konstruksi yang sering digunakan pada berbagai jenis konstruksi seperti gedung, jembatan, jalan raya, bendungan dan infrastruktur sipil lainnya. Beton mempunyai sifat kuat tekan. Beton terdiri dari campuran material agregat kasar, agregat halus, semen, air dan kadang-kadang beton juga dapat ditambah dengan bahan kimia dan non-kimia pada perbandingan tertentu. Pembuatan beton perlu adanya inovasi dalam pemilihan bahan-bahan yang bermutu dan memiliki kelebihan dari bahan lainnya, yakni kekuatan, mudah didapatkan, murah dari segi biaya serta mudah perawatannya.

Berbagai penelitian dan percobaan dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton. Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah, dari beberapa bahan tambah yang ada diantaranya adalah zat aditif. Bahan tambah pada beton digunakan untuk memperbaiki beberapa sifat pada campuran beton seperti mempercepat pengerasan beton, memperbaiki kemudahan dalam pengerjaan dan meningkatkan kuat tekan. Hal ini sangat relevan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang membutuhkan waktu yang lebih cepat. Salah satu bahan tambah yang dapat memperbaiki sifat campuran tersebut ialah silika fume.

Silika fume merupakan material halus yang kaya akan silika dan merupakan hasil samping dari industri silikon ferro. Silika fume berwarna abu-abu dan mempunyai diameter berukuran antara 0,1 sampai 0,2 micron meter atau sekitar 1/100 ukuran semen. Karena material silika fume merupakan hasil samping industri, maka material tersebut relatif mudah untuk didapatkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan silika fume dapat mempengaruhi sifat-sifat beton seperti: meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton karena dapat memperkecil volume pori di dalam beton. Hal tersebut disebabkan karena silika fume mempunyai efek pozzolan dan inert filler yang dapat mengisi rongga antara pasta semen dan agregat. (Sutriyono et al., 2018)

Untuk menghasilkan beton dengan mutu cukup tinggi dibandingkan dengan beton normal, hal tersebut membutuhkan material yang bersifat pozzolan dan memiliki struktur yang sangat halus dibandingkan semen. Adapun salah satu contoh material pozzolan yaitu silika fume. Penambahan silika fume yang memiliki struktur lebih halus dibandingkan dengan semen dan mengandung unsur silika (SiO_2), diharapkan dapat menambah kuat tekan pada beton.

Silika fume memiliki partikel yang sangat halus, yang dapat mengisi celah dan pori-pori dalam campuran beton sehingga dapat mengurangi porositas beton yang pada gilirannya meningkatkan kepadatan dan ketahanan terhadap penetrasi air, zat kimia, dan larutan garam. Partikel silika fume yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam beton untuk membentuk gel kalsium silika hidrat (CSH). CSH adalah fasa pengikat utama dalam beton yang memberikan kekuatan. Dengan meningkatkan pembentukan CSH, silika fume

dapat meningkatkan kekuatan tekan dan tarik beton. Silika fume cocok untuk dicampur dengan semen karena kontribusinya dalam meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap lingkungan, dan umur layanan beton.

Maka dari itu penulis berinovasi untuk menambahkan silika fume sebagai bahan tambah semen untuk campuran pembuatan beton. Silika fume yang digunakan berdasarkan ASTM C 1240 (spesifikasi standar untuk silika fume yang digunakan dalam campuran semen). Pemilihan bahan ini merupakan langkah awal untuk mengurangi ketergantungan pada semen yang berdampak buruk pada lingkungan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan silika fume terhadap kuat tarik belah beton?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton yang dihasilkan dengan penambahan silika fume.
2. Untuk mengetahui kuat tarik belah beton yang dihasilkan dengan penambahan silika fume.

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Silika fume yang digunakan dalam campuran beton adalah 4%, 8% dan 12%.
2. Penelitian ini menggunakan jenis semen portland
3. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.
4. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.
5. Pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 1974-2011.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan silika fume terhadap beton.
2. Sebagai bahan alternatif baru pembuatan beton dengan menggunakan silika fume sebagai bahan tambah agregat halus pada campuran 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.(K. T. Tjokrodimuljo, 2003). 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, trotoar, 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 (K. Tjokrodinuljo, 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 tekan beton sangat tinggi.
- d. Beton segar sangat mudah untuk dipindahkan, dicetak dan dibentuk.

Menurut (Wicaksono, 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.
- e. 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 C150/C150M, 2019) 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: Tjokrodinuljo, 2007*)

No	Oksida	Persentase
1.	Kapur (CaO)	60-65
2.	Silika (SiO_2)	17-25
3.	Alumina (Al_2O_3)	3-8
4.	Besi (Fe_2O_3)	0,5-6
5.	Magnesia (MgO)	0,5-4
6.	Sulfur (SO_3)	1-2
7.	Soda/potash ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)	0,5-1

Menurut (Kementerian PUPR. 2017, 2017), Semen Portland terdiri atas 5 tipe dengan perbedaan manfaat sebagai berikut:

1. 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.

2. Semen Portland Tipe II yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Semen Portland Tipe III semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Semen Portland Tipe IV yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. 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/m. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5% dari berat, tidak mengandung bahan organis lebih banyak, terdiri dari butiran yang tajam dan keras, dan bervariasi.

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, 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 2.2 Batasan gradasi untuk agregat halus (*sumber: ASTM C33, 2008*)

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada
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 (Badan Standardisasi Nasional, 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, 2008) 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 2.3 Batas-batas gradasi agregat kasar (Sumber: SNI 7656-2012)

Ukuran ayakan (mm)	Pemisahan ukuran
	Persen (%) berat yang lewat
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:

a) 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 sintesis, 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 terephthalate (PET) yg telah dioalah dari limbah plastik, kedua agregat ringan tersebut telah diteliti dan layak digunakan sebagai agregat ringan.

b) Agregat normal

Agregat normal ini yaitu jenis agregat dengan berat isi antara 300-1800 kg/m³. Kegunaan dari beton normal yaitu untuk membuat beton tanpa persyaratan khusus, biasanya agregat yang dipakai pada umumnya berupa jenis batuan beku, batuan malihan, dan batuan endapan.

c) Agregat berat

Agregat berat merupakan agregat untuk membuat beton dengan berat isi >2400 kg/m³ yang bertujuan untuk menahan radiasi yang berbahaya bagi manusia. Untuk membuat beton tersebut biasanya menggunakan batu barite (BaSO₄) dengan berat isi 4,15-4,45 t/m³, dan butirannya seberat 6,80-7,60 t/m³.

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. Secara umum, air tidak berbau dan dapat diminum adalah air yang diperbolehkan untuk campuran beton. (K. Tjokrodinuljo, 2007)

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. (Sutriyono et al., 2018)

Adapun bahan tambah yang digunakan penulis yaitu:

1. Silika Fume (Sica Fume)

Silika fume digunakan sebagai pengganti sebagian dari semen atau bahan tambahan pada saat sifat-sifat khusus beton dibutuhkan seperti penempatan mudah, kekuatan tinggi, permeabilitas rendah, durabilitas tinggi, dan lain sebagainya. Silika fume merupakan hasil sampingan dari produk logam silikon atau alloy ferosilikon.

Partikel silika fume sangat halus, dengan ukuran rata-rata kurang dari 1 mikrometer. Hal ini membuatnya sangat efektif dalam mengisi celah-celah kecil dalam material seperti beton, sehingga meningkatkan kekuatan dan ketahanannya. Ukuran partikel silika fume sangat kecil sehingga memiliki reaktivitas yang tinggi. Silika fume bereaksi lebih cepat dengan kalsium hidroksida dalam semen, membentuk produk tambahan yang meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap kimia.

Silika fume memiliki warna abu-abu hingga hitam, tergantung pada kondisi pembuatannya dan kandungan mineralnya. Permukaan partikel silika fume sangat halus, memberikan kemampuan yang baik untuk tercampur secara homogen dengan

bahan lainnya seperti semen. Silika fume memiliki densitas yang tinggi, yang memungkinkan penggunaan yang efisien dalam campuran beton atau material konstruksi lainnya.

Silika fume yang dipakai untuk beton adalah yang mengandung lebih dari 75% silikon. Secara umum, silika fume mengandung SiO_2 86-96%, ukuran butir rata-rata 0,1-0,2 micrometer dan strukturnya amorphous (bersifat reaktif dan tidak terkristalisasi).

Tabel 2.4 Unsur penyusun silika fume (*Sumber: Silica Fume User's Manual" oleh American Concrete Institute (ACI)*)

Unsur	Persentase Komposisi
Silikon (Si)	85% - 95%
Oksigen (O)	5% - 10%
Karbon (C)	0,5% - 2%
Aluminium (Al)	Jejak – 1%
Besi (Fe)	Jejak – 0,5%

Keuntungan penggunaan silika fume pada campuran beton menurut beberapa hasil penelitian terdahulu antara lain seperti kekuatan tekan hancurnya lebih tinggi, kekuatan tarik lebih tinggi, rangkaknya lebih kecil, modulus elastisitasnya tinggi, ketahanan terhadap serangan klorida tinggi, ketahanan terhadap keausan tinggi dan permeabilitas lebih kecil.

Kendala-kendala yang ada dalam penggunaan silika fume antara lain seperti handling/pelaksanaan, bahaya kesehatan kerja, air entrainment, plastic shrinkage, dan quality control. Silika fume merupakan bahan sangat lembut dan mudah sekali terbang terkena angin, maka perlu diperhatikan dalam pelaksanaan, pengangkutan, penyimpanan dan pencampuran. Sehubungan dengan kesehatan kerja, karena silika

fume sangat halus, kemungkinan penghisap silika fume oleh pekerja akan terjadi. Oleh karena itu, pekerja harus dilengkapi dengan alat pelindung pernafasan.



Gambar 2.1 Zat adiktif Silika fume
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

D. Pengujian Beton

1. Kuat Tekan Beton

kuat tekan beton merupakan sifat yang paling penting dalam beton keras dan umumnya dipertimbangkan dalam perencanaan campuran beton. 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. (Mulyono, 2003)

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 2.2 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. Arman A, Mulyati, Fajar Nugroho, Hanif Fadhil Azman (2023), dengan judul Pengaruh Penambahan Silika Fume Terhadap Kuat Tekan Beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan Silika fume terhadap kuat tekan beton. Pada penelitian menggunakan Silika fume dengan persentase 0%, 4%, 7%, dan 10% dari berat semen dengan 1 sampel untuk tiap persentase. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder baja dengan ukuran diameter 150 mm x tinggi 300 mm. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton yang dilakukan di laboratorium Dinas PU pada umur 28 hari dari beton normal diperoleh nilai kuat tekan yaitu sebesar 27,03 Mpa, beton dengan tambahan Silika fume 4% mengalami kenaikan kuat tekan sebesar 1,59% dengan diperoleh nilai kuat tekan yaitu sebesar 27,46 Mpa, beton dengan tambahan Silika fume 7% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 8,38% dengan diperoleh nilai kuat tekan yaitu sebesar 24,76 Mpa, dan beton dengan tambahan Silika fume 10% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 26,89% dengan diperoleh nilai kuat tekan yaitu sebesar 19,76 Mpa. Dari data ini diketahui bahwa nilai kuat tekan optimum diperoleh pada penambahan Silika fume 4% yaitu sebesar 27,46 Mpa. Setelah melakukan penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan Silika fume untuk campuran pembuatan beton dapat dilaksanakan dengan ketentuan untuk penambahan Silika Fume dibawah 4% dari berat semen.(Arman A et al., 2023)

2. Sulianto, Sugeng Riyanto (2012) dengan judul Pengaruh Penambahan Silica Fume Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Pada Kondisi Direndam Air Tawar Dan Air Laut. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kadar optimum penambahan Silica Fume yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum, persen kenaikan kuat tekan terhadap campuran beton normal dan hubungan antara kadar penambahan Silica Fume dalam campuran beton dengan kuat tekan pada kondisi terendam air tawar dan air laut. Cara pengujian meliputi karakterisasi agregat, perhitungan proporsi bahan dengan kadar penambahan Silica Fume bervariasi 0,5,10,15 dan 20 % terhadap berat semen, uji kekuatan tekan beton bentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm masing-masing sebanyak 5 spesimen pada umur 28 hari dengan kondisi direndam air tawar dan air laut, analisis data dan penarikan simpulan. Hasil pengujian diperoleh penambahan Silica Fume optimum sebesar 13,11 % dengan kuat tekan beton maksimum 445,77 kg/cm² pada rendaman air tawar, dan 13,24 % dengan kuat tekan beton maksimum 425,77 kg/cm² pada rendaman air laut, kenaikan kuat tekan dengan penambahan Silica Fume optimum terhadap beton normal sebesar 33,22 % untuk perendaman air tawar dan 28,13 % untuk perendaman air laut. Hubungan antara penambahan Silica Fume menunjukkan adanya pengaruh yang nyata terhadap kuat tekan beton, hal ini dibuktikan dengan analisa statistik dengan $F_{hitung} = 319,751 > F_{tabel} = 6,94$ untuk rendaman air tawar dan $F_{hitung} = 33,965 > F_{tabel} = 6,94$ untuk rendaman air laut. (Sugeng Riyanto, 2012)

3. Partogi H. Simatupang, Judi K. Nasjono, Kresensia G. Mite (2017), dengan judul Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Reactive Concrete Powder. Penelitian ini bertujuan mengetahui kuat tekan reactive powder concrete akibat penambahan komposisi silica fume dan mengetahui presentase optimal silica fume terhadap kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk silinder dengan ukuran 5 cm x 10 cm. Setiap variasi terdapat 5 benda uji, sehingga total pengujian adalah 30 benda uji. Dan umur rencana 14 hari. Hasil percobaan I kuat tekan rerata untuk semua variasi yang dihasilkan < 40 MPa, maka dilakukan percobaan II yaitu dengan ditambahkan volume dari superplasticizer sebanyak 2 kali data awal. Terdapat 2 benda uji setiap variasi sehingga total keseluruhan adalah 12 benda uji. Hasil percobaan II kuat tekan rerata untuk variasi 0% = 42,02 MPa, 9% = 43,29 MPa, 18% = 45,83 MPa, 27% = 48,38 MPa, 36% = 43,29 MPa dan 45% = 42,02 MPa. Presentase optimal silica fume adalah 26,28%. Peneliti dapat menyimpulkan bahwa Semakin besar presentase silica fume maka semakin meningkat pula berat jenis dan semakin besar presentase silica fume maka nilai kuat tekan akan meningkat sampai pada kuat tekan optimum dan nilai kuat tekan akan turun perlahan mencapai nilai konstan. (Simatupang & Nasjono, Judi K, Mite, 2017)
4. Alexander Hermawan Sutanto, Benedictus Wishnu Wintang Kencana, Handoko Sugiharto, Jonathan Hendra Kusuma (2020), dengan judul Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Polypropylene Fiber Terhadap Permeabilitas Dan Kuat Tekan Beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan beton agar memiliki nilai permeabilitas serta nilai kuat tekan yang baik secara

bersamaan, sehingga beton diharapkan mempunyai sifat kedap air yang sesuai tanpa mengurangi nilai kuat tekannya. Dalam penelitian ini akan menambahkan bahan superplasticizer, silica fume, dan polypropylene fiber untuk melihat pengaruhnya terhadap permeabilitas dan kuat tekan beton. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penambahan silica fume mengalami penurunan kuat tekan sebesar 5.5% pada 7 hari dan 7.5% pada 28 hari. Hal ini diperkirakan reaksi pozzolan antara semen dan silica fume berjalan lambat. Pengaruh penambahan polypropylene fiber menunjukkan penurunan permeabilitas hingga 44.5%. dengan mutu beton rencana yaitu f'_c 23 MPa, dan kuat tekan optimum didapat pada penambahan abu dengan persentase 3%. (Sutanto & Kencana, 2020)

5. Eko Febrianto (2016), dengan judul Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Porous Concrete Block Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Permeabilitas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan silica fume terhadap kuat tekan, permeabilitas dan komposisi yang optimal pada porous concrete block. Penelitian ini bersifat uji laboratorium, artinya dalam setiap tahapan penelitian ini akan dilakukan di laboratorium yang mendukung dalam penelitian ini. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah paving block dengan panjang 21 cm, lebar 10,5 cm, dan tebal 8cm. Sedangkan untuk mengetahui analisa kecepatan penyerapan air digunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm, dan tinggi 30 cm. Komposisi silica fume yang digunakan 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen. Faktor air semen yang digunakan penelitian ini adalah 0,3. Parameter yang diujikan adalah kuat

tekan dan permeabilitas. Dari pengujian porous concrete block didapatkan komposisi optimum dengan menggunakan silica fume 10%. Dimana diperoleh kuat tekan sebesar 20,40 MPa. Sedangkan untuk nilai permeabilitasnya diperoleh nilai porositas sebesar 15,50 %, analisa kecepatan penyerapan air sebesar 0,29 cm/det, dan persentase lolos airnya sebesar 80,33 %. Dari hasil penelitian ini diperoleh porous concrete block dengan spesifikasi tertinggi untuk area parkir, dimana kuat tekan minimum yang disyaratkan adalah 17 MPa. (Febrianto, 2016)

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 :

Tabel 3. 1 Jumlah sampel dan variasi campuran silinder beton untuk pengujian kuat tekan beton.

Variasi campuran silika fume	Umur beton (hari) Tahun 2024			Jumlah
	7	14	28	
Beton normal	3	3	3	9
Silika fume 4%	3	3	3	9
Silika fume 8%	3	3	3	9
Silika fume 12%	3	3	3	9
Total				36

Tabel 3. 2 Jumlah sampel dan variasi campuran balok beton untuk pengujian kuat tarik belah beton.

Variasi campuran silika fume	Umur beton (hari) Tahun 2024			Jumlah
	7	14	28	
Beton normal			3	3
Silika fume 4%			3	3
Silika fume 8%			3	3
Silika fume 12%			3	3
Total				12

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 bulan Oktober 2024 sampai dengan November 2024.

Tabel 3.3 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

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 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 zat aditif silika fume.

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 03-1968-1990*)

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 03-1968-1990* 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 03-1970-1990* 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 03-4804-1998* 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 $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai terjadi perubahan berat untuk digunakan sebagai bahan uji.

- 5) Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dan agregat kasar (*SK SNI S-04-1989-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-04-1989-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 03-4142-1996* 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 03-1971-1990*)

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 03-1971-1990* 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 kedalam 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 $(110 + 5)^\circ\text{C}$ sampai mencapai bobot tetap.
- e) Setelah kering, benda uji ditimbang kemudian catat hasil timbangan (W_4) .

Berat benda uji kering dihitung dengan menggunakan rumus : $W_5 = W_4 - W_1$.

- 7) Pemeriksaan zat organik pada agregat halus (*ASTM C40-99/SNI 03-2816-1992*)

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 persent ase antara berat bagian halus (dengan lubang 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 akan adalah sebagai berikut :

- a) Benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.
- b) Benda uji diletakkan pada *Universal Testing Machine*.
- c) Mesin *Universal Testing Machine* dihidupkan kemudian benda uji akan mendapatkan beban gaya untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tekan pada benda uji.
- d) Pada saat benda uji mencapai beban maksimum benda uji akan retak atau bahkan pecah, jarum manometer akan berhenti.

Jumlah sampel untuk semua variasi campuran beton yang direncanakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 36 buah. Setiap variasi campuran akan dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton, dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Kuat Tekan

VARIASI CAMPURAN BETON	UMUR HARI (BUAH)		
	7	14	28
BN	3	3	3
SF 4%	3	3	3
SF 8%	3	3	3
SF 12%	3	3	3
Jumlah	12	12	12
Total: 36 buah benda uji			

Keterangan : SF : Silika Fume

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 di Laboratorium, 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.

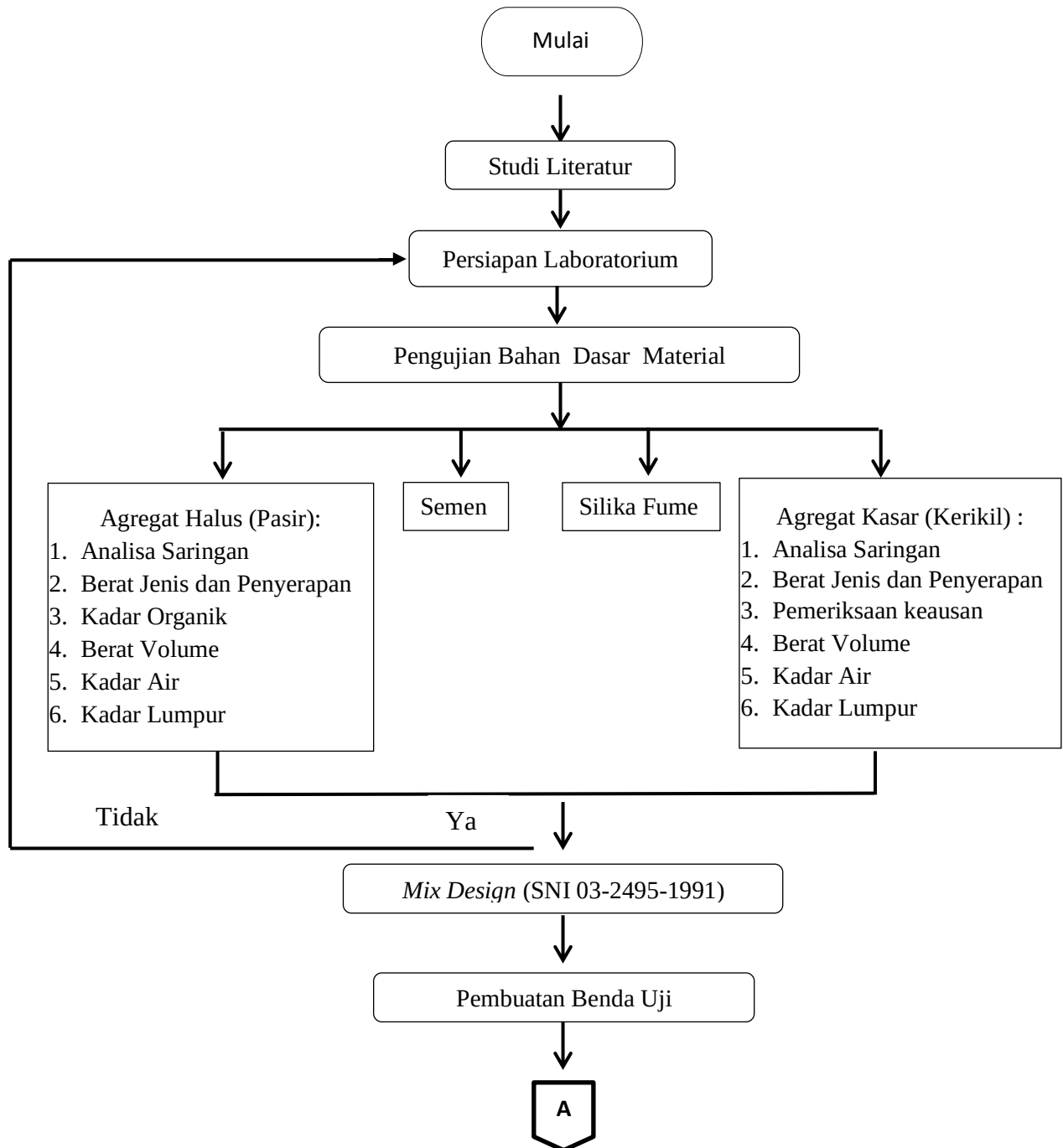
2. Analisis data perancangan campuran beton (*Mix Design*).

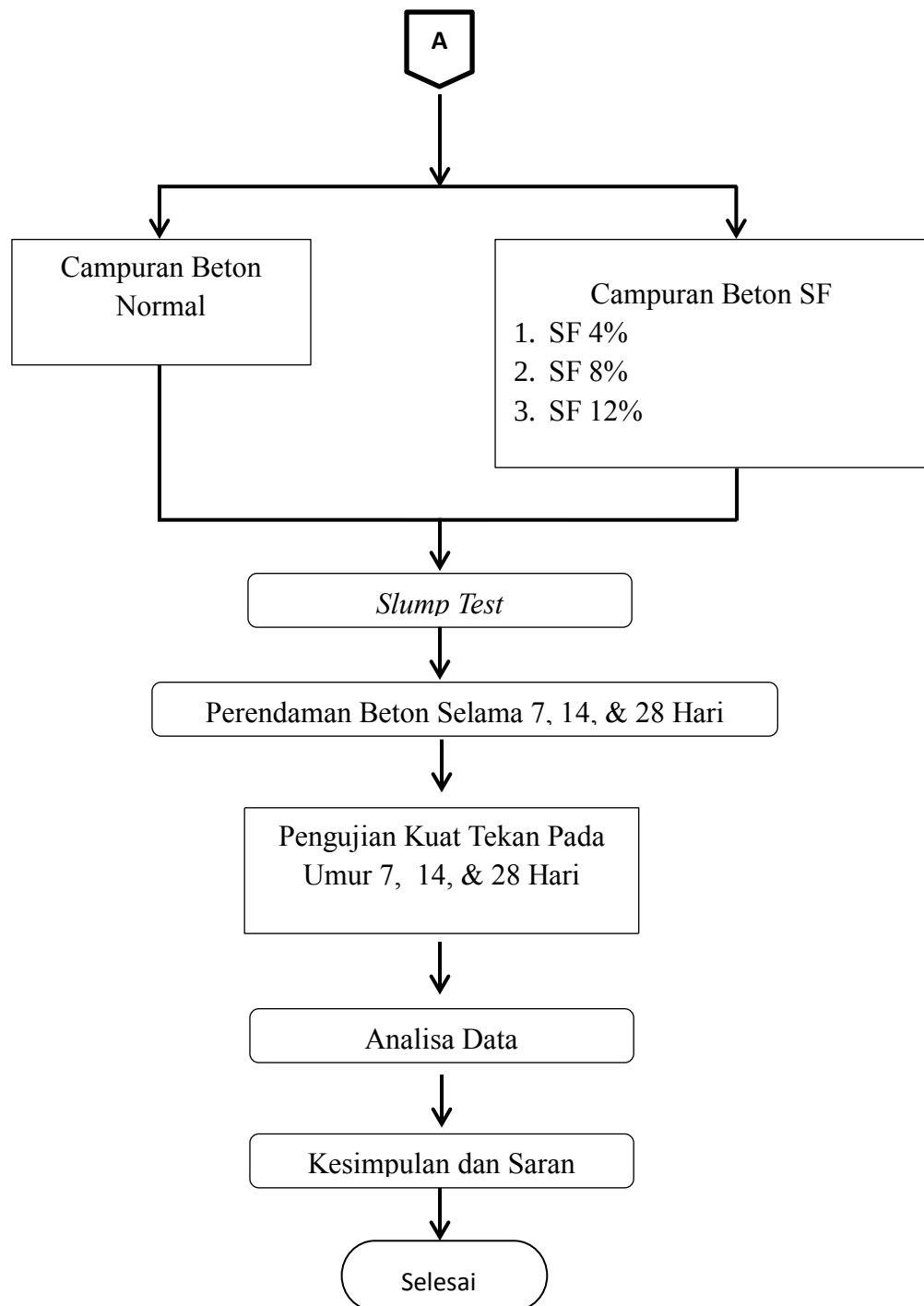
Perancangan mix design sesuai aturan SNI yang akan digunakan dalam penelitian.

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





Gambar 3.1. Diagram Alir

BAB IV

HASIL PENELITIAN

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 agreggat halus (*Sumber: Hasil olah data*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	5,4%	4,4%	4,90%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1	No. 1	No. 1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2,42%	3,03%	2,72%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,41	1,40	1,40	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,49	1,49	1,49	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	0,20%	1,61%	0,90%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,53	2,43	2,48	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,51	2,34	2,43	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,52	2,38	2,45	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 4,9%, 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 2,72 persen 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 1,9 kg/liter, yang menunjukkan bahwa agregat halus adalah material.

e. Penyerapan air agregat

Hasilnya, yang mencapai 0,9% 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 2,48, berat jenis kering 2,43, dan berat jenis kering permukaan 2,55, 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.

1. Agregat Kasar

Tabel 4. 3 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%	0,6%	0,90%	0,75%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	28,0%	23,0%	25,5%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	2,19%	1,63%	1,91%	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	1,68	1,69	1,69	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	3,56%	1,69%	2,63%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,57	2,65	2,61	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,35	2,54	2,45	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,44	2,58	2,51	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 0,75%, yang mirip spesifik dan lebih kecil dari 1%. Hasil tersebut menunjukkan material agregat kasar bisa digunakan sebagai campuran beton tanpa di cuci dulu.

b. Keausan Agregat

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

c. Kadar Air

Dimungkinkan untuk menggunakan agregat kasar dalam campuran beton karena hasil pengujian kadar air di atas menunjukkan nilai 1,91%, yang lebih rendah dari 2%.

d. 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.

e. Penyerapan Air

Ini ditunjukkan oleh hasil pengujian penyerapan air agregat kasar di atas, di mana nilainya mencapai 2,63% dan tetap dalam rentang hingga 4% sehingga agregat kasar dapat digunakan.

f. Berat Jenis

Mengacu dari hasil menunjukkan nyata adalah 2,61, hasil pengujian berat jenis kering permukaan adalah 2,51, dan nilai keseluruhan masih berada di antara 1,6 dan 3,3.

g. 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>	= 60-180 mm
Ukuran agregat maksimum	= 20
Berat kering oven agregat kasar	= 1,772
BJ semen tanpa tambahan udara	= 3,08
Modulus kehalusan agregat halus	= 3.17
Berat jenis (SSD) agregat halus	= 2.35
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2.53
Penyerapan air agregat halus	= 1.72%
Penyerapan air agregat kasar	= 0,35%
Kadar Air agregat halus	= 3.84%
Kadar Air agregat kasar	= 1.21%

Perhitungan

1. Deviasi Standart

$$f_{c'} = 25 \text{ Mpa}$$

2. Deviasi Standart

Tabel 4.3 Tabel nilai deviasi (kg/cm^2) untuk berbagai volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan di lapangan (*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

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

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

3. Nilai tambah

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

4. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

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

5. Jenis Semen

Semen Portland Tipe 1

6. Jenis Agregat

Agregat Halus = Alami

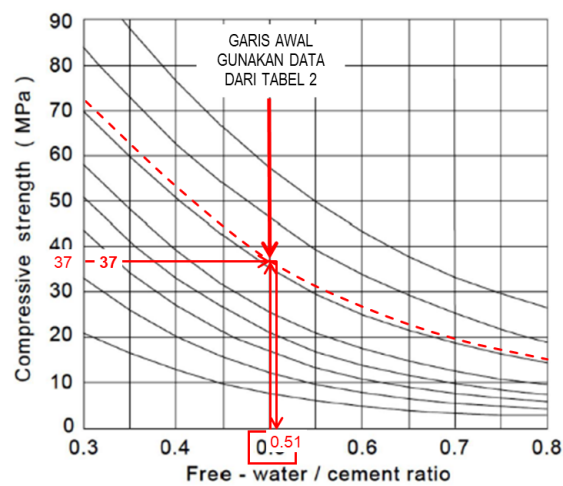
Agregat Kasar = Batu Pecah

7. Faktor Air Semen Bebas

= 0,51 Mpa

Tabel 4.4 Kekuatan tekan (Mpa) perkiraan dengan faktor air semen dan agregat kasar (Sumber: SNI 03-02-2834)

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				
		Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Uji
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulvat Tipe II,V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portlan 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 rencana = 25 Mpa

f'_c target = 36,48 Mpa

fas pakai = 0,51

8. Faktor Air Semen Maksimum

= 0,60

Tabel 4.5 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

9. Slump

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

= 60 – 180

10. Ukuran Agregat Maksimum

= 20 mm

Tabel 4.6 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

11. 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.

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

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

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

12. 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 :

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

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

13. Kadar Semen Minimum

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

14. Faktor Air Semen Yang di Sesuaikan

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

15. Susunan Besar Butir Agregat Halus

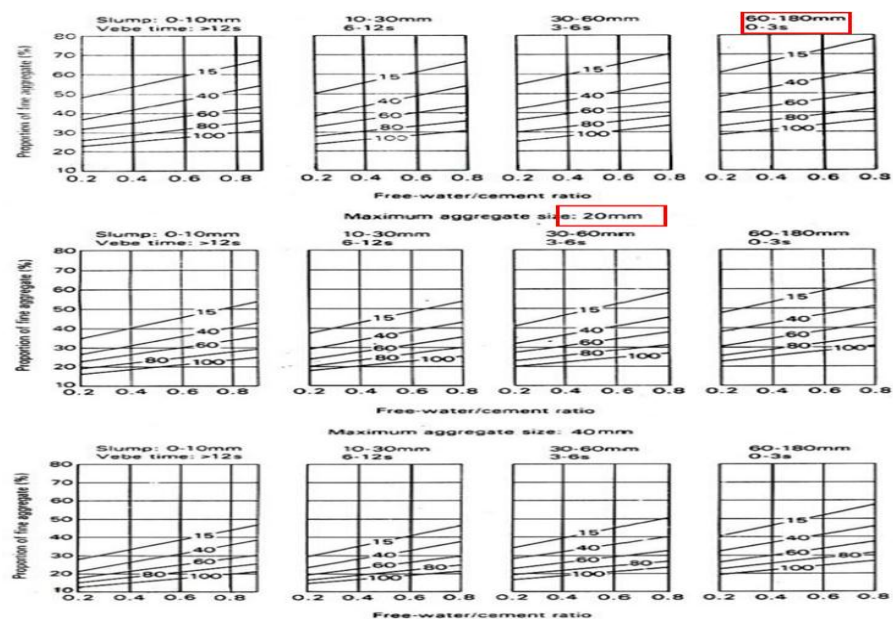
$$\text{Jenis pasir} = \text{Agak Halus}$$

16. Berat Jenis Agregat

$$\text{Berat Jenis Agregat Halus} = 2,61$$

$$\text{Berat Jenis Agregat Kasar} = 2,64$$

17. Persen Agregat Halus



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

$$\text{Persen Agregat Halus} = 59 \% + 25 \% / 2$$

$$= 41 \%$$

$$\text{Persen Agregat Kasar} = 100 \% - \text{Persen Agregat Halus}$$

$$= 100 \% - 41 \%$$

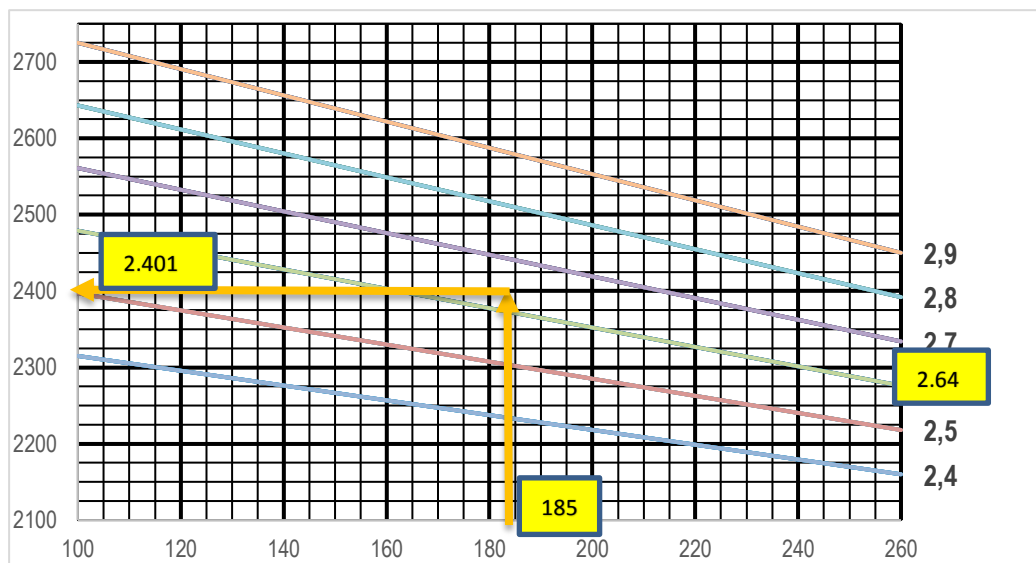
$$= 59 \%$$

18. Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan

Berat jenis agregat gabungan dihitung dengan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Bj Ag.Gab} &= (\text{Persesn Ag.Halus} \times \text{Bj.Ag.Halus}) + (\text{Persen Ag.Kasar} \times \\ &\text{Bj.Ag.Kasar}) \\ &= 264\% \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

19. Berat Isi Beton



Gambar 4. 3 Grafik perkiraan berat isi beton (*Sumber: SNI 03-2834:2000*).

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

20. Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung menggunakan persamaan :

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

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

21. Kadar Agregat Halus

$$\begin{aligned}\text{Kadar Ag.halus} &= \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar Ag.gabungan} \\ &= 576,13 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

22. Kadar Agregat Kasar

$$\begin{aligned}\text{Kadar Ag.Kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{Kadar agregat halus} \\ &= 1.224,28 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

23. Berat Absolute Pasir tiap 1 m³ beton

Vol. Air	=	203,0	=	0,20 m ³
Vol. padat semen	=	448,1	=	0,146 m ³
Vol. absolute Ag. Kasar	=	1074,5	=	0,428 m ³
Vol. udara terperangkap	=	1,9%	=	0,019 m ³
Jumlah Vol.padat selain Ag. Halus	=	0,796 m ³		
Vol. Ag. Halus	=	0,204 m ³		
Berat Ag halus kering	=	0,204	=	499,6 kg

24. Koreksi Terhadap Kadar Air

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

Misal, kadar air yang didapat

$$\text{Ag.Kasar} = 1,21\%$$

$$\text{Ag.Halus} = 3,84\%$$

Sehingga berat massa penyesuaian berdasarkan kadar air adalah

$$\text{Ag.Kasar (Basah)} = 1,21 \% \times 1.166,43 = 14,113 \text{ kg}$$

$$\text{Ag.Halus (Basah)} = 3,84 \% \times 628,08 = 24,118 \text{ kg}$$

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

Air yang diberikan Ag.kasar = $0,35\% \times 1166,43 = 4,082 \text{ kg}$

Air ang diberikan Ag.halus = $1,72\% \times 628,08 = 10,803 \text{ kg}$

Dengan demikian kebutuhan air adalah sebagai berikut

$205,0 - 38,231 + 14,885 = 181,654 \text{ kg}$

Maka perkiraan 1 m^3 beton adalah sebagi berikut

Air (yang ditambahkan) = 181,654 kg

Semen = 401,50 kg

Ag.Kasar = 1176,50 kg

Ag.Halus = 641,41 kg

25. Kebutuhan campuran beton untuk 1 m^3 beton

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Kebutuhan Campuran Bahan Untuk 1 m^3 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)	190,2	203,0	203,0
Semen	419,8	448,1	448,1
Ag. Kasar (kering)	1236,6	1074,5	1074,5
Ag. Halus (kering)	576,7	624,4	499,6

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

1	1,11	2,40	0,45
---	------	------	------

26. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :

Dibutuhkan beton berbentuk silinder = 9 silinder beton

$$\text{Diameter (d)} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0,3 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Volume total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,005301 \text{ m}^3 \times 9 \\ &= 0,047713 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{Vol. 9 silinder} \times 15\% \\ &= 0,047713 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0,007157 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0,047713 \text{ m}^3 + 0,007157 \text{ m}^3 \\ &= 0,05487 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

a. Kebutuhan Beton Normal

Tabel 4. 4 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk 9 silinder beton
(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	397,58 kg	2,42 kg	21,82 kg
W pasir	563,46 kg	3,44 kg	30,92 kg
W kerikil	1227,3 kg	7,48 kg	67,34 kg
W air	212,61 kg	1,30 kg	11,67 kg

b. Untuk variasi penambahan 4% Silika Fume

Kebutuhan variasi penambahan 4% Silika Fume

$$\begin{aligned}
 W. \text{ Silika Fume} &= W. \text{ Semen} \times 4\% \\
 &= 397,583 \times 4\% \\
 &= 15,90 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 4% Silika Fume
(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	397,58 kg	2,42 kg	21,82 kg
W pasir	563,46 kg	3,44 kg	30,92 kg
W kerikil	1227,3 kg	7,48 kg	67,34 kg
W air	212,61 kg	1,30 kg	11,67 kg
W silika fume	15,90 kg	0,10 kg	0,87 kg

c. Untuk variasi penambahan 8% Silika Fume

Kebutuhan variasi penambahan 8% Silika Fume

$$\begin{aligned}
 W. \text{ Silika Fume} &= W. \text{ Semen} \times 8\% \\
 &= 397,583 \times 8\% \\
 &= 31,81 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 8% Silika Fume
(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	397,58 kg	2,42 kg	21,82 kg
W pasir	563,46 kg	3,44 kg	30,92 kg
W kerikil	1227,3 kg	7,48 kg	67,34 kg
W air	212,61 kg	1,30 kg	11,67 kg
W silika fume	31,81 kg	0,19 kg	1,75 kg

d. Untuk variasi penambahan 12% Silika Fume

Kebutuhan variasi penambahan 12% Silika Fume

$$\begin{aligned}
 W. \text{ Silika Fume} &= W. \text{ Semen} \times 12\% \\
 &= 397,583 \times 12\% \\
 &= 47,71 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 11 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi 12% Silika Fume
(Sumber: Hasil olah data)

	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen	397,58 kg	2,42 kg	21,82 kg
W pasir	563,46 kg	3,44 kg	30,92 kg
W kerikil	1227,3 kg	7,48 kg	67,34 kg
W air	212,61 kg	1,30 kg	11,67 kg
W silika fume	47,71 kg	0,29 kg	2,62 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.

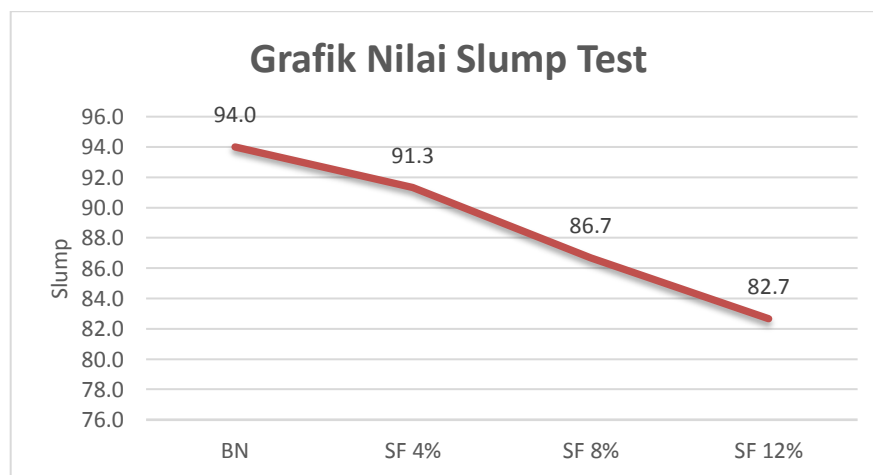
Kerucut Abrams digunakan untuk menilai validitas *Slump tes*. Kerucut Abrams pertama kali dibasahi sebelum diletakkan di permukaan yang rata. Kerucut

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. 12 Hasil pengujian nilai slump test (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2024*)

Variasi	Titik			Rata-Rata (mm)	Ket
	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)		
BN	96	93	93	94,0	9
SF 4%	91	91	92	91,3	7
SF 8%	86	86	88	86,7	6
SF 12%	85	81	82	82,7	5

Berdasarkan tabel 4.12 diatas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* antara masing-masing variasi. Dimana 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, Silika fume 4%, Silika fume 8%, Silika fume 12%. 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.

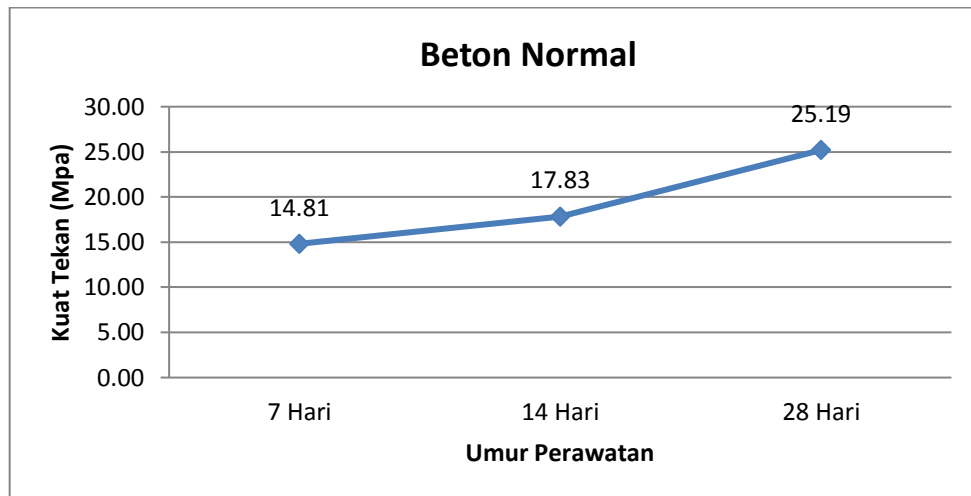
Adapun dari hasil pengujian kuat tekan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Beton Normal

Tabel 4. 13 Rekan hasil kuat tekan beton normal.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'_c (MPa)
1	7 Hari	12,68	260	14,81
2	14 Hari	12,54	290	17,83
3	28 Hari	12,56	485	25,19

Terdapat tiga sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 14,81 Mpa selama 7 hari, 17,83 Mpa selama 14 hari, dan 25,19 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.5 Grafik pengujian kuat tekan beton normal

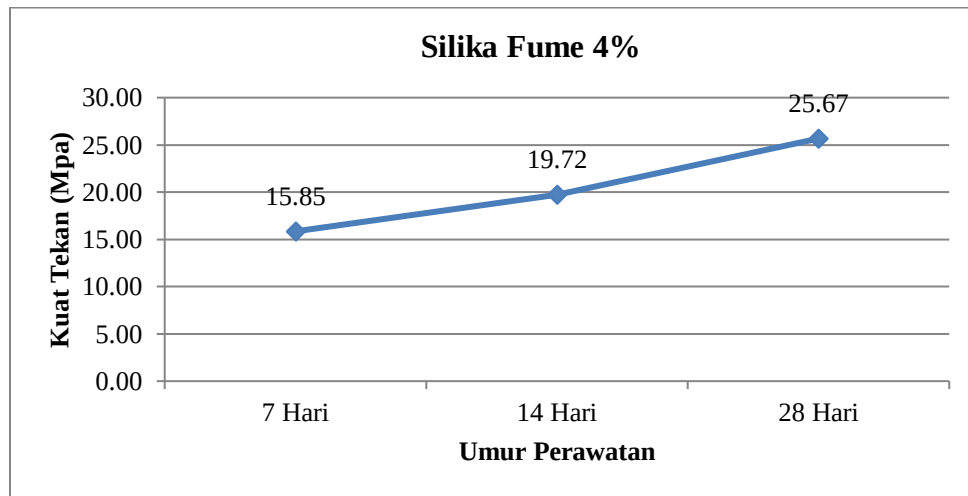
Pada gambar diatas beton normal mengalami peningkatan 3,02 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 7,36 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

2. Beton silika fume 4%

Tabel 4. 14 Rekan hasil kuat tekan beton SF 4%.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	11,95	290	15,85
2	14 Hari	11,99	365	19,72
3	28 Hari	12,14	470	25,67

Pada pengujian sampel uji beton dengan penambahan silika fume 4% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 15,85 Mpa selama 7 hari, 19,72 Mpa selama 14 hari, dan 25,67 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.6 Grafik pengujian kuat tekan beton SF 4%
(Sumber: Hasil olah data)

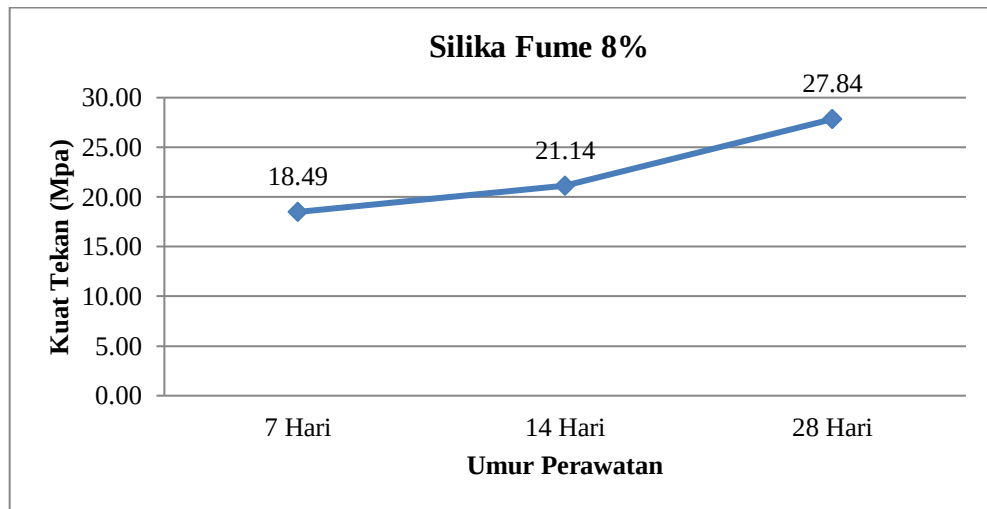
Pada gambar diatas beton dengan penambahan silika fume 4% mengalami peningkatan 3,87 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 5,95 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

3. Beton silika fume 8%

Tabel 4. 15 Rekan hasil kuat tekan beton SF 8%.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,35	325	18,49
2	14 Hari	12,29	365	21,14
3	28 Hari	12,39	495	27,84

Pada pengujian sampel uji dengan beton SF 8% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 18,49 Mpa selama 7 hari, 21,14 Mpa selama 14 hari, dan 27,84 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.7 Grafik pengujian kuat tekan beton SF 8%
(Sumber: Hasil olah data)

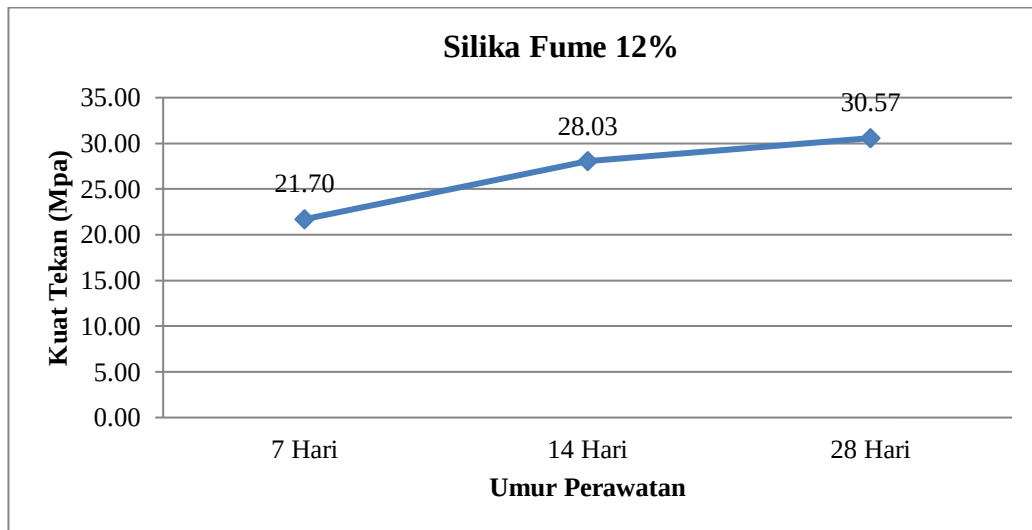
Pada gambar diatas beton dengan penambahan silika fume 8% mengalami peningkatan 2,65 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 6,70 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

4. Beton silika fume 12%

Tabel 4. 16 Rekan hasil kuat tekan beton SF 12%.

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,41	420	21,70
2	14 Hari	12,43	510	28,03
3	28 Hari	12,39	680	30,57

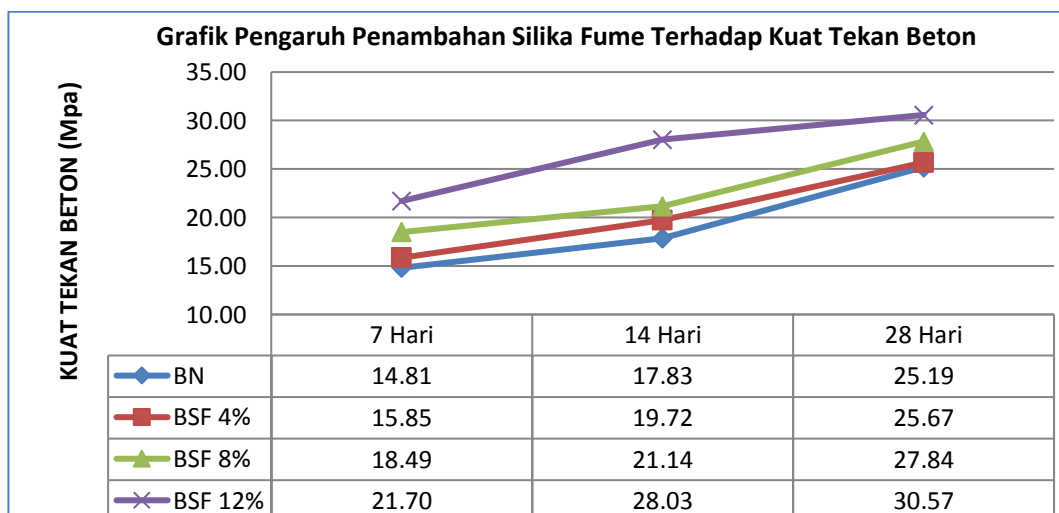
Pada pengujian sampel uji dengan beton SF 12% dengan silinder 150 x 300 mm dihasilkan sampel kuat tekan rata-rata 21,70 Mpa selama 7 hari, 28,03 Mpa selama 14 hari, dan 30,57 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.8 Grafik pengujian kuat tekan beton SF 12%
(Sumber: Hasil olah data)

Pada gambar diatas beton dengan penambahan silika fume 12% mengalami peningkatan 6,33 Mpa dari 7 hari ke 14 hari dan 2,54 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

Berikut adalah grafik gabungan pengaruh penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton.



Gambar 4.9 Grafik gabungan pengaruh penambahan Silika Fume Terhadap Kuat Tekan Beton (Sumber: Hasil olah data)

Berdasarkan grafik pengaruh penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa kenaikan Kuat Tekan pada Umur 7 Hari pada beton normal (BN) mencapai 14,81 MPa. Beton dengan variasi BSF 4% meningkat 7,0% menjadi 15,85 MPa. Beton dengan variasi BSF 8% meningkat 24,8% menjadi 18,49 MPa. Beton dengan variasi BSF 12% meningkat 46,7% menjadi 21,70 MPa. Peningkatan kuat tekan pada umur 7 hari menunjukkan bahwa penambahan silika fume dapat meningkatkan kekuatan awal beton secara signifikan.

Kenaikan Kuat Tekan pada Umur 14 Hari pada Beton normal (BN) mencapai 17,83 MPa. Beton dengan variasi BSF 4% meningkat 10,6% menjadi 19,72 MPa. Beton dengan variasi BSF 8% meningkat 18,6% menjadi 21,14 MPa. Beton dengan variasi BSF 12% meningkat 57,4% menjadi 28,03 MPa. Peningkatan kuat tekan pada umur 14 hari menunjukkan bahwa penambahan silika fume dapat meningkatkan kekuatan beton secara signifikan, dengan peningkatan terbesar pada variasi BSF 12%.

Kenaikan Kuat Tekan pada Umur 28 Hari pada Beton normal (BN) mencapai 25,19 MPa. Beton dengan variasi BSF 4% meningkat 1,9% menjadi 25,67 MPa. Beton dengan variasi BSF 8% meningkat 10,5% menjadi 27,84 MPa. Beton dengan variasi BSF 12% meningkat 21,3% menjadi 30,57 MPa. Peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan silika fume, khususnya pada variasi BSF 12%, dapat meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan.

Secara keseluruhan, penambahan silika fume pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton pada setiap umur pengujian. Semakin tinggi

persentase silika fume yang ditambahkan, semakin besar peningkatan kuat tekan beton yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan silika fume dalam mengisi rongga-rongga pada pasta semen dan memperkuat ikatan antara agregat dan pasta semen, sehingga meningkatkan kekuatan beton.

E. Kuat Tarik Belah

Setelah melalui proses pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik belah terhadap benda uji tersebut. Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran panjang 30 cm dan diameter 15 cm sebanyak 8 buah sampel, yang terdiri dari beton normal, silika fume 4%, silika fume 8%, dan silika fume 12%. Untuk masing-masing variasi campuran disiapkan 3 sampel silinder, kemudian setiap benda uji yang akan dilakukan pengujian kuat tarik belah beton ditimbang terlebih dahulu.

Adapun hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan umur perawatan 28 hari terhadap beton normal, silika fume 4%, silika fume 8%, dan silika fume 12% adalah sebagai berikut:

1. Beton Normal

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton normal dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 17 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton normal (*Sumber: Hasil pengolahan data*)

No.	Sampel	Umur Hari	Berat (Kg)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1	Silinder	28	12,940	75	3,333	3,444
2			12,300	80	3,556	

Pada pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 3,444 Mpa. Berdasarkan sumber nilai kuat tarik belah berkisar antara 9 - 15%. Sehingga nilai pengujian kuat tarik belah sudah sesuai dengan nilai kuat tarik belah teoritis.

Dari hasil pengujian kuat tarik belah pada benda uji, tidak mengalami segregasi (penyebaran tidak merata agregat pada beton) karena agregat pada benda uji tersebar merata dalam campuran, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.10 Hasil Tarik belah beton normal
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Dari gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\
 &= \frac{86}{185} \times 100 \\
 &= 46,48 \%
 \end{aligned}$$

b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\
 &= \frac{99}{185} \times 100 \\
 &= 53,52 \%
 \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 46,48 % : 53,52 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

2. Beton SF 4%

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton variasi SF 4% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.18 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton SF 4% (*Sumber: Hasil pengolahan data*)

No.	Sampel	Umur Hari	Berat (Kg)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1	Silinder	28	11,890	80	3,556	3,667
2			12,030	85	3,778	

Pada pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 3,667 Mpa.



Gambar 4.11 Hasil Tarik belah beton SF 4%
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Dari gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat \text{ Atas}}{Total \text{ agregat}} \times 100 \\ &= \frac{96}{197} \times 100 \\ &= 48,73 \%\end{aligned}$$

- b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat \text{ Bawah}}{Total \text{ agregat}} \times 100 \\ &= \frac{101}{197} \times 100 \\ &= 51,27 \%\end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 48,73 % : 51,27 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

3. Beton SF 8%

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton variasi SF 8% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 69 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton variasi SF 8%
(Sumber: Hasil pengolahan data)

No.	Sampel	Umur Hari	Berat (Kg)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1	Silinder	28	12,210	90	4,000	4,111
2			12,270	95	4,222	

Pada pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 4,111 Mpa.



Gambar 4.12 Hasil Tarik belah beton SF 8%
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Dari gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{98}{208} \times 100 \\ &= 47,11 \%\end{aligned}$$

- b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{110}{208} \times 100 \\ &= 52,89 \%\end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47,11 % : 52,89 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

4. Beton SF 12%

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton variasi SF 12% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton SF 12% (*Sumber: Hasil pengolahan data*)

No.	Sampel	Umur Hari	Berat (Kg)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1	Silinder	28	12,200	105	4,667	4,778
2			12,410	110	4,889	

Pada pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 4,778 Mpa.



Gambar 4.13 Hasil Tarik belah beton 12%
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Dari gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

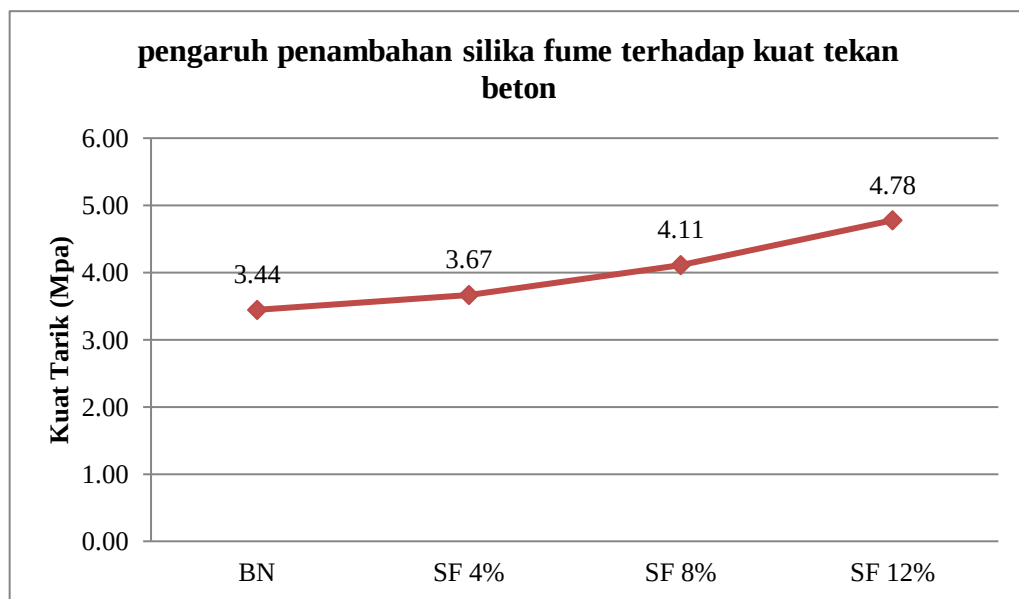
$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{96}{201} \times 100 \\ &= 47,76 \%\end{aligned}$$

- b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned}\% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{105}{201} \times 100 \\ &= 52,24 \%\end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47,76 % : 52,24 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

Berikut adalah grafik pengaruh penggunaan silika fume tiap variasi terhadap kuat tekan lentur:



Gambar 4.14 Grafik pengaruh penambahan SF terhadap kuat Tarik belah beton (*Sumber: Hasil olah data*)

Berdasarkan grafik pengaruh penambahan silika fume terhadap kuat tarik belah beton, dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada beton normal (BN) memiliki nilai kuat tarik belah sebesar 3,44 MPa. Setelah penambahan silika fume 4% (SF 4%) terjadi peningkatan kuat tarik belah menjadi 3,67 MPa atau meningkat sebesar 6,7% dari beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan silika fume mulai memberikan pengaruh positif terhadap kuat tarik belah beton.

Pada penambahan silika fume 8% (SF 8%), kuat tarik belah beton meningkat menjadi 4,11 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 19,5% dari beton normal. Peningkatan ini lebih signifikan dibandingkan dengan penambahan SF 4%, yang menunjukkan bahwa peningkatan persentase silika fume memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tarik belah beton.

Kenaikan paling signifikan terjadi pada penambahan silika fume 12% (SF 12%) dengan nilai kuat tarik belah mencapai 4,78 MPa atau meningkat sebesar 39% dari beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan silika fume 12% memberikan peningkatan kuat tarik belah yang paling optimal.

Secara keseluruhan, penambahan silika fume memberikan pengaruh positif terhadap kuat tarik belah beton. Peningkatan ini disebabkan oleh kemampuan silika fume dalam mengisi rongga-rongga antar partikel semen (*filler effect*) dan reaksi pozzolanik yang terjadi antara silika fume dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, sehingga menghasilkan ikatan pasta yang lebih padat dan kuat. Semakin tinggi persentase penambahan silika fume (hingga 12%), semakin besar pula peningkatan kuat tarik belah beton yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Penambahan silika fume meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan. Pada umur 28 hari, beton normal (25,19 MPa) mengalami peningkatan hingga 30,57 MPa (21,3%) dengan penambahan silika fume 12%. Peningkatan tertinggi terjadi pada variasi 12% dengan kenaikan 46,7% (7 hari) dan 57,4% (14 hari). Mekanisme utamanya adalah efek pengisi partikel halus silika fume yang mengurangi porositas dan reaksi pozzolanik yang membentuk ikatan lebih kuat, sehingga meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton.
2. Silika fume juga meningkatkan kuat tarik belah beton. Beton normal (3,44 MPa) meningkat menjadi 4,78 MPa (39%) pada penambahan silika fume 12%. Peningkatan ini disebabkan oleh kombinasi efek pengisi (mengisi rongga antar partikel semen) dan reaksi pozzolanik yang memperkuat ikatan pasta-agregat. Hasil optimal dicapai pada penambahan 12%, menunjukkan tren linear antara persentase silika fume dan peningkatan kuat tarik belah.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya untuk meneliti penambahan silika fume dengan variasi persentase yang lebih tinggi (>12%) untuk mengetahui batas optimal penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton.

2. Disarankan agar penelitian selanjutnya dapat ditambahkan kombinasi dengan bahan tambah lain untuk meningkatkan kinerja beton.
3. Dapat ditambahkan pengujian parameter lain seperti porositas, permeabilitas, dan mikrostruktur beton untuk mendapatkan pemahaman yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander Hermawan Sutanto, Benedictus Wishu Wintang Kencana, Handoko Sugiharto, Jonathan Hendra Kusuma. Pengaruh Penambahan Silica Fume dan Polypropylene Fiber Terhadap Permeabilitas dan Kuat Tekan Beton. Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Andhica Luthfi Triyono, Euneke Widyaningsih (2023). Pengaruh Penambahan Silica Fume 20% Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash. Seminnar Nasional dan Diseminasi Tugas akhir 2023. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Arman A, Mulyanti, Fajar Nugroho, Hanif Fadhil Azman (2024). Pengaruh Penambahan Silika Fume Terhadap Kuat Tekan Beton. Jurnal Teknologi dan Vokasi. Vol. 2, No. 1.
- ASTM C117-95/SNI 03-4142-1996. Standar Spesifikasi Kadar Lumpur Agregat Kasar
- ASTM C150/C150M. (2019). Astm C 150. ASTM C 150/ C150M-15 Standard Specification for Portland Cement, i.
- ASTM C29/29M-97/SNI03-4804-1998. Interval Berat Volume Agregat Halus dan Agregat Kasar
- ASTM C33. (2008). Mechanical and Phusical Properties of ASTM C33 Sand. ASTM International, February.
- ASTM C40-99/SNI 03-2816-1992, Prosedur Pelaksanaan Pengujian Pemeriksaan Kandungan Organik
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standardisasi Nasional.
- Eko Febrianto (2016). Pengaruh Penambahan silica Fume Pada Porous Concrete Block Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Permeabilitas. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. Vol 03. No 03. Universitas Negeri Surabaya.
- Kementerian PUPR. 2017. (2017). Rancangan Campuran Beton. Diklat Perkerasan Kaku.
- Lachairoi Sihombing (2017). Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Poros. Universitas Medan Area.
- Mulyono, T. (2003). Teknologi Beton, Jakarta. In Penerbit Andi (Issue March).

- Nasional, B. S. (2012). SNI 7656: 2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal
- Partogi H. Simatupang, Judi K. Nasjono, Kresensia G. Mite. (2017). Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Reactive Powder Concrete. Jurnal Teknik Sipil. Vol. VI. No. 2.
- Sevnur, Ridwan, Muhammad Ikhsan (2021). Pengaruh Penggunaan silica Fume Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Porositas Beton diLingkungan. Jurnal Teknik Sipil. Vol. VI. No. 1.
- SK SNI 03-1970-1990. Interval Berat Jenis Untuk Agregat Halus dan Agregat Kasar
- SK SNI S-04-1989-F. Kadar Lumpur Agregat Normal
- SK SNI S-04-1989-F. Syarat Mutu Agregat Kasar dan Halus Untuk Campuran Beton
- SNI 03-1968-1990. Analisis Gradasi Butiran Agregat Halus dan Agregat Kasar
- SNI 03-2495-1991. Jenis Jenis Bahan Tambahan
- SNI 03-6861.1-2022. Persyaratan Air Untuk Campuran Beton
- SNI 1974-2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton
- SNI 2417:2008. Inteval Untuk Kausan Agregat Kasar
- SNI 249-2014. Persamaan Untuk Menentukan Nilai Tarik Pada Beton
- SNI-15-2049-2004. Semen Portland
- Suliyanto, Sugemg Riyanto. Pengaruh Penambahan Silica Fume Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Pada kondisi Direndam Aur Tawar dan Air Laut. Jurnal Teknik Sipil. Politeknik Negeri Malang.
- Sutriyono, B., Trimurtiningrum, R., & Rizkiardi, A. (2018). Pengaruh Silica Fume sebagai Subtitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar (Hal. 12-21). RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 4(4), 12. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i4.12>
- Tjokrodinuljo, K. (2007). Teknologi Beton, Buku Ajar. Jurusan Teknik Sipil–Magister Teknologi Bahan Bangunan–Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta.

- Tjokrodimuljo, K. T. (2003). Pemanfaatan Breksi Batu Apung Asal Pleret Untuk Pembuatan Bata Beton Ringan Sebagai Pengganti Bata Merah Pejal. In Media Teknik.
- Vincentius davendra, Retno Trimurtiningrum (2022). Pengaruh Silica Fume Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. Jurnal Proyek Teknik Sipil. Vol 5. No 2. Universitas 17 Agustus 1945.
- Wicaksono, I. A. (2005). Tinjauan Permeabilitas Beton Kedap Air Sistem Integral dengan Bahan Tambah Cebex-031 dan Conplast-X421M. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
- Yra Maya Sopa N.R, Sartika Nisumanti, Denie Chandra (2023). Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton FC'25. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil. Vol 5. No 1. Universitas Indo Global Mandiri.