

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton adalah campuran sement 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).

Berdasarkan data dari *International Energy Agency* (IEA), industri semen bertanggung jawab atas sekitar 7% dari total emisi karbon global. Selain itu, produksi semen juga membutuhkan energi yang tinggi, sekitar 2-3 GJ per ton semen. Hal ini menunjukkan bahwa industri semen memberikan kontribusi yang signifikan terhadap dampak lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif bahan substitusi semen yang dapat mengurangi konsumsi semen dan emisi karbon, serta menurunkan kebutuhan energi dalam proses produksi. Salah satu bahan yang memiliki potensi adalah limbah gypsum, yang perlu dikaji lebih lanjut pengaruhnya terhadap kuat tekan beton (IEA, 2018)

Gypsum adalah mineral alami yang terdiri dari kalsium sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Mineral ini memiliki sifat yang lunak, mudah dibelah, serta larut dalam air tetapi tidak larut dalam alkohol atau asam asetat. Gypsum banyak digunakan dalam industri konstruksi dan bahan bangunan, seperti pembuatan semen, plester, dan papan gipsium (*drywall*). Selain itu, gypsum juga mengandung

unsur-unsur penting seperti kalsium, sulfur, dan air kristal, yang dapat mempengaruhi sifat-sifat beton ketika digunakan sebagai substitusi semen (Mindat.org, 2024).

Saat ini kita berupaya mengurangi emisi CO₂ global, penting untuk mengatasi kontribusi signifikan dari industri semen. Penggunaan material tambahan semen sebagai material alternatif menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi emisi CO₂ di industri semen (Ige dkk, 2024). Gypsum adalah bahan yang umum digunakan dalam produksi semen dan juga digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton. Limbah gypsum dapat diperoleh dari berbagai industri seperti industri konstruksi, pertambangan, dan pengolahan mineral.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Namrah & Abd. Muis B (2022) yang menggunakan abu ampas kopi sebagai substitusi semen dengan persentase 4%, 8%, dan 12% dengan bahan tambah no drop plaston sebesar 400 Mililiter per sak semen. Hasil pengujian menunjukkan pada usia 28 hari, beton normal memiliki kuat tekan 25,478 MPa, variasi 4% sebesar 26,987 MPa, variasi 8% sebesar 2,548 MPa, dan variasi 12% sebesar 1,604 MPa. Hasil ini menunjukkan hanya beton dengan variasi 4% abu ampas kopi yang mencapai kuat tekan rencana dan layak digunakan. Kemiripan penggunaan abu ampas kopi dan limbah gypsum adalah keduanya substitusi semen. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai **“Pengaruh Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton”**. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai potensi pemanfaatan limbah gypsum sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton.

B. Rumusan Masalah

Dari uraian di atas dapat diambil rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa besar pengaruh substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum terhadap *workability*?
2. Berapa besar pengaruh substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum terhadap kuat tekan beton?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara umum adalah untuk mengetahui sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya pengaruh substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum terhadap *workability*.
2. Untuk mengetahui besarnya pengaruh substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum terhadap kuat tekan beton.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Lingkup penelitian dibatasi pada penggunaan limbah gypsum sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton.
2. Pembuatan beton menggunakan semen tipe I (*Portland Cement*) dengan merek Bosowa.
3. Variasi substitusi semen dengan limbah gypsum yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat total semen.

4. Untuk pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran, diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
5. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari.
6. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.
7. Pengujian beton mengacu pada standar pengujian beton yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh substitusi semen dengan limbah gypsum terhadap kuat tekan beton.
2. Meningkatkan nilai ekonomis dan mengurangi dampak lingkungan akibat limbah gypsum melalui pemanfaatannya sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan beton.
3. Dapat berkontribusi pada upaya pengurangan penggunaan sumber daya alam dan energi dalam industri konstruksi melalui penggunaan material alternatif berbasis limbah. Sekaligus mereduksi timbunan limbah yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

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

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori-teori yang menyangkut tentang penelitian ini.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian baik dari jenis penelitiannya, tahapan, bagan alir serta lain sebagainya.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan secara keseluruhan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton adalah suatu komposit dari bahan-bahan agregat halus dan kasar (pasir, kerikil, batu pecah atau jenis agregat lain) dengan semen sebagai pengikat dan air sebagai pembantu proses kimiawi semen, yang bila mengeras akan membentuk suatu masa padatan (Dipohusodo, I. 1999). Sedangkan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

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 (Neville & Brooks, 2010).

Menurut SNI-2847-2013 beton merupakan suatu campuran semen portland ataupun semen lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air, campuran beton juga dapat ditambahkan oleh bahan tambah (*admixture*). Beton akan mengeras dan membeku setelah mengalami pencampuran dengan air, beton akan semakin

mengeras seiring dengan pertambahan umur beton. Beton akan mencapai kekuatan rencana pada umur 28 hari.

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 Beton

Adapun kekurangan beton menurut (Kardiyono, 2007) yaitu sebagai berikut:

- 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.

3. Kekurangan Beton

Adapun kekurangan beton menurut (Try Mulyono, 2005) yaitu sebagai berikut:

- a. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah.
- b. Berat sendiri beton yang sangat besar yaitu kisaran antara 1800 kg/m^3 sampai 2400 kg/m^3 .
- 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

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2894-2000), Semen Portland adalah semen hidraulis yang dibuat dengan menggiling halus klinker (hasil pembakaran bahan baku seperti batu kapur, tanah liat, dan pasir silika pada suhu tinggi) bersama gypsum. Klinker mengandung silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, yaitu bereaksi dengan air dan mengeras.

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/C-150M, 2023, mendefinisikan semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan menggiling halus klinker yang pada

dasarnya terdiri dari kalsium silikat hidraulis, biasanya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai penambahan antar tanah. Semen Portland mungkin juga mengandung bahan tambahan lainnya yang diizinkan oleh spesifikasi ini.

Komposisi kimia Semen Portland secara umum terdiri dari oksida-oksida seperti CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebagai oksida dominan. Oksida-oksida lainnya seperti MgO , SO_3 , Na_2O , dan K_2O hanya terdapat dalam jumlah kecil (beberapa persen dari berat semen). Dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi bahan semen (*Sumber: Tjokrodimuljo, 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

Munurut ASTM C-150 (2023), Semen Portland diklasifikasikan menjadi lima tipe utama berdasarkan sifat dan kegunaannya:

1. Semen Portland tipe I adalah Semen Portland umum yang cocok untuk berbagai keperluan konstruksi, seperti pembuatan beton, mortar, dan plester.
2. Semen Portland tipe II adalah Semen Portland dengan ketahanan sedang terhadap sulfat dan kalor hidrasi rendah, ideal untuk konstruksi yang terpapar sulfat dalam konsentrasi sedang, seperti pondasi dan struktur di daerah pantai.

3. Semen Portland tipe III adalah Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi, cocok untuk konstruksi yang membutuhkan pengerasan cepat, seperti pekerjaan perbaikan, konstruksi di cuaca dingin, dan konstruksi dengan waktu pengerjaan terbatas.
4. Semen Portland tipe IV adalah Semen Portland dengan kalor hidrasi rendah, ideal untuk konstruksi besar yang menghasilkan panas hidrasi tinggi, seperti bendungan, jembatan, dan bangunan bertingkat tinggi.
5. Semen Portland tipe V adalah Semen Portland dengan ketahanan tinggi terhadap sulfat, cocok untuk konstruksi yang terpapar sulfat dalam konsentrasi tinggi, seperti konstruksi di daerah pantai, saluran air, dan struktur bawah tanah.

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.



Gambar 2.1 Semen
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Agregat

Agregat merupakan bahan granular inert yang berperan penting dalam konstruksi, khususnya dalam pembuatan beton, mortar, dan aspal. Agregat, yang umumnya terdiri dari batu, kerikil, pasir, atau bahan granular lainnya, memiliki fungsi vital dalam meningkatkan kekuatan, mengisi ruang kosong, meningkatkan ketahanan, dan mengatur sifat-sifat campuran konstruksi. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) (2023), agregat didefinisikan sebagai "bahan granular yang digunakan dalam campuran beton, mortar, atau aspal." Agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran, bentuk, dan sumbernya, seperti agregat halus (pasir), agregat kasar (batu, kerikil), agregat alam, dan agregat buatan.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah:

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.

Syarat mutu agregat halus (pasir) untuk campuran beton menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu sebagai berikut:

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.

- 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12 %.
 - b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
- 4) Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
- 5) Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari larutan pembanding.
- 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8. Apabila ayakan dengan susunan ayakan yang telah ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3, atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a) Sisa di atas ayakan 4,8 mm, maksimal 2 % dari berat.
 - b) Sisa di atas ayakan 1,2 mm, maksimal 10 % dari berat.
 - c) Sisa di atas ayakan 0,30 mm, maksimal 15 % dari berat.
- 7) Tidak boleh mengandung garam.

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 C33-14*)

Ukuran Saringan ASTM	Persentase Berat Yang Lolos
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



Gambar 2.2 Agregat Halus (Pasir)
Sumber: Dokumentasi Pribadi

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 agregat kasar harus lebih besar dari 4,75 mm (No. 4). Berdasarkan ASTM C33-14 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.

Syarat mutu agregat kasar (kerikil) untuk campuran beton menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu sebagai berikut:

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
 - b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1 %. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.
- 5) Tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
- 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a) Sisa di atas ayakan 38 mm dan harus 0% dari berat.
 - b) Sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90% - 98% dari berat.
 - c) Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas dua ayakan yang berurutan, maksimal 60% dan minimal 10% dari berat.
- 7) Tidak boleh mengandung garam.

Sesuai SNI 1970-2008, batas-batas gradasi agregat kasar ditetapkan dalam rentang persentase lolos terhadap berat total.

Tabel 2.3 Batas-batas gradasi agregat kasar (*Sumber: SNI 1970-2008*)

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 sintetis, agregat yang diproduksi oleh proses termal di pabrik-pabrik. Agregat ringan mempunyai berat 1100 kg/m³ 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 m, polyethylene terphthalate (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.



Gambar 2.3 Agregat Kasar (Kerikil)
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Air

Air merupakan salah satu bahan yang dibutuhkan untuk proses kimia pada semen untuk membentuk pasta semen. Abrahm telah menemukan hubungan kekuatan beton hanya atas perbandingan air dengan semen (w/c ratio) yang hal ini juga mempengaruhi kemudahan kerja (*workable*). Dalam pembuatan beton, air menjadi salah satu faktor yang penting sebagai bahan yang dapat bereaksi dengan

semen. Dengan mencampurkan air dengan semen dapat menjadi pasta semen dan mengikat agregat. Air berpengaruh pada kuat tekan beton karena jumlah air pada semen berlebihan dapat menyebabkan penurunan kekuatan pada beton.

Faktor air sangat mempengaruhi dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organik lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya. Air adalah alat untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penuangan beton.

Menurut SK SNI S-04-1989-F persyaratan untuk kualitas air dalam pengadukan beton adalah:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung yang dilihat visual.
- c. Tidak mengandung tersuspensi lebih dari 2 gram per liter.
- d. Tidak boleh mengandung garam, asam, zat organik yang terlarut yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram per liter, klorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO_3 .
- e. Bila dibanding dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan tidak lebih 10%.
- f. Air yang meragukan harus dianalisa secara kimia.
- g. Khusus beton pratekan, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 50 ppm.

Pengaruh penggunaan air pada campuran beton mempengaruhi beberapa faktor antara lain:

- a. Besar kecilnya nilai susut beton.
- b. Perawatan pada beton, berguna menjamin proses pengerasan yang baik.
- c. Sifat *workability* pada adukan beton.

Penggunaan air pada campuran beton harus memenuhi persyaratan (Tjokrodinuljo, 2007) sebagai berikut yaitu tidak mengandung zat seperti asam atau garam yang dapat merusak beton.



Gambar 2.4 Air
Sumber: Dokumentasi Pribadi

C. Bahan Tambah Beton

Penggunaan bahan tambah pada campuran beton telah terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan tekan beton dan mengurangi penggunaan semen, sehingga memberikan keuntungan ekonomis dan ramah lingkungan. Penggunaan bahan tambah seperti gipsium telah terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi penggunaan semen (Siddique & Islam, 2012).

Adapun bahan tambah yang digunakan penulis yaitu:

1. Gypsum

Gypsum merupakan salah satu contoh mineral yang kadar kalsiumnya mendominasi mineralnya. Gypsum yang paling sering ditemukan yaitu jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Gypsum memiliki sifat fisik dan kimia yang unik, membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi. Kekerasannya yang rendah (Mohs 2) membuatnya mudah tergores, sementara berat jenisnya sekitar $2,3 \text{ g/cm}^3$ (ASTM C471, 2022). Gypsum memiliki beberapa sifat dan jenis yang membuatnya menjadi bahan bangunan yang populer, antara lain (Wibowo, 2017).

a. Kuat tekan

Gypsum memiliki kekuatan tekan yang cukup baik, meskipun tidak sekuat beton. Kekuatan tekan gypsum dapat ditingkatkan dengan proses pengolahan dan penambahan aditif.

b. Ketahanan terhadap api

Gypsum memiliki kemampuan menahan panas dengan baik. Hal ini dikarenakan gypsum mengandung air kristal yang akan menguap saat terkena panas, sehingga dapat menyerap panas dan memperlambat laju kebakaran.

c. Mudah diproses

Gypsum mudah diproses dan dibentuk menjadi berbagai bentuk, seperti papan gypsum, plester, dan semen gypsum.

d. Ramah lingkungan

Gypsum merupakan bahan bangunan yang ramah lingkungan karena dapat diperoleh dari sumber daya alam yang terbarukan dan mudah didaur ulang.

Tabel 2.4 Unsur penyusun gypsum (*Sumber: CRC Handbook of Chemistry and Physics*)

Unsur	Simbol	Persentase Massa
Kalsium	Ca	23,27%
Sulfur	S	18,62%
Oksigen	O	43,64%
Hidrogen	H	4,47%

Berdasarkan proses pengolahannya, gypsum dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu (Suparno, 2015).

a. Gypsum alam

Gypsum alam merupakan gypsum yang diperoleh langsung dari alam tanpa melalui proses pengolahan. Jenis ini biasanya memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan gypsum olahan.

b. Gypsum sintetis

Gypsum sintetis merupakan gypsum yang diperoleh melalui proses pengolahan limbah industri, seperti limbah pabrik pupuk, pabrik asam sulfat, dan pabrik semen. Gypsum sintetis memiliki kualitas lebih baik dibanding dengan gypsum alam karena memiliki kemurnian lebih tinggi.

c. Gypsum terhidrasi

Gypsum terhidrasi merupakan gypsum yang telah mengalami proses pengolahan dengan menambahkan air. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan gypsum terhadap air.

Gypsum merupakan mineral evaporit yang memiliki berbagai jenis dan sifat yang beragam, sehingga pemanfaatannya pun sangat luas (Syafrizal, 2019). Gypsum memiliki sifat kuat tekan, ketahanan terhadap api, ketahanan terhadap air, mudah diproses, dan ramah lingkungan. Hal ini menjadikan gypsum sebagai bahan bangunan yang populer dan banyak digunakan dalam berbagai bidang industri.



Gambar 2.5 Serbuk Gypsum
Sumber: (Julia-Buz, 2024)

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. (Diphosudo, 1999).

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

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (kg/cm^2)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang (cm^2)



Gambar 2.6 Alat Uji Kuat Tekan

Sumber: Dokumentasi Pribadi

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. Penelitian Terdahulu

1. Wagio, dkk (2023) dengan judul Penggunaan Limbah Gypsum dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton, dalam jurnal *Paulus Civil Engineering Journal*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai dan bagaimana pengaruh hubungan dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dengan menggunakan limbah gypsum 5% dan variasi limbah karbit 8% dan 12% sebagai bahan substisusi pada semen. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental terhadap campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada 28 hari untuk variasi 0%, 8%, dan 12% diperoleh nilai sebesar 31,038 MPa, 31,507 MPa, dan 32,277 MPa. Hasil pengujian kuat tarik belah pada variasi 0%, 8%, dan 12% diperoleh nilai sebesar 2,854 MPa, 2,902 MPa, dan 2,996 MPa. Pada pengujian modulus elatisitas pada variasi 0%, 8%, dan 12% diperoleh hasil sebesar 27903,497 MPa, 30328,111 MPa, dan 31570,793 MPa. Pada pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas diperoleh nilai maksimal pada variasi 12%.
2. Surgawi, dkk (2022) dengan judul Pengaruh Sandblasting dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Campuran Beton, dalam jurnal *Paulus Civil Engineering Journal*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui workability dari beton segar dengan penambahan sandblasting 10% dan variasi limbah gypsum

0%, 2%, 4%, 6% pada campuran beton. Sampel dengan bentuk silinder dengan dimensi 15cm x 30cm total 12 buah, serta balok dengan dimensi 15cm x 15cm x 60cm total 3 buah. Pada proses tes kuat tekan diperoleh angka 26,020, 24,027, 23,469 dan 21,161 Mpa. Pengujian kuat tarik belah sebesar 2,712, 2,098, 1,745, dan 1,462 Mpa. Pengujian 4,119, 3,793, 3,585, dan 3,230 MPa. Pengujian modulus elastisitas sebesar 22384, 20497, 20025, dan 19132 MPa.

3. Prayitno, dkk (2021) dengan judul Analisa Berat Isi Dan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Foam Agent dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum, dalam jurnal Simetris. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan foam agent dan serbuk gypsum terhadap berat isi dan kuat tekan pada bata ringan. Metode yang digunakan adalah dengan membuat benda uji coba dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan berat isi bata ringan dengan campuran foam agent 0,8% dengan bahan tambah serbuk gypsum diperoleh hasil sebesar 6,76% lebih berat menggunakan campuran dengan pasir gunung muntitan daripada menggunakan pasir sungai bengawan solo yang hanya mencapai 1231,47 kg/m³. Sedangkan kuat tekan karakteristik bata ringan menggunakan bahan tambah serbuk gypsum dengan menggunakan foam agent 0,8% memperoleh hasil sebesar 3,05% lebih tinggi menggunakan campuran pasir gunung muntitan daripada menggunakan pasir sungai bengawan solo yang hanya mencapai 10,82 MPa.
4. Mattara, dkk (2020) dalam jurnal Equilib melakukan penelitian tentang Substitusi Semen Dengan Limbah Sekam Padi dan Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Beton. Penelitian eksperimental ini menggunakan limbah

sekam padi (2%, 4%, 6% berat semen) dan serbuk gypsum (5%, 7,5%, 10% berat semen) sebagai substitusi semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kedua bahan tersebut tidak mempengaruhi berat beton, namun berpengaruh terhadap kuat tekan dan tarik belah. Semakin banyak penambahan kedua bahan, semakin berkurang daya lekat material beton. Kuat tekan maksimal diperoleh pada campuran limbah sekam padi 2% dan serbuk gypsum 5%, namun hanya mencapai 18,66 MPa, tidak memenuhi syarat kuat tekan yang diisyaratkan ($f_c = 20 \text{ MPa}$).

5. Prayogo, dkk (2019) dengan judul Pemanfaatan Limbah Gypsum Board dan Batu Bata Merah Untuk Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton, dalam jurnal *Jurmateks*. Tujuan dari penelitian ini adalah diperlukan inovasi penambahan bahan baru yang setidaknya dapat mengurangi kebutuhan bahan utama pembuat beton. Variasi substitusi yang digunakan 5% limbah gypsum board dan 5% limbah batu bata merah dari presentase keseluruhan semen, dan substitusi kedua masing masing sebanyak 10% limbah gypsum board dan 10% limbah batu bata merah dari keseluruhan semen, substitusi terakhir masing-masing sebanyak 15% limbah gypsum board dan 15% limbah batu bata merah dari keseluruhan semen. Metode penelitian ini adalah menggunakan metode eksperimen. Hasil dari pengetesan uji kuat tekan beton dengan penambahan limbah gypsum board dan limbah batu bata merah terhadap semen didapatkan hasil yang cukup bagus. Beton yang memiliki nilai kuat tekan rata-rata paling tinggi selain beton normal di miliki beton dengan campuran batu bata merah dan limbah gypsum masing-masing 10% dengan nilai kuat tekan sebesar $250,56 \text{ Kg/cm}^2$, dan yang memiliki

nilai kuat tekan paling rendah di miliki beton dengan campuran batu bata merah dan limbah gypsum masing-masing 15% dengan nilai kuat tekan 195,56 Kg/cm².

6. Raftly, dkk (2024) dengan judul Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Kasar Pecah Manual Dengan Agregat Kasar Pecah Mesin, dalam jurnal Karajata Engineering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan perbandingan hasil uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton agregat kasar pecah manual dan pecah mesin. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik agregat kasar pecah manual dan pecah mesin telah memenuhi standar pengujian material laboratorium. Nilai kuat tekan beton agregat kasar pecah manual sebesar 24,63 Mpa dan beton agregat kasar pecah mesin sebesar 25,19 Mpa. Nilai kuat tarik belah beton agregat kasar pecah manual sebesar 4,778 Mpa dan beton agregat kasar pecah mesin sebesar 5,444 Mpa. Penggunaan agregat kasar pecah mesin menghasilkan nilai kuat tekan dan kuat tarik beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat kasar pecah manual.
7. Namrah & Abd. Muis. B, (2022) dengan judul Pengaruh Abu Ampas Kopi Dengan Bahan Tambah No Drop Plaston Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton, dalam jurnal Karajata Engineering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh versentase abu ampas kopi sebesar 4%, 8%, dan 12% dengan bahan tambah no drop plastron sebesar 400 Mililiter (ml) per sak semen (ukuran 40 Kg), terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Hasil

uji kuat tekan untuk usia 28 hari pada beton normal sebesar 25,478 MPa, variasi 4% sebesar 26,987 MPa, variasi 8% sebesar 2,548 MPa, variasi 12% sebesar 1,604 MPa. Pada uji kuat tarik belah pada beton normal sebesar 6,074 MPa, variasi 4% sebesar 6,37 MPa, variasi 8% sebesar 0,593 MPa, variasi 12% sebesar 0,296 MPa. Sehingga beton dengan variasi 4% abu ampas kopi mencapai kuat tekan rencana dan dapat digunakan dalam konstruksi. Sedangkan untuk variasi campuran 8% dan 12 % abu ampas kopi tidak mencapai kuat tekan yang direncanakan sehingga tidak layak digunakan dalam konstruksi.

8. Hasbullah & Jasman, (2022) dengan judul Pengaruh Penambahan Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton, dalam jurnal Karajata Engineering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan sabut kelapa sebagai material terhadap kuat tekan dan kuat lentur. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Hasil pada penelitian yaitu nilai kuat tekan maksimum pada variasi beton normal sebesar 27,176 MPa, variasi 0,5% sebesar 26,233 MPa, variasi 1,5% sebesar 24,723 MPa dan variasi 2,5% sebesar 22,458 MPa. Nilai kuat lentur rata-rata pada variasi beton normal sebesar 3,733 MPa, variasi 0,5% sebesar 5,333 MPa, variasi 1,5% sebesar 7,600 MPa dan variasi 2,5 sebesar 8,800 MPa. Angka tersebut menunjukkan peran serat pada campuran menyebabkan penurunan kuat tekan pada beton, sedangkan pada kuat lentur mengalami kenaikan.
9. Sihombing, dkk (2023) dengan judul Analisis Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Beton, dalam jurnal Sipilkrisna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kuat tekan beton normal dan kuat

tekan beton yang menggunakan limbah gypsum sebagai sebagai filler dengan variasi 10% dan 20% dengan umur perawatan yang diamati pada umur 28 hari. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Hasil penelitian didapatkan nilai kuat tekan beton normal $f_c'18$ (MPa) pada umur 28 hari sebesar 18,08 MPa. Pada beton variasi campuran dengan limbah gypsum sebagai filler 10% didapatkan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 19,18 MPa. Pada beton variasi campuran dengan limbah gypsum sebagai filler 20% didapatkan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 19,71 MPa.

10. Saputra, dkk (2024) dengan judul Pengaruh Substitusi Campuran Limbah Gypsum dan Fly Ash Terhadap Karakteristik Hollow Block, dalam jurnal *Proceedings of national colloquium research and community service*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah tersebut terhadap karakteristik hollow block dan berapa persentase penggunaan limbah sehingga nilai kuat tekan dan daya serap air yang dibutuhkan sesuai mutu kelas II dalam SNI 03-0349-1989. Adapun metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Hasil yang didapatkan dari hollow block terhadap karakteristik masuk dalam nilai toleransi sesuai SNI 03-0349-1989. Penggunaan 6% limbah fly ash substitusi semen dengan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 5,125 MPa sehingga memenuhi kuat tekan rencana mutu kelas II dengan nilai daya serap air masuk dalam mutu kelas I sesuai SNI 03-0349-1989.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan data melalui beberapa pengujian kemudian mendapatkan hasil kesimpulan dalam bentuk angka, data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental. Menggunakan 4 (empat) variasi campuran dengan komposisi limbah gypsum yang berbeda sebagai bahan substitusi parsial semen. Variasi campuran yang digunakan adalah beton normal sebagai kontrol (0%), dan tiga variasi campuran dengan substitusi limbah gypsum masing-masing sebesar 5%, 10%, 15%. Metode eksperimental digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dengan menggunakan alat Mesin uji tekan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.

B. Lokasi dan Waktu

Lokasi pembuatan benda uji, pemeliharaan, dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare. Dan waktu penelitian ini dilakukan selama 7 (tujuh) bulan, mulai pada bulan Agustus 2024 sampai dengan Februari 2025.

Tabel 3.1 *Time schedule* pelaksanaan penelitian (*Sumber: Data pribadi*)

No	Jenis Kegiatan	2024					2025	
		Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1	Studi literatur							
2	Persiapan laboratorium							
3	Pengujian material							
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 struktur dan bahan

1) Oven

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

2) Mesin aduk beton (*Concrete Mixer*)

Mesin aduk beton digunakan untuk mengaduk bahan penyusun beton.

3) Mesin uji tekan UTM (*Universal Testing Machine*)

Mesin uji tekan digunakan untuk menguji kuat tekan beton.

4) Mesin los angeles

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

d. Peralatan pendukung

1) Kerucut abrams

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

2) Cetakan beton

Cetakan beton yang digunakan adalah bentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 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 tanah dari sumur dalam pada laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.

d. Bahan substitusi

Bahan substitusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah gypsum. Limbah gypsum pada awalnya tidak memiliki kehalusan yang sama dengan semen, sehingga perlu dilakukan proses penghalusan terlebih

dahulu. Proses ini meliputi penghancuran dan penggilingan, diikuti dengan pengayakan menggunakan saringan No. 100 (0,15 mm) dan saringan No. 200 (0,074 mm) untuk memastikan ukuran partikel mendekati ukuran semen.

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. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus pasir (ASTM C128-01/SNI 03-1970-1990)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Keringkan pasir dalam tungku dengan suhu sekitar 105°C sampai beratnya tetap.
- 2) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 3) Buang air perendam dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbuang. kemudian keringkan pasir hingga mencapai keadaan jenuh kering muka (ssd).
- 4) 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.

- 5) Tambahkan air pada piknometer sampai tanda batas penuh agar gelembung udara terbang.
 - 6) Timbang piknometer yang sudah ditambahkan air sampai penuh 100% dan sudah dihilangkan gelembung udaranya dengan ketelitian 0,1 gram (bt)
 - 7) Keluarkan pasir dari piknometer dan keringkan sampai beratnya tetap. Penimbangan dilakukan setelah pasir dikeringkan dan didinginkan dalam desikator (bk).
 - 8) Isi piknometer kosong dengan air sampai penuh kemudian timbang.
- b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SNI 03-1970-1990)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran dan debu.
- 2) Masukkan benda uji kedalam oven pada suhu 105°C sampai beratnya tetap.
- 3) Dinginkan benda uji sampai pada suhu ruangan (± 3 jam), kemudian timbang (bk).
- 4) Benda uji kemudian direndam dalam suhu ruangan selama ± 24 jam.

- 5) Benda uji kemudian dilap dengan kain sampai kondisinya jenuh kering muka.
 - 6) Timbang benda uji jenuh kering muka (b_j)
 - 7) Masukkan benda uji kedalam keranjang kawat, kemudian guncangkan agar udara yang didalam keluar. Lalu timbang dalam air (B_a)
- c. 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 no. 1. Keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai terjadi perubahan berat untuk digunakan sebagai bahan uji.

- d. Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dan agregat kasar (ASTM C117-95/SNI 03-4142-1996)

Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dan agregat kasar dilakukan dengan langkah-langkah 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).
- e. Pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar (ASTM C556-97/SNI 03-1971-1990)

Pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar dilakukan dengan langkah-langkah 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 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai mencapai bobot tetap.
- e) Setelah kering, benda uji ditimbang kemudian catat hasil timbangan (W_4).
- f) Berat benda uji kering dihitung dengan menggunakan rumus: $W_5 = W_4 - W_1$.

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

Pemeriksaan zat organik pada agregat halus dilakukan dengan langkah-langkah 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).

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 pengenal (kode) untuk selanjutnya dilakukan perendaman didalam bak air selama periode waktu yang telah ditentukan.

4. Tahapan pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan pada beton bertujuan untuk mengetahui berapa besar nilai kuat tekan pada beton dengan umur beton rencana yaitu 14 dan 28 hari. Pada pengujian kuat tekan beton, langkah-langkah yang dilakukan akan 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 24 buah. Setiap variasi campuran, dengan substitusi semen menggunakan limbah gypsum 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 6 buah.
- b. Beton dengan substitusi limbah gypsum 5% dari berat total semen sebanyak 6 buah.

- c. Beton dengan substitusi limbah gypsum 10% dari berat total semen sebanyak 6 buah.
- d. Beton dengan substitusi limbah gypsum 15% dari berat total semen sebanyak 6 buah.

Tabel 3.2 menunjukkan jumlah benda uji yang digunakan, sedangkan Tabel 3.3 memuat komposisi bahan campuran beton untuk setiap variasi substitusi gypsum, sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jumlah benda uji kuat tekan

Variasi Substitusi Beton	Umur Beton (Hari)		Jumlah
	14	28	
Beton normal	3	3	6
Limbah gypsum 5%	3	3	6
Limbah gypsum 10%	3	3	6
Limbah gypsum 15%	3	3	6
Jumlah			24

Tabel 3.3 Persentase komposisi bahan campuran beton

Kode	Limbah Gypsum	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air
BN	0%	100%	100%	100%	100%
LG4	5%	95%	100%	100%	100%
LG8	10%	90%	100%	100%	100%
LG12	15%	85%	100%	100%	100%

Keterangan :

BN : beton normal

LG : limbah gypsum

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

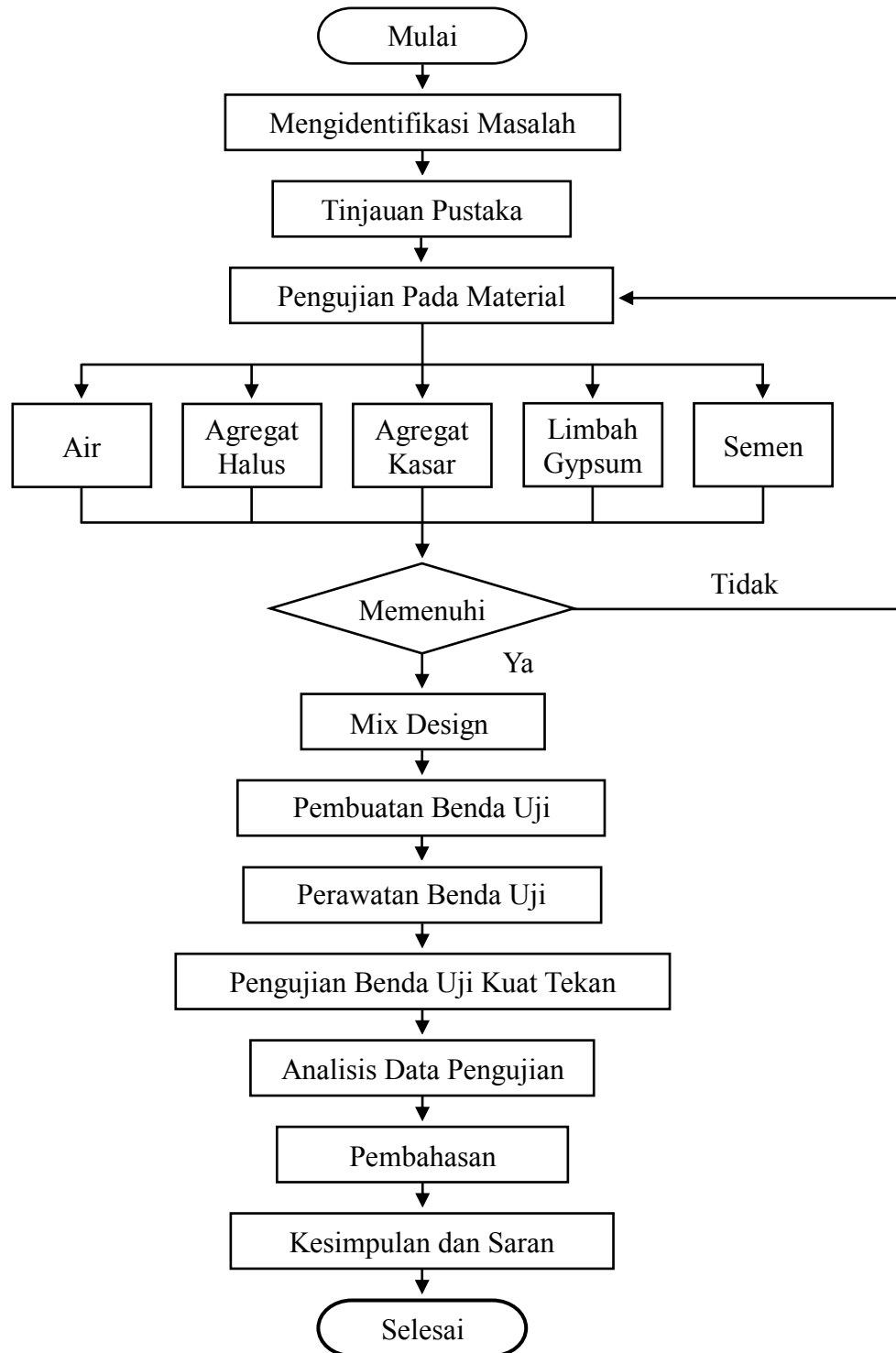
Teknik analisis data yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu data yang dihasilkan dari pengujian dan penelitian akan dikumpulkan kemudian dilakukan analisa data sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Data yang diperoleh dari analisis data selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik atau kurva yang dapat mempermudah dalam merumuskan 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 volume, kadar air, kadar lumpur.

2. Analisis data perencanaan campuran beton (*Mix Design*).
3. Analisis data uji kuat tekan pada beton.

Selanjutnya akan di uji kuat tekan untuk variasi pengambilan limbah gypsum sehingga mendapatkan hasil kekuatan beton yang optimal.

G. Diagram Alir Penelitian**Gambar 3.1** Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Agregat

Berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia) pengujian agregat dilakukan terhadap agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Hasil rekapitulasi dari masing-masing agregat yang telah diuji, mulai dari agregat halus, agregat kasar, semen dan faktor air ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

1. Agregat Halus

Tabel 4.1 Rekapitulasi pengujian agregat halus (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4,2%	4,6%	4,40%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1	No. 1	No. 1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4,82%	4,17%	4,49%	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	1,48	1,49	1,49	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	0,40%	1,83%	1,12%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,54	2,71	2,63	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,52	2,58	2,55	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,53	2,63	2,58	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,53	2,64	2,58	Memenuhi

Dari hasil pengujian laboratorium agregat halus didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Kadar lumpur

Kadar lumpur pada sampel pengujian pertama 4,2% dan sampel pengujian kedua 4,6%. Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan 4,40%. Dengan interval maksimal 5% maka kondisi kadar lumpur agregat halus memenuhi untuk dapat digunakan.

b. Kadar air

Kadar air pada sampel pengujian pertama 4,82% dan sampel pengujian kedua 4,17%. Rata-rata kadar air 4,49. Dengan interval 2%-5% maka kondisi kadar air agregat halus memenuhi untuk dapat digunakan.

c. Kadar organik

Kadar organik diambil dari nilai kadar lumpur agregat halus yang mana interval penilaiannya, kadar organik lebih kecil nilainya dari kadar air. Nilai kadar organik diambil dari nilai rata-rata kadar lumpur yaitu 4,40% yang mana lebih kecil dari nilai kadar air yaitu 4,49%, sehingga kesimpulannya nilai kadar organik memenuhi untuk dapat digunakan.

d. Berat volume

Berat volume terbagi menjadi kondisi lepas dan kondisi padat dengan interval 1,4-1,9. Pada kondisi lepas berat sampel pertama 1,40 dan berat sampel kedua 1,40 dengan rata rata 1,40. Pada kondisi padat berat sampel pertama 1,48 dan berat sampel kedua 1,49 dengan rata-rata 1,49. Berdasarkan data yang ada, berat volume kondisi basah maupun kering agregat memenuhi persyaratan untuk digunakan.

e. Absorpsi

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa rata-rata nilai absorpsi 1,12%. Standar interval nilai absorpsi adalah 0,2-2% maka dinyatakan memenuhi standar untuk digunakan.

f. Berat jenis spesifik

Berat jenis terbagi menjadi tiga yaitu berat nyata, berat jenis dasar kering dan berat jenis kering permukaan dengan interval 1,6-3,3. Rata-rata berat jenis nyata 2,63, rata-rata berat jenis dasar kering 2,55 dan rata-rata berat jenis kering permukaan 2,58. Berdasarkan data hasil penelitian maka disimpulkan material memenuhi persyaratan untuk digunakan.

g. Modulus kehalusan

Interval modulus kehalusan 6.0-8,0. Nilai modulus kehalusan sampel pertama 2,53 dan nilai modulus kehalusan sampel kedua 2,64 dengan rata-rata 2,58. Dari data penelitian disimpulkan bahwa agregat memenuhi persyaratan untuk digunakan.

2. Agregat Kasar

Tabel 4.2 Rekapitulasi pengujian agregat kasar (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,70%	0,90%	0,80%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	23,0%	26,0%	24,5%	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	1,68	1,69	1,69	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	3,56%	1,94%	2,75%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,57	2,50	2,53	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,35	2,38	2,37	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,44	2,43	2,43	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,55	6,74	6,64	Memenuhi

Dari hasil pengujian laboratorium agregat kasar didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Kadar lumpur

Kadar lumpur pada sampel pengujian pertama 0,70% dan sampel pengujian kedua 0,90%. Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan 0,80%. Dengan interval maksimal 1% maka kondisi kadar lumpur agregat kasar memenuhi untuk dapat digunakan.

b. Kadar organik

Kadar organik pada sampel pengujian pertama 23,0% dan sampel pengujian kedua 26,0%. Rata-rata kadar organik yang didapatkan 24,5%. Dengan interval maksimal 50% maka kondisi kadar organik agregat kasar memenuhi untuk dapat digunakan.

c. Kadar air

Kadar air pada sampel pengujian pertama 1,01% dan sampel pengujian kedua 1,01%, rata-rata kadar air 1,01%. Dengan interval 0,5-2% maka kondisi kadar air agregat halus memenuhi untuk dapat digunakan.

d. Berat volume

Berat volume terbagi menjadi kondisi lepas dan kondisi padat dengan interval 1,6-1,9. Pada kondisi lepas berat sampel pertama 1,63 dan berat sampel kedua 1,63 dengan rata-rata 1,63. Pada kondisi padat berat sampel pertama 1,68 dan berat sampel kedua 1,69 dengan rata-rata 1,69. Berdasarkan data yang ada, berat volume kondisi basah maupun kering agregat memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan.

e. Absorpsi

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa rata-rata nilai absorpsi 2,75%. Standar maksimal nilai absorpsi adalah 4% maka dinyatakan memenuhi standar untuk digunakan.

f. Berat jenis spesifik

Berat jenis terbagi menjadi tiga yaitu berat nyata, berat dasar kering dan berat jenis kering permukaan dengan interval 1,6-3,3. Rata-rata berat jenis nyata 2,53, rata-rata berat jenis dasar kering 2,37 dan rata-rata berat jenis kering permukaan 2,43. Berdasarkan data hasil penelitian maka disimpulkan material memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan.

g. Modulus kehalusan

Interval modulus kehalusan 6,0-8,0. Nilai modulus kehalusan sampel pertama 6,55 dan nilai modulus kehalusan sampel kedua 6,74 dengan rata-rata 6,64. Dari data penelitian disimpulkan bahwa agregat memenuhi persyaratan untuk digunakan.

B. Perencanaan Mix Design

Perencanaan campuran dan komposisi adukan beton dihitung dengan menggunakan *Mix Design* SNI 7656:2012 dengan data dan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data hasil *mix design* (Sumber: SNI 7675:2012)

No	Uraian	Nilai
1	Mutu beton	25 Mpa
2	Nilai slump	75-100 mm
3	Ukuran agregat maksimum	20
4	Berat kering oven agregat kasar	1,69
5	Berat jenis semen tanpa tambahan udara	3,08
6	Modulus kehalusan agregat halus	2,58
7	Berat jenis SSD agregat halus	2,58
8	Berat jenis SSD agregat kasar	2,43
9	Penyerapan air agregat halus	1,12%
10	Penyerapan air agregat kasar	2,75%
11	Kadar air agregat halus	4,49%
12	Kadar air agregat kasar	1,01%
13	Berat jenis gypsum	2,30

Berdasarkan data pada tabel 4.3 diatas, maka didapatkan perbandingan kebutuhan semen, gypsum, agregat halus, agregat kasar, dan air sebagai berikut:

Perhitungan:

1. Deviasi standar

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

2. Deviasi standar

Tabel 4.4 Tabel nilai deviasi (kg/cm^2) untuk berbagai volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan dilapangan (*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 Kendali	8,4

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

3. Nilai tambah (margin)

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

4. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

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

5. Jenis semen

Semen Portland Tipe 1

6. Jenis agregat

Agregat Halus = Alami

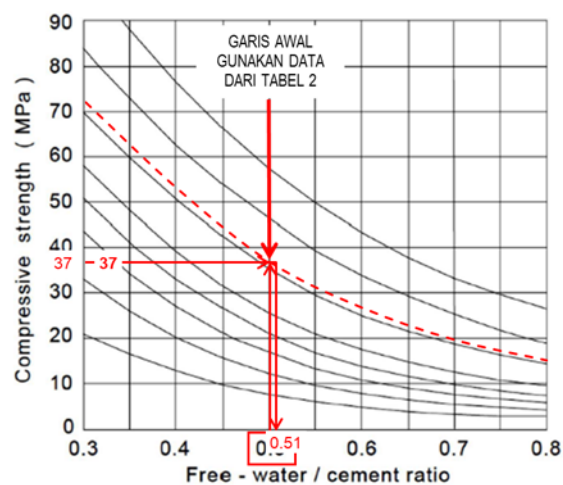
Agregat Kasar = Batu Pecah

7. Faktor Air Semen Bebas

$FAS\ bebas = 0,51\ Mpa$

Tabel 4.5 Perkiraan kekuatan tekan (Mpa) dengan faktor air semen, dan agregat kasar (Sumber: SNI 03-02-2834)

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kukekuatan Tekan (Mpa)				
		Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Uji
Semen Portland Tipe I	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 Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 4.1 Grafik Perkiraan Faktor Air Semen
Sumber: (SNI 03-2834-2000)

$f'c\ rencana = 25\ Mpa$

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

$$fas \text{ pakai} = 0,51$$

8. Faktor air semen maksimum

Tabel 4.6 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkaran khusus (*Sumber: SNI 03-02-2834*)

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 terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindungi 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		Lihat tabel 6
b. Air laut		

9. Slump

Biasanya untuk pengecoran didalam 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:

$$= 60 - 180 \text{ mm}$$

10. Ukuran agregat maksimum

$$= 20 \text{ mm}$$

Tabel 4.7 Perkiraan kadar air bebas (kg/cm^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton (*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

$$Wh = 195$$

$$Wk = 225$$

Wh adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus, sedangkan Wk adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

$$W = \frac{2}{3} \times Wh + \frac{1}{3} \times Wk$$

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

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

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 disuaikan

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

15. Susunan besar butir agregat halus

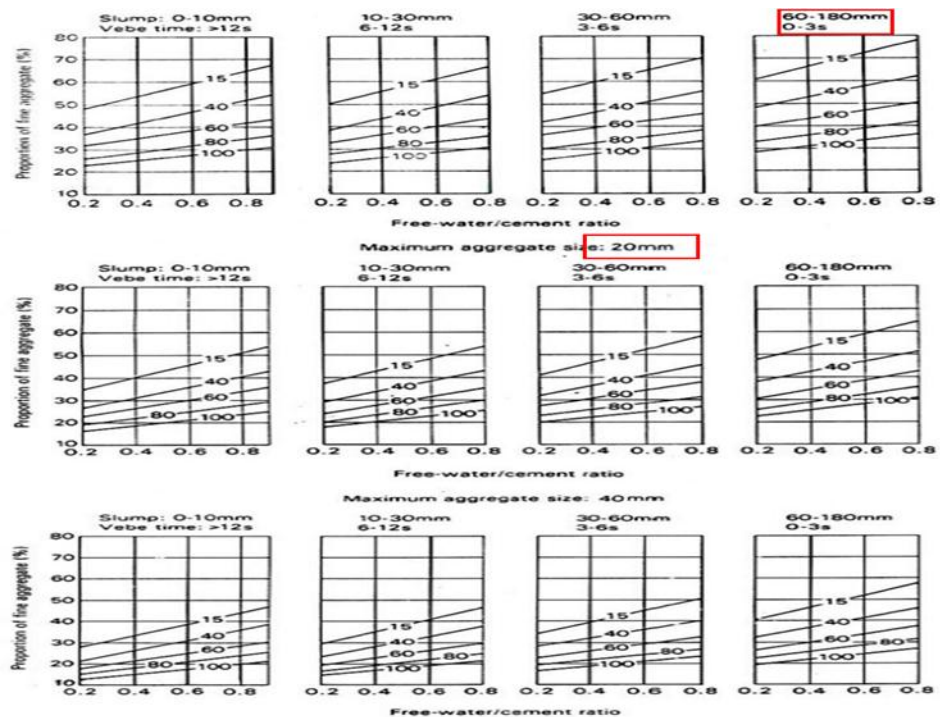
Jenis pasir = Agak Halus

16. Berat jenis agregat

$$\text{Berat jenis agregat halus} = 2,35$$

$$\text{Berat jenis agregat kasar} = 2,59$$

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

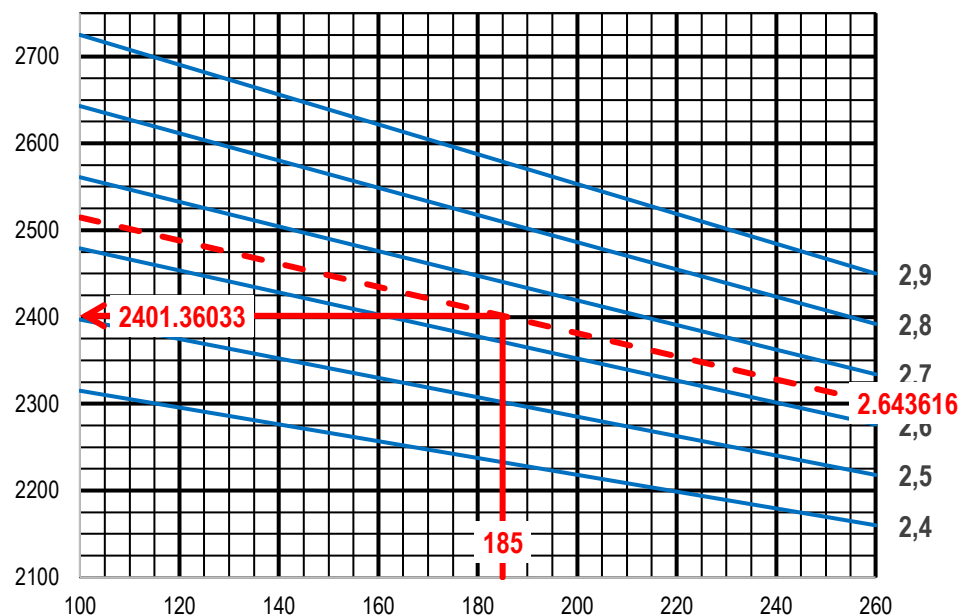
$$\text{Bj. Ag. Gab.} = (\text{Persen Ag. Halus} \times \text{Bj. Ag. Halus}) + (\text{persen Ag. Kasar} \times \text{Bj.}$$

$$\text{Ag. Kasar})$$

$$= 249\%$$

$$= 2,49$$

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:

Kadar Ag. Gab. = berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas

Kadar Ag. Gab. = 1800,42 Kg/m³

21. Kadar agregat halus

Kadar Ag. Halus = persen agregat halus × kadar agregat gabungan

Kadar Ag. Gab = 576,13

22. Kadar agregat kasar

Kadar Ag. Kasar = kadar agregat gabungan – kadar agregat halus
= 1220,26

23. Koreksi terhadap kadar air

Pengujian kadar air terhadap material dilakukan sebelum hendak melakukan proses pencampuran untuk pengujian kadar air bisa dilihat pada SNI 03-1971-1999.

Misal, kadar air yang didapat:

Ag. Kasar = 1,01%

Ag. Halus = 4,49%

Sehingga berat massa penyusian berdasarkan kadar air adalah:

Ag. Kasar (Basah) = 1,01% × 1224,28 = 12,367 Kg

Ag. Halus (Basah) = 4,49% × 576,134 = 25,893 Kg

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampuran dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan, maka:

Air yang diberikan Ag. Kasar = 1,12% × 1224,28 = 13,679 Kg

Air yang diberikan Ag. Halus = 2,75% × 576,134 = 15,842 Kg

Dengan demikian kebutuhan air adalah sebagai berikut:

$$203,0 - 38,3 + 29,521 = 194,261 \text{ Kg}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagai berikut:

$$\text{Air (yang ditambahkan)} = 194,261 \text{ Kg}$$

$$\text{Semen} = 428,855 \text{ Kg}$$

$$\text{Ag. Kasar} = 1222,971 \text{ Kg}$$

$$\text{Ag. Halus} = 586,185 \text{ Kg}$$

24. Kebutuhan campuran bahan untuk 1 m³ beton

Tabel 4.8 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk 1 m³ beton (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Berdasarkan Koreksi Terhadap Kadar Air (Kg)	Berdasarkan Perkiraan Massa Beton (Kg)	Berdasarkan Volume Absolute (Kg)
Air (berat bersih)	194,3	203,0	203,0
Semen	428,9	448,1	448,1
Ag. Kasar (kering)	1223,0	1066,5	1066,5
Ag. Halus (kering)	586,2	632,4	499,7
Perbandingan berat = W semen : W pasir : W kerikil : W air			
1	1,12	2,38	0,45

25. Kebutuhan bahan pembuatan benda uji silinder beton:

$$\text{Dibutuhkan beton berbentuk silinder} = 6 \text{ silinder}$$

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

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

$$\text{Volume 1 silinder} = \frac{1}{4} \pi d^2 h$$

$$= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30$$

$$= 0,0053 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total silinder} &= \text{volume 1 silinder} \times \text{jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \times 6 \\ &= 0,03181 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{Volume 6 silinder} \times 15\% \\ &= 0,03181 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0,00477 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. tambahan} \\ &= 0,03181 \text{ m}^3 + 0,00477 \text{ m}^3 \\ &= 0,03658 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk 6 silinder beton (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (Kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (Kg)	Berdasarkan volume absolute (Kg)
W semen	15,69 Kg	16,39 Kg	16,39 Kg
W pasir	21,44 Kg	23,13 Kg	18,28 Kg
W kerikil	44,74 Kg	39,01 Kg	39,01 Kg
W air	7,11 Kg	7,43 Kg	7,43 Kg

26. Kebutuhan limbah gypsum perbenda uji

a. Untuk beton normal

$$\begin{aligned} \text{Vol. Gypsum} &= \text{Vol. Pasir} \times 0\% \\ &= 0,126 \times 0\% \\ &= 0,000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Gypsum} &= \text{Vol. Gypsum} \times \text{Bj. Gypsum} \\
 &= 0,000 \text{ m}^3 \times 2,296 \\
 &= 0,000 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Vol. Semen} &= \text{Vol. Pasir} \times 100\% \\
 &= 0,126 \times 100\% \\
 &= 0,126 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \times \text{Bj. Semen} \\
 &= 0,126 \text{ m}^3 \times 3,150 \\
 &= 397,583 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Kebutuhan bahan untuk variasi beton normal (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Kebutuhan persatu kubik beton	Kebutuhan persatu silinder beton	Kebutuhan 6 silinder beton
W Semen	397,583 Kg	2,424 Kg	14,544 Kg
W Pasir	563,459 Kg	3,435 Kg	20,611 Kg
W Kerikil	1227,345 Kg	7,483 Kg	44,896 Kg
W Air	212,614 Kg	1,296 Kg	7,777 Kg
W Gypsum	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg

b. Untuk variasi gypsum 5%

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Gypsum} &= \text{Vol. Pasir} \times 5\% \\
 &= 0,126 \times 5\% \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Berat Gypsum} &= \text{Vol. Gypsum} \times \text{Bj. Gypsum} \\
 &= 0,006 \text{ m}^3 \times 2,296 \\
 &= 14,487 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Semen} &= \text{Vol. Pasir} \times 95\% \\
 &= 0,126 \times 95\% \\
 &= 0,120 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \times \text{Bj. Semen} \\
 &= 0,120 \text{ m}^3 \times 3,150 \\
 &= 377,703 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Kebutuhan bahan untuk variasi gypsum 5% (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Kebutuhan persatu kubik beton	Kebutuhan persatu silinder beton	Kebutuhan 6 silinder beton
W Semen	377,703 Kg	2,303 Kg	13,816 Kg
W Pasir	563,459 Kg	3,435 Kg	20,611 Kg
W Kerikil	1227,345 Kg	7,483 Kg	44,896 Kg
W Air	212,614 Kg	1,296 Kg	7,777 Kg
W Gypsum	14,487 Kg	0,088 Kg	0,530 Kg

c. Untuk variasi gypsum 10%

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Gypsum} &= \text{Vol. Pasir} \times 10\% \\
 &= 0,126 \times 10\% \\
 &= 0,013 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Gypsum} &= \text{Vol. Gypsum} \times \text{Bj. Gypsum} \\
 &= 0,013 \text{ m}^3 \times 2,296 \\
 &= 28,974 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Semen} &= \text{Vol. Pasir} \times 90\% \\
 &= 0,126 \times 90\% \\
 &= 0,114 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \times \text{Bj. Semen} \\
 &= 0,114 \text{ m}^3 \times 3,150 \\
 &= 357,824 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Kebutuhan bahan untuk variasi gypsum 10% (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Kebutuhan persatu kubik beton	Kebutuhan persatu silinder beton	Kebutuhan 6 silinder beton
W Semen	357,824 Kg	2,182 Kg	13,089 Kg
W Pasir	563,459 Kg	3,435 Kg	20,611 Kg
W Kerikil	1227,345 Kg	7,483 Kg	44,896 Kg
W Air	212,614 Kg	1,296 Kg	7,777 Kg
W Gypsum	28,974 Kg	0,177 Kg	1,060 Kg

d. Untuk variasi gypsum 15%

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Gypsum} &= \text{Vol. Pasir} \times 15\% \\
 &= 0,126 \times 15\% \\
 &= 0,019 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Gypsum} &= \text{Vol. Gypsum} \times \text{Bj. Gypsum} \\
 &= 0,019 \text{ m}^3 \times 2,296 \\
 &= 43,461 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Semen} &= \text{Vol. Pasir} \times 85\% \\
 &= 0,126 \times 85\% \\
 &= 0,107 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Semen} &= \text{Vol. Semen} \times \text{Bj. Semen} \\
 &= 0,107 \text{ m}^3 \times 3,150 \\
 &= 337,945 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Kebutuhan bahan untuk variasi gypsum 15% (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

	Kebutuhan persatu kubik beton	Kebutuhan persatu silinder beton	Kebutuhan 6 silinder beton
W Semen	337,954 Kg	2,060 Kg	12,362 Kg
W Pasir	563,459 Kg	3,435 Kg	20,611 Kg
W Kerikil	1227,345 Kg	7,483 Kg	44,896 Kg
W Air	212,614 Kg	1,296 Kg	7,777 Kg
W Gypsum	43,461 Kg	0,256 Kg	1,590 Kg

C. Nilai Slump

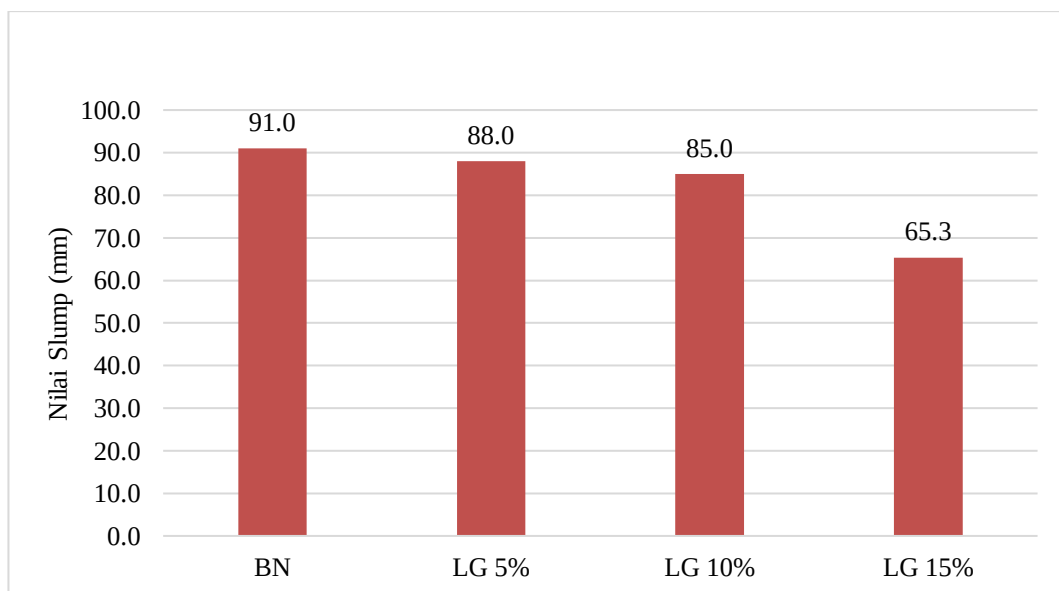
Berbeda dengan nilai slump yang digunakan untuk menilai konsistensi beton dan workability pada kondisi tertentu, hasil pemeriksaan slump test digunakan untuk melihat perubahan kadar air campuran beton. Semakin rendah nilai slump, semakin kental beton tersebut, dan proses pemadatan atau pekerjaan beton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

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 4.14 Hasil pengujian nilai slump test (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2025*)

Variasi	Titik			Rata-rata	ket
	1	2	3	(mm)	
	(mm)	(mm)	(mm)		
BN	93	89	91	91,0	9
LG 5%	87	86	91	88,0	7
LG 10%	85	84	86	85,0	6
LG 15%	64	65	67	65,3	5

Berdasarkan tabel 4.14 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 2025)

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa campuran beton normal memiliki nilai 91,0 mm, menunjukkan workability yang baik. Pada campuran

limbah gypsum 5%, menurun menjadi 88,0 mm, masih tergolong baik tetapi menunjukkan penurunan dibandingkan beton normal. Untuk campuran limbah gypsum 10%, menurun menjadi 85,0 mm, dan pada campuran limbah gypsum 15% turun signifikan menjadi 65,3 mm.

Penggunaan limbah gypsum 5% dan 10% masih dalam batas toleransi, namun pada 15% terjadi penurunan yang sangat signifikan, yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah gypsum dalam jumlah tinggi dapat mengganggu workability beton.

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 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 24 sampel yang terdiri dari 4 variasi campuran yaitu beton normal, Limbah Gypsum 5%, Limbah Gypsum 10% dan Limbah Gypsum 15%. Untuk masing-masing variasi campuran disiapkan 6 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.

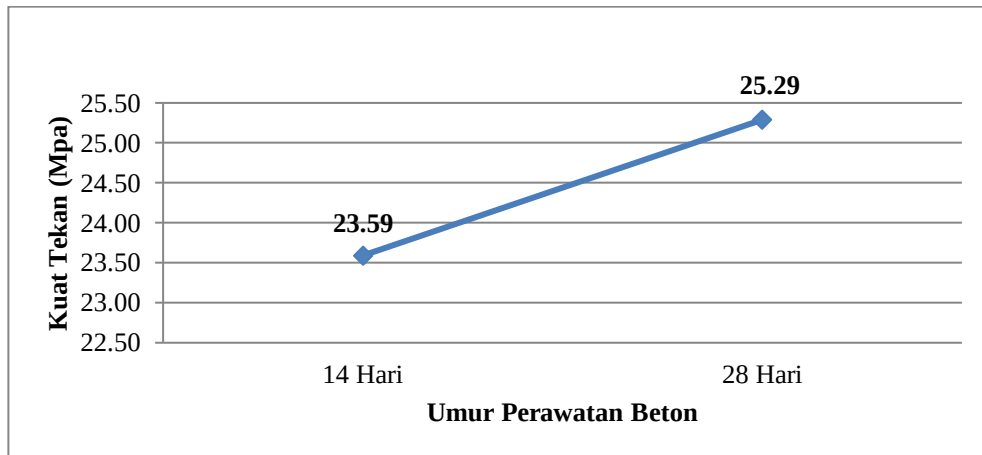
Adapun dari hasil pengujian kuat tekan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Beton Normal

Tabel 4.15 Rekan Hasil kuat tekan beton normal (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2025*)

No	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'_c (Mpa)
1	14	11,92	417	23,59
2	28	12,05	447	25,29

Terdapat dua sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 23,59 Mpa selama 14 hari, dan 25,29 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.5 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Normal
Sumber: (Hasil Olah Data 2025)

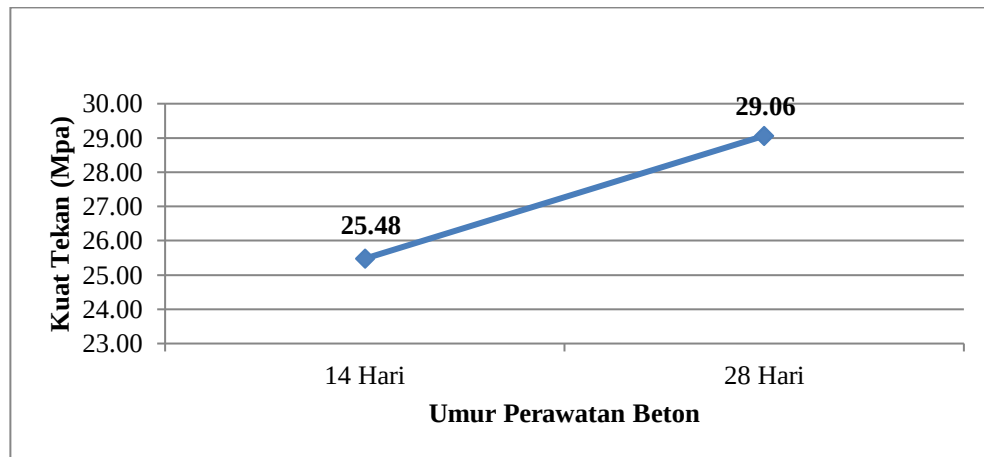
Pada gambar diatas beton normal mengalami peningkatan 1,7 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

2. Beton Limbah Gypsum 5%

Tabel 4.16 Rekan Hasil kuat tekan beton LG 5% (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2025*)

No	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'_c (Mpa)
1	14	11,77	450	25,48
2	28	11,82	513	29,06

Terdapat dua sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 25,48 Mpa selama 14 hari, dan 29,06 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.6 Grafik Pengujian Kuat Tekan LG 5%
Sumber: (Hasil Olah Data 2025)

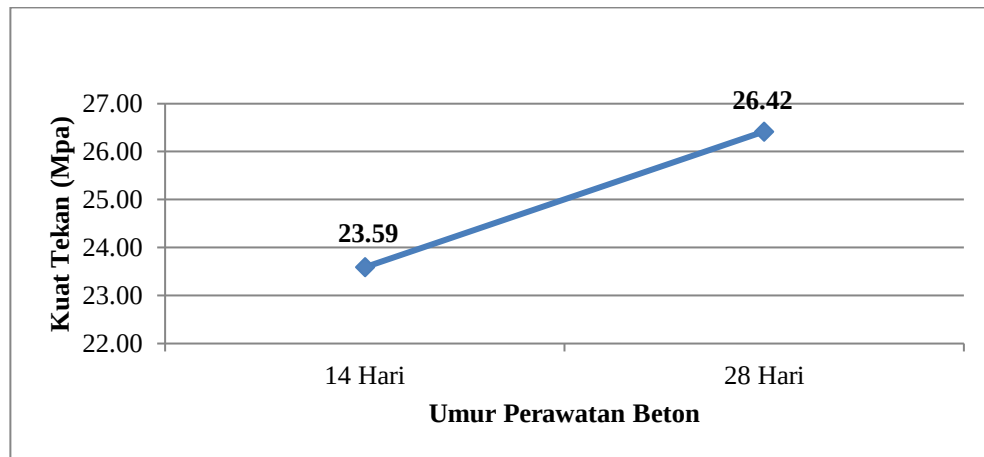
Pada gambar diatas beton dengan penambahan limbah gypsum 5% mengalami peningkatan 3,58 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

3. Beton Limbah Gypsum 10%

Tabel 4.17 Rekan Hasil kuat tekan beton LG 10% (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2025*)

No	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'_c (Mpa)
1	14	11,67	417	23,59
2	28	11,95	467	26,42

Terdapat dua sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 23,59 Mpa selama 14 hari, dan 26,42 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.7 Grafik Pengujian Kuat Tekan LG 10%
Sumber: (Hasil Olah Data 2025)

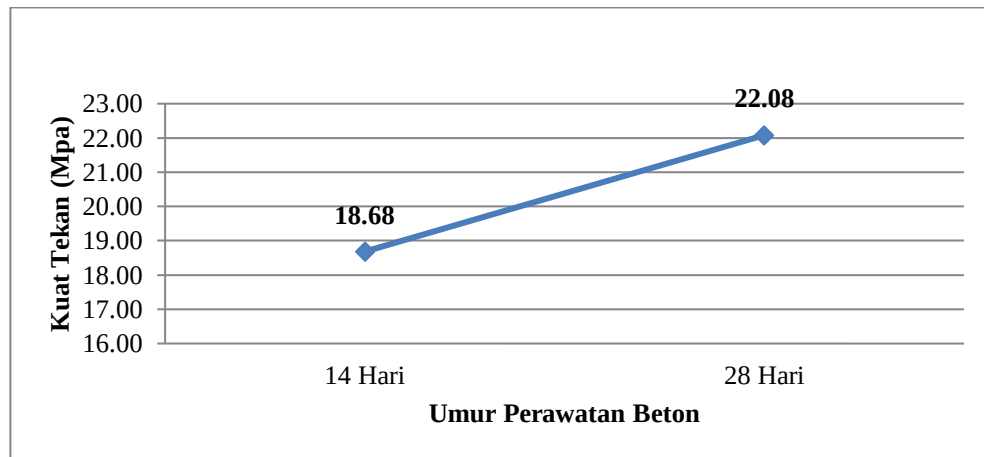
Pada gambar diatas beton dengan penambahan limbah gypsum 10% mengalami peningkatan 2,83 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

4. Beton Limbah Gypsum 15%

Tabel 4.18 Rekan Hasil kuat tekan beton LG 15% (*Sumber: Hasil olah laboratorium 2025*)

No	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'c (Mpa)
1	14	11,77	330	18,68
2	28	11,79	390	22,08

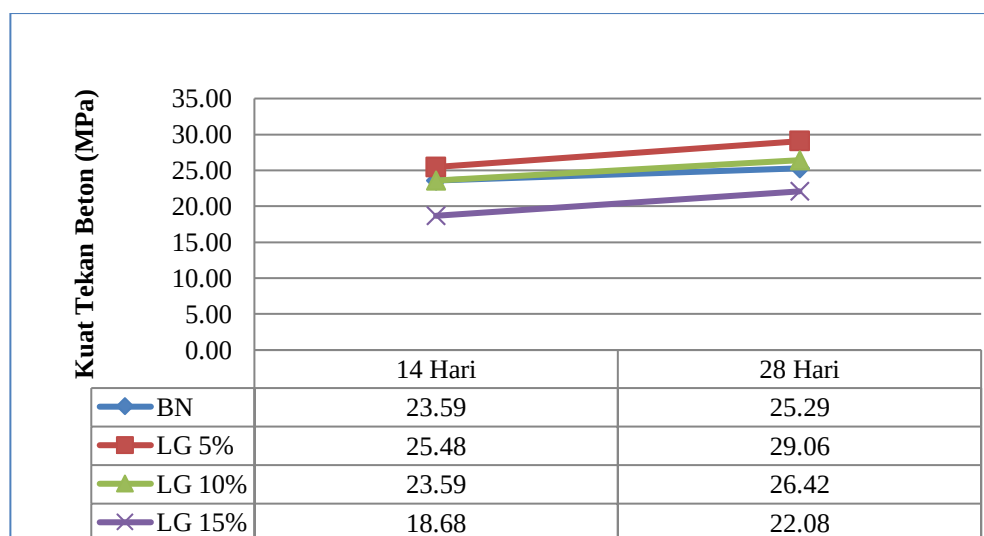
Terdapat dua sampel uji beton normal dengan silinder 150 x 300 mm, kuat tekan rata-rata 18,68 Mpa selama 14 hari, dan 22,08 Mpa selama 28 hari.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Kuat Tekan LG 15%
Sumber: (Hasil Olah Data 2025)

Pada gambar diatas beton dengan penambahan limbah gypsum 15% mengalami peningkatan 3,40 Mpa dari 14 hari ke 28 hari.

Berikut adalah grafik gabungan pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap kuat tekan beton.



Gambar 4.9 Grafik Gabungan Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton
Sumber: (Hasil Olah Data 2025)

Pada beton normal tanpa penambahan limbah gypsum, kuat tekan pada 14 hari adalah 23,59 MPa, yang kemudian meningkat menjadi 25,29 MPa pada 28 hari. Ini menjadi dasar perbandingan untuk melihat dampak penambahan limbah gypsum. Ketika limbah gypsum ditambahkan sebanyak 5%, terjadi peningkatan kuat tekan menjadi 25,48 MPa pada 14 hari dan 29,06 MPa pada 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum dalam jumlah kecil dapat meningkatkan kekuatan beton, terutama pada periode 28 hari.

Namun, ketika persentase limbah gypsum ditingkatkan menjadi 10%, kuat tekan pada 14 hari tetap sama dengan beton normal, yaitu 23,59 MPa, tetapi meningkat menjadi 26,42 MPa pada 28 hari. Meskipun ada peningkatan, efeknya tidak sebesar penambahan 5%. Pada persentase yang lebih tinggi, yaitu 15%, terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan. Pada 14 hari, kuat tekan turun drastis menjadi 18,68 MPa dan hanya meningkat menjadi 22,08 MPa pada 28 hari. Ini menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum dalam jumlah besar dapat menurunkan kekuatan beton.

Berdasarkan Gambar 4.9, penurunan kuat tekan pada substitusi limbah gypsum 15% disebabkan oleh jumlah gypsum berlebih yang mengganggu proses pengerasan beton, kandungan sulfat tinggi yang melemahkan struktur, kesulitan pemadatan campuran, dan terbentuknya kristal-kristal halus penyebab retak mikro.

Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum hingga 5% dapat memberikan efek positif terhadap kuat tekan beton, terutama pada periode 28 hari. Penambahan 10% masih dapat diterima,

meskipun tidak memberikan peningkatan yang signifikan. Namun, penambahan 15% tidak disarankan karena nilai kuat tekan yang dihasilkan berada di bawah kuat tekan rencana sebesar 25 Mpa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum berpengaruh terhadap workability beton. Pada beton normal tanpa penambahan limbah gypsum, nilai slump test menunjukkan workability yang baik. Namun, ketika limbah gypsum ditambahkan sebanyak 5%, nilai slump test menurun dari 91,0 mm menjadi 88,0 mm. Meskipun terjadi penurunan, workability beton masih tergolong baik. Pada penambahan 10% limbah gypsum, nilai slump test turun menjadi 85,0 mm, yang masih menunjukkan workability yang cukup baik. Namun, pada penambahan 15% limbah gypsum, nilai slump test turun drastis menjadi 65,3 mm, menunjukkan penurunan workability yang signifikan. Secara umum, terdapat tren penurunan workability seiring dengan peningkatan persentase substitusi limbah gypsum. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase limbah gypsum yang digunakan, semakin rendah workability beton.
2. Berdasarkan hasil penelitian, substitusi sebagian semen dengan limbah gypsum memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton. Substitusi 5% limbah gypsum menunjukkan hasil optimal, dengan kuat tekan mencapai 25,48 MPa pada umur 14 hari dan 29,06 MPa pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar substitusi limbah gypsum, semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan. Tren ini terlihat dari penurunan nilai

kuat tekan dari substitusi 5% ke 10%, dan penurunan lebih tajam pada substitusi 15%, yang menunjukkan hubungan terbalik antara persentase substitusi dengan kuat tekan beton. Pada kadar substitusi 10%, kuat tekan beton masih menunjukkan hasil memadai dengan nilai 23,59 MPa pada umur 14 hari dan 26,42 MPa pada umur 28 hari. Sebaliknya, substitusi 15% limbah gypsum memberikan dampak negatif dengan kuat tekan hanya mencapai 18,68 MPa pada umur 14 hari dan 22,08 MPa pada umur 28 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah gypsum dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan beton, dengan pembatasan kadar substitusi tidak melebihi 10%. Substitusi 5% memberikan hasil terbaik, sementara substitusi di atas 10% perlu dihindari karena berdampak negatif pada kuat tekan beton.

B. Saran

1. Disarankan untuk menggunakan limbah gypsum dengan persentase maksimal 5% agar workability dan kuat tekan beton tetap terjaga.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi efek dari bahan tambahan atau aditif yang dapat meningkatkan workability dan kuat tekan beton dengan substitusi limbah gypsum di atas 10%. Yang dikombinasikan dengan bahan silika seperti fly ash, abu sekam dan lain-lain.
3. Dalam aplikasi praktis, perlu dilakukan pengujian lapangan untuk memastikan bahwa beton dengan substitusi limbah gypsum memenuhi standar workability dan kuat tekan yang diperlukan untuk proyek konstruksi tertentu.

4. Penting untuk memantau kualitas limbah gypsum yang digunakan, karena variasi dalam kualitas limbah dapat mempengaruhi workability dan kuat tekan beton.
5. Penelitian ini menunjukkan potensi pemanfaatan limbah gypsum sebagai bahan substitusi semen, yang dapat mengurangi limbah industri dan mendukung pembangunan berkelanjutan.
6. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi kadar substitusi limbah gypsum di bawah 5% dan di atas 10% untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency IE. (2018). *Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry*. Paris, France: IEA.
- American Society for Testing and Materials. (1995). *Standard Test Method for Compressive Strength of Fine Aggregate (C117-95)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (1997). *Standard Test Method for Compressive Strength of Coarse Aggregate (C29/29M-97)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (1997). *Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine (C556-97)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (1999). *Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation from Freezing and Thawing (C40-99)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2001). *Standard Test Method for Compressive Strength of Brick (C128-01)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard Specification for Concrete Aggregates (C33-14)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2022). *Standard Specification for Gypsum Plaster (C471)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2023). *Standard Specification for Portland Cement (C-150/C-150M-23)*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). *SNI 03-1970-1990 Agregat halus, Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air*, Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). *SNI 03-1971-1990 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. (1996). *SNI 03-4142-1996 Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat 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.
- CRC (2023). *Handbook of Chemistry and Physics*: CRC Press.
- Dipohusodo, I. (1999). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ige, OE, Von Kallon, DV & Desai, D. Metode mitigasi emisi karbon pada industri semen menggunakan model dinamika sistem. *Kebijakan Lingkungan Teknologi Bersih* 26, 579–597 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02683-0>
- Imani, R., Purba, W., & Nainggolan, R. S. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton. *Construction and Material Journal*, 2(1), 1-12.
- Jasman, J. (2022). Pengaruh Penambahan Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Karajata Engineering*, 2(1), 53-57.
- Julia-Buz. (2024). White Gypsum Powder. Diperoleh dari: <https://images.app.goo.gl/UeUFehirBNBnYeKE7>. (Diakses 25 Agustus 2024).
- Kardiyono, T. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (n.d.). Kementerian PUPR. Diperoleh dari: <https://www.pu.go.id/>. (Di akses 4 Agustus 2024).
- Mattara, H. A. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Sekam Padi Dan Serbuk Gypsum Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Tarik Beton. *Equilib*, 1(2), 29-36.
- Mindat.org. (2024). Gypsum. Diperoleh dari: <https://www.mindat.org/min-1784.html>. (Diakses 3 Agustus 2024).
- Muis, A. (2022). Pengaruh Abu Ampas Kopi Dengan Bahan Tambah No Drop Plaston Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Karajata Engineering*, 2(1), 58-63.
- Mujur, R. M., Jasman, J., & Hamsyah, H. (2024). Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Kasar Pecah Manual dengan Agregat Kasar Pecah Pada Mesin. *Jurnal Karajata Engineering*, 4(1), 15-21.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology (2nd ed.)*. London: Pearson Education.
- Prayitno, E. (2021). Analisa Berat Isi Dan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Foam Agent dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum. *SIMETRIS*, 15(1), 7-11.
- Prayogo, D. H., Ridwan, A., & Winarto, S. (2019). Pemanfaatan Limbah Gypsum Board Dan Batu Bata Merah Untuk Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 2(2), 333-342.
- Saputra, A., Hisyam, E. S., & Apriyanti, Y. (2024, December). Pengaruh Substitusi Campuran Limbah Gypsum Dan Fly Ash Terhadap Karakteristik Hollow Block. In *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service* (Vol. 8, pp. 22-27).
- Siddique, M. A., & Islam, M. N. (2012). Influence of Gypsum on the Properties of Concrete. *Construction and Building Materials*, 36, 421-427.
- Sihombing, S. M., & Prasetyo, R. (2023). Analisis Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Krisna*, 9(2), 65-72.
- Suparno, S. (2015). Pengaruh Penambahan Gypsum Terhadap Kekuatan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 1-10.
- Surgawi, D., Phengkarsa, F., & Tonapa, S. R. (2022). Pengaruh Sandblasting Dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Campuran Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(2), 234-241.

- Syafrizal, M. (2019). Studi Literatur tentang Pemanfaatan Limbah Gypsum sebagai Bahan Baku Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(4), 31-40.
- Tjokrodimuljo, M. (2007). *Ilmu bahan bangunan*. Jakarta: Penerbit Teknik.
- Tri Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Wagio, T. V., Tanijaya, J., & Sandy, D. (2023). Penggunaan Limbah Gypsum dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 5(1), 161-173.
- Wibowo, A. (2017). Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Baku Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 11-20.