

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton**

Beton merupakan komponen struktural utama pada konstruksi yang berfungsi sebagai elemen penahan beban serta berfungsi sebagai pembentuk struktur pada bangunan. Menurut SNI 03-6468-2000 beton terbentuk dari campuran bahan perekat berupa semen, pasir, kerikil atau batuan, air dan bahan tambahan apabila dibutuhkan dalam perencanaannya (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

Menurut (Mulyono, 2019) beton diklasifikasikan dalam beberapa jenis berdasarkan cara pembuatannya, bahan pengisi, bentuk, volume dan kegunaannya. Berikut ini adalah jenis-jenis beton:

##### **1. Beton ringan**

Beton ringan merupakan beton yang dalam pembuatannya menggunakan gabungan dari beberapa agregat dengan berat jenis yang rendah, seperti hasil pembakaran shale, lempung, residu slag dari logam, residu dari batu bara dan masih banyak lagi. Beton ringan memiliki berat jenis maksimal yang berkisar antara  $1900 \text{ kg/m}^3$ , dengan kuat tekan berkisar lebih dari 17,2 MPa pada hari ke 28. Beton ini digunakan untuk mengurangi beban struktur, serta memberikan isolasi termal dan suara.

##### **2. Beton normal**

Beton normal merupakan beton yang dibuat menggunakan agregat yang memiliki berat jenis standar seperti pada umumnya. Beton normal memiliki berat isi sebesar  $2200\text{--}2500 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan yang berkisar antara 17,5–41 MPa. Beton ini merupakan beton yang paling umum digunakan dalam konstruksi bangunan.

##### **3. Beton berat**

Beton berat adalah beton yang memiliki berat isi lebih dari  $2500 \text{ kg/m}^3$  hal ini didapatkan dari penggunaan agregat dengan berat jenis yang lebih besar dibandingkan beton normal. Beton berat digunakan pada konstruksi khusus

seperti konstruksi yang memerlukan perlindungan terhadap radiasi, benturan, atau beban berat yang sangat besar.

4. Beton massa (*mass concrete*)

Beton massa atau *mass concrete* merupakan beton dengan volume campuran yang besar serta dimensi ukuran yang tebal, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam pengerjaannya. Beton ini banyak digunakan dalam konstruksi yang memerlukan struktur besar dan kekuatan tinggi contohnya seperti bendungan.

5. Beton serat

Beton serat merupakan beton yang menggunakan bahan tambahan serat-serat dengan tujuan untuk dapat meningkatkan nilai kekuatan dan ketahanan gaya tarik serta kerusakan kerusakan lainnya. Serat yang ada didalam beton akan membuat beton menjadi lebih kaku dan mempercepat waktu pengikatan. Beton serat banyak dipaliskasikan pada konstruksi yang memiliki luas permukaan yang besar, yang mana temperature, oksidasi serta penguapan sangat berpengaruh terhadap penyusutan muai beton, contohnya seperti konstruksi pada landasan pacu bandar udara, plat atap, jalan, dan lain-lain.

Mutu beton diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia, yang terdiri dari kelas I, II, dan III yang akan dijelaskan pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Kelas dan Mutu Beton

| Kelas | Mutu           | $\sigma_{bk}$<br>kg/cm <sup>2</sup><br>minimum | $\sigma_{bm}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Tujuan         | Pengawasan terhadap |            |
|-------|----------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|------------|
|       |                |                                                |                                     |                | Mutu agregat        | Kuat tekan |
| I     | B <sub>0</sub> | -                                              | -                                   | Non-struktural | Ringan              | Tanpa      |
| II    | B <sub>1</sub> | -                                              | -                                   | Struktural     | Sedang              | Tanpa      |
|       | K125           | 125                                            | 200                                 | Struktural     | Ketat               | Kontinu    |
|       | K175           | 175                                            | 250                                 | Struktural     | Ketat               | Kontinu    |
|       | K225           | 225                                            | 300                                 | Struktural     | Ketat               | Kontinu    |

| Kelas | Mutu  | $\sigma_{bk}$<br>kg/cm <sup>2</sup><br>minimum | $\sigma_{bm}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Tujuan     | Pengawasan terhadap |               |
|-------|-------|------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------------------|---------------|
|       |       |                                                |                                     |            | Mutu<br>agregat     | Kuat<br>tekan |
| III   | K>225 | >225                                           | >300                                | Struktural | Ketat               | Kontinu       |

(Sumber: (PBI, 1971))

Penjelasan mengenai mutu dan kelas beton dari tabel 2.1 yang menerangkan terkait kuat tekan dan pengawasannya adalah sebagai berikut:

1. Beton kelas I adalah beton yang digunakan untuk pekerjaan non-struktural, yang dalam pelaksanaannya tidak memerlukan keahlian khusus. Pengendalian mutu yang dilakukan pada beton dengan kelas ini hanya terbatas pada pemeriksaan sederhana terhadap kualitas bahan yang digunakan, dan tidak memerlukan pengawasan terhadap kuat tekannya. Beton dengan mutu kelas I ini dinyatakan dengan B<sub>0</sub>.
2. Beton kelas II umumnya digunakan pada pekerjaan struktural konstruksi. Proses pelaksanaannya memerlukan keterampilan serta keahlian khusus, dan wajib dilaksanakan di bawah pengawasan tenaga profesional. Pada mutu B<sub>1</sub>, pengendalian kualitas hanya sebatas pada pengawasan sedang terhadap material tanpa adanya uji kuat tekan. Sementara itu, pada mutu K125, K175, dan K225, pengawasan kualitas dilakukan dengan lebih ketat, mencakup mutu material serta harus dilakukan pengujian kuat tekan secara rutin.
3. Beton kelas III digunakan pada pekerjaan konstruksi struktural yang membutuhkan kekuatan tekan tinggi, yaitu diatas 225 kg/cm<sup>2</sup>. Pengerjaannya memerlukan keterampilan teknis khusus dan dengan arahan tenaga ahli. Selain itu, pengawasan mutu dilaksanakan secara ketat, baik terhadap kualitas material maupun pengujian kuat tekan.

Selain itu beton juga diklasifikasikan berdasarkan mutu dan penggunaannya seperti beton mutu tinggi digunakan untuk produksi beton prategang, berikut akan dijelaskan pada tabel 2.2 terkait mutu beton dan penggunaannya yang mengutip dari

Tabel 2. 2 Mutu Beton dan Penggunaannya

| Jenis beton $f_c'$ (MPa)           | $\sigma_{bk}'$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Pengunaan                             |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Mutu Tinggi<br>$f_c' \geq 45$      | K400 – K800                          | Diterapkan sebagai beton prategang    |
| Mutu sedang<br>$20 < f_c' \leq 45$ | K250 – < K400                        | Diterapkan sebagai beton bertulang    |
| Mutu rendah<br>$15 < f_c' \leq 20$ | K175 – < K250                        | Diterapkan sebagai beton tanpa tulang |
| $10 < f_c' \leq 15$                | K125 – < K175                        | Diterapkan sebagai lantai kerja       |

Beton sebagai bagian struktural pada sebuah bangunan memiliki kelebihan serta kekurangan dalam penggunaannya seperti halnya pada material lain. Adapun kelebihan dan kekurangan beton sebagai material konstruksi akan dijelaskan pada tabel 2.3 yang salah satunya adalah memiliki sifat yang mudah dibentuk, berikut adalah tabel 2.3 tentang kelebihan dan kekurangan beton.

Tabel 2. 3 Kelebihan dan Kekurangan Beton

| Kelebihan beton                                               | Kekurangan beton                                        |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Mudah dibentuk sesuai kebutuhan                               | Bentuk yang sudah jadi atau mengeras sulit untuk diubah |
| Kuat tekan tinggi                                             | Kuat tarik rendah                                       |
| Mampu memikul beban yang berat                                | Berat sendiri yang cukup besar                          |
| Biaya pemeliharaan rendah                                     | Biaya produksi dan pengahncuran yang relative mahal     |
| Tahan terhadap korosi, pembusukan, serta tahan terhadap cuaca | Pelaksanaan pekerjaan memerlukan ketelitian tinggi      |

## **2.2 Bahan Penyusun Beton**

Beton memiliki bahan penyusun sama seperti beton pada umumnya yang terdiri dari semen, air, agregat, dan dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Berikut adalah penjelasan rinci terkait bahan penyusun beton.

### **2.2.1 Semen**

Semen merupakan bahan perekat hidrolis berbentuk serbuk halus bagian dari bahan penyusun beton yang akan mengalami reaksi kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen yang dapat bereaksi ketika bercampur dengan air dan akan mengeras disebut dengan semen hidrolis (Mulyono, 2019). Terdapat beragam jenis semen hidrolis yang digunakan pada pekerjaan konstruksi, semen portland merupakan semen hidrolis yang banyak digunakan sebagai campuran beton.

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland merupakan jenis semen hidrolis yang diproduksi melalui proses penggilingan klinker, yang mana klinker tersebut mengandung senyawa seperti kalsium silikat hidrolis. Dalam proses penggilingan klinker tersebut digiling bersamaan dengan kalsium sulfat yang difungsikan sebagai pengatur waktu ikat, selain itu dapat pula ditambahkan dengan bahan lainnya (Badan Standardisasi Nasional, 2004). Material utama penyusun semen portland terdiri dari beberapa senyawa antara lain yaitu, kapur ( $\text{CaO}$ ), Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sedikit prosentase dari Magnesium ( $\text{MgO}$ ), Oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), serta terkadang diberikan tambahan gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai pengontrol waktu pengikatan beton (Ranastra Irawan, 2012).

Semen Portland sendiri terdiri dari beberapa jenis dan penggunaannya, adapun jenis dan penggunaan semen Portland berdasarkan SNI 15-2049-2004

1. Jenis I yaitu semen portland untuk digunakan untuk keperluan umum tanpa kebutuhan sifat khusus.
2. Jenis II yaitu semen portland dengan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III yaitu semen portland yang dirancang untuk memperoleh kekuatan awal tinggi sehingga cepat mengeras.

4. Jenis IV yaitu semen portland yang memerlukan kalor hidrasi dalam penggunaannya
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam pemakaiannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

#### 2.2.2 Air

Air merupakan bahan penyusun pada beton yang akan memicu terjadinya reaksi pada semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam proses pembuatan beton. Kandungan senyawa dalam air dapat memengaruhi mutu beton, sehingga diperlukan standar yang jelas untuk memastikan kualitas air yang digunakan. Selain itu, perbandingan air semen harus diperhitungkan dengan tepat, supaya memperoleh beton dengan kualitas yang baik. (Kardiyono, 1992).

Air berdasarkan peraturan bahan bangunan di Indonesia memiliki beberapa persyaratan, antara lain sebagai berikut:

1. Air harus dalam kondisi bersih dan tidak tercemar.
2. Tidak boleh mengandung lumpur, minyak, ataupun kotoran terapan lainnya yang dapat terlihat dengan mata.
3. Zat padat tersuspensi di dalam air tidak boleh lebih dari 2 g/liter.
4. Garam atau senyawa terlarut yang dapat merusak beton (seperti asam, senyawa organik, dan sejenisnya) dibatasi maksimal 15 g/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m, sedangkan sulfat ( $\text{SO}_3$ ) tidak lebih dari 1000 p.p.m.
5. Jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan air destilasi, penurunan nilai kuat tekan tidak boleh melebihi 10%.
6. Air yang mutunya diragukan, perlu dilakukan analisis kimia di laboratorium sebelum digunakan.
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali kandungan klorida dalam air dibatasi lebih ketat, yaitu tidak melebihi 50 p.p.m.

Pada dasarnya air dengan standard layak konsumsi dapat memenuhi kriteria sebagai bahan campuran beton.

### 2.2.3 Agregat

Agregat merupakan salah satu komponen penting dalam campuran dalam produksi beton, dalam beton agregat memiliki komposisi agregat sekitar  $\pm 70\%$  dari berat campuran beton. Agregat beton terdiri atas agregat halus dan agregat kasar. Agregat berfungsi sebagai material pengisi dalam beton, oleh karena itu agregat memiliki peran penting sebagai penentu kualitas dari campuran suatu beton (Mulyono, 2019). Berdasarkan kerentuan dalam SNI 2847:2019 mengenai beton structural, agregat didefinisikan sebagai material berbentuk butiran, seperti pasir, kerikil, batu pecah, ataupun slag, yang dipadukan dengan bahan perekat untuk membentuk beton.

#### 1. Agregat Halus

Agregat halus yang dapat berupa pasir merupakan salah satu material penyusun utama pada pembuatan beton. Menurut ASTM C33-03 agregat halus yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa pasir alami yang diperoleh dari sumber alam secara langsung, pasir buatan yang dihasilkan oleh industry pemecah batu, atau bisa berupa kombinasi keduanya (ASTM International, 2003). Berdasarkan SNI dan PUBI agregat halus memiliki ukuran butiran sebesar 0,075 – 5 mm, dengan kadar bagian yang memiliki ukuran lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5% (Badan Standardisasi Nasional, 2000). Mengutip dari (PBI, 1971) terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi pada agregat halus, adapun persyaratan agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki karakteristik berupa butiran yang keras serta relatif tajam. Selain itu agregat halus perlu berifat kekal atau tahan lama, sehingga tidak mudah rusak atau hancur akibat pengaruh cuaca maupun faktor lingkungan lainnya.
- 2) Kandungan lumpur pada agregat halus tidak diperbolehkan melebihi 5% dari berat kering total. Lumpur yang dimaksud ialah butiran halus yang lolos pada saringan 0,063 mm. jika jumlah lumpur melebihi batas yang ditentukan, maka agregat perlu dilakukan pencucian.

- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik dalam jumlah berlebihan, hal ini dapat diperiksa melalui uji warna dengan Abrams-Harder (dengan menggunakan larutan NaOH). Apabila hasil pengujian tidak sesuai dengan ketentuan, agregat masih dapat digunakan dengan syarat kuat tekan mortar pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan agregat yang sama tetapi dengan pencucian menggunakan larutan 3% NaOH yang setelah itu dilakukan pencucian dengan air hingga bersih, pada umur yang sama.
- 4) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya, dengan syarat lolos ayakan seperti berikut:
  - Sisa di atas ayakan 4 mm, minimum 2% dari berat
  - Sisa di atas ayakan 1 mm, minimum 10% dari berat
  - Sisa di atas ayakan 0,25 mm, berkisar antara 80-90% dari berat
- 5) Pasir laut tidak sebagai agregat halus tidak dianjurkan bagi semua jenis mutu beton, terkecuali dengan petunjuk dan persetujuan dari lembaga pemeriksa material yang diakui.

## 2. Agregat kasar

Agregat kasar pada beton dapat berupa kerikil dari hasil desintegrasi alami batuan atau dapat berupa batu pecah yang didapatkan dari produksi pemecah batu dan memiliki ukuran butir antara 5 – 40 mm SNI 2847-2002. Agregat kasar memiliki peran penting dalam memberikan kekuatan dan stabilitas pada beton. Agregat kasar pada beton harus memenuhi beberapa persyaratan seperti syarat fisik dan syarat kimia sesuai pada PBI, berikut adalah persyaratan agregat kasar untuk beton:

- Syarat fisik
  - 1) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan kekal tidak pecah dan hancur oleh pengaruh cuaca. Butiran yang berbentuk pipih tidak boleh lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya.
  - 2) Kadar lumpur maksimal yang terkandung dalam agregat maksimum 1% dari berat agregat.

- 3) Agregat kasar yang telah dilakukan pengujian dengan mesin Los Angeles bagian agregat yang hancur tidak boleh melebihi 50% dari berat agregat.
  - 4) Kekerasan butir agregat kasar diuji dengan menggunakan bejoda Rudellof, dengan syarat bagian hancur yang lolos ayakan tidak boleh melebihi 32% dari berat.
- Syarat kimia
- 1) Kekekalan agregat terhadap  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bagian yang hancur maksimum 12% dari berat. Dan kekekalan terhadap  $\text{MgSO}_4$  bagian yang hancur maksimum 10% dari berat.
  - 2) Kemampuan bereaksi dengan alkali harus negatif sehingga tidak berbahaya

## **2.3 Bahan Penyusun Tambahan**

### **2.3.1 Kaca**

Kaca merupakan material yang mudah ditemukan dan diperoleh disekitar kita serta memiliki nilai ekonomis dan nilai guna yang cukup tinggi. Selain itu, kaca memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh cuaca, lingkungan, abrasi, ataupun terhadap pengaruh kimia karena terdapat kandungan silika di dalamnya. Kaca juga memiliki sifat penyerapan air rendah, sehingga membuat material kaca memiliki nilai durabilitas yang tinggi (Apriwelni & Bintang Wirawan, 2020). kaca bisa didapat dari botol minuman, pecahan kaca jendela, dan juga botol makanan yang berbahan kaca (Cut dkk., 2022).

Terdapat beberapa macam kaca antara lain kaca soda-kapur, kaca borosilikat, kaca timbal, dan kaca alumino silikat, dll. Di antara ini, gelas soda-kapur adalah yang paling banyak digunakan, terutama di jendela, toples, dan botol yang digunakan di rumah (Poudel dkk., 2025). Berikut kandungan kimia berbagai jenis kaca dijelaskan pada tabel 2.4

Tabel 2. 4 Kandungan Kimia Kaca

| Tipe                 | SiO <sub>2</sub> (%) | Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O (%) | CaO (%)   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | MgO (%)  | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) |
|----------------------|----------------------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------|----------|-----------------------------------|
| Gelas listrik        | 52.0–56.0            | 0.0–2.0                                  | 16.0–25.0 | 12.0–16.0                          | -        | -                                 |
| Kaca borosilikat     | 70.0–80.0            | 4.0–8.0                                  | -         | 7.0                                | -        | 11.0–15.0                         |
| Gelas timbal         | 54.0–65.0            | 13.0–15.0                                | -         | -                                  | -        | -                                 |
| Gelas soda-kapur     | 71.0–75.0            | 12.0–16.0                                | 10.0–15.0 | -                                  | 0.1–4.0  | -                                 |
| Kaca elektronik      | 59.9–61.3            | 0.77–0.81                                | 21.4–21.9 | 12.5–12.64                         | 2.69     | -                                 |
| Gelas barium         | 36.0–35.0            | 7.0                                      | 2.0       | 2.0–4.0                            | 9.0      | 10                                |
| Gelas aluminosilikat | 57.0–64.5            | 0.5–1                                    | 8.0–10.0  | 17.0–24.5                          | 7.0–10.5 | 5                                 |

(Sumber: (Poudel dkk., 2025))

Dengan kandungan pozzolan yang tinggi serbuk kaca dapat digunakan sebagai bahan substitusi material semen (Akesi Suratman dkk., 2023). Hal ini dibuktikan dengan adanya penelitian tentang penambahan serbuk kaca sebesar 12% sebagai bahan pengganti semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan sebesar 20,15 MPa dalam pengujian 7 hari dengan pembanding beton yang tidak ditambahkan serbuk kaca menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 16,27 MPa (Arsasuta Faris & Rochmach Nurul, 2024).

Selain dalam penggunaan pengganti semen, kaca juga dapat dijadikan sebagai pengganti agregat halus. Hal ini dibuktikan dengan adanya penelitian tentang serbuk kaca digunakan sebagai pengganti pasir pada pembuatan batako, dengan substitusi kaca sebagai pengganti pasir sebesar 50% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 18 KN dalam pengujian 7 hari dengan pembanding batako yang tidak menggunakan kaca menghasilkan kuat tekan sebesar 15 KN (Hendriyani dkk., 2020).

### 2.3.2 Daun Bambu

Bambu merupakan tanaman dari keluarga Poaceae (rumput-rumputan) dan termasuk dalam subfamili Bambusoideae (Tandiara, 2023). Terdapat lebih dari 1.700 spesies bambu yang tersebar di seluruh dunia, kecuali di wilayah dengan suhu ekstrem seperti Eropa dan Antartika . Bambu memiliki batang berkayu yang dapat tumbuh hingga 40 meter dengan diameter mencapai 20 cm (Sawarkar dkk., 2024). Indonesia memiliki keanekaragaman bambu yang tinggi, dengan sekitar 172 jenis bambu yang tersebar di berbagai pulau seperti Jawa, Bali, Sulawesi, dan Kepulauan Sunda Kecil. Beberapa genus yang dominan antara lain *Gigantochloa*, *Bambusa*, dan *Schizostachyum* (Liana, 2020).

Tumbuhan bambu sudah tidak diragukan lagi merupakan tumbuhan yang paling cepat tumbuh dan bambu menjadikan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia (Onikeku dkk., 2019). Di Indonesia sendiri bagian batang dari pohon bambu sering berfungsi sebagai bahan bangunan. Selain batang bambu masih banyak komponen bambu yang bisa dimanfaatkan seperti contohnya pada daun bambu (Nura Diana dkk., 2020a). Pemanfaatan abu daun bambu dalam konstruksi mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (Firmansyah & Sri Handoyo, 2022). Daun bambu memiliki manfaat sebagai pengganti semen dikarenakan memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 72,6% (Rangan dkk., 2024). Berikut kandungan kimia yang dihasilkan dari daun bambu jika dijadikan abu terdapat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Kandungan Abu Daun Bambu

| Komponen                | Nilai hasil Analisa (% berat) |
|-------------------------|-------------------------------|
| $\text{SiO}_2$          | 72.60                         |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 16.93                         |
| $\text{CaO}$            | 6.43                          |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 4.16                          |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 3.13                          |
| Cl                      | 2.54                          |
| MnO                     | 0.412                         |
| $\text{TiO}_2$          | 0.206                         |

| Komponen                       | Nilai hasil Analisa (% berat) |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Rb <sub>2</sub> O              | 0.0195                        |
| ZnO                            | 0.0198                        |
| SrO                            | 0.0169                        |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.0057                        |
| MoO <sub>3</sub>               | 0.0069                        |

(Sumber: Rangan dkk., 2024)

Hal ini dibuktikan dengan adanya penelitian tentang penggunaan abu daun bambu digunakan sebagai bahan pengganti semen. Pada penelitian ini digunakan variasi sebesar 8% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 11,51 MPa dalam usia 28 hari dengan pembanding beton yang tidak ditambahkan daun bambu memiliki kuat tekan sebesar 10,23 MPa (Iskandar dkk., 2023).

Selain dalam pengganti semen, abu daun bambu dapat digunakan juga sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan daya dukung tanah. Hal ini dibuktikan adanya penelitian penambahan abu daun bambu untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan penambahan sebesar 6% berpengaruh terhadap nilai tes CBR menjadi 38,21% sedangkan tanah yang tidak diberi abu daun bambu hanya mendapatkan nilai CBR sebesar 5,44 % (Fathonah dkk., 2021)

## 2.4 Uji Material

### 2.4.1 Pengujian Gradasi Agregat

Pengujian ini didasarkan pada ASTM C-136 tentang standarisasi analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini juga berfungsi untuk mengetahui kadar persyaratan teknis dan kualitas. Berikut prosedur pengujian gradasi agregat:

1. Keringkan sampel dalam oven dengan suhu temperatur 100°C
2. Susun saringan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
3. Masukkan sampel pada ayakan
4. Lakukan penyaringan dengan alat sieve shaker
5. Kumpulkan agregat halus yang dibutuhkan

#### 2.4.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar & Halus

Pengujian berat jenis agregat dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dari material agregat pada beton, khususnya terkait berat jenis material. Beberapa parameter yang diamati meliputi berat jenis bulk, berat jenis dalam kondisi kering permukaan (SSD), serta berat jenis semu atau apparent dari agregat. Yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar penyerapan agregat terhadap air dan besarnya nilai factor air semen (FAS) dalam campuran beton, sehingga dapat ditemukan volume agregat dan semen yang efisien sesuai spesifikasi

#### 2.4.3 Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan agregat tersebut, pengujian ini didasarkan pada SNI 2417:2008 dengan nilai maksimal sebesar 40%. pengujian ini dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan no 12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam %. Uji ini sangat menentukan kualitas agregat yang akan digunakan dalam campuran beton.

#### 2.4.4 Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kandungan lumpur bertujuan agar mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus yang akan digunakan. pengujian ini didasarkan pada SNI 2816:2014. Berikut prosedur percobaan yang akan dilakukan:

1. Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Bersihkan gelas ukur
3. Masukkan benda uji agregat yang akan diuji ke dalam gelas ukur.
4. Tambahkan air kedalam gelas ukur hingga agregat terendam dengan sempurna.
5. Tutup rapat gelas ukur menggunakan plastic, kemudian ikat menggunakan karet agar tidak ada kebocoran.
6. Kocok gelas selama 30 menit.
7. Simpan selama 24 jam
8. Ukur tinggi pasir dan kadar lumpur

#### 2.4.5 Uji Konsistensi Normal Air dan Daya Ikat Semen

Uji konsistensi normal air pada semen bertujuan untuk menentukan jumlah air minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasta semen dengan plastisitas standar. Hasil dari uji ini sangat penting karena akan digunakan sebagai dasar acuan dalam pengujian-pengujian lanjutan terhadap semen, seperti uji waktu ikat (initial & final setting time), uji kuat tekan mortar, dan uji keawetan (durabilitas).

Konsistensi normal merupakan kondisi di mana semen dan air tercampur sehingga membentuk pasta yang tidak terlalu encer dan tidak terlalu kental, dan mampu memberikan nilai penetrasi standar saat diuji dengan alat Vicat. Nilai konsistensi ini bergantung pada beberapa faktor, seperti komposisi kimia semen, ukuran partikel, dan kadar kehalusan.

#### 2.4.6 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan pada benda uji. Mengacu pada ketentuan SNI 1974-2011 mengenai pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder, dijelaskan bahwa sampel benda uji harus dijaga tetap dalam kondisi lembab. Hal ini dilakukan sejak dipindahkan dari tempat perawatan hingga saat pengujian.

Proses pengujian dilanjutkan dengan memberikan beban secara bertahap pada benda uji sampai benda uji mengalami keruntuhan total. Selama pembebeanan berlangsung, mesin uji akan merekam besarnya gaya tekan yang bekerja. Nilai beban tertinggi yang tercatat tepat sebelum benda uji hancur dicatat sebagai beban maksimum. Nilai beban maksimum ini akan digunakan sebagai dasar perhitungan membagi nilai beban terhadap luas penampang benda uji silinder.

#### 2.4.7 Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air ini bertujuan untuk mengetahui besar daya penyerapan air pada benda uji. Berdasarkan SNI 03-0349-1989, prosedur pengujian penyerapan air yaitu dengan merendam benda uji dalam air bersih pada suhu ruang selama 24 jam, setelah itu benda uji diangkat dan dikeringkan dari sisa air yang terdapat di permukaannya. Kemudian akan dilakukan penimbangan untuk memperoleh data penyerapan pada benda uji.

#### 2.4.8 Uji Slump

Uji slump digunakan untuk menentukan konsistensi atau kelecakan (*workability*) beton segar. Ini menunjukkan sejauh mana beton dapat dicor, dipadatkan, dan dibentuk tanpa segregasi atau kehilangan kohesi. Menurut pedoman SNI 1972-2008 terkait pengujian slump, pengujian dilakukan dengan memasukkan campuran beton segar ke dalam cetakan berbentuk kerucut secara bertahap. Setiap lapisan yang dimasukkan perlu dipadatkan agar campuran lebih homogen. Setelah cetakan terisi penuh, cetakan diangkat dengan posisi tegak lurus, sehingga adukan beton dapat mengalami penurunan.

Perbedaan tinggi antara permukaan beton pada saat awal pengisian dengan setelah beton mengalami penurunan menunjukkan nilai slump pada beton. Nilai slump memberikan gambaran mengenai konsistensi beton dan kemudahan dalam pelaksanaan pengerjaan beton. Nilai slump yang tinggi menunjukkan bahwa campuran beton memiliki konsistensi yang cair dan mudah dalam pengerjaannya, sedangkan nilai slump yang rendah menandakan beton memiliki konsistensi yang padat dan sulit dikerjakan.

#### 2.4.9 Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis suatu benda. Uji densitas juga memberikan informasi tentang kepadatan suatu material. Pengujian ini didasarkan pada standart ASTM C 134-95 dengan cara menghitung dalam persamaan 2.1

$$p = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

P : Densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

m: Massa Sampel (gr)

V: Volume (cm<sup>3</sup>)

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang penggunaan abu daun bambu sebagai bahan pengganti semen dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2. 6 Literature Review Penggunaan Abu Daun Bambu

| No | Sumber                  | Material                        | Variasi                           | Metode Pengujian                                 | Hasil                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | (Munish & Mehta, 2024)  | Abu sekam padi & Abu daun Bambu | 0%,<br>5%,<br>10%,<br>15%         | Kuat Tekan<br>Kuat Tarik<br>Kuat Lentur          | Daun bambu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 35,08 MPa, kuat tarik sebesar 5,3 MPa, dan kuat lentur sebesar 7,66 N/mm pada hari ke-28 dengan variasi optimum 5%                                                    |
| 2  | (Onikeku dkk., 2019)    | Abu daun bambu                  | 0%,<br>5%,<br>10%,<br>15%,<br>20% | Kuat Tekan<br>Slump<br>Kuat Tarik<br>Kuat Lentur | Daun bambu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 28,5 MPa, kuat tarik sebesar 2,76 MPa, dan kuat lentur sebesar 3,9 MPa pada hari ke-28 dengan variasi optimum 5%.<br>Nilai slump pada variasi 5% adalah sebesar 63 mm |
| 3  | (Nura Diana dkk., 2020) | Abu Daun Bambu                  | 0%,<br>3%,<br>5%,<br>7%           | Kuat Tekan<br>Slump                              | Penggunaan daun bambu mampu meningkatkan nilai kuat tekan hingga sebesar 18,70 MPa pada hari ke-5 dengan variasi                                                                                                        |

| No | Sumber                | Material                     | Variasi                                           | Metode Pengujian                  | Hasil                                                                                                                                                                                                       |
|----|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                       |                              |                                                   |                                   | optimum 7%, serta penggunaan daun bambu dapat menurunkan nilai slump hingga 10 cm pada variasi 3%, 5%, dan 7%.                                                                                              |
| 4  | (Busari dkk., 2024)   | Abu daun bambu dan Metakolin | 0%,<br>5%,<br>10%,<br>15%,<br>20%,<br>25%,<br>30% | Kuat<br>Tekan,<br>Kuat<br>Lentur  | Daun bambu meningkatkan kuat tekan hingga 25,1 MPa pada hari ke-28 pada variasi optimum 15%, dan meningkatkan kuat lentur hingga 2,6 MPa pada variasi 15%.                                                  |
| 5  | (Abebaw dkk., 2021)   | Abu daun bambu               | 0%,<br>5%,<br>10%,<br>15%,<br>20%                 | Kuat tekan<br>Daya serap<br>Slump | Daun bambu dapat meningkatkan nilai kuat tekan hingga sebesar 40,68 MPa pada variasi optimum 5%, mampu meningkatkan daya serap hingga 2,9% pada variasi optimum 5%, serta memiliki nilai slump sebesar 25%. |
| 6  | (Iskandar dkk., 2024) | Abu daun bambu               | 0%,<br>8%,<br>12%,<br>16%                         | Kuat tekan<br>Kuat<br>Lentur      | Daun bambu dapat meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 11,51 MPa, dan meningkatkan kuat lentur hingga 2,12                                                                                                 |

| No | Sumber | Material | Variasi | Metode Pengujian | Hasil                                         |
|----|--------|----------|---------|------------------|-----------------------------------------------|
|    |        |          |         |                  | MPa, pada variasi optimum 8% pada hari ke-28. |

Penelitian terdahulu tentang penggunaan serbuk kaca sebagai bahan pengganti semen dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2. 7 Literature Review Penggunaan Kaca

| No | Sitasi             | Material           | Variasi                                                           | Metode                                              | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | (Gupta dkk., 2020) | Serbuk Limbah Kaca | 0%,<br>5%,<br>10%,<br>15%,<br>20%,<br>25%,<br>30%,<br>35%,<br>40% | Kuat Tekan<br>Slump<br>Kuat<br>Lentur<br>Kuat Tarik | Serbuk kaca mampu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 42,1 MPa,<br>Kuat lentur hingga 3,55 N/mm <sup>2</sup> dan<br>Kuat tarik hingga sebesar 3,35 N/mm <sup>2</sup> ,<br>dengan variasi optimum 30% pada hari ke 28.<br>Nilai slump pada variasi 30% Adalah sebesar 125 mm. |
| 2  | (Qasem, 2024)      | Limbah kaca        | 0%,<br>10%,<br>15%,<br>20%,<br>25%,                               | Kuat Tekan<br>Slump<br>Kuat Tarik                   | Serbuk kaca mampu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 30,34 MPa, dan kuat tarik hingga sebesar                                                                                                                                                                               |

| No | Sitasi                                  | Material    | Variasi                            | Metode                   | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-----------------------------------------|-------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                         |             | 30%                                |                          | 1,54 N/mm <sup>2</sup> , dengan variasi optimum 20% pada hari ke 28. Nilai slump test pada variasi 20% adalah sebesar 140 mm.                                                                                                                                                   |
| 3  | (Paul dkk., 2022)                       | Limbah kaca | 0%,<br>10%,<br>20%,<br>30%,<br>40% | Kuat tekan<br>Daya serap | Serbuk kaca mampu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 43,04 MPa pada beton M30 dan 52,74 MPa pada beton M40, dengan variasi optimum 40%. Serbuk kaca menurunkan daya serap hingga 15% pada beton M30 dan sebesar 18% pada beton M40, pada variasi optimum 40% di hari ke-28. |
| 4  | (Arsasuta Faris & Rochmach Nurul, 2024) | Limbah kaca | 0%,<br>6%,<br>8%,<br>10%,<br>12%   | Kuat tekan               | Kuat Tekan hari ke-7 :<br>12% : 20,15 Mpa<br>Limbah kaca mampu meningkatkan kuat tekan pada beton hingga sebesar 20,15 MPa, dengan variasi optimum 12% pada hari ke-7.                                                                                                          |

| No | Sitasi              | Material    | Variasi                                    | Metode                   | Hasil                                                                                                                          |
|----|---------------------|-------------|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | (Zeybek dkk., 2024) | Limbah Kaca | 0%,<br>10%,<br>20%,<br>30%,<br>40%,<br>50% | Kuat Tekan<br>Kuat Tarik | Limbah kaca meningkatkan kuat tekan beton sebesar 22,46 Mpa dan mampu meningkatkan kuat tarik sebesar 1,4 Mpa pada variasi 10% |

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya yang terdapat pada Tabel 2.6 dan 2.7. Sejumlah penelitian sebelumnya sudah mengkaji pemanfaatan limbah kaca maupun abu daun bambu sebagai material pengganti dalam campuran beton. Penelitian oleh (Zeybek et al., 2024) menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca hingga 50% mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga 22,46 MPa, dengan variasi terbaik pada 10%. Penelitian ini menjadi rujukan karena membahas langsung efek limbah kaca pada beton serta memberikan batasan optimum yang bisa dijadikan dasar dalam penentuan variasi pada penelitian ini.

(Qasem, 2024) juga meneliti serbuk kaca dan menemukan bahwa pada variasi 20% mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 30,34 MPa dengan nilai slump 140 mm. Studi ini penting untuk dijadikan acuan sebab selain memperlihatkan peningkatan kekuatan, juga membahas aspek workability beton, yang relevan dengan penelitian ini yang menargetkan nilai slump tertentu.

Selain itu, (Qasem, 2024) meneliti pemanfaatan abu daun bambu dengan tambahan metakolin. Pada campuran 15%, diperoleh kuat tekan sebesar 25,1 MPa dan kuat lentur 2,6 MPa pada umur 28 hari. Penelitian ini dirujuk karena membuktikan bahwa abu daun bambu memiliki potensi sebagai material pozzolanik, dan variasi optimum yang mereka temukan bisa dijadikan perbandingan untuk penelitian ini.

Hingga saat ini, penelitian yang menggabungkan abu daun bambu dan serbuk kaca secara bersamaan pada beton struktural belum banyak ditemukan. Kondisi ini membuka peluang untuk mengembangkan penelitian baru yang mencoba mengombinasikan kedua material tersebut sebagai substitusi sebagian semen dengan harapan dapat menghasilkan beton dengan kualitas yang sebanding atau lebih baik daripada beton konvensional.

Memang sudah ada penelitian gabungan oleh (Diana & Fansuri, 2021) namun penerapannya masih pada paving block. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa variasi 10% serbuk kaca dan 7% abu daun bambu menghasilkan kuat tekan 20,27 MPa yang masuk kategori mutu B menurut SNI 03-0691-1996. Penelitian ini relevan dijadikan rujukan karena membuktikan bahwa kombinasi kedua material tersebut dapat digunakan, meski aplikasinya masih terbatas pada paving block.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengisi kekosongan kajian dengan merencanakan beton mutu 20 MPa dan target workability slump  $12 \pm 2$  cm, menggunakan substitusi abu daun bambu (10% dan 15%) serta serbuk kaca (10% dan 20%) dari berat semen. Harapannya, penelitian ini dapat menghadirkan inovasi beton ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah kaca dan biomassa bambu sekaligus tetap memiliki kinerja mekanis yang baik.