

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

- a. Pada penelitian yang dilakukan (Veranita et al., 2024) tentang “Pengaruh Penggunaan Kulit Kakao Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Jalan Rabat Beton”, Jalan rabat beton merupakan salah satu jenis jalan yang dibangun di daerah pedesaan, dan jalan rabat beton sendiri banyak digunakan sebagai sarana transportasi untuk mobilitas masyarakat. Selama ini, jalan rabat beton memiliki banyak kekurangan, seperti kerusakan. Berdasarkan penjelasan tersebut, dilakukan penelitian mengenai penggunaan kulit biji kakao sebagai pengganti sebagian agregat halus pada jalan rabat beton. Kandungan abu pada kulit kakao dapat berfungsi seperti tanah liat dalam pembuatan bata semen, karena mengandung 71%  $\text{SiO}_2$  yang merupakan bahan utama dalam pembuatan semen. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu kulit kakao sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kekuatan tekan rabat beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimal pada benda uji dengan persentase abu kulit kakao 1% pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari berturut-turut adalah 20,76 MPa, 15,10 MPa, dan 11,89 MPa. Kuat lentur beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar campuran abu kulit kakao. Semakin banyak abu kulit kakao yang digunakan sebagai pengganti agregat halus, maka semakin besar pula penurunan kuat lentur beton.
- b. Pada penelitian yang dilakukan (SITUMORANG, 2022) untuk mengetahui pengaruh penambahan abu kulit kakao abu bambu terhadap densitas dan daya serap air pada pembuatan paving block, dan (2) mengetahui pengaruh penambahan abu kulit kakao dan abu bambu terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada pembuatan paving block dan (3) mengetahui komposisi penambahan abu kulit kakao dan abu bambu yang paling optimal dalam pembuatan paving block. Pembuatan paving block menggunakan bahan dasar abu kulit kakao, abu bambu,

semen, pasir, dan air. Variasi paving block pada sampel A. 0% : 20% : 20% : 60%, B. 5% : 15% : 20% : 60% C. 10% : 10% : 20% : 60%, D. 15% : 5% : 20% : 60%, dan E. 20% : 0% : 20% : 60% dan digunakan FAS (Faktor Air Semen) sebesar 0,5 pada semua variasi. Waktu penjemuran selama 28 hari. Dalam penelitian ini, karakteristik paving block yang diteliti antara lain: karakterisasi fisis (densitas, daya serap air) dan karakterisasi mekanis (kuat tekan, kuat lentur). Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh abu kulit kakao dan abu bambu terhadap karakteristik paving block. Dengan bertambahnya abu kakao maka nilai densitas mengalami kenaikan dan untuk nilai daya serap air mengalami penurunan. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh abu kulit kakao dan abu bambu terhadap karakteristik paving block. Dengan bertambahnya abu kulit kakao maka nilai kuat tekan dan kuat lentur mengalami kenaikan.

- c. Pada penelitian yang dilakukan (Erlangga., et.al 2023) tentang Pengaruh limbah kulit kakao terhadap *eco-paving block* dalam penelitian ini adalah semakin banyak serat limbah kulit kakao yang digunakan, maka rongga pori dalam *eco-paving block* akan semakin banyak, demikian pula sebaliknya. Paving block berbahan limbah kulit kakao yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki nilai rata-rata uji kerapatan sebesar 1670,751 kg/m<sup>3</sup> hingga 1929,642 kg/m<sup>3</sup>. Uji daya serap air memperoleh nilai rata-rata 11,18% – 19,82%. Untuk uji infiltrasi, nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan P1 yaitu 0,355 mm/s. Uji visual menunjukkan bahwa bentuk tekstur paving yang sesuai diperoleh pada faktor P2 karena menghasilkan tekstur yang baik dan tidak terdapat celah atau cacat ketika paving dicetak. Sementara itu, pada uji kuat tekan, nilai rata-rata mengalami penurunan signifikan dari variasi P1 ke variasi P4. Nilai tertinggi terdapat pada perlakuan P1 yaitu 0,0154 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan P4 yaitu 0,0030 MPa. Namun, dalam penelitian ini terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi kriteria standar mutu paving kelas D.
- d. Pada penelitian yang dilakukan (Hadipramana et al., 2023) penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki karakteristik kekuatan tekan bata ringan CLC

(*cellular lightweight concrete*). akibat pengaruh penambahan campuran AKK+SCT sebagai alternatif pengganti pasir silika. Sementara eksperimen ini membuat empat variasi campuran yaitu: 0% AKK dan SCT, 10% (5% AKK+5%SCT), 15% (10% AKK+5%SCT) dan 20% (1 5% AKK+5%SCT). Presentasi pengganti variasi campuran AKK dan SCT adalah terhadap jumlah volume pasir silika. Perbandingan pasir-semen yaitu 1:4 dengan nilai rasio air-semen sebesar 0,6. Kuat tekan didapatkan dengan menggunakan metode uji tekan beton, karena pada prinsipnya bata ringan CLC adalah sama dengan beton CLC. Pengujian kuat tekan dilakukan saat umur bata ringan mencapai 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses bahan pozzolan AKK+SCT mempunyai kombinasi optimum terhadap proses hidrasi semen. Variasi 10% mempunyai nilai maksimum dibandingkan kombinasi lainnya dengan, kekuatannya meningkat sebesar 11.04% dari bata mebel konvensional. Dengan demikian campuran AKK dan SCT mempunyai potensi untuk memberikan kontribusi sebagai bahan alternatif pengganti pasir silika pada bata ringan CLC.

- e. Pada penelitian yang dilakukan (Padang et al., 2024) penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan abu ampas kopi sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat lentur beton. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi kadar abu ampas kopi sebesar 3%, 6%, dan 9% sebagai pengganti sebagian semen pada campuran beton dengan mutu rencana K-300 ( $f_c' = 25 \text{ MPa}$ ). Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Uji kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ , sedangkan uji kuat lentur dilakukan pada benda uji balok berukuran  $10 \text{ cm} \times 18 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ , dengan masing-masing variasi terdiri dari tiga sampel. Seluruh prosedur pengujian mengacu pada standar SNI 7656:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase abu ampas kopi dalam campuran beton menyebabkan penurunan kekuatan beton. Nilai kuat tekan rata-rata beton normal sebesar  $217,72 \text{ kg/cm}^2$  mengalami penurunan menjadi  $198,20 \text{ kg/cm}^2$  (penurunan 8,96%) pada kadar 3%,  $182,13 \text{ kg/cm}^2$  (penurunan 16,35%) pada kadar 6%, dan  $150,22 \text{ kg/cm}^2$

(penurunan 31,01%) pada kadar 9%. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun abu ampas kopi berpotensi sebagai bahan ramah lingkungan, penggunaannya sebagai substitusi sebagian semen dengan kadar di atas 3% justru berdampak negatif terhadap sifat mekanis beton. Oleh karena itu, diperlukan kajian lanjutan dengan persentase substitusi yang lebih rendah atau dengan penambahan bahan lain agar kinerja beton dapat ditingkatkan.

- f. Pada penelitian yang dilakukan (Affandy & Bukhori, 2019) tentang Pengaruh campuran abu serabut kelapa untuk beton mutu K-100 mempengaruhi kuat tekan dari beton itu sendiri dari data yang telah dilakukan penelitian abu serabut kelapa mengalami kenaikan secara signifikan, beton normal K-100 kuat tekan yang diperoleh 13,964 MPa, beton campuran abu serabut kelapa 0,25 % mencapai 20,217 MPa, beton campuran abu serabut kelapa 0,50 % mencapai 20,173 MPa, yang paling tinggi beton campuran abu serabut kelapa 0,75 % dapat mencapai kuat tekan 20,041 Mpa.

## **2.2 Beton**

Beton adalah bahan konstruksi yang sangat umum digunakan yang terdiri dari campuran semen sebagai perekat utama, agregat halus seperti pasir, agregat kasar seperti kerikil atau batu pecah, serta air. Ketika air dicampurkan dengan semen, terjadi reaksi kimia yang disebut hidrasi, di mana semen mengeras dan mengikat agregat menjadi suatu massa padat yang kuat. Proses pengerasan ini memungkinkan beton menjadi material yang mampu menahan beban tekan dengan sangat baik, sehingga sering digunakan sebagai elemen struktural dalam berbagai jenis bangunan dan infrastruktur. Selain kekuatan tekan yang tinggi, beton juga memiliki ketahanan terhadap api, cuaca, dan bahan kimia, serta tahan lama jika dirawat dengan baik. Beton juga bisa dibentuk dalam berbagai bentuk dan ukuran sebelum mengeras, memberikan fleksibilitas besar dalam desain konstruksi.

Dalam perkembangannya, beton dapat diberi berbagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu seperti mempercepat pengerasan, meningkatkan

daya tahan terhadap lingkungan agresif, atau menambah kekuatan tarik dan lentur. Beton bertulang, yang mengkombinasikan beton dengan baja tulangan, memungkinkan beton untuk menahan gaya tarik, sehingga dapat digunakan pada struktur yang mengalami beban lentur atau geser (Neville, 2011).

### **2.3 Material Penyusun Beton**

Beton tersusun dari beberapa bahan utama, yaitu semen, agregat, dan air, serta kadang-kadang mengandung bahan tambahan (*admixture*) jika diperlukan. Semen berperan sebagai bahan aktif secara kimia yang bereaksi dengan air dan berfungsi sebagai perekat untuk mengikat agregat serta sebagai bahan pengisi. Secara umum, beton mengandung sekitar 1% hingga 2% udara terperangkap, 25% hingga 40% pasta semen (campuran air dan semen), dan 60% hingga 75% agregat yang terdiri dari agregat halus dan kasar. Agar beton memiliki kekuatan, sifat, dan karakteristik yang optimal, pemahaman yang mendalam tentang masing-masing bahan penyusunnya sangat penting.

#### **2.3.1 Semen**

Semen Portland merupakan semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling klinker, yang sebagian besar terdiri dari silikat kalsium yang bersifat hidrolik, serta ditambahkan gips sebagai bahan pelengkap. Berikut ini adalah beberapa jenis beton yang umum digunakan:

##### **a. Semen non-hidrolik**

Semen non-hidrolik tidak memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air, tetapi dapat mengeras ketika terkena udara. Salah satu contohnya adalah kapur.

##### **b. Semen hidrolik**

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air, berikut adalah contohnya :

1. Kapur hidrolik sebagian besar terdiri dari 65% - 75% bahan yang berasal dari batu gamping, yaitu kalsium karbonat, dengan tambahan bahan pengikat seperti silika, alumina, magnesia, dan oksida besi.
2. Semen pozolan adalah jenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium, tetapi tidak memiliki sifat penyemenan secara langsung. Partikel halusny dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang, membentuk senyawa yang memiliki karakteristik seperti semen.
3. Semen terak merupakan jenis semen hidrolik yang sebagian besar terdiri dari campuran homogen dan kuat antara terak dari tanur tinggi serta kapur tohor. Sekitar 60% dari beratnya berasal dari terak tanur tinggi, dan campuran ini umumnya tidak melalui proses pembakaran.
  1. Semen alam diperoleh dengan membakar batu kapur yang mengandung lempung pada suhu yang lebih rendah dibandingkan suhu pengerasan. Setelah proses pembakaran, material yang dihasilkan digiling hingga menjadi serbuk halus.
  2. Semen hidrolik diproduksi dengan menggiling klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolik. Proses ini biasanya melibatkan satu atau lebih jenis kalsium sulfat sebagai bahan tambahan, yang digiling bersama dengan bahan utama.
  3. Semen dengan bahan-bahan yang bersifat pozoland seperti terak tanur tinggi dan hasil residu.
  4. Semen putih
  5. Semen alumina.

Semen dapat di klasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi, sifat, dan penggunaannya tentang klasifikasi semen, jenis semen portland dan kegunaannya, komposisi dan kehalusan semen. Seperti pada tabel 2.1, tabel 2.2, tabel 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Semen

| No. | Uraian                                                                                                         | Jenis      |            |            |            |            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|     |                                                                                                                | I          | II         | III        | IV         | V          |
| 1   | Kehalusan : sisa diayakan 0,09 mm, % maksimal dengan alat blame, cm <sup>2</sup> /kg maksimum waktu pengikatan | 10<br>2800 | 10<br>2800 | 10<br>2800 | 10<br>2800 | 10<br>2800 |
| 2   | Waktu pengikatan :                                                                                             |            |            |            |            |            |
|     | Dengan alat vicat, awal menit, minimum, akhir, jam, maksimum.                                                  | 45<br>8    | 45<br>8    | 45<br>8    | 45<br>8    | 45<br>8    |
|     | Dengan alat Gillmore awal, menit, minimum akhir, jam, maksimum                                                 | 60<br>10   | 60<br>10   | 60<br>10   | 60<br>10   | 60<br>10   |
| 3   | Kekekalan :                                                                                                    |            |            |            |            |            |
|     | Pemuaiian dalam <i>Autoleave</i> , maksimum                                                                    | 0,80       | 0,80       | 0,80       | 0,80       | 0,80       |
| 4   | Kekuatan tekan :                                                                                               |            |            |            |            |            |
|     | 1 hari kg/cm <sup>2</sup> , minimum 1+2                                                                        | -          | -          | 125        | -          | -          |
|     | hari kg/cm <sup>2</sup> , minimum 1+6                                                                          | 125        | 100        | 250        | -          | 85         |
|     | hari kg/cm <sup>2</sup> , minimum 1+27                                                                         | 200        | 175        | -          | 70         | 150        |
|     | hari kg/cm <sup>2</sup>                                                                                        | -          | -          | -          | 175        | 210        |
| 5   | Pengikatan semu :                                                                                              |            |            |            |            |            |
|     | ( <i>False set</i> ) Penetrasi akhir % minimum                                                                 | 50         | 50         | 50         | 50         | 50         |
| 6   | Panas Hidrasi :                                                                                                |            |            |            |            |            |

|                            |   |    |   |    |       |
|----------------------------|---|----|---|----|-------|
| 7 hari cal/g, maksimum     | - | 70 | - | 60 | -     |
| 28 hari cal/g maksimum     | - | 80 | - | 70 | -     |
| 7 Pemuaian karena sulfat : | - | -  | - | -  | 0.045 |

Sumber : (Susanti, 2011)

**Tabel 2. 2** Jenis Semen Portland Dan Penggunaannya

| No. | Jenis semen portland   | Penggunaan                                                                                                         |
|-----|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I   | Semen normal           | Pembuatan beton umum dimana sifat khas dari jenis-jenis semen lain tidak diperlukan dan tidak ada serangan sulfat. |
| II  | Semen moderat          | Pembuatan beton yang memerlukan panas hidrasi lebih semen jenis I dan tahan terhadap pengaruh kadar sulfat sedang. |
| III | Semen kuat awal tinggi | Pembuatan beton yang memerlukan kuat awal tinggi/pengerasan awal yang lebih cepat.                                 |
| IV  | Semen panas rendah     | Pembuatan masif yang memerlukan hidrasi rendah                                                                     |
| V   | Semen tanah sulfat     | Pembuatan beton yang memerlukan ketahanan terhadap pengaruh kadar sulfat tinggi.                                   |

Sumber : (Susanti, 2011)

**Tabel 2. 3** Komposisi Dan Kehalusan Semen

| No. | Jenis P.C | Komposisi |     |     |      | Kehalusan           |
|-----|-----------|-----------|-----|-----|------|---------------------|
|     | ASTM      | C35       | C25 | C3A | C4AF | cm <sup>2</sup> /gr |
| I   | Normal    | 50        | 24  | 11  | 8    | 1800                |

|                      |              |                |                 |                           |            |                                  |
|----------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|------------|----------------------------------|
| II                   | Moderat      | 42             | 33              | 5                         | 13         | 1800                             |
| III                  | Kuat awal    | 60             | 13              | 9                         | 8          | 2600                             |
| IV                   | Panas rendah | 26             | 50              | 5                         | 12         | 1900                             |
| V                    | Tahan sulfat | 40             | 40              | 4                         | 9          | 1900                             |
| Sifat komponen kimia |              | Cepat mengeras | Lambat mengeras | %kecil lebih tahan sulfat | Mengurangi | Mempercepat hidrasi dan kekuatan |

Untuk mempertahankan mutu semen tetap baik, penyimpanan semen harus dilakukan sebagai berikut:

- Semen disimpan di ruangan yang kering dan tertutup rapat.
- Semen harus disusun dengan ketinggian minimal 0,50 meter dari lantai, tidak bersentuhan langsung dengan dinding ruangan, dan maksimal ditumpuk hingga 10 zak semen.
- Zak semen harus ditata sedemikian rupa agar tidak terjadi sirkulasi udara di antaranya serta mudah untuk diperiksa.
- Semen dari berbagai-bagai jenis/merk harus disimpan secara terpisah, sehingga tidak mungkin tertukar dengan jenis/merk yang lain.
- Jika kualitas semen diragukan atau telah disimpan selama 2 bulan, maka sebelum digunakan harus dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa semen tersebut masih memenuhi standar yang ditetapkan.

### 2.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki ukuran butir antara 5 mm hingga 40 mm. Material ini bisa berupa kerikil yang terbentuk secara alami dari proses pelapukan batuan atau

berasal dari pemecahan batuan besar menjadi bagian yang lebih kecil (batu pecah). Karakteristik agregat kasar berperan penting dalam menentukan kualitas akhir beton, termasuk kekuatannya, ketahanan terhadap cuaca, serta ketahanannya terhadap berbagai faktor perusak.

Persyaratan mutu gradasi perkerasan kaku :

- Persyaratan Ukuran agregat kasar

Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah yang mempunyai ukuran butir 10, 20 dan 40 mm dengan perbandingan dan berat ideal adalah sebagai berikut:

Fraksi 10 min : Fraksi 20 mm = 1 : 2

Fraksi 10 mm : Fraksi 20 : Fraksi 40 mm = 1 : 1/2 : 3.

- Persyaratan ukuran maksimum agregat

Ukuran maksimum agregat harus lebih kecil atau sama dengan 1/3 tebal pelat dan lebih kecil atau sama dengan 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan. Metode pengelolaan agregat perlu dikelola dengan baik untuk mencegah terjadinya pemisahan butiran, penurunan kualitas, kontaminasi, serta pencampuran antara fraksi dan jenis agregat yang berbeda.

Persyaratan mutu beton meliputi beberapa aspek penting untuk memastikan beton yang di hasilkan memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan . seperti pada tabel 2.4 di bawah ini:

**Tabel 2. 4** Persyaratan mutu

| No | MACAM<br>PEMERIKSAAN | PERSYARATAN      |                  | Cara<br>pemeriksaan<br>sesuai |
|----|----------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
|    |                      | Agregat<br>kasar | Agregat<br>halus |                               |
| I  | -Besar               | butir/gradasi    |                  | SII 0051-74                   |
|    | aggregate            | halus dan kasar  | 3% (50           | SII 0076-75                   |
|    | -Butir               | halus            | dalam mikron     | SII 0076-75                   |

|     |                                                                                                 |                            |                      |                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
|     | agregat halus dan kasar<br>(maksimum)                                                           | no.30)<br>warna<br>standar | 1%<br>(70<br>mikron) | PB. 0207-76.<br>SII 0077-75 |
|     | -Zat organik dalam agregat halus                                                                |                            |                      |                             |
| I'  | -Berat jenis minimum                                                                            | 2,5                        | 2,5                  | PB 0203-76                  |
|     | -Peresapan maksimum                                                                             | 5%                         | 2%                   | PB 0202-76                  |
|     | -Berat isi minimum                                                                              | 1,2 kg/1                   | 1,2 kg/1             | PB 0204-76                  |
| II  | -Partikel lunak maksimum                                                                        | 1%                         | 1%                   | SII 0053-74                 |
|     | -Partikel ringan maksimum                                                                       | 1%<br>-                    | 1%<br>15%            | SII 0475-81<br>SII 0456-81  |
|     | -Butir pipih/Panjang dalam agregat kasar maksimum                                               |                            |                      |                             |
| II' | -Abrasi keausan mekanis (Los Angeles), maksimum                                                 | -                          | 45%                  | PB. 0206-76<br>SII 0087-75  |
|     | -Sifat kekal agregat terhadap Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , atau MgSO <sub>4</sub> maksimum | 4%                         | 5%                   | SII 0088-75                 |
| III | -Kekerasan agregat kasar (Rudloff)                                                              | -                          | -                    | SII 0079-75                 |
|     | -Kekerasan aggregat halus                                                                       | -                          | -                    | SII 0078-75                 |
| IV  | -Sifat silica reaktif campuran semen dengan agregat beton (metoda batang adukan                 | -                          | -                    | SII 0455-75                 |

---

|                                                                     |             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|
| -Cara uji cepat sifat silika reaktif aggregate beton (metoda kimia) | SII 0582-81 |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|

---

Sumber : (Susanti, 2011)

### 2.3.3 Agregat Halus

Agregat halus memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm namun lebih dari 0,075 mm. Material ini dapat berupa pasir alami maupun pasir buatan yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu dengan mesin. Komposisi ukuran dalam campuran harus memiliki gradasi yang baik, sesuai dengan standar analisis yang telah ditetapkan.

Air berperan penting dalam proses reaksi dengan semen, membentuk pasta yang berfungsi sebagai perekat bagi butiran agregat sehingga menghasilkan struktur yang solid, homogen, rapat, serta memiliki kekerasan dan kekuatan setelah mengering. Selain itu, air juga bertindak sebagai pelumas agar butiran agregat lebih mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Secara teori, air yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25% dari berat semen. Namun, dalam praktiknya, faktor air-semen yang digunakan harus lebih dari 0,35 untuk memastikan kemudahan pengerjaan. Kelebihan air ini berfungsi sebagai pelumas, tetapi jumlahnya tidak boleh berlebihan karena dapat mengurangi kekuatan beton dan menyebabkan penyusutan yang signifikan.

Jika terlalu banyak, kelebihan air bersama semen dapat naik ke permukaan beton segar (*bleeding*), membentuk buih dan lapisan tipis yang disebut laitance. Lapisan ini melemahkan ikatan antar lapisan beton, menciptakan bidang sambung yang rentan terhadap kerusakan. Sebaliknya, jika jumlah air terlalu sedikit, reaksi hidrasi tidak berlangsung sempurna, sehingga beton sulit diaduk dan dikerjakan dengan baik (*workability* berkurang).

Gradasi agregat halus sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat – sifat beton . seperti yang di jelaskan pada tabel (2.5) di bawah ini. tentang syarat gradasi agregat halus.

**Tabel 2. 5** Syarat Gradasi aggregate halus

| UKURAN AYAKAN                                   |             | PERSENTASE LOLOS AYAKAN      |                               |                              |                                   |
|-------------------------------------------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
|                                                 |             | Gradasi<br>zone 1<br>(kasar) | Gradasi<br>zone 2<br>(sedang) | Gradasi<br>zone 3<br>(halus) | Gradasi<br>zone 4<br>(amat halus) |
| (in)                                            | (mm)        |                              |                               |                              |                                   |
| $\frac{3}{4}$                                   | 10,0        | 100                          | 100                           | 100                          | 100                               |
| No.4                                            | 5,0         | 90-100                       | 90-100                        | 90-100                       | 95-100                            |
| No.8                                            | 2,36        | 60-95                        | 75-100                        | 85-100                       | 95-100                            |
| No.16                                           | 1,18        | 30-70                        | 55-90                         | 75-100                       | 90-100                            |
| No.30                                           | 600(0,6mm)  | 15-34                        | 35-59                         | 60-79                        | 80-100                            |
| No.50                                           | 300(0,3mm)  | 5-20                         | 8-30                          | 12-40                        | 15-50                             |
| No.100                                          | 150(0,15mm) | 0-10                         | 0-10                          | 0-10                         | 0-15                              |
| Modulus kehalusan<br>( <i>Finenes modulus</i> ) |             | 4,00-2,27                    | 3,37-2,1                      | 2,78-1,71                    | 2,25-1,35                         |

Sumber : (SNI 03-2834-2000)

#### 2.3.4 Air

Karena proses pengerasan beton terjadi melalui reaksi antara semen dan air, maka penting untuk memastikan bahwa air yang digunakan dalam adukan beton memenuhi standar tertentu. Air tawar yang layak dikonsumsi umumnya dapat digunakan tanpa keraguan dalam pembuatan adukan beton. Namun, tidak semua air yang cocok untuk adukan beton juga aman untuk dikonsumsi.

Air yang digunakan dalam adukan beton harus bersih dan jernih. Jika terdapat banyak kotoran mengapung, sebaiknya air tersebut tidak digunakan. Selain pemeriksaan visual, perlu juga dipastikan bahwa air tidak mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti fosfat, minyak, asam, alkali, atau garam. Selain untuk pencampuran, air juga berperan dalam perawatan beton setelah pengecoran dengan cara membasahi beton secara terus-menerus. Untuk benda uji beton, perawatan dilakukan dengan merendamnya setelah dikeluarkan dari cetakan. Keasaman air yang digunakan untuk perawatan tidak boleh memiliki pH lebih dari 6 dan tidak boleh mengandung terlalu sedikit kapur.

Perbandingan antara berat air dan semen dalam suatu adukan beton disebut sebagai faktor air-semen atau *Water Cement Ratio* (WC Ratio/W/C). Untuk memastikan proses hidrasi berlangsung dengan sempurna, nilai W/C yang umum digunakan berkisar antara 0.40 – 0.60, tergantung pada kualitas beton yang ingin dicapai. Beton dengan mutu tinggi dapat diperoleh dengan nilai W/C yang lebih rendah. Namun, untuk meningkatkan *workability* (kelecatan atau kemudahan pengerjaan), diperlukan nilai W/C yang lebih tinggi (Rika Deni Susanti, 2021)

## 2.4 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1974-1990 tentang metode uji kuat tekan beton, mutu beton didefinisikan sebagai perbandingan antara beban maksimum tekan yang diterima oleh benda uji terhadap luas permukaan tekan. Mutu rencana beton ( $f'_c$ ) ditentukan oleh perencana struktur dengan menggunakan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, serta dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa). Nilai kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1)

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \text{berikut ini;} \quad (2.1)$$

dengan keterangan:

- $f'_c$  = Mutu beton (MPa)

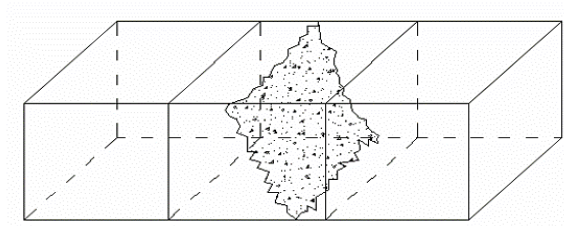
- P = Gaya maksimum yang diterima pada alat uji tekan (N)
- A = Luas penampang benda uji yang menerima beban (mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Kuat Lentur Beton

Menurut SNI 4431-2011 kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas. Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah :

Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan (2.2) sebagai berikut:

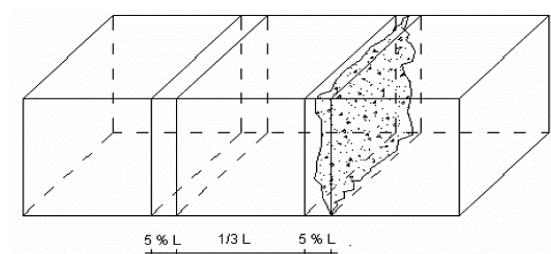
$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2.2)$$



**Gambar 2. 1** Patah pada 1/3 bentang tengah

Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan (2.3) sebagai berikut:

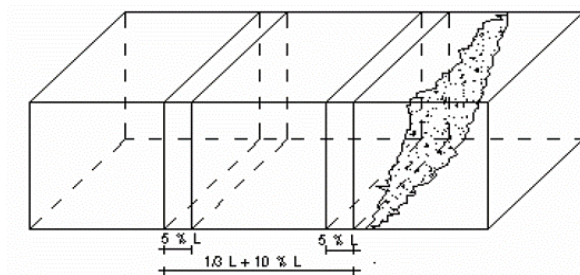
$$\sigma_1 = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (2.3)$$



**Gambar 2. 2** Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada  $< 5\%$  dari bentang

Dimana,  $\sigma_1$  = Kuat lentur benda uji (MPa),  $P$  = Beban uji (kN),  $L$  = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm),  $b$  = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm),  $h$  = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm),  $a$  = jarak rata-rata antar tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm),  $1 \text{ Kg} = 9,8 \text{ N}$  dan  $1 \text{ kN} = 101,97 \text{ kg}$ .

Untuk benda uji yang patahnya di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah lebih dari 5%, hasil pengujian tidak digunakan, dapat dilihat pada gambar (2.3).



**Gambar 2. 3** Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada  $>5\%$  dari bentang

## 2.6 Kulit Buah Kakao

Kulit buah kakao merupakan produk samping dari pengolahan biji kakao. Sekitar 74% komposisi kulit kakao dari buah coklat matang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga hanya menjadi limbah produk pertanian. Kandungan abu

limbah kulit kakao dapat berfungsi sebagai clay untuk pembuatan batu semen. Dengan demikian abu hasil pembakaran kulit kakao dapat dijadikan batu bata kuat dan tidak mudah pecah karena didalamnya mengandung 71% SiO<sub>2</sub> yang merupakan bahan utama dalam pembuatan semen

Kulit buah kakao merupakan produk samping dari pengolahan biji kakao. Sekitar 74% komposisi kulit kakao dari buah coklat matang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga hanya menjadi limbah produk pertanian kandungan abu limbah kulit kakao dapat berfungsi sebagai clay untuk pembuatan batu semen. Dengan demikian abu hasil pembakaran kulit kakao dapat dijadikan batu bata kuat dan tidak mudah pecah karena didalamnya mengandung 71% SiO<sub>2</sub> yang merupakan bahan utama dalam pembuatan semen (Mulyazmi et al., 2015).

#### **Komposisi kulit kakao**

| <b>No</b> | <b>Senyawa Oksida</b> | <b>Rumus Kimia</b>             | <b>Kisaran Kadar (%)</b> | <b>Peran Dalam Beton</b>                                                                              |
|-----------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.        | Silika                | SiO <sub>2</sub>               | 30 % - 45%               | Bersifat Pozzolan, bereaksi dengan Ca(OH) <sub>2</sub> , membentuk C-S-H yang meningkatkan kuat tekan |
| 2.        | Alumina               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5% – 15%                 | Membantu reaksi pozzolan dan meningkatkan kepadatan beton                                             |
| 3.        | Kalsium Oksida        | CaO                            | 10% – 25%                | Berkontribusi pada sifat pengikatan seperti semen                                                     |
| 4.        | Besi Oksida           | Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 2% – 8%                  | Berperan sebagai filler dan memperbaiki struktur mikro                                                |
| 5.        | Maknesium Oksida      | MgO                            | 2%– 6%                   | Meningkatkan durabilitas, namun kadar tinggi dapat                                                    |

|    |                     |         |          |                                                                            |
|----|---------------------|---------|----------|----------------------------------------------------------------------------|
|    |                     |         |          | menyebabkan ekspansi                                                       |
| 6. | Kalium<br>Oksida    | $K_2O$  | 5% – 15% | Alkali tinggi, perlu dikontrol<br>untuk mencegah reaksi alkali-<br>agregat |
| 7. | Natrium<br>Oksida   | $Na_2O$ | 1% – 5%  | Mempengaruhi alkali beton                                                  |
| 8. | Sulfur<br>Trioksida | $SO_3$  | < 3%     | Berpengaruh pada waktu ikat<br>beton                                       |
| 9. | Loss On<br>Ignition | LOI     | 5% – 12% | Menunjukkan sisa karbon<br>akibat pembakaran tidak<br>sempurna             |

*Sumber : SNI 2460:2014*