

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Defenisi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregata kasar (kerikil),agregat halus (pasir),air dan bahan tambah (*admixture atau additive*) (Mulyono, 2003). Sutikno (2003) menjelaskan bahwa beton merupakan material yang dihasilkan dari campuran semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air, serta rongga udara. Perpaduan bahan-bahan ini harus dirancang secara cermat agar menghasilkan beton segar yang mudah diolah, memiliki kekuatan tekan sesuai rencana setelah mengeras, serta tetap ekonomis. Dalam keadaaan mengeras beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadan segar, beton dapat diberikan bermacam bentuk, hingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata mata tujuan dekoratif.

DPU-LPMB dalam Mulyono (2003), memberikan defenisi beton sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat. Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan yang berlaku. Beton memiliki kemampuan untuk menahan gaya tekan yang diberikan padanya, dan sifat-sifatnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya umur beton, yang juga berpengaruh pada desain konstruksi. Perancangan sendiri dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang baik dimana harus memenuhi kriteria dua kinerja yang utamanya, yaitu kuat (*strength*) tekan yang tinggi (minimal sesuai dengan rencana) dan pengerajan yang mudah (*workability*). Selain itu juga harus memenuhi kriteria antara lain, tahan lama (*durability*), murah (*aspect economic cost*) dan tahan aus.

Menurut Pedoman Beton 1989, beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan.

Macam dan jenis beton menurut bahan pembentuknya adalah beton normal, bertulang, pracetak, pra-tekan, beton ringan, beton tanpa tulangan, beton fiber dan lainnya.

Beton biasa dibuat dengan mencampur semen portland, air, dan agregat. Untuk beton khusus, seperti beton biasa, ditambahkan bahan tambahan seperti pozoland, bahan kimia pembantu, serat, dan sebagainya. Untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan tinggi, penggunaan air atau faktor air terhadap semen haruslah kecil. Namun, hal tersebut akan menyebabkan kesulitan dalam penggerjaan. dengan semakin majuhnya teknologi hal ini tidak lagi menjadi masalah karena telah ditemukan bahan tambah untuk beton. Dengan menambah material lain, diharapkan dapat dibuat beton khusus yang lebih baik dari beton biasa. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi. Di Indonesia bahan tambah telah banyak dipergunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI.

Ditinjau dari sudut estetika, beton hanya membutuhkan sedikit pemeliharaan. Selain itu, beton tahan terhadap serangan api. sifat-sifat beton yang kurang disenangi adalah mengalami deformasi yang tergantung pada waktu dan disertai dengan penyusutan akibat mengeringnya beton serta gejala lain yang berhubungan dengan hal tersebut (Mulyono, 2003).

## **2.2. Kelebihan dan Kekurangan Beton**

Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

### **2.2.1 Kelebihan Beton**

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
2. Mampu memikul beban yang berat

3. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
4. Biaya pemeliharaan yang kecil

### **2.2.2 Kekurangan Beton**

1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
3. Berat
4. Daya pantul suara yang besar.

### **2.3 Jenis-Jenis Beton**

Menurut (Mulyono, 2003), terdapat beberapa jenis beton yang dapat ditemui. Jenis-jenis beton tersebut antara lain sebagai berikut :

#### **2.3.1 Beton Ringan**

Beton ringan merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat yang ringan dan memiliki massa yang lebih ringan dibanding dengan beton normal. Batasan kriteria beton ringan sebesar  $1900 \text{ kg/m}^3$  dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 mpa.

#### **2.3.2 Beton Berat**

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih leih dari  $2400 \text{ kg/m}^3$  yang mempunyai berat yang tinggi ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi,menahan benturan dan lainnya.

#### **2.3.3 Beton Massa**

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan,kanal,pondasi ,jembatan,dan lain-lain. Batuan yang digunakan dapat lebih besar dari yang disyaratkan sampai 150 mm, dengan slump rendah yang akan mengurangi jumlah semen.

#### **2.3.4 Ferro-Cement**

Adalah bahan gabungan yang diperoleh dari campuran beton dengan tulangan kawat ayam/kawat yang dianyam. Beton jenis ini akan mempunyai kekuatan Tarik yang tinggi dan daktail, serta lebih *waterproofing*.

Ketebalannya biasanya antara 10-60mm dengan volume tulangan 6% -8% satu lapis atau dua lapis.

### **2.3.5 Beton Serat**

Merupakan campuran beton ditambah serat, umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500  $\mu\text{m}$ , dengan Panjang sekitar 25 mm. Bahan serat dapat berupa asbestos,serat plastik (*poly-propylene*),atau potongan kawat baja. kelemahannya sulit dikerjakan, namun lebih banyak kelebihannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktail, dan tahan benturan.

### **2.3.6 Beton Siklop**

Beton jenis ini menggunakan agregat yang besar-besar,sampai dengan 20cm, batasnya tidak lebih dari 20%. Digunakan untuk pekerjaan beton massa.

### **2.3.7 Beton Hampa (*Vacuum Concrete*)**

Beton *vacuum* adalah beton yang air sisa dari proses hidrasinya (sekitar 50%), disedot keluar setelah beton mengeras. penyedotan ini dinamakan *vacuum method*.

## **2.4 Material Penyusun Beton**

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Jika diperlukan,bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat -sifat tertentu dari beton yang bersangkutan . Berikut inni adalah bahan penyusun beton :

### **2.4.1 Semen**

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencega perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Salah satu jenis semen yang paling banyak digunakan

dalam pekerjaan beton yaitu semen Portland. Menurut ASTM C-150,1985, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klingker yang terdiri dari kalsium, silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Dalam (Mulyono, 2003) Peraturan beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen Portland menjadi 5 jenis (SK. SNI T-15-1990-03:2) yaitu:

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaanya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaanya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikat terjadi.
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaanya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Komposisi kimia dari kelima jenis semen tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2. 1** Komposisi Semen Portland

Tipe Semen	Komposisi Dalam Persen (%)						
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO	MgO
Tipe I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4
Tipe II	46	29	6	12	2,8	0,6	3
Tipe III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6
Tipe IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7
Tipe V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6

(Sumber : Mulyono 2003).

## 2.4.2 Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan. Berdasarkan sumbernya, agregat dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori: agregat alami dan agregat buatan. Contoh agregat alami termasuk pasir dan kerikil, sedangkan agregat buatan berasal dari proses *stone crushing*, residu terak tanur tinggi, pecahan genteng, serta pecahan beton.

Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) golongan yaitu agregat halus dan agregat kasar.

### 1. Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15-5mm. agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah ,dasar sungai atau dari tepi laut. Pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu : pasir galian, pasir sungai, dan pasir laut. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI -04-1989-f ) adalah sebagai berikut :

- a) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\pm 2,2$ .
- b) Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c) Sifat kekal,apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut ini:
  - Jika dipakai natrium sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
  - Jika dipakai magnesium sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
- d) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah

bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,06 mm. apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.

- e) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari abrams-harder. Untuk itu, bila direndam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap daripada warna larutan pembanding. agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini juga dapat dipakai, asal kekuatan desak adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
- f) Susunan besar butir agregat halus harus memenuhi modulus kehalusan antara 1,5-3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk dalam daerah susunan butir menurut zona 1,2,3, dan 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
  - Sisa diatas ayakan 4,8 mm, harus maksimum 2% berat
  - Sisa diatas ayakan 1,2 mm, harus maksimum 10% berat
  - Sisa diatas ayakan 0,3 mm, harus maksimum 15% berat
- g) Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negatif.
- h) Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.
- i) Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas (pasir pasang).

Adapun gradasi agregat halus yang baik dapat dilihat pada tabel 2.2

**Tabel 2. 2** Batas Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran Saringan (Mm)	Percentase Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

( Sumber : SNI 03-1968-1990)

Keterangan :

Daerah 1 : Pasir kasar

Daerah 2 : Pasir agak kasar

Daerah 3 : Pasir agak halus

Daerah 4 : Pasir halus

## 2 .Agregat Kasar

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 pengertian agregat kasar yaitu material utama pembentuk beton yang memiliki ukuran lebih besar dari 5 mm hingga 40 mm, atau ukuran butiran yang tertahan pada ayakan 4,75mm. Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton berupa kerikil yang didapatkan dari disintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah (*stone crusher*) atau dipecahkan secara manual. Adapun persyaratan agregat untuk pembuatan beton adalah sebagai berikut:

a) Agregat untuk beton harus memenuhi salah satu ketentuan berikut

- Spesifikasi agregat untuk beton (ASTM C.33)

- SNI 03-2461-1991 spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural.
- b) Ukuran maksimum nominal agregat kasar tidak boleh melebihi
- 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan ataupun;
  - 1/3 ketebalan pelat lantai ataupun;
  - 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan tulangan atau kawat-kawat, bundel-bundel, tendon-tendon atau selongsong selongsong.

Batasan susunan butir agregat kasar dapat dilihat pada table 2.3

**Tabel 2. 3** Batasan Susunan Butir Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan	
	40 mm	20mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

( Sumber :SNI 03-1968-1990)

#### 2.4.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan, memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak,gula,atau bahan kimia lainnya , bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih,tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra-tekan yang akan ditanami logam alumunium (termasuk air bebas yang terkandung dalam

agregat) tidak boleh mengandung ion clorida dalam jumlah yang membahayakan. Untuk perlindungan korosi, konsentrasi ion maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen dan bahan tambahan tidak boleh melampaui nilai batas. Nilai batas tersebut dapat dilihat pada tabel 2.4

**Tabel 2. 4** Batas Maksimum Ion Klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0,06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering dan terlindungi dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

(Sumber : PB 1989: 23 dalam (Mulyono 2003)).

#### 2.4 Mutu Beton

Struktur bangunan gedung yang menggunakan bahan yang terbuat dari beton harus direncanakan sesuai kuat tekan beton yang direncanakan dan menggunakan standar yang berlaku. Mutu beton bergantung pada kuat tarik belah maupun kuat tekan beton. Standar Nasional Indonesia nomor 03-1974-1990 mengenai cara uji mutu beton (kuat tekan beton), menyatakan bahwa mutu beton yaitu nilai beban tekan dibagi satuan luas yang mana nilai beban tekan diambil ketika sampel beton hancur dengan menggunakan alat kuat tekan.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-6468-2000, ACI-318 dan ACI-363R-92, kuat tekan beton (mutu beton) dari sampel berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dikelompokkan menjadi:

1. Mutu beton rendah (*low strength concrete*) nilai  $f'_c < 20$  MPa;
2. Mutu beton normal (*medium strength concrete*) nilainya  $21 \text{ MPa} < f'_c < 41 \text{ MPa}$ ;
3. Mutu beton tinggi (*high strength concrete*) nilai  $f'_c > 41 \text{ MPa}$ .

## 2.5 Pengujian Karakteristik

### 1. Analisa Saringan Agregat (SNI 03-1968-1990)

Analisa saringan agregat dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi untuk keperluan design campuran beton.

### 2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1737 1989/ASTM C128)

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus dan penyerapan agregat halus. Adapun rumus untuk menghitung berat jenis:

- Bulk Spesific Gravity =  $\frac{A}{B+500-C}$
- Bulk Spesific Gravity (SSD) =  $\frac{500}{B+500-C}$
- Apparent Spesific Gravity =  $\frac{A}{B+A-C}$
- Absorption (penyerapan) =  $\frac{(500-A)}{A}$

Dimana :

SSD = berat contoh jenuh kering permukaan

A = berat contoh kering

B = berat labu + air temperatur 28°C

C = berat labu + contoh (SSD) + air temperatur 28 °C

### 3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI-03 1969-1990)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar dan kemampuannya menyerap air. Adapun rumus untuk menghitung berat jenis dan penyerapan agregat kasar yaitu :

- Bulk Spesific Gravity =  $\frac{A}{B-C}$
- Bulk Spesific Gravity (SSD) =  $\frac{500}{B-C}$
- Apparent Spesific Gravity =  $\frac{A}{A-C}$
- Absorption (penyerapan) =  $\frac{B-A}{A} \times 100\%$

4. Pemeriksaan Bobot Isi Agregat (SNI 03-4804-1998)

Pemeriksaan bobot isi agregat dimaksudkan untuk menentukan isi atau bobot isi agregat dalam kondisi lepas dan padat. Adapun rumus untuk menghitung bobot isi agregat yaitu :

$$a. \text{ Berat Isi Lepas} = \frac{B-A}{V}$$

$$b. \text{ Berat isi padat} = \frac{B-A}{V}$$

Dimana :

A= berat container (gr)

B= berat container + isi (gr)

V = volume container (cm<sup>3</sup>)

5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat (SNI 03-1971-1990)

Pemeriksaan kadar air agregat dimaksudkan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam agregat. Adapun rumus untuk pemeriksaan kadar air agregat yaitu :

$$\text{Kadar air (w)} = \frac{D}{E} \times 100\%$$

Dimana :

A = berat cawan (gr) B

B = berat cawan + contoh basah (gr)

C = berat cawan + contoh kering (gr)

D = berat air – D = C - A

6. Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Lempung Agregat

Pemeriksaan kadar lumpur dan lempung agregat halus dan kasar dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur dalam agregat.

Adapun rumus untuk pemeriksaan kadar lumpur agregat yaitu :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

Dimana :

A = berat cawan kosong untuk masing-masing benda uji (gr)

B = berat cawan benda uji bersih kering oven (gr)

7. Pengujian Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Pemeriksaan keausan agregat atau abrasi agregat dimaksudkan untuk mengetahui keausan agregat yang diakibatkan oleh faktor-faktor mekanis.

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

Dimana :

A = berat contoh

B = Berat kering

## 2.6 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Campuran beton merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan sifat bahan akan memengaruhi hasil rancangan. Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan penyusun beton. proporsi campuran dari bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*). *Mix design* dalam beton adalah proses perencanaan dalam memilih campuran atau material yang bermutu tinggi untuk pembuatan beton dan menentukan kekuatan dan mutu beton itu sendiri. Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria *workabilitas*, kekuatan, *durabilitas*, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. *Mix design* di sesuaikan SNI 7656-2012.

Secara garis besar langkah perhitungan *mix design* berdasarkan Standar Metode Nasional SNI 7656 : 2012 dapat diuraikan sebagai berikut:

- Menentukan nilai slump

Nilai slump ditentukan dari tabel 1 (SNI 7656 : 2012).

- Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Nilai ukuran besar butir agregat maksimum ditentukan dari hasil analisa saringan agregat kasar.

- Menentukan perkiraan air pencampur

Nilai perkiraan air pencampur ditentukan dari tabel 2 (SNI 7656 : 2012).

- d. Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen
- e. Menentukan kadar semen

Nilai kadar semen dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Jumlah semen} = \frac{\text{Perkiraan air pencampur}}{\text{Rasio air semen}}$$

- f. Menentukan perkiraan kadar agregat kasar

Volume agregat kasar per satuan volume beton ditentukan dari tabel 5 (SNI 7656 : 2012). Perkiraan kadar agregat kasar dihitung dengan cara sebagai berikut :

Berat kering agregat kasar = Volume agregat kasar per satuan volume  
beton x berat kering agregat kasar

- g. Menentukan kadar agregat halus

- Atas Dasar *Massa* (Berat)

Nilai massa 1 m<sup>3</sup> beton tanpa tambahan udara ditentukan dari tabel 6 (SNI 7656 : 2012). Nilai agregat halus dihitung dengan cara sebagai berikut :

Jumlah agregat halus = jumlah bahan selain agregat halus – nilai massa 1 m<sup>3</sup> beton

- Atas Dasar Volume *Absolut*

Nilai adanya udara terperangkap ditentukan dari tabel 2 (SNI 7656 : 2012). Kadar agregat halus (m<sup>3</sup>) dihitung dengan rumus sebagai berikut sebagai berikut :

$$\text{Volume air} = \frac{\text{jumlah air}}{1000}$$

$$\text{Volume padat semen} = \frac{\text{Jumlah semen}}{\text{berat jenis semen} \times 1000}$$

$$\text{Volume } \textit{absolut} \text{ agregat kasar} = \frac{\text{Jumlah agregat kasar}}{\text{berat jenis agregat kasar} \times 1000}$$

$$\text{Volume udara terperangkap} = \text{Udara terperangkap} \times 1,000$$

Jumlah volume padat bahan selain agregat halus = Volume air +  
 Volume padat semen + Volume  
*absolut* agregat kasar + Volume  
 udara terperangkap

Volume agregat halus dibutuhkan = 1,000 - Jumlah volume padat  
 bahan selain agregat halus

Berat agregat halus kering = Jumlah agregat halus x berat jenis  
 agregat halus x 1000

h. Penyesuaian terhadap kelembaban agregat

Penyesuaian dari agregat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Agregat kasar (basah) = Jumlah agregat kasar x (1 + kadar air agregat  
 kasar)

Agregat halus (basah) = Jumlah agregat kasar x (1 + kadar air agregat  
 halus)

Air pada permukaan yang diberikan dari agregat dihitung dengan cara  
 sebagai berikut :

Agregat kasar = Kadar air agregat kasar – penyerapan air agregat  
 kasar

Agregat halus = Kadar air agregat halus – penyerapan air agregat  
 halus

Kebutuhan perkiraan air yang ditambahkan = Jumlah air – jumlah  
 agregat kasar (air pada permukaan agregat kasar)  
 – jumlah agregat halus (air pada permukaan  
 agregat halus)

i. Pengaturan proporsi campuran.

Untuk proporsi campuran di laboratorium, akan lebih mudah bila berat  
 tersebut diperkecil untuk ukuran volume 1 buah benda uji. Dihitung  
 dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Volume benda uji silinder} = \pi r^2 t$$

Dimana :

$$\pi = 3,14$$

$r^2$  = Jari-jari silinder

$t$  = Tinggi silinder

## 2.7 Pengadukan Pencampuran Beton

Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Indikasinya adalah warna adukan merata, kelecahan yang cukup, dan tampak homogen. Selama proses pengadukan, harus dilakukan pendataan rinci antara lain:

1. Jumlah bak adukan yang dihasilkan
2. Proporsi material
3. Perkiraan lokasi dari penuangan akhir pada struktur, dan
4. Waktu dan tanggal pengadukan serta penuangan.

Ketentuan mengenai waktu pengadukan minimal dapat dilihat pada tabel 2.5

**Tabel 2. 5** Waktu Pengadukan Minimal

Kapasitas Dari Mixer (m <sup>3</sup> )	ASTM C.94 dan ACI 318
0,8-3,1	1 menit
3,8-4,6	2 menit
7,6	3 menit

(Sumber : Mulyono 2003).

Berdasarkan SK.SNI.T-28-1991-03, waktu minimum pengadukan untuk campuran beton dengan volume hingga 1 m<sup>3</sup> adalah 1,5 menit. Untuk setiap tambahan 1 m<sup>3</sup> beton, waktu pengadukan harus ditambah 0,5 menit. Selain itu, setelah semua bahan tercampur, pengadukan harus dilanjutkan selama 1,5 menit.

Durasi pengadukan ini berpengaruh pada kualitas beton. Jika waktu pengadukan terlalu singkat, pencampuran bahan akan menjadi tidak merata, yang mengakibatkan penurunan pengikatan antara komponen beton. Di sisi lain, pengadukan yang berlangsung terlalu lama dapat menyebabkan:

1. Naiknya suhu beton
2. Keausan pada agregat sehingga agregat pecah

3. Terjadinya kehilangan air sehingga penambahan air diperlukan
4. Bertambahnya nilai slump, dan
5. Menurunnya kekuatan beton.

Selama proses pengadukan, penting untuk terus memantau kekentalan campuran beton dengan cara memeriksa nilai slump yang sesuai dengan kriteria pengadukan. Slump dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Slump sesungguhnya, merupakan penurunan umum dan seragam tanpa adukan beton yang pecah, pengambilan nilai slump ini dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut.
2. Slump geser, terjadi bila separuh puncak kerucut adukan beton tergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring, pengambilan nilai slump geser ada dua cara yaitu penurunan minimum dan penurunan rata-rata dari puncak kerucut.
3. Slump runtuh, terjadi pada kerucut adukan beton yang runtuh seluruhnya akibat adukan beton yang terlalu cair, pengambilan nilai slump ini dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut.

## 2.8 Perawatan Benda Uji

Perawatan dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur. Salah satu cara perawatan benda uji yang dapat dilakukan yaitu perawatan dengan pembasahan.

Perawatan dengan pembasahan dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab
- b. Menaruh beton segar dalam genangan air
- c. Menaruh beton segar dalam air

- d. Menyelimuti permukaan beton dengan air
- e. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
- f. Menyirami permukaan beton secara kontinu

Menurut SNI 03-4810-1998, perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

1. Perawatan untuk pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar untuk penerimaan atau pengendalian mutu;
  - Perawatan awal sesudah pencetakan :
    - a) Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16 sampai 27°C dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas;
    - b) Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar;
    - c) Jika benda uji tidak akan diangkut selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam  $\pm$  8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.

## 2.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban tekan hingga terjadi kegagalan. Dalam praktiknya, pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan silinder atau kubus beton yang ditekan hingga pecah. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan seberapa besar tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh beton dalam satuan megapaskal (MPa) (Neville & Brooks, 1987).

Kuat tekan beton diukur dengan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan MPa (N/mm<sup>2</sup>). Ada beberapa cara untuk menguji kekuatan tekan beton termasuk pengujian *hammer*, yang menguji sifatnya tidak merusak; pengujian pembebahan, yang menguji sifatnya setengah merusak atau merusak secara keseluruhan; dan pengujian kuat tekan laboratorium. Beton akan menjadi lebih kuat dengan waktu. Selama 28 hari, kekuatan beton akan meningkat dengan cepat (*linier*). Setelah itu, kenaikan tidak akan terlalu besar. Umur beton 28 hari menentukan nilai kuat tekan beton.

Berikut cara menentukan nilai kuat tekan beton dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots$$

Dimana :

$f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)

*P* = Beban maksimum (N)

*A* = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

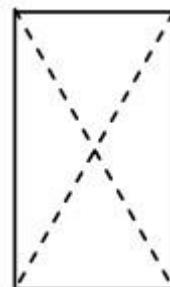
- a. Umur beton
  - b. Faktor air-semen
  - c. Kepadatan
  - d. Jumlah pasta semen
  - e. Jenis semen
  - f. Sifat agregat

Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut, antara lain: proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran (Mulyono, Tri 2004).

Berdasarkan SNI 1974:2011, terdapat 5 jenis pola retak (bentuk kehancuran) pada pengujian kuat tekan silinder beton yaitu sebagai berikut.

### a. Pola Retak Kerucut

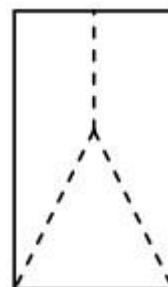
Pola retak kerucut adalah keretakan beton yang berbentuk kerucut atau tumpul yang terjadi ketika beton terkena tekanan yang kuat dan melebihi kapasitas tekannya.



**Gambar 2. 1 bentuk kehancuran kerucut**

### b. Pola Retak Kerucut dan Belah

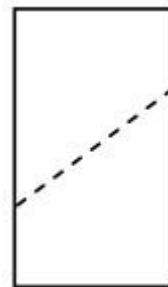
Pola retak kerucut dan belah adalah kombinasi keretakan yang menggabungkan bentuk pola kerucut dan pola belah. Pola keretakan ini terjadi ketika beton diletakkan di bawah tekanan yang kuat, maka terjadi retakan yang membentang sejajar dengan permukaannya. Pola kehancuran kerucut dan belah adalah kombinasi dari pola keretakan kerucut dan belah.



**Gambar 2. 2** bentuk kehancuran kerucut belah

### c. Pola Retak Geser

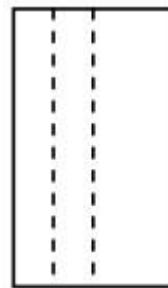
Pola retak geser terjadi ketika beton mengalami tegangan geser yang melebihi kapasitas gesernya, pola keretakan ini biasanya membentuk pola diagonal atau melintang pada permukaannya



**Gambar 2. 3** bentuk kehancuran geser

### d. Pola Retak Sejajar Sumbu Tegak (*Columnar*)

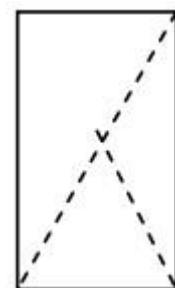
Pola retak sejajar sumbu tegak (*columnar*) terjadi ketika beton mengalami keretakan vertikal yang sejajar dengan sumbu tegak struktur, terjadi pola *columnar* atau keretakan sejajar sumbu tegak.



**Gambar 2. 4** bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (*kolumnar*)

#### e. Polah Retak Kerucut Dan Geser

Retak kerucut geser pada beton merupakan jenis retak yang terjadi akibat gaya geser yang berlebihan, terutama pada daerah tumpuan atau di sekitar beban terpusat. Retak ini sering muncul dalam bentuk pola miring yang menyerupai kerucut atau segitiga dari titik tumpuan atau titik gaya ke arah luar.



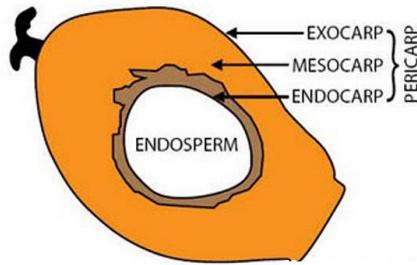
**Gambar 2. 5** bentuk kehancuran kerucut dan geser

### 2.10 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas minyak dunia dengan produktivitas lahan yang paling baik dibandingkan minyak nabati lainnya. Sehingga kelapa sawit menjadi pilihan paling *sustainable* dalam memenuhi kebutuhan minyak nabati dunia yang semakin bertumbuh (Ashila, 2023). Perkebunan Kelapa Sawit dilakukan dalam skala besar menghasilkan keuntungan besar sehingga banyak hutan dan perkebunan lama dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Fitri & Hamzal, 2019).

Ciri-ciri fisiologi dari pohon kelapa sawit seperti daunnya merupakan daun majemuk, berwarna hijau tua dan pelepas sedikit lebih muda. Batangnya diselimuti bekas pelepas hingga umur 12 tahun dan setelah 12 tahun pelepas akan mongering dan terlepas. Akarnya serabut yang mengarah ke bawah dan samping. Bunganya terdiri dari bunga jantan dan bunga betina, Bunga jantan memiliki bentuk lancip dan panjang sementara bunga betina terlihat lebih besar dan mekar. Buahnya memiliki warna yang bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung dari bibit yang digunakan. Buahnya bergerombol dalam tandan yang muncul pada tiap pelepasnya (Sekretariat Jenderal Perindustrian, 2007).

Buah kelapa sawit adalah hasil utama dari tanaman kelapa sawit yang digunakan sebagai sumber minyak nabati. Bagian-bagian dari buah kelapa sawit pembungkus daging sawit (inti sawit/*endosperm*) terdiri dari 3 lapisan yakni *eksokarp* (bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin), *mesokarp* (serabut buah), dan *endokarp* (cangkang pelindung inti) (Ashila, 2023).



**Gambar 2. 6** bagian bagian buah kelapa sawit

Pengolahan buah kelapa sawit menjadi ekstrak minyak sawit ternyata menghasilkan limbah padat yang sangat banyak seperti serat, cangkang, dan tandan buah kosong. Cangkang kelapa sawit, merupakan limbah dari pengolahan minyak sawit yang cukup besar. Limbah cangkang kelapa sawit diketahui mencapai 60% dari produksi minyak sawit (Fitri & Hamzal, 2019). Cangkang kelapa sawit biasanya digunakan sebagai bahan bakar pada tungku boiler yang dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Chair, 2020). Hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit menyisakan produk samping seperti abu kerak boiler sekitar 3 sampai dengan 5 ton/minggu. Abu ini biasanya dibuang dekat pabrik pengolah

kelapa sawit sebagai limbah padat dan tidak dimanfaatkan (Herman dan Rolly, 2018). Abu ini memiliki kandungan senyawa kimia yang dapat dilihat pada tabel 2.6

**Tabel 2. 6** Kandungan Kimia Abu Cangkang Kelapa Sawit

No	Kandungan	Nilai
1	SiO <sub>2</sub>	89,91%
2	CaCO <sub>3</sub>	2,47%
3	MgCO <sub>3</sub>	0,73%
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19%
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001%

(sumber : (Dandi & Nurhidaya., 2022))

Saat ini sudah ada banyak upaya untuk memanfaatkan limbah padat hasil pengolahan minyak sawit ini (abu cangkang kelapa sawit)(Ashila, 2023), seperti yang dilakukan oleh (Ainul Mardiah., et al 2020) yang menggunakan bahan tambah berupa abu boiler pabrik kelapa sawit yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan dan kuat tekan beton. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa abu cangkang kelapa sawit memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa beton dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan beton normal. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal tanpa abu cangkang kelapa sawit memiliki kuat tekan sebesar 138 Kg/cm<sup>2</sup>. Pada penambahan 1,5% abu cangkang kelapa sawit, kuat tekan meningkat menjadi 161 Kg/cm<sup>2</sup>, yang merupakan hasil tertinggi dalam penelitian ini. Namun, pada variasi 3% dan 7%, kuat tekan mengalami sedikit penurunan masing-masing menjadi 157 Kg/cm<sup>2</sup> dan 146 Kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Adapun upaya peneliti mencari penelitian terdahulu yang relevan dengan judul penelitian ini untuk dijadikan perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan ide-ide baru untuk penelitian ini. Penelitian terdahulu relevan dengan judul penelitian ini antara lain:

**1. Sintesis Zeolit 4a Dari Abu Limbah Sawit Dengan Variasi Ukuran Partikel Abu Sawit Dan Variasi Volume Natrium Silikat Dengan Natrium Aluminat.** (Lanie Faradina et al., 2016)

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis zeolit 4A dari abu limbah sawit dengan variasi ukuran partikel abu serta perbandingan volume natrium silikat dan natrium aluminat, guna mendapatkan kondisi optimal dalam pembuatan zeolit sintetis 4A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu limbah sawit mengandung silika sebesar 60,75%, yang membuktikan potensinya sebagai bahan baku zeolit.

**2. Studi Pemanfaatan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Beton.** (Dandi., et al 2022)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit terhadap kuat tekan beton pada berbagai variasi campuran serta melihat efektivitas penggunaannya dalam meningkatkan mutu beton. hasil penelitian menunjukkan bahwa Penambahan abu cangkang kelapa sawit berpotensi meningkatkan kualitas beton. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari untuk beton normal sebesar 168,73 kg/cm<sup>2</sup>, beton dengan 6% abu cangkang kelapa sawit sebesar 173,00 kg/cm<sup>2</sup>, beton dengan 12% abu cangkang kelapa sawit sebesar 140,90 kg/cm<sup>2</sup>, dan beton dengan 18% abu cangkang kelapa sawit sebesar 198,30 kg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut, beton dengan penambahan 18% abu cangkang kelapa sawit menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan beton normal, meskipun belum mencapai target kuat tekan yang direncanakan.

**3. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton.** (Gusni Fitri., et al 2019)

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai material tambahan dalam campuran beton dengan fokus pada penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai agregat kasar dan abu boiler sebagai agregat halus. Tujuan utama dari penelitian ini adalah

untuk mengetahui sejauh mana penggunaan limbah kelapa sawit dapat mempengaruhi kuat tekan beton serta memastikan apakah material ini dapat digunakan sebagai alternatif yang memenuhi standar mutu beton yang diharapkan. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan beton yang dihasilkan sebesar 21 MPa. Meskipun material limbah kelapa sawit telah memenuhi standar SNI dalam hal analisa saringan, berat jenis, penyerapan, kadar lumpur, dan kandungan organik, penggunaan limbah ini sebagai substitusi agregat hanya dapat dilakukan dengan batas maksimum 10% untuk abu boiler dan 30% untuk cangkang kelapa sawit agar tidak menurunkan kualitas beton. Kuat tekan yang dihasilkan masih berada di bawah target awal 25 MPa, yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah kelapa sawit dalam campuran beton perlu dioptimalkan untuk mencapai mutu yang lebih baik.

#### **4. Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan Campuran Abu Boiler Pada Proyek Jembatan Di PT. Socfindo Kebun Seunagan. (Fuji Akbar Emda et al .,2023)**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu boiler hasil pembakaran limbah kelapa sawit terhadap kuat tekan beton, dengan membandingkan beton normal dan beton yang diberi bahan tambah abu boiler pada kadar 4% dan 6% dari berat semen. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana pemanfaatan abu boiler dapat meningkatkan atau menurunkan kuat tekan beton serta menentukan persentase optimal penggunaannya dalam campuran beton. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 23,10 MPa. Dengan penambahan 4% abu boiler, kuat tekan meningkat menjadi 25,31 MPa, yang menunjukkan kenaikan sebesar 2,21 MPa dibandingkan beton normal. Sementara itu, pada penambahan 6% abu boiler, kuat tekan meningkat secara signifikan hingga mencapai 40,67 MPa, dengan kenaikan sebesar 17,57 MPa dari beton normal. Dari hasil ini, dapat

disimpulkan bahwa penggunaan abu boiler sebagai bahan tambah dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan, terutama pada kadar 6%, yang memberikan hasil terbaik dalam penelitian ini.

#### **5. Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Keong Bakau Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton (Matana, 2023)**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang keong bakau terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Dalam penelitian ini, bahan tambah yang digunakan adalah abu cangkang keong bakau. Cangkang keong bakau tersebut dibakar, kemudian ditumbuk hingga menjadi abu, dan selanjutnya disaring menggunakan saringan No. 200 sebelum dicampurkan ke dalam campuran beton. Hasil pengujian beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase variasi abu cangkang keong bakau. Beton dengan penambahan 3% abu memiliki kuat tekan sebesar 27,648 MPa, sementara pada penambahan 7% meningkat menjadi 29,818 MPa, dan pada 10% mencapai 33,404 MPa. Sebagai perbandingan, beton normal tanpa bahan tambah hanya memiliki kuat tekan sebesar 25,855 MPa. Selain kuat tekan, kuat tarik belah beton juga mengalami peningkatan dengan adanya abu cangkang keong bakau. Pada variasi 3%, kuat tarik belahnya adalah 2,689 MPa, sedangkan pada variasi 7% naik menjadi 2,807 MPa, dan pada variasi 10% mencapai 3,090 MPa. Beton normal yang tidak menggunakan abu cangkang keong bakau memiliki kuat tarik belah sebesar 2,642 MPa.

#### **6. Analisis Penggunaan Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton. (Huda Bagus 2023)**

Penelitian ini mencoba menggunakan bahan tambah berupa abu boiler pabrik kelapa sawit yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan dan kuat tekan beton. Pada penelitian ini menggunakan variasi abu boiler pabrik kelapa sawit sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat bahan dalam 1 silinder. Dimensi benda uji silinder 15 x 30 cm. Rancangan campuran

menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Setiap variasi dibuat 2 benda uji, sehingga jumlah keseluruhannya 8 buah benda uji. Perendaman 28 hari menggunakan air tawar. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan beton. Hasil kuat tekan optimum pada perendaman air tawar 28 hari terjadi pada beton dengan campuran abu boiler pabrik kelapa sawit variasi 0% (beton normal) yaitu sebesar 190,11 kg/cm, sedangkan dengan variasi 2% sebesar 179,09 kg/cm, dengan variasi 4% sebesar 109,15 kg/cm, dengan variasi 6% sebesar 94,95 kg/cm. Hasil uji kuat tekan beton menggunakan abu boiler pabrik kelapa sawit sebagai bahan tambah mengalami Penurunan kuat tekan pada variasi 2%, 4% dan 6%, dibandingkan dengan beton tanpa abu boiler pabrik kelapa sawit.

## **7. Analisis Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Kernel Shell*) Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. (Ainul Mardiah., et al 2020)**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi abu cangkang kelapa sawit sebanyak 0%, 1,5%, 3%, dan 7% dari berat semen untuk mengetahui sejauh mana material ini dapat meningkatkan atau menurunkan kualitas beton dalam aspek kuat tekan. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal tanpa abu cangkang kelapa sawit memiliki kuat tekan sebesar  $138 \text{ Kg/cm}^2$ . Pada penambahan 1,5% abu cangkang kelapa sawit, kuat tekan meningkat menjadi  $161 \text{ Kg/cm}^2$ , yang merupakan hasil tertinggi dalam penelitian ini. Namun, pada variasi 3% dan 7%, kuat tekan mengalami sedikit penurunan masing-masing menjadi  $157 \text{ Kg/cm}^2$  dan  $146 \text{ Kg/cm}^2$ . Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu cangkang kelapa sawit dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton, dengan hasil terbaik diperoleh pada penambahan 1,5%, sementara penggunaan dalam jumlah yang lebih besar cenderung menurunkan kuat tekan.

**8. Kajian Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit Dengan Kadar Persentase 20%, 25%, Dan 30% Terhadap Kuat Tekan Beton. ( Weffrid N. Lumbantoruan 2014)**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan abu cangkang sawit (ACS) dengan persentase 20%, 25%, dan 30% terhadap kuat tekan beton. Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton tanpa penambahan ACS memiliki kuat tekan sebesar 437,41 kg/cm<sup>2</sup>. Pada penambahan 20% ACS, kuat tekan menurun menjadi 254,37 kg/cm<sup>2</sup>. Penambahan 25% ACS menghasilkan kuat tekan sebesar 284 kg/cm<sup>2</sup>, yang lebih tinggi dibandingkan variasi 20% dan. Namun, pada penambahan 30% ACS, kuat tekan beton mengalami penurunan lebih lanjut menjadi 208,89 kg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ACS dalam jumlah yang berlebihan cenderung menurunkan kuat tekan beton, sedangkan pada persentase 25% menunjukkan hasil yang lebih optimal dibandingkan variasi lainnya.