

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Beton

Beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air dengan bahan campuran maupun tanpa bahan campuran (*admixture*) (SNI 2493:2011, 2011). Semen dan air membentuk pasta semen yang berguna sebagai bahan pengikat, agregat kasar dan agregat halus berguna sebagai bahan pengisi dan penguat. Beton dibentuk dari pengerasan bahan material dengan penambahan umur beton yang akan mencapai kekuatan rencana pada usia 28 hari.

Beton adalah material yang biasa digunakan sebagai bahan konstruksi, bahan material yang mudah ditemukan serta mudah diolah menjadi salah satu alasan banyaknya penggunaan beton. Beton memiliki kelebihan yaitu dapat tahan terhadap suhu yang tinggi, menahan beban yang berat, dalam segi bentuk dapat disesuaikan dengan kebutuhan, bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja dan biaya pemeliharaan yang relatif murah. Adapun kekurangan beton seperti berat, kuat tarik yang rendah, kualitas akan berbeda tergantung cara pelaksanaan di lapangan serta mengalami penyusutan kering dan perubahan kadar air (Surya Kusuma et al., 2024).

### 2.2 Sifat Beton

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton ialah bahan bangunan yang terbuat dari air, semen *portland*, agregat kasar, dan agregat halus dengan sifat keras seperti batuan. Beton memiliki beberapa sifat yaitu antara lain:

#### 2.2.1 Kekuatan Beton

Beton sifatnya getas sehingga memiliki kuat tekan tinggi tetapi kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton berkaitan dengan sifat-sifat lain, jika kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat beton dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis-jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana ( <i>plain concrete</i> )	Sampai 10 MPa

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton normal	15 - 30 MPa
Beton prategang	30 - 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 - 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	$\geq 80$ MPa

(Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, M.E., 2007)

### 2.2.2 Berat Jenis

Beton normal terbuat dari agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya diantara 2,5 – 2,7) dengan berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Jika beton dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan ataupun diberikan rongga udara maka berat jenisnya dapat  $< 2,0$ . Beberapa jenis beton menurut berat jenisnya serta macam-macam penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis-jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis beton	Berat jenis	Penggunaan
Beton sangat ringan	$< 1,00$	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	$\geq 3,00$	Perisai sinar X

(Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, M.E., 2007)

### 2.2.3 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah pengerasan akan mengalami penyusutan dibanding volume beton waktu masih segar, beton mengalami sedikit penyusutan akibat penguapan air. Bagian yang susut ialah campuran pasta karena agregat tidak akan merubah volume. Semakin besar campuran pasta semakin besar juga penyusutan yang akan dialami beton, sedangkan campuran pasta semakin besar faktor air semennya maka akan semakin besar susutannya.

### 2.2.4 Kerapatan Air

Pada beberapa jenis bangunan tertentu beton sering diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak mengalami kebocoran, misalnya pada plat lantai, dinding *basement*, tandon air, kolam renang dan lainnya.

## 2.3 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton merupakan campuran semen, kerikil, pasir dan air. Penambahan limbah plastik dalam campuran beton diharapkan akan meningkatkan performa beton itu sendiri.

### 2.3.1 Semen

Semen memiliki fungsi sebagai perekat semua bahan penyusun beton. Semen *portland* merupakan salah satu semen hidraulis yang bereaksi dengan air, mengeras di dalam air, tahan terhadap air, dan stabil di dalam air. Semen *portland* dihasilkan dari penggilingan terak semen terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dengan penambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat atau ditambahkan dengan bahan yang lain (SNI 15-2049-2004, 2004).

Semen *portland* memiliki beberapa jenis menurut SNI 15-2049-2004 sebagai berikut:

#### 1. Jenis I

Jenis I adalah semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak diperlukan syarat khusus seperti yang disyaratkan jenis lainnya.

#### 2. Jenis II

Jenis II adalah semen *portland* untuk penggunaannya diperlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

#### 3. Jenis III

Jenis III adalah semen *portland* untuk penggunaannya diperlukan kekuatan awal yang tinggi (cepat mengeras).

#### 4. Jenis IV

Jenis IV adalah semen *portland* untuk penggunaannya diperlukan panas hidrasi yang rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.

#### 5. Jenis V

Jenis V adalah semen *portland* untuk penggunaannya diperlukan ketahanan terhadap sulfat.

### 2.3.2 Air

Air merupakan komponen utama dalam pembuatan beton yang memiliki harga paling terjangkau. Air berperan dalam reaksi dengan semen agar dapat berfungsi sebagai bahan pengikat serta bertindak sebagai pelumas untuk mempermudah pencampuran agregat dan semen. Air juga membantu dalam proses pengecoran, pengeraaan dan pemanjangan beton.

Air agar dapat bereaksi dengan semen jumlah yang dibutuhkan sekitar 25% dari berat semen. Nilai faktor air semen yang digunakan dalam praktiknya jarang < 0,35 karena sebagian air berfungsi sebagai pelumas. Jumlah air tambahan ini harus tetap dikontrol agar tidak berlebihan, karena dapat menyebabkan beton menjadi lemah dan berpori.

Air yang memenuhi standar air minum juga dianggap layak digunakan sebagai bahan pencampur beton. Namun, hal ini tidak berarti bahwa air pencampur beton harus selalu memenuhi standar air minum. Secara umum, air yang dapat digunakan adalah air yang mampu menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% dibandingkan beton yang menggunakan air suling. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 air yang digunakan dalam pembuatan beton sebaiknya memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Harus bersih, tidak boleh mengandung minyak asam, alkali dan zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton.
2. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

### 2.3.3 Agregat

Agregat adalah komponen utama dalam beton yang berperan besar dalam menentukan kualitasnya. Agregat untuk beton terdiri dari butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai material pengisi dalam campuran beton. Proporsi sekitar 70% dari total volume beton, agregat memiliki pengaruh yang signifikan

terhadap sifat dan mutu beton. Pemilihan agregat yang tepat menjadi aspek krusial dalam proses pembuatan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Jenis agregat yang diperlukan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar ialah kerikil hasil desintegrasi alami dari batu ataupun berupa batu pecah dari industri pemecah batu serta memiliki ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Agregat kasar dengan besar butir lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di saringan 4,75 mm.

b. Agregat Halus

Agregat halus ialah pasir yang berasal dari pelapukan batuan secara alami ataupun pasir yang didapat dari pemecahan batu yang semua butirannya lolos lubang saringan ukuran 4,8 mm. Agregat halus memiliki fungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar.

## 2.4 Bahan Tambah

### 2.4.1 Limbah Plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET)

*Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah salah satu jenis plastik yang mempunyai kode angka satu pada segitiga berpanah seperti botol plastik air mineral. Plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) dirancang untuk penggunaan sekali pakai. Jika penggunaan lebih dari satu kali atau dipakai untuk menyimpan air dengan suhu yang cukup tinggi akan mengakibatkan zat polimer pada botol meleleh serta mengeluarkan zat karsinogenik yang dapat meningkatkan risiko pertumbuhan bakteri. Zat karsinogenik merupakan zat yang dapat memicu kanker (Fadli et al., 2023).

*Polyethylene Terephthalate* (PET) ialah bahan kemasan yang aman dan dapat didaur ulang. Sifat dari *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah kekuatan yang tinggi, kaku, dimensinya stabil, tahan bahan kimia, dan memiliki sifat elektrikal yang baik. Bahan penyusun kimiawi yang terdapat pada plastik jenis PET ini adalah Asam Tereftalat (*Terephthalic Acid-PTA*) yang merupakan asam

aromatic yang memberikan kelakuan dan kestabilan termal pada struktur PET. Bisa juga digunakan dalam bentuk ester turunan, yaitu *Dimethyl Terephthalate* (DMT), dan Etilena Glikol (*Ethylene Glycol-EG*) merupakan alkohol yang memberikan sifat fleksibilitas pada PET serta sifatnya mudah menguap dan larut dalam air.

## 2.5 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap bahan penyusun beton bertujuan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan tersebut serta menganalisis dampak terhadap sifat dan karakteristik beton yang akan dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda, maupun beton yang telah mengalami pengerasan. Pengujian bahan ini meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, dan bahan lainnya.

### 2.5.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat

Analisis saringan agregat sebagai penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Metode ini sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

### 2.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah merupakan rasio antara berat agregat dalam kondisi kering dengan berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat dalam kondisi jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis kering permukaan jenuh adalah perbandingan antara berat agregat dalam kondisi jenuh permukaan kering dengan dengan berat air suling yang volumenya sama dengan volume agregat jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis semu mengacu pada perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat dalam kondisi kering pada suhu yang sama.

Penyerapan air didefinisikan sebagai persentase perbandingan antara berat air yang dapat diserap oleh agregat dari *quarry* dengan berat agregat dalam keadaan kering. Metode ini bertujuan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, serta nilai penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan utama pengujian ini adalah

untuk memperoleh data mengenai berat jenis dan tingkat penyerapan agregat tersebut.

Pengujian agregat halus:

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B + S - Ba} \quad (2.1)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{S}{(B + S - Bt)} \quad (2.2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \quad (2.3)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(S - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.4)$$

Pengujian agregat kasar:

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (2.5)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (2.6)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk - Ba)} \quad (2.7)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

- Bk = Berat benda uji kering oven (gram)
- Bj = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)
- Ba = Berat benda uji dalam air (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram)
- Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- S = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

### 2.5.3 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat merupakan massa agregat dalam setiap satuan volume. Berat ini berasal dari gaya gravitasi yang bekerja pada agregat. Agregat adalah material berbentuk butiran, seperti pasir, batu pecah, atau sisa hasil pembakaran bijih besi, yang digunakan sebagai komponen campuran dalam beton semen hidrolik atau mortar. Rongga udara pada agregat merujuk pada ruang kosong di antara butiran agregat yang tidak terisi oleh partikel padat.

Perhitungan berat isi

$$M = \frac{(G-T)}{V} \text{ atau } M = (G-T) \times F \quad (2.9)$$

Perhitungan kadar rongga udara:

$$\text{MSSD} = \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2.10)$$

Keterangan:

- |      |   |   |
|------|---|---|
| MSSD | = | Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
| M    | = | Berat isi dalam kondisi kering oven ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )              |
| A    | = | Absorpsi (%)  |

### 2.5.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat merupakan besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan kadar air agregat. Tujuan pengujian untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Perhitungan kadar air agregat:

$$\frac{(\text{berat benda uji awal} - \text{berat benda uji kering})}{\text{berat benda uji kering}} \times 100\% \quad (2.11)$$

### 2.5.5 Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian ini bertujuan untuk menghasilkan mutu beton yang baik, maka bahan penyusun beton harus memenuhi syarat teknis. Berdasarkan SNI S-04-1989-

F salah satu syarat teknisnya yaitu agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur >5% berat pasir.

Perhitungan kadar lumpur:

$$\frac{\text{tinggi lumpur}}{(\text{tinggi pasir} + \text{tinggi lumpur})} \times 100\% \quad (2.12)$$

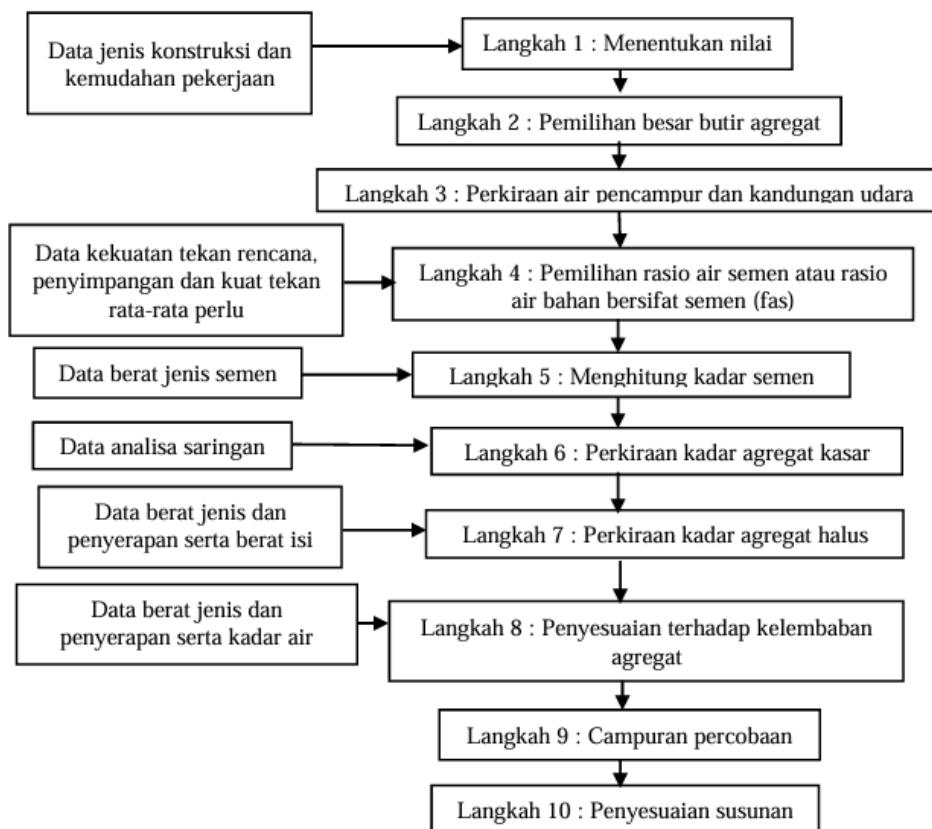
Keterangan:

Tinggi pasir (gram)

Tinggi lumpur (gram)

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

Karakteristik dari beton yang dipersyaratkan dalam spesifikasi untuk menentukan proporsi campuran tiap meter kubik campuran beton, dilaksanakan secara berurutan SNI 7656:2012 dengan diagram alir seperti Gambar 2.1 Diagram Alir Perancangan Campuran Beton



Gambar 2.1 Diagram Alir Perancangan Campuran Beton

### 2.6.1 Menentukan Nilai *Slump*

Rancangan campuran yang tidak menyarankan nilai *slump*, dapat menggunakan Tabel 2.3. rentang nilai *slump* berlaku jika beton dipadatkan dengan digetar. Nilai *slump* didapatkan dari jenis konstruksi yang akan menggunakan beton.

Tabel 2.3 Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

<b>Tipe konstruksi</b>	<b><i>Slump, mm (inch)</i></b>	
	<b>Maksimum</b>	<b>Minimum</b>
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanda tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton masa	75	25

### 2.6.2 Ukuran Agregat Kasar Maksimum

Penetapan besar butiran agregat maksimum dilaksanakan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang dilakukan. Ukuran agregat maksimum harus yang terbesar yang dapat diperoleh secara ekonomi dan tetap menurut dimensi komponen struktur atau konstruksinya, ukuran butiran maksimum tidak boleh melebihi:

1. 1/5 dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/bekisting.
2. 1/3 tebalnya pelat lantai.
3.  $\frac{3}{4}$  jarak minimum antar masing-masing batangan tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan pra-tegang (*pretensioning strands*).

### 2.6.3 Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara

Banyaknya air untuk setiap satuan isi beton yang dibutuhkan untuk menghasilkan *slump* tergantung pada:

1. Ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat.
2. Temperatur beton.
3. Perkiraan kadar udara.
4. Penggunaan bahan tambahan kimia.

*Slump* beton umumnya tidak terpengaruh oleh jumlah semen atau material sejenis semen jika digunakan dalam takaran normal. Penambahan sedikit bahan mineral halus dapat membantu mengurangi kebutuhan air. Kebutuhan air dapat diperkirakan berdasarkan ukuran agregat yang digunakan dan nilai *slump* yang ditargetkan.

Tabel 2.4 Perkiraan Air Campuran untuk Nilai *Slump* yang Berbeda dan Ukuran Maksimum Nominal Agregat

<i>Slump</i> , mm	Air ( $\text{kg/m}^3$ ) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25 s.d 50	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
75 s.d 100	181	175	168	160	150	142	122	107
150 s.d 175	202	193	184	175	165	157	133	119
>175	216	205	197	184	174	166	154	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat pemaparan								
Ringan	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Sedang	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Berat	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

#### 2.6.4 Pemilihan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/(c+p) tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau w/(c+p) yang sama, sangat dibutuhkan adanya kaitan antara kekuatan dengan rasio dari bahan yang akan digunakan. Nilai rasio air-semen diperoleh dari data kekuatan beton umur 28 hari. MPa dan rencana beton tanpa atau dengan tambahan udara dalam beton.

Tabel 2.5 Hubungan antara Rasio Air-Semen dan Kekuatan Beton

<b>Kekuatan beton umur 28 hari, MPa</b>	<b>Rasio air-semen (berat)</b>	
	<b>Beton tanpa tambahan udara</b>	<b>Beton dengan tambahan udara</b>
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
25	0,79	0,70

### 2.6.5 Perhitungan Kadar Semen

Jumlah semen per satuan volume beton didapatkan dari nilai perkiraan kebutuhan air pencampur dan dibagi dengan rasio air-semen. Bila syarat memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari syarat kekuatan dan keawetan, campuran harus berdasarkan kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak.

### 2.6.6 Perkiraan Kadar Agregat Kasar

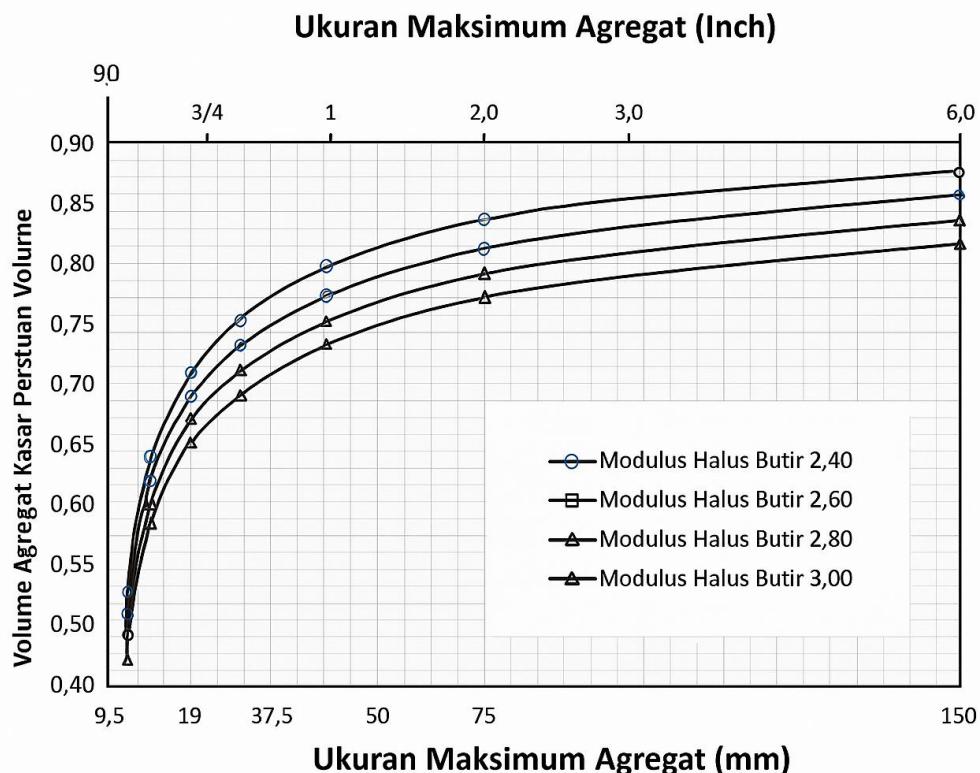
Agregat dengan ukuran normal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan kelecanan yang baik jika digunakan dalam volume tertentu (dalam kondisi kering oven) untuk setiap satuan volume beton. Volume agregat kasar ini dapat diperkirakan menggunakan Tabel 2.6 atau Gambar 2.2 Hubungan Ukuran Nominal Maksimum Agregat dengan Fraksi Halus , dengan metode perhitungan analitis maupun grafis. Estimasi kadar agregat kasar diperoleh berdasarkan ukuran maksimum agregat serta modulud kehalusan agregat halus yang digunakan.

Tabel 2.6 Berat Isi Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

<b>Ukuran nominal agregat maksimum (mm)</b>	<b>Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan** dari agregat halus</b>			
	<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
9,50 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,50 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,60

<b>Ukuran nominal agregat maksimum (mm)</b>	<b>Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan** dari agregat halus</b>			
	<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
24 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,50 (1½)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656:201



Gambar 2.2 Hubungan Ukuran Nominal Maksimum Agregat dengan Fraksi Halus

### 2.6.7 Perkiraan Kadar Agregat Halus

Agregat halus diperoleh dari estimasi awal berat beton segar bedasarkan ukuran nominal maksimum agregat (mm) dan kondisi tanpa penambahan udara, mengacu pada Tabel 2.7. Nilainya dihitung dengan mengurangi berat semen dan air dari berat volume beton segat yang diperkirakan.

Tabel 2.7 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

<b>Ukuran nominal maksimum agregat</b>	<b>Perkiraan awal berat beton segar</b>	
	<b>Beton tanpa tambahan udara</b>	<b>Beton dengan tambahan udara</b>
9,50	2280	2200
12,50	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,50	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber: SNI 7656:2012

### 2.6.8 Penyesuaian terhadap Kelembapan Agregat

Jumlah agregat yang ditimbang untuk campuran beton harus mempertimbangkan kandungan air yang terserap dalam agregat, berdasarkan hasil pengujian kadar air. Jumlah air pencampur yang ditambahkan ke dalam adukan perlu dikurangi dengan jumlah air bebas yang berasal dari agregat, yaitu total air dikurangi air yang terserap, sesuai hasil uji berat jenis dan daya serap agregat.

### 2.7 Perawatan di Laboratorium

Semua benda uji harus dirawat basah pada temperature 23°C. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus di lingkungan bebas getaran. Perawatan basah berarti bahwa benda uji harus memiliki air bebas yang dijaga pada seluruh permukaan pada semua waktu. Kondisi ini merendam penuh dalam air dan benda uji tidak boleh diletakkan pada air mengalir atau air yang menetes (SNI 2493:2011, 2011).

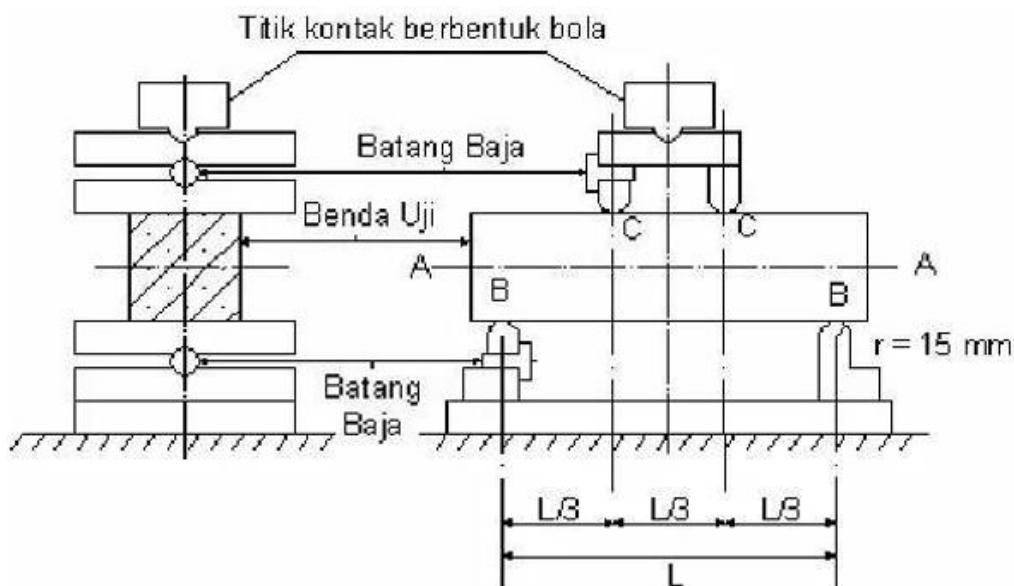
### 2.8 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton merupakan kemampuan sebuah balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu benda uji hingga terjadi keretakan atau patah. Nilai kuat lentur

dihitung berdasarkan tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur, kemudian dibagi dengan momen penahan pada penampang balok uji (Handayasaki, 2017).

Pengujian kuat lentur beton normal terdapat dua metode yang digunakan, yaitu sistem dua titik pembebanan (SNI 03-4431-2011). Pengujian ini dilakukan di laboratorium sebagai acuan dalam menentukan nilai kuat lentur beton. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memperoleh data yang digunakan dalam perencanaan serta pelaksanaan pembuatan beton. Perhitungan kuat lentur beton didasarkan pada rumus-rumus tertentu yang digunakan dalam proses pengujian. Rumus-rumus yang digunakan pada pengujian kuat lentur beton sebagai berikut:

### 2.8.1 Sistem Pembebanan Dua Titik (SNI 03-4431-2011)



Gambar 2.3 Sketsa Pengujian Kuat Lentur Sistem Pembebanan Dua Titik

Keterangan gambar:

- A = Sumbu memanjang
- B = Titik-titik perletakan
- C = Titik-titik pembebanan

1. Jika setelah pengujian patahan benda uji berada di daerah pusat pada jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton maka dihitung dengan Persamaan.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$\sigma_1$  = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang dilanjutkan oleh mesin uji

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 antara tampang lintang patah dan tumpuan  
luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sisi titik dari  
bentang (m)

2. Jika benda uji yang patahannya berada di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah > 5% bentang, hasil pengujian tidak tigunakan (BSN, 2011).

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul penelitian	Tujuan penelitian	Hasil penelitian
1.	Santos Surya Kusuma, Andi Marini Indriani, Gunaedy Utomo	Pengaruh Penggunaan <i>Polihylene Terephthalate</i> sebagai Agregat Halus terhadap Kuat Lentur Beton	Mengetahui pengaruh penggunaan plastik PET sebagai substansi agregat halus terhadap kuat lentur beton.	Penggunaan plastik PET sebesar 0.7% sebagai substansi agregat halus dalam beton menyebabkan penurunan kuat lentur dibanding beton normal. Beton normal memiliki kuat lentur rata-rata 3.04 MPa (14 hari) dan 3.18 MPa (28 hari), sedangkan beton dengan PET mencapai 2.37 MPa (14 hari) dan 2.42 MPa (28 hari). penurunan ini akibat tekstur PET yang halus dan licin, sehingga mengganggu proses pencampuran dan mengurangi kualitas ikatan antar bahan penyusun dalam beton.
2.	Khairul Fadli, Andi Marini Indriani, Gunaedy Utomo	Analisis Kuat Lentur Beton Menggunakan Plastik Jenis <i>Polihylene Terephthalate (PET)</i> Sebagai <i>Rigid Pavement</i>	Mengetahui pengaruh penggunaan limbah plastik PET sebagai substansi agregat halus terhadap kuat lentur beton pada perkerasan kaku ( <i>rigid pavement</i> ). Selain itu, untuk mengevaluasi	Penambahan plastik PET sebagai agregat halus dalam beton K-175 dapat meningkatkan kuat lentur beton, terutama pada variasi PET 0.25% dan 0.4% pada umur 28 hari dengan hasil masing-masing mencapai 33.90 MPa dan 35.42 MPa, lebih tinggi dibanding beton normal yang mencapai 31.10%.

No	Penulis	Judul penelitian	Tujuan penelitian	Hasil penelitian
			seberapa besar peningkatan atau penurunan sifat mekanik beton serta sebagai Upaya mendukung Solusi pengelolaan limbah plastik secara ramah lingkungan dalam konstruksi.	peningkatan ini dikaitkan dengan sifat serat PET yang mampu menahan tegangan lentur, sehingga memperkuat struktur beton serta pemanfaatan limbah plastik PET yang ramah lingkungan.
3.	Topik Wahyu Widianto, Andi Marini Indriani, Gunaedy Utomo	Kuat Lentur Beton Menggunakan Agregat Batu Petangis dan Pasir Semboja dengan Penambahan Botol Plastik	Mengevaluasi pengaruh penambahan limbah botol plastik jenis PET sebagai substansi sebagai agregat halus terhadap kuat lentur beton. Menilai potensi pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan tambahan dalam campuran beton, serta mengurangi dampak lingkungan dengan mengintegrasikan limbah plastik ke dalam material konstruksi.	Penambahan limbah botol plastik jenis PET sebesar 0.7% ke dalam campuran beton yang menggunakan agregat lokal berupa batu petangis dan pasir semboja menurunkan kuat lentur beton dibandingkan beton normal. Kuat lentur beton normal mencapai 3.04 MPa (14 hari) dan 3.18 MPa (28 hari), sementara beton dengan variasi 0.7% mencapai 2.37 MPa (14 hari) dan 2.42 MPa (28 hari). Penurunan disebabkan oleh sifat plastik yang halus dan licin, sehingga mengurangi daya ikat antar material dalam beton serta menurunkan homogenitas dan mutu beton.
4.	Doni Rinaldi Basri, Ahmad Zaki	Pengaruh Limbah Plastik Botol (Leleh) Sebagai Material	Mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan limbah plastik botol jenis	Penambahan limbah plastik botol jenis PET sebagai material tambah dalam campuran beton berdampak pada

No	Penulis	Judul penelitian	Tujuan penelitian	Hasil penelitian
		Tambah Terhadap Kuat Lentur Beton	PET terhadap kuat lentur beton, serta mengevaluasi potensi penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Bertujuan memberikan alternatif Solusi pemanfaatan limbah plastik dalam bidang konstruksi dan mengembangkan material bangunan yang lebih ekonomis.	penurunan kuat lentur beton. Variasi penambahan yang diuji adalah 0%, 2%, 3%, dan 5% dari berat semen. Hasil uji kuat lentur menunjukkan bahwa pada variasi 3% kuat lentur beton menurun dari $53.93 \text{ kg/cm}^2$ menjadi 45.09 $\text{kg/cm}^2$ , meskipun penurunannya masih tergolong rendah. Hal ini menunjukkan bahwa limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam beton, namun tetap perlu perhatian terhadap proporsinya agar tidak menurunkan kualitas structural secara signifikan.
5.	Indah Handayasari	Studi Alternatif Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Kemasan Air Mineral Pada Campuran Beton	Mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik kemasan air mineral sebagai pengganti Sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton, serta untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah plastik sebagai alternatif bahan konstruksi yang ramah lingkungan.	Penambahan limbah plastik kemasan air mineral sebagai pengganti Sebagian agregat halus dalam campuran beton memberikan hasil optimal pada variasi 5% baik untuk kuat tekan maupun kuat lentur. Pada umur 28 hari, beton dengan campuran 5% limbah plastik mencapai kuat tekan sebesar 22.741 MPa, melampaui beton normal, dan memenuhi standar mutu beton K-225. Sementara itu, kuat lentur/Tarik tertinggi juga dicapai pada variasi 5% sebesar 2.666 MPa. Hasil ini

<b>No</b>	<b>Penulis</b>	<b>Judul penelitian</b>	<b>Tujuan penelitian</b>	<b>Hasil penelitian</b>
				menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan performa beton dan menjadi alternatif bahan konstruksi ramah lingkungan, serta mendukung pengurangan limbah plastik melalui daur ulang.