

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 2847-2013 beton adalah campuran yang terdiri dari semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Sifat dan karakteristik bahan penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat baik itu beton untuk rumah tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

Beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, maupun pelat lantai pada konstruksi gedung. Beton juga digunakan pada konstruksi bangunan air, seperti bendung, bendungan, saluran air, dan drainase perkotaan. Selain itu pada konstruksi jalan, beton digunakan pada pekerjaan jalan tol. Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) kelebihan beton antara lain:

2.1.1 Kelebihan Beton

Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) kelebihan beton antara lain sebagai berikut:

- a. Secara umum ketahanan (*durability*) beton yang cukup tinggi, lebih tahan karat, tahan terhadap bahaya kebakaran;
- b. Kemudahan untuk digunakan (*versibility*);
- c. Kemampuan beradaptasi (*adabtlity*);
- d. Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja;
- e. Beton dapat dicetak dan dibentuk dengan ukuran berapapun;
- f. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

2.1.2 Kelemahan Beton

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 ;
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar;
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis;
- d. Struktur beton sulit untuk dipindahkan;
- e. Pemakaian Kembali atau daur ulang.

2.2 Sifat Beton Segar

Menurut Tjokrodimuljo (2007) Pengerjaan beton segar terdiri dari tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*).

2.2.1 Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Tingkat kemudahan (*workability*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pembentuk beton.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari konsistensi adukan beton yang identik tingkat keplastisan adukan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Adapun konsistensi adukan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut, diantaranya:

1. Jumlah Air Pencampur

Semakin banyak air, adukan beton akan lebih mudah untuk dikerjakan.

2. Kandungan semen

Jika perbandingan air dan semen tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, sehingga keplastisannya juga akan lebih tinggi.

3. Gradasi Agregat

Agregat yang memenuhi syarat gradasi akan memberi kemudahan pengerjaan beton.

1. Bentuk butiran agregat

Beton yang menggunakan agregat bentuk bulat akan lebih mudah dikerjakan.

2. Butiran maksimum agregat

Pada penggunaan jumlah air yang sama, butiran maksimum agregat yang lebih besar akan menghasilkan kemudahan yang lebih tinggi.

3. Cara Pemadatan dan alat pemadatan

Cara menggunakan alat pemadat dengan benar akan berpengaruh terhadap kondisi terakhir beton basah. Setelah selesai pemadatan, akan memungkinkan tercapainya target mutu beton keras.

2.2.2 Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton karena penuangan dan pemadatan yang tidak baik. Bentuk *segregasi* beton merupakan proses penurunan partikel yang lebih kasar ke bagian bawah beton untuk memisahkan diri dari partikel yang lebih halus dan terpisahnya air semen dari adukan. Hal ini akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Faktor penyebab *segregasi* dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu kurang semen, kekurangan atau kelebihan air pada campuran, kurangnya jumlah agregat halus, ukuran agregat maksimum > 40 mm, dan kekasaran permukaan butir agregat. Kecenderungan terjadinya *segregasi* dapat dicegah jika tinggi jatuh dibatasi, penggunaan air sesuai dengan yang telah ditetapkan, ukuran agregat sesuai dengan yang telah ditetapkan, dan pemadatan yang baik sesuai aturan.

2.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah peristiwa pemisahan naiknya air ke permukaan beton setelah dilakukan pemadatan. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput (*laitance*) yang tidak berguna. Peristiwa ini terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, susunan butir agregat, kecepatan hidrasi, dan pada saat proses pemadatan. Terjadinya *bleeding* dimungkinkan oleh faktor gradasi agregat yang kurang baik, terlalu banyak air, proses hidrasi yang lambat, dan pemadatan yang berlebihan. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* dapat dilakukan dengan cara menggunakan semen lebih banyak, menggunakan sedikit mungkin air, menggunakan butir halus lebih banyak, dan memasukkan sedikit udara ke dalam beton.

2.3 Sifat Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton adalah bahan bangunan yang dibuat dari air, semen Portland, agregat halus, dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan. Beberapa sifat beton yang sering dipakai antara lain:

2.3.1 Kekuatan Beton

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain,

maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat beton dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal (beton biasa)	15 - 30 MPa
Beton pra tegang	30 - 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 - 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	≥ 80 MPa

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

2.3.2 Berat jenis

Beton normal yang dibuat menggunakan mempunyai berat jenis sekitar 2,3 - 2,4. Jenis beton menurut berat jenis dan pemakaiannya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 - 2,00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2,30 - 2,40	struktur
Beton berat	$\geq 3,00$	Perisai sinar X

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'c} \quad \text{untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \quad (2. 1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad \text{untuk beton normal} \quad (2. 2)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = berat jenis beton

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

2.3.4 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dibandingkan volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras, beton mengalami sedikit penyusutan akibat penguapan air. Bagian yang susut adalah pastinya karena agregat tidak merubah volume. Oleh karena itu, semakin besar pastinya semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya.

2.3.5 Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak bocor, misalnya : plat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan sebagainya. Beton rapat air (kedap air) adalah beton yang sangat padat sehingga air tidak dapat meresap atau rembes melalui pori-pori di dalam beton. Beton kedap air juga bertujuan untuk mencegah karat pada baja tulangannya.

2.4 Bahan Penyusun Beton

Beton umumnya terdiri dari tiga bahan penyusun utama yaitu agregat, semen, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton. Berikut ini merupakan bahan penyusun beton:

2.4.1 Agregat

Menurut SNI 2847-2013 agregat merupakan bahan butiran misalnya kerikil, batu pecah, slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan bersama dengan lem khusus sebagai media perkat untuk membuat beton atau semen hidrolis. Agregat digunakan sebagai bahan pengisi beton untuk presentasi diantara 60% -70% dari volume beton (Mulyono, 2019). Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 15 mm.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

2.4.1.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat halus terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering.

2.4.1.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 yang terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

2.4.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran kimiawi yang menjadi aktif setelah bereaksi dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Komposisi semen sekitar 10% dari volume beton (Tjokrodimuljo, 2007). Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis:

1. Jenis 1 (normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang relative sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat.
3. Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah , biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat.

2.4.3 Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, dan juga berfungsi dengan pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gram/liter, kandungan garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gram/liter, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gram/liter.

Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodimuljo, 2007). Secara praktis, air yang baik untuk digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Air yang digunakan sebagai campuran beton dapat digunakan juga sebagai media perawatan, dengan syarat air tersebut tidak menimbulkan endapan atau noda yang dapat merusak warna permukaan.

2.4.4 Serbuk Ban Bekas

Serbuk ban bekas merupakan sampah anorganik yang berasal dari sisa ban bekas yang sudah tak terpakai. Ban Bekas mudah dicari dan mudah ditemukan di setiap daerah di Indonesia dan jumlahnya relatif banyak. Serbuk ban Bekas terbuat dari karet sintetis dan karet alam yang dicampur dengan karbon black dan unsur kimia lain seperti silica, resin, anti oksidan, sulfur, paraffin, cobalt, salt, cure accelerators, aktifators, dan di tambah dengan benang dan gabungan kawat baja di mana benang berfungsi sebagai rangka atau tulangan ban.

Unsur-unsur kandungan kimia pada bahan karet ban yaitu karet alam dari karet sintesis, filler penguat, minyak, aktioksidan, zink oksida, akselerator, dan sulfur.

Serbuk ban bekas dapat diolah kembali sebagai campuran untuk pembuatan beton sebagai penambah agregat halus didasarkan pada keterbatasan agregat alami yang tersedia di alam, contohnya pasir, batu, sirtu, tanah liat, dan lain lain, dimana agregat alam tersebut jumlahnya semakin lama semakin berkurang.

Serbuk ban bekas memiliki ketahanan terhadap air, memiliki kestabilan yang cukup, ketahanan yang tinggi, dan memiliki tingkat fleksibilitas dan sifat lentur yang cukup baik serta memiliki sifat menyerap getaran. Sehingga diadakan uji coba mengenai pemanfaatan serbuk ban bekas sebagai bahan dasar penambah agregat halus pada campuran beton Winansa & Setiawan (2019).

2.5 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton bertujuan untuk memahami sifat dan karakteristik bahan penyusun beton, selain itu pengujian bahan juga berfungsi untuk menganalisis dampak dari sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar maupun pada beton yang telah mengeras.

2.5.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh susunan butiran (gradasi) pada agregat halus maupun agregat kasar berdasarkan SNI 03-1968-1990. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji.
2. Satu set saringan untuk agregat halus dengan ukuran 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No.4); 2,36 mm (No.8); 1,18 mm (No.10); 0,60 mm (No.30); 0,30 mm (No. 60); 0,15 (No.100); dan 0,075 mm (No.200).
3. Satu set saringan untuk agregat kasar dengan ukuran 50 mm (2"); 37,5 mm (1 1/2"); 25 mm (1"); 19,10 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); dan 9,5 mm (3/8").
4. Pengguncang saringan mekanis.
5. Oven dengan suhu (110 ±5) °C.
6. Alat pemisah contoh.
7. Talam
8. Kuas, sikat kuning, sendok dan alat-alat lainnya.

Langkah-langkah pengujian Analisa saringan sebagai berikut.

1. Peralatan dan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu.
2. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama 24 jam.
3. Setelah benda uji dikeringkan, lalu ditimbang kembali.
4. Siapkan satu set saringan yang telah disusun dari ukuran yang besar ke ukuran yang kecil.
5. Pasang satu set saringan yang telah diisi benda uji pada mesin pengguncang selama 15 menit.
6. Setelah dikeluarkan dari mesin pengguncang, timbang berat benda uji yang tertahan pada setiap nomor saringan

2.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air. Pengujian ini mengacu pada SNI 1970, 2008. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Timbangan sesuai dengan persyaratan SNI 03-6414-2002 dan dilengkapi peralatan untuk menggantung wadah contoh uji di dalam air.
2. Keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No.6) atau ember dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm.
3. Oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$,
4. Tangki air yang kedap berfungsi sebagai tempat contoh uji dan wadahnya akan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan
5. Alat penggantung (kawat).
6. Saringan 4,75 mm (No.4).

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu.
2. Keringkan benda uji dengan oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
3. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan (kira-kira $50 ^\circ\text{C}$) kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering oven (A).

4. Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
5. Keluarkan benda uji dari air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air tersebut hilang.
6. Timbang benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya sampai nilai 1,0 gram atau 0,1 persen dari berat contoh (B).
7. Letakkan benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air (C) yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur (23 ± 2) °C
8. Kemudian dihitung

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B - C)} \quad (2.3)$$

$$\text{Berat jenis curah kering permukaan} = \frac{B}{(B - C)} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A - C)} \quad (2.5)$$

$$\text{penyerapan} = \frac{(B - A)}{B} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C = berat benda uji di dalam air (gram)

2.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan, berat jenis semu, serta penyerapan air pada agregat halus berdasarkan SNI 1970 : 2008. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Timbangan harus sesuai dengan persyaratan SNI 03-6414-2002
2. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
3. Kerucut terpancung.
4. Batang penumbuk.
5. Saringan No.4 (4,75 mm).
6. Oven suhu (110 ± 5) °C
7. *Thermometer* dengan ketelitian pembacaan 1°C.
8. Talam.

9. Bejana tempat air.
10. Pompa hampa udara atau tungku.
11. Saringan dengan ukuran 4,75 mm (No.4).

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Kemudian basahi dengan air baik dengan cara melembabkan sampai 6 % atau merendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
2. Buang air perendam dengan hati-hati, lalu tebarkan agregat diatas talam, keringkan pada aliran udara yang hangat, dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai keadaan jenuh kering permukaan.
3. Periksa keadaan jenuh kering permukaan dengan mengisikikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
4. Isi piknometer dengan air sebagian saja, setelah itu masukan benda uji jenuh kering permukaan (500 ± 10) gram. Tambahkan kembali air sampai 90% kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
5. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
6. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (C).
7. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
8. Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (A).
9. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (B).
10. Kemudian hitung:

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(A + S - C)} \quad (2.7)$$

$$\text{Berat jenis jenuh permukaan kering} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (2.8)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (2.9)$$

$$\text{penyerapan} = \frac{(S - A)}{A} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

S = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

2.5.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen. Pengujian kadar air agregat sesuai dengan SNI 1970 : 2008. Peralatan yang di gunakan antara lain:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.
2. Oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$.
3. Talam logam tahan karat untuk mengeringkan benda uji.

Prosedur pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut.

1. Berat talam ditimbang dan dicatat (W1)
2. Benda uji dimasukkan ke dalam talam, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (W2).
3. Berat benda uji dihitung ($W3 = W2 - W1$).
4. Contoh benda uji dikeringkan beserta talam dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$.
5. Setelah kering, contoh benda uji beserta talam ditimbang dan dicatat (W4).
6. Berat benda uji kering dihitung ($W5 = W4 - W1$).
7. Kemudian dihitung:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W3 - W5)}{W5} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

W_3 = Berat benda uji semula (gram)

W_5 = Berat benda uji kering (gram)

2.5.5 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat yang meliputi perhitungan berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat berdasarkan SNI 03-4804 -1998.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 2 kg untuk contoh agregat halus, dan ketelitian 1 gram kapasitas 20 kg untuk contoh agregat kasar.
2. Batang penusuk.
3. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air.
4. Sekop atau sendok sesuai dengan kebutuhan.
5. Peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar dari pada diameter takaran yang dikalibrasi.

Prosedur pelaksanaan berat isi dan rongga udara sebagai berikut:

1. Kondisi padat
 - a. Cara tusuk
 - 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
 - 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk.
 - 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti langkah diatas.
 - 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
 - 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
 - 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
 - 7) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
 - 8) Hitung berat isi agregat.

$$M = \frac{(G - T)}{v} \quad (2.12)$$

- 9) Hitung kadar rongga udara

$$M_{SSD} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \quad (2.13)$$

Keterangan:

M = berat isi agregat kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dalam penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

M_{SSD} = berat isi jenuh kering permukaan (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

b. Cara ketuk

- 1) Isi agregat dalam penakar dalam tiga tahap sesuai ketentuan.
- 2) Padatkan untuk setiap lapisan dengan cara mengetuk ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50 kali.
- 3) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 4) Tentukan berat penakar dan isinya sama seperti langkah pada a (6).
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah a (8) dan a (9).

2. Kondisi gembur

- a. Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- b. Ratakan permukaan dengan batang perata.
- c. Tentukan berat penakar dan isinya, dan berat penakar sendiri.
- d. Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
- e. Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah pada butir b (5).

2.5.6 Pengujian Kadar Lumpur

Tujuan pengujian ini adalah untuk menghasilkan mutu beton yang baik (kuat tekan tinggi), maka bahan penyusun beton harus memenuhi syarat teknis. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F salah satu syarat teknis adalah agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % berat pasir.

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Gelas ukur.
2. Alat pengaduk.

Bahan yang digunakan adalah contoh pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air biasa.

Prosedur Pelaksanaan:

1. Contoh benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahkan pada gelas ukur untuk melarutkan lumpur.
3. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
4. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur
6. Kemudian hitung:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1+V_2)} \quad (2. 14)$$

Keterangan :

V_1 = tinggi pasir (gram)

V_2 = tinggi lumpur (gram)

2.5.7 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no.12 terhadap berat semula dalam persen. Pengujian keausan agregat berdasarkan SNI 2417:2008 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Mesin abrasi *Los Angeles*.
2. Saringan no 12 (1,7 mm) saringan saringan lainnya.
3. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
4. Bola bola baja.
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu (110 ± 5)°.
6. Alat bantu pan dan kuas.

Benda uji pengujian keusan agregat antara lain:

- a. Gradasi A
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 37,5 mm sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
- b. Grasi B
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 19,0 mm sampai dengan agregat ukuran 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran
- c. Gradasi C
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 9,5 mm sampai dengan agregat ukuran butir 4,75 mm. Jumlah bola uji 8 buah dengan 500 putaran
- d. Gradasi D
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 4,75 mm sampai dengan agregat ukuran butir 2,36 mm. Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
- e. Gradasi E
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 75 mm sampai dengan agregat ukuran butir 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- f. Gradasi F
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 50 mm sampai dengan agregat ukuran butir 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
- g. Gradasi G
Material agregat kasar yang terdiri dari ukuran butir maksimum 37,5 mm sampai dengan agregat ukuran butir 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

Prosedur pelaksanaan pengujian abrasi adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dibersihkan dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
2. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*
3. Mesin diputar dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 RPM dengan jumlah putaran gradasi 500 putaran.
4. Setelah selesai pemutaran, benda uji dikeluarkan dari mesin kemudian disaring menggunakan saringan no. 12 (1,7 mm) dan butiran yang tertahan di atasnya dicuci hingga bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
5. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20.
6. kemudian hitung:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan:

a = berat benda uji semula (gram)

b = benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

2.6 Rancangan Campuran Beton Normal

Pada dasarnya perencanaan campuran beton bertujuan untuk menghasilkan suatu proposi campuran beton yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dari segi biaya pembuatannya.

Sebelum melakukan perancangan, perlu dipersiapkan dahulu data hasil pengujian bahan penyusun beton. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu dalam penyelesaian perancangan campuran beton.

2.6.1 Desain Campuran Beton SNI 7656:2012

Metode campuran beton SNI 7656:2012 tentang “Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa”. Metode ini mengacu pada ACI 211. 1- 91 yang berasal dari Amerika. Langkah-langkah dari pengerjaan campuran beton metode SNI 7656:2012 dijelaskan di bawah ini:

2.6.1.1 Menetapkan Nilai Kuat Tekan Beton ($f'c$) yang Direncanakan

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan ($f'c$) sebesar 20 MPa. Direncanakan untuk konstruksi jembatan dan beton yang dibuat tanpa tambahan udara.

2.6.1.2 Menetapkan Deviasi standar

Nilai deviasi standar diperoleh apabila fasilitas produksi beton telah mempunyai catatan hasil uji. Data hasil pengujian yang dijadikan sebagai dasar perhitungan standar deviasi harus:

- Mewakili material, prosedur kontrol kualitas, dan kondisi serupa, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dilakukan lebih ketat.
- Mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan pada kisaran 7 MPa.
- Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlahnya sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian.

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji yang memenuhi syarat di atas, tetapi mempunyai catatan uji sebanyak 15 sampai 29 hasil pengujian secara berurutan, maka deviasi standar ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar yang dihitung dan faktor modifikasi pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Faktor Modifikasi Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi
Kurang dari 15	Gunakan Tabel 2.6
15	1,16
20	1,08

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2847:2013

2.6.1.3 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata

Kekuatan tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton apabila tersedia data standar deviasi untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan $f'c \leq 35$ MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad (2.16)$$

$$f'_{cr} = f'c + 2,33 s_s - 3,5 \quad (2.17)$$

Kekuatan tekan rata-rata perlu untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan sebesar $f'c > 35$ MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad (2.18)$$

$$f'_{cr} = 0,9 f'c + 2,33 s_s \quad (2.19)$$

Dengan:

f'_{cr} = kuat tekan rata-rata perlu (MPa).

$f'c$ = kuat tekan yang disyaratkan (MPa).

S_s = deviasi standar (MPa).

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji kekuatan di lapangan untuk menghitung deviasi standar, maka kekuatan rata-rata perlu dihitung sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Kuat Tekan Rata-rata Apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

Kuat Tekan yang Disyaratkan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Perlu (MPa)
$f'c < 21$	$f'_{cr} = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'_{cr} = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'_{cr} = 1,1 f'c + 5,0$

Sumber: SNI 2847:2013

2.6.1.4 Menentukan Nilai *Slump*

Nilai *slump* merupakan indikator untuk menentukan tingkat kekentalan dan kemudahan kerja dari beton segar. Apabila nilai *slump* tidak ditentukan, maka nilai *slump* tidak ditentukan, maka nilai *slump* dapat diperoleh berdasarkan Tabel 2.5 untuk berbagai tipe pekerjaan konstruksi. Nilai *slump* untuk metode pemadatan dengan tusukan maka perlu ditambah 25 mm.

Tabel 2. 5 Nilai *Slump* yang Dianjurkan Berbagai Konstruksi

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum ^f	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber: SNI 7656:2012

2.6.1.5 Menentukan Ukuran Agregat Maksimum

Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan agregat kasar ukuran maksimum 20 mm.

2.6.1.6 Menentukan Kadar Air dan Kadar Udara

Untuk perkiraan kadar air pencampur dan kadar udara untuk berbagai nilai *slump* dan ukuran agregat maksimum batu pecah dengan beton tanpa tambahan udara seperti pada tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Perkiraan Kadar Air dan Kadar Udara

Air (kg/m³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25 - 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 - 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 - 175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber: SNI 7656:2012

2.6.1.7 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/ (c + p) yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Hubungan Rasio Air Semen dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari (MPa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber: SNI 7656: 2012

2.6.1.8 Menghitung Kadar Semen

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air pada (langkah 2.6.16) dengan rasio air semen (langkah 2.6.17).

2.6.1.9 Menghitung kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat kasar persatuan volume beton seperti pada tabel 2.11. dengan hubungan ukuran agregat maksimum dan modulus halus butir agregat halus.

Tabel 2. 8 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,79	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656: 2012

2.6.1.10 Menghitung Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat beton segar atau metode berdasarkan volume absolut.

1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton seperti pada Tabel 2.9 digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2. 9 Perkiraan Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber: SNI 7656 : 2012

2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan yang telah diketahui seperti air, semen, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

2.6.1.11 Penyesuaian Terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Umumnya agregat berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang di berada di dalam ataupun di permukaan agregat. Besarnya jumlah air tersebut yang harus ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu jumlah air dikurang air yang terserap oleh agregat.

$$\text{Agregat Halus (basah)} = C + \left[(D_a) \frac{C}{100} \right] \quad (2.16)$$

$$\text{Agregat Kasar (basah)} = D + \left[(D_a) \frac{C}{100} \right] \quad (2.17)$$

$$\text{Air} = B \left[(D_a - C_a) \frac{C}{100} \right] - \left[(D_k - C_k) \frac{D}{100} \right] \quad (2.18)$$

Keterangan:

B = jumlah air bebas (kg / m³)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg / m^3)

Da = Kandungan air pada agregat halus (%)

Dk = Kandungan air agregat kasar (%)

Ca = penyerapan agregat halus (%)

Ck = penyerapan agregat kasar (%)

2.7 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* merupakan salah satu cara untuk mengukur kelecakan beton segar serta untuk memperkirakan tingkat kemudahan pengerjaan beton segar untuk diaduk dalam *concrete mixer*, diangkut dari lokasi pengadukan ke lokasi pencetakan, dituang ke dalam cetakan, dan dipadatkan dengan cara tusukan. Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan SNI 1972:2008 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
3. Pelat logam yang permukaannya kokoh, rata, dan kedap air.
4. Sendok cekung.
5. Mistar.

Benda uji yang digunakan adalah contoh beton segar yang mewakili campuran beton. Cara pengujian *slump* sebagai berikut.

1. Lap cetakan dan plat menggunakan kain basah.
2. Tempatkan cetakan di atas plat.
3. Beton segar di tuangkan ke cetakan dalam 3 lapis, tiap lapis terdapat 1/3 isi cetakan lalu di tusuk sebanyak 25 tusukan dengan tongkat pemadat.
4. Jika penusukan selesai, gunakan tongkat untuk meratakan permukaan benda uji lalu singkirkan benda uji yang jatuh di sekitar cetakan, selanjutnya cetakan diangkat harus selesai.
5. Balikkan cetakan dan angkat secara pelan di samping benda uji, kemudian hitung *slump* dengan mengukur tegak lurus antara ujung cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

2.8 Pembuatan dan Perawatan dilaboratorium

Kegiatan ini melingkupi cara pembuatan benda uji beton di laboratorium sesuai dengan ketentuan yang sudah ditentukan dengan tujuan untuk memperoleh benda uji dilaboratorium yang memenuhi syarat. Pembuatan dan perawatan beton di lapangan menurut SNI 2493:2011 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm, dan tinggi 15 cm.
2. Cetakan balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm.
3. Batang penusuk.
4. Palu karet.
5. Alat penggetar.
6. Alat pengambil beton.
7. Wadah pengambilan adukan yang akan diuji.
8. Peralatan saringan basah.
9. Alat uji untuk kadar udara.
10. Timbangan.
11. Pengaduk beton.

Adapun bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air ditimbang sesuai dengan *mix design* yang direncanakan. Cara pembuatan beton sebagai berikut:

1. Tuangkan agregat dan sebagian air pencampur ke dalam mixer sebelum mulai pengadukan. Nyalakan pengaduk lalu tambahkan agregat halus, semen, dan air yang tersisa ketika mesin sedang berjalan. Jika penambahan bahan tidak dapat dilangsungkan saat mesin sedang berjalan, maka mixer dimatikan dulu. Setelah seluruh bahan di masukan ke dalam mixer beton di aduk lagi selama 3 menit, lalu 3 menit berhenti, dan di teruskan 2 menit untuk diaduk sampai merata. Agar tidak terjadi *segregasi* mixer harus tertutup rapat saat berhenti, bersihkan sisa adukan lalu gunakan sekop untuk di aduk kembali hingga merata.
2. Pilih bagian campuran beton yang akan digunakan kedalam pengujian untuk cetakan benda uji yang mewakili perbandingan dengan keadaan sebenarnya.

Jika beton tidak diaduk atau diambil sampelnya, tutup kembali untuk mencegah penguapan.

3. Pada masing-masing campuran beton hitung nilai slump nya.
4. Jika nilai slump sudah memenuhi nilai yang ditetapkan, agar tidak terjadi *segregasi* gunakan sekop untuk mencampur kembali beton segar yang ada di wadah.
5. Cara pemadatan bisa dilakukan dengan ditusuk atau di getar dari luar maupun dalam. Nilai slump dari adukan beton dapat mempengaruhi pemilihan teknik yang akan digunakan. Pemadatan dikerjakan dengan cara ditusuk apabila slump lebih dari 75 mm, pemadatan dapat dikerjakan dengan cara ditusuk atau di getar apabila nilai slump antara 25 hingga 75 mm, dan pemadatan dikerjakan hanya dengan cara di getar apabila nilai slump dibawah 25mm.
6. Jika benda uji berbentuk silinder, apabila kekentalannya memungkinkan permukaan beton diratakan dengan batang penusuk dan apabila kekentalannya tidak memungkinkan diratakan dengan roskam. Semen Portland bisa digunakan sebagai perata lapisan tipis pada permukaan silinder.
7. Agar mencegah penguapan air dari beton segar, gunakan plat yang tidak menyerap dan tidak reaktif untuk menutup benda uji, seperti lembaran plastik yang kokoh dan kedap air ataupun goni basah.
8. Setelah 24 ± 8 jam pisahkan benda uji dari cetakan.
9. Rendam benda uji saat dilepaskan dari cetakan sampai pengujian kuat tekan dilakukan di dalam suhu air $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$. Perawatan juga bisa dilakukan dengan metode merendam beton di dalam air kapur jenuh atau disimpan di ruangan lembab. Hindari benda uji dari tetesan air atau aliran air.

2.9 Kuat Tekan

Kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas dikenal dengan istilah kuat tekan. Kuat tekan beton menentukan kualitas dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki seiring dengan semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019)

2.9.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodimuljo (2007) kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Umur beton

Kuat tekan beton akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Laju kenaikan kuat tekan beton mula - mula cepat, semakin lama maka laju kenaikan itu semakin lambat setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Menurut Tjokrodimuljo (2007) pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, disebutkan perbandingan kekuatan tekan (desak) beton pada berbagai umur beton seperti disajikan pada tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2. 10 Perbandingan Kekuatan Beton Berbagai umur

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	90	385
Semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,120

Sumber: PBI, 1971

2. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dengan berat semen di dalam campuran beton. Nilai fas umumnya berkisar 0,4 sampai 0,6. Semakin tinggi nilai fas menunjukkan adukan beton semakin encer dan nilai kuat tekan semakin menurun.

3. Kepadatan

Kuat tekan beton akan berkurang apabila kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga – rongga udara sehingga kuat tekannya menjadi rendah.

4. Jumlah pasta semen

Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butiran agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butiran agregat terisi penuh dengan pasta semen dan seluruh permukaan agregat terselimuti pasta semen.

5. Jenis semen

Semen Portland untuk campuran beton terdiri dari beberapa tipe, misalnya cepat mengeras dan sebagainya sehingga mempengaruhi terhadap kuat tekan betonnya.

6. Sifat agregat

Sifat agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya kekasaran permukaan, bentuk agregat, dan kuat tekan agregat.

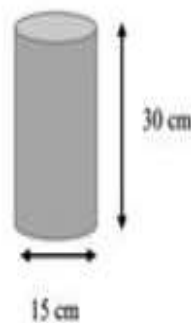
2.9.2 Pengujian Kuat Tekan

Metode ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dirawat di laboratorium maupun di lapangan. Pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 1974:2011 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. *Compression Testing Machine (CTM)*.
2. Timbangan.

Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut.

1. Ambil benda uji dari bak perendam lalu bersihkan dengan kain lembab.
2. Benda uji diukur dan ditimbang.
3. Letakkan benda uji pada mesin kuat tekan secara sentris, setelah itu mesin uji dinyalakan.
4. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan, tipe kehancuran, dan kondisi visual benda uji.
5. Benda uji silinder



Gambar 2. 1 Silinder Beton
Sumber: Data Sekunder

6. Kemudian hitung:

$$f^{\circ}c = \frac{P}{A} \quad (2.19)$$

Dengan :

$f^{\circ}c$ = kuat tekan beton (Mpa atau N/mm²)

P = gaya tekan aksial (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

2.10 Kuat Lentur Beton

Pada prinsipnya struktur beton pada bangunan sipil harus mampu menahan gaya yang bekerja seperti tekan dan lentur yang diakibatkan oleh energi dari luar seperti angin dan gempa pada bangunan gedung, tekanan air, dan gempa pada bangunan air, tekanan kendaraan pada jembatan dan sebagainya.

Struktur beton harus aman terhadap gaya-gaya tersebut. Untuk itu maka struktur beton harus memenuhi syarat tertentu agar bangunan tidak mengalami kegagalan, tetap stabil dan aman. Agar struktur beton aman terhadap gaya lentur yang bekerja, beton harus mempunyai kuat lentur tertentu sesuai dengan yang disyaratkan.

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Kuat tarik lentur disebut juga kuat tarik tidak langsung sebagai alternatif karena sulitnya melakukan uji kuat tarik dengan gaya aksial secara langsung. Untuk menentukan kekuatan lentur contoh uji beton melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan (SNI 4431: 2011).

2.10.1 Pengujian Kuat Lentur

Kuat lentur beton dengan sistem pembebanan dua titik 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 dengan Mega Pascal (Mpa) gaya per satuan luas.

Pengujian ini bermaksud untuk menentukan kekuatan lentur contoh benda uji melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Mesin penguji yang dilengkapi dengan dua buah balok tumpuan dan satu buah balok beban.
2. Timbangan.

Prosedur Pengujian kuat lentur sebagai berikut.

1. Hidupkan mesin uji yang telah disiapkan
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Atur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan.
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatan 8 kg/cm² sampai 10 kg/cm² tiap menit.
5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji.
7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya
8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah.

2.10.2 Perhitungan Kuat Lentur

1. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah $\frac{1}{3}$ jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung dengan rumus

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (2.20)$$

Keterangan:

σ_1 = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)

L= Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h: Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

2. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar pusat (daerah $\frac{1}{3}$ 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 sebagai berikut.

$$\text{Rumus} \quad : \sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (2.21)$$

Keterangan:

σ_1 = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)

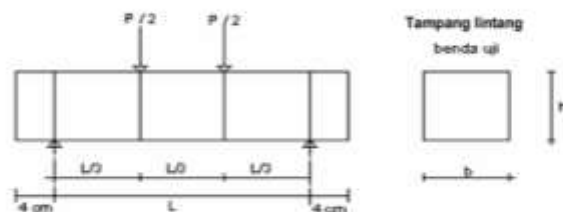
L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

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 sudut dari bentang (mm).

3. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar $\frac{1}{3}$ jarak titik perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan



Gambar 2. 2 Garis-Garis Perletakan dan Pembebanan

Sumber: SNI 4331: 2011

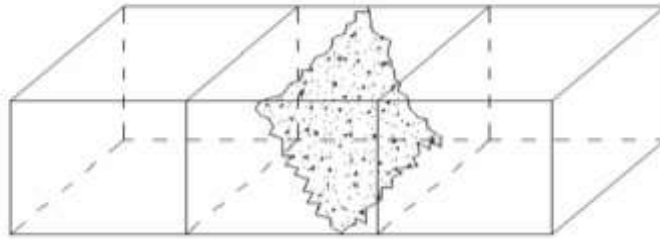
Keterangan Gambar :

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (cm)

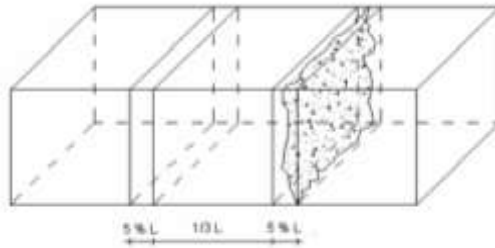
b = Lebar tampak lintang benda uji (cm)

h = Tinggi tampak lintang benda uji (cm)

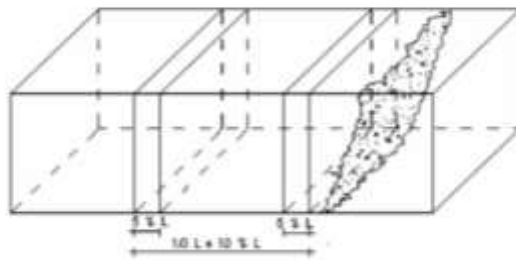
P = Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)



Gambar 2. 3 Patah Pada 1/3 Bentang Tengah
Sumber: SNI 4331: 2011



Gambar 2. 4 Patah Diluar 1/3 Bentang Tengah Dan Garis patah pada <5% Dari Bentang
Sumber: SNI 4331 : 2011



Gambar 2. 5 Patah Diluar 1/3 Bentang Tengah Dan Garis Patah >5% Dari Bentang
Sumber: SNI 4331 : 2011

2.11 Karakteristik Ban Tinggi Kelenturan

Ban dengan tingkat kelenturan tinggi memiliki beberapa fitur utama sebagai berikut:

1. Menggunakan karet yang lebih elastis, penggunaan karet yang lebih elastis membuat ban dapat dengan mudah beradaptasi di berbagai jenis permukaan jalan dan memberikan kenyamanan saat berkendara.
2. Pola dan rongga di permukaan ban dirancang agar lebih fleksibel, memudahkan ban menyesuaikan dengan kontur jalan.
3. Ban dengan profil tinggi (rasio antara tinggi dan lebar) cenderung lebih fleksibel dan mampu meredam guncangan lebih baik dibandingkan ban profil rendah.
4. Ban tinggi kelenturan sering kali dapat berfungsi dengan tekanan yang sedikit lebih rendah tanpa mengurangi performa, membantu meningkatkan cengkraman dan kenyamanan.
5. Ban tinggi kelenturan lebih efektif dalam menyerap guncangan dari permukaan jalan yang tidak rata, mengurangi dampak pada kendaraan dan penumpang.
6. Ban tinggi kelenturan umumnya memberikan traksi dan stabilitas yang lebih baik pada jalan bergelombang atau kasar, karena dapat menyesuaikan dengan ketidakrataan permukaan.

2.12 Penelitian Terdahulu

2.12.1 Nugroho

Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Substitusi Serbuk Karet Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini menggunakan serbuk karet ban yang lolos saringan 4,75 mm (4 inchi), persentase 0%, 5%, dan 15%, mutu kuat tekan yang di rencanakan $f'c$ 15 MPa. Penelitian ini bersifat eksperimental yang membuat rancang campuran beton untuk mencari kuat tekan pada benda uji silinder.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan campuran serbuk karet ban bekas sebagai pengganti sebagian dari agregat halus, dapat menaikkan kuat tekan beton yang diperoleh memenuhi syarat pada persentase 5% sebesar 19,73 MPa, dan 15% sebesar 16,29 MPa. Hasil tersebut berada pada rentang 15 - 20 MPa (Nugroho et al., 2023).

2.12.2 Setiaji

Setiaji melakukan penelitian tentang “Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton”. Penelitian ini menggunakan serbuk karet ukuran yang lebih kecil bisa digunakan sebagai bahan substitusi pasir, persentase 0%, 5%, 10%, dan 15% sebagai campuran beton. Pencampuran material meliputi semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan limbah ban karet mutu kuat tekan beton yang direncanakan $f'c$ 20 MPa.

Hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa campuran beton dengan limbah ban karet sebagai kuat tekan tidak dapat menaikkan mutu beton bahkan cenderung menurun dengan bertambahnya persentase limbah ban karet. Modulus elastisitas beton dengan limbah ban bekas sebesar 10% dari agregat halus menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 36940,1 MPa lebih tinggi dari modulus elastisitas campuran normal sebesar 28457,2 MPa. Substitusi limbah ban karet ke dalam campuran beton sebesar 10% dari berat agregat halus dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas beton (Setiaji et al., 2021).

2.12.3 Anggara & Firdaus

Anggara & Firdaus melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Potongan Karet Ban Terhadap kuat Lentur”. Beton yang berbentuk dengan potongan kecil-kecil berukuran panjang 2 cm dan lebar 2 mm. Pada penelitian ini menggunakan potongan karet ban dengan persentase 5%, 10%, dan 15% sebagai campuran beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat lentur beton seiring dengan peningkatan persentase potongan karet ban. Misalnya, pada persentase 5%, nilai kuat lentur rata-rata beton meningkat menjadi 4,31 MPa, 15% memiliki nilai kuat lentur rata-rata sebesar 4,82 MPa dibandingkan dengan beton normal yang memiliki nilai kuat lentur rata-rata 3,25 MPa. Penelitian ini membuktikan bahwa penambahan potongan karet ban secara positif mempengaruhi nilai kuat lentur beton dan cocok digunakan pada berbagai struktur konstruksi. Peningkatan kuat lentur yang optimal di persentase 10% sebesar 4,82 MPa.

Tabel 2. 11 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	Nugroho	Pengaruh Substitusi Serbuk Karet Ban Bekas Sebagai Penganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton	Penelitian ini sama-sama menggunakan bahan dasar serbuk ban bekas Metode campuran <i>mix design</i> SNI 7656:2012	Substitusi material agregat halus Persentase (0%, 5%, 15%) Pengujian sampel (hanya 28 hari)
2.	Setiaji	Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton	Penelitian ini sama-sama menggunakan bahan limbah karet Mutu beton $f'c$ 20 MPa	Substitusi material agregat halus Persentase substitusi (0%, 5%, 10%, 15%) Tinjauan analisis Modulus Elastisitas Beton Pengujian sampel (hanya umur 28 hari)
3.	Anggara & Firdaus	Pengaruh Penambahan Potongan Karet Ban Terhadap Kuat Lentur	Menggunakan bahan tambah yang terbuat karet Kuat lentur	Pengujian sampel (hanya umur 28 hari) campuran <i>mix design</i> SNI 03-2834-2000