

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1992) beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari beberapa kombinasi bahan seperti pasir, kerikil, semen, air serta bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu karena beton merupakan material komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. Campuran beton jika dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen, dan hal ini berjalan selama waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya. Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasarnya, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Beton juga dapat didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat. Secara umum beton merupakan hasil reaksi antara semen hidraulik dengan air. Komposisi bahan penyusun beton disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Penyusun Beton

Pengisi	Berat (%)
Semen Portland	7% - 15%
Agregat Kasar + Agregat Halus	60% - 80%
Air	14% - 21%
Udara	1% - 8%

Sumber: Sutikno (2003)

Mulyono (2004) menyatakan bahwa keunggulan dan kekurangan dari penggunaan beton dalam pengerjaan struktur bangunan sebagai berikut ini.

1. Keunggulan penggunaan beton dalam struktur bangunan adalah :
 - a. mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi,
 - b. mampu memikul beban yang berat,
 - c. tahan terhadap temperatur yang tinggi, dan
 - d. biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan penggunaan beton dalam struktur bangunan adalah :
 - a. bentuk yang telah dibuat sulit diubah,
 - b. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi,
 - c. berat, dan
 - d. daya pantul suara yang keras.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi, namun pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

3.2 Material Penyusun Beton

Mengetahui sifat dan karakteristik material penyusun beton merupakan hal yang sangat penting dilakukan sebelum merencanakan dan mengerjakan campuran beton. Beton merupakan material komposit yang tersusun dari semen, air, pasir agregat, dan bahan tambah lain. Setiap material penyusun mempunyai pengaruh dalam menentukan mutu beton yang akan dihasilkan.

3.2.1 Semen Portland (*Portland cement*)

Arti kata semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Menurut Standar Industri Indonesia, SII 0013-1981, definisi semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan

untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus. Kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas beton, yang mana semakin besar pemakaian semen maka beton semakin kuat, namun jika terlalu banyak juga tidak menjamin kekuatan yang baik (Nugraha dan Antoni, 2007).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), semen portland disebut juga semen hidraulis karena kemampuannya mengikat atau bereaksi dengan air dan mengeras didalam air. Semen berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat, selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi suatu masa padat atau kompak, walaupun jumlah berkisar 10% dari volume beton.

Jenis semen yang beredar dipasaran meliputi semen portland putih, semen portland mengacu pada SNI 15-2049-2004, semen portland komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen portland pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004 (Mulyono, 2004). Di dalam SNI 15-2049-2004 membagi semen Portland menjadi 5 kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya adalah sebagai berikut ini.

1. Jenis I, yaitu semen portland yang digunakan untuk bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang digunakan untuk bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang digunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang digunakan untuk bangunan yang memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang digunakan untuk bangunan yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Berdasarkan persentase kandungan penyusunnya, semen portland terdiri dari 5 tipe adalah sebagai berikut ini.

1. Semen portland tipe I adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C3S); 19% (C2S); 10%

- (C3A); 7% (C4AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO₃); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
2. Semen portland tipe II dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, contohnya bangunan untuk rumah tinggal ataupun gedung-gedung bertingkat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 51% (C3S); 24% (C2S); 6% (C3A); 11% (C4AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO₃); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
 3. Semen Portland tipe III dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, contohnya dari bangunan yang memerlukan semen tipe III adalah saluran irigasi, dam, bangunan pinggir laut dan bangunan bekas rawa. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO₃); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.
 4. Semen portland tipe IV dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, contohnya adalah pembuatan bangunan-bangunan bertingkat banyak, bangunan yang berada didalam air serta pembuatan jalan dari beton. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C3S); 49% (C2S); 4% (C3A); 12% (C4AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO₃); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.
 5. Semen Portland tipe V dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 38% (C3S); 43% (C2S); 4% (C3A); 9% (C4AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO₃); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

3.2.2 Agregat

Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat

sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Pada beton terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

Menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) agregat untuk beton harus memenuhi syarat berikut.

1. Agregat normal menggunakan persyaratan ASTM C33M.
2. Agregat ringan menggunakan persyaratan ASTM C330M.

Pada umumnya agregat yang dipakai untuk membuat campuran beton dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan karena sangat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Menurut PBI 1971, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus berbentuk butiran-butiran yang kuat serta tajam, bersifat tidak mudah hancur karena cuaca panas ataupun hujan.
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
- d. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1) (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut.
 - 1) Sisa diatas ayakan 4 mm , harus minimum 2% berat.
 - 2) Sisa diatas ayakan 1 mm , harus minimum 10% berat.
 - 3) Sisa diatas ayakan 0,25 mm , harus berkisar antara 80% - 90% berat.

2. Agregat kasar

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya.

Disebut agregat kasar jika sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in. (6 mm). (PBI, 1971). Menurut PBI 1971, Pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- a. Disebut agregat kasar karena tidak memiliki pori-pori yang lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya. Agregat kasar harus memiliki ketahanan yang baik dalam keadaan cuaca panas ataupun dingin.
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Jika melebihi 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- d. Menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) Ukuran Maksimum Agregat kasar harus tidak melebihi:
 - 1) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
 - 2) $\frac{1}{3}$ ketebalan slab, ataupun
 - 3) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

Batasan ini tidak berlaku bila dalam pertimbangan insinyur profesional bersertifikat, kelecakan (*workability*) dan metoda pemadatan adalah agar beton dapat dicor tanpa keropos atau rongga udara.

3.2.3 Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelican campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Menurut Nugraha dan Antoni (2007), air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya 50% dari berat semen saja, namun dalam

kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos.

Dalam SNI 2847-2013 disyaratkan air yang digunakan harus memenuhi ASTM C1602M atau SNI 03-7974-2013 (Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis), selain itu menurut Tjokrodinuljo (1996) dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi syarat :

1. kandungan lumpur maksimum 2 gram/liter,
2. kandungan garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik, dll) maksimum 15 gram/liter,
3. kandungan klorida (Cl) maksimum 0,5 gram/liter, dan
4. kandungan senyawa sulfat maksimum 1 gram/liter.

3.2.4 Rotan

Rotan termasuk ke dalam family *palmae* yang terdiri dari 170 genera dan lebih dari 1500 spesies yang tersebar di daerah tropis dan beberapa jenis di daerah beriklim sedang. Batang rotan terdiri dari ruas-ruas yang dibatasi oleh buku-buku dan panjang ruas tidak sama untuk setiap jenis rotan dengan diameter rotan antara beberapa millimeter sampai 56 milimeter (Abidin, 1972).

Menurut Menon (1979), berdasarkan ukuran diameter rotan dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu rotan besar (diameter lebih besar dari 18 mm) dan rotan kecil (diameter lebih kecil dari 18 mm), namun pada umumnya rotan dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. ukuran besar (diameter = 18 – 35 mm),
2. ukuran sedang (diameter = 10 – 17 mm), dan
3. ukuran kecil (diameter < 9 mm).

Rotan dimanfaatkan dalam bentuk bulat, kulit rotan atau hati rotan (core)

Dalam standardisasi rotan Indonesia persyaratan untuk menentukan mutu rotan didasarkan kepada sifat fisis, sifat kecacatan dan sifat mekanis. Dalam

Rancangan Standar Nasional Indonesia (1993), disebutkan bahwa syarat umum batang rotan adalah harus lurus dan keras.

Rotan yang digunakan pada penelitian ini dari jenis rotan cacing (*Calamus Heterodieus*) yang dibeli dari salah satu toko kerajinan rotan di daerah Kota Baru Yogyakarta. Toko kerajinan tersebut menyediakan berbagai produk kerajinan dari rotan serta menjual rotan mentah atau rotan lonjoran dengan beberapa ukuran dan harga yang berbeda. Rotan yang digunakan pada penelitian ini tergolong jenis rotan ukuran sedang dengan diameter batang 10 – 17 mm.

Harjoko (1994) melakukan penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik dari rotan. Rotan yang digunakan merupakan rotan dengan ukuran besar yang berasal dari 9 jenis dan habitat rotan yang bereda. Rotan jenis Balukbuk yang berasal dari daerah Jawa Barat memiliki kuat tarik terbesar dari kesembilan jenis rotan yang diuji. Kuat tarik rotan Balukbuk sebesar 949,62 kg/cm². Sifat fisik dan mekanik dari rotan bergantung pada jenis rotan, umur pemanenan rotan, dan lama waktu penyimpanan rotan.

3.3 Karakteristik Kekuatan Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1996), beton mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tarik belahnya. Kuat tarik belah beton antara 9%-15% dari kuat tekannya. Oleh sebab itu, pada bagian elemen struktur yang mengalami tarik belah diperkuat dengan memberi baja-tulangan, sehingga terbentuk suatu bahan struktur komposit yang disebut beton bertulang. Beton tanpa tulangan disebut beton polos (*plain concrete*).

Menurut Wang (1990), beton memiliki berbagai macam karakteristik. Karakteristik beton adalah sebagai berikut.

1. Beton mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik belah yang rendah.
2. Beton tidak dapat dipergunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung atau tarikan.
3. Beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik, sehingga akan terjadi retak yang semakin lama akan makin besar.

4. Proses kimia pengikatan semen dengan air menghasilkan panas dan dikenal dengan proses hidrasi.
5. Air berfungsi juga sebagai pelumas untuk mengurangi gesekan antar butiran sehingga beton dapat dipadatkan dengan mudah.
6. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan akan menyebabkan butiran semen berjarak semakin jauh sehingga kekuatan beton akan berkurang.
7. *Mix design* dibuat rekayasa untuk memeriksa dan mengetahui perbandingan campuran agar dihasilkan kekuatan beton yang tinggi.
8. Selama proses pengerasan campuran beton, kelembaban beton harus dipertahankan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan.
9. Setelah 28 hari, beton akan mencapai kekuatan penuh dan elemen konstruksi akan mampu memikul beban luar yang bekerja padanya.
10. Untuk menjaga keretakan yang lebih lanjut pada suatu penampang balok, maka dipasang tulangan baja pada daerah yang tertarik.
11. Pada beton bertulang memanfaatkan sifat beton yang kuat dalam menerima gaya tekan serta tulangan baja yang kuat menerima gaya tarik.
12. Ditinjau dari segi biaya, beton menawarkan kemampuan tinggi dan harga yang relative rendah.
13. Beton hampir tidak memerlukan perawatan dan masa konstruksinya mencapai 50 tahun serta elemen konstruksinya yang mempunyai kekakuan tinggi serta aman terhadap bahaya kebakaran.
14. Salah satu kekurangan yang besar adalah berat sendiri konstruksi.
15. Kelemahan lainnya adalah perubahan volume sebagai fungsi waktu berupa susut dan rangkak.

3.4 Kuat Tekan Beton

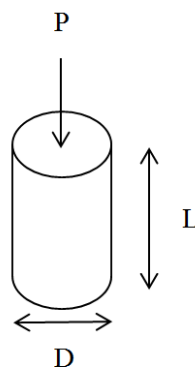
Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton sudah tinggi, maka sifat-sifat lainnya juga baik.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum $f'c$ dengan satuan N/m^2 atau MPa (Mega Pascal). Sebelum diberlakukannya system satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan satuan kgf/cm^2 . Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai $\pm 10-65$ MPa. Untuk beton bertulang umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi, berkisar antara 30-45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dan untuk memproduksi beton kuat tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium.

Menurut Mulyono (2004), faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah :

1. proporsi bahan-bahan penyusunnya,
2. metode perancangan,
3. perawatan, dan
4. keadaan pada saat dilakukan percobaan.

Prosedur pengujian berdasarkan SNI 03-6805-2002 benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris kuat tekan dapat didefinisikan sebagai ketahanan maksimum diukur dari benda uji beton untuk beban aksial. Berikut adalah gambar dari benda uji beton silinder dengan pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan :

- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa),
- P = beban Maksimum, dan
- A = luas penampang benda uji.

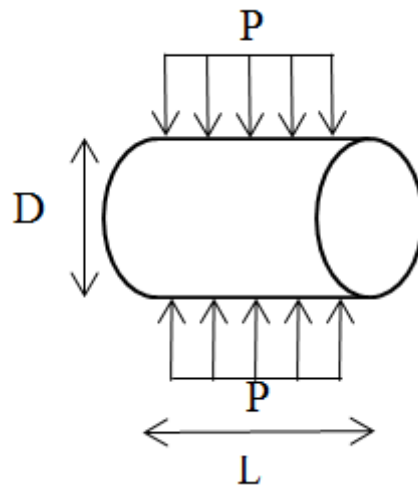
3.5 Kuat Tarik Belah Beton

Menurut Wang, (1990), kekuatan beton di dalam tarik belah beton adalah suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kuat tarik belah beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan utama dari kuat tarik belah yang kecil ini adalah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Retak-retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekanan. Jelas ini tidak terjadi bila balok menerima beban Tarik belah.

Meskipun diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik belah tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa besar retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik belah dari batang beton diketahui selalu akan mengurangi jumlah lendutan. (Karena kuat tarik belah beton tidak besar, hanya sedikit usaha yang dilakukan untuk menghitung modulus elastisitas tarik belah dari beton. Namun, berdasarkan informasi yang terbatas ini, diperkirakan bahwa nilai modulus elastisitas tarik belah beton sama dengan modulus elastisitas tekannya.

Kekuatan tarik belah ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split-cylinder*) menurut ASTM C496 silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya diatas mesin uji dengan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji. Benda uji silinder akan terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik belah.

Metode yang digunakan mengacu pada SNI 03-2491-2002. Berikut adalah gambar pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$f_t = 2 P / \pi L D \quad (3.2)$$

dengan:

f_t = kuat tarik belah,

P = baban pada waktu belah,

L = panjang benda uji silinder, dan

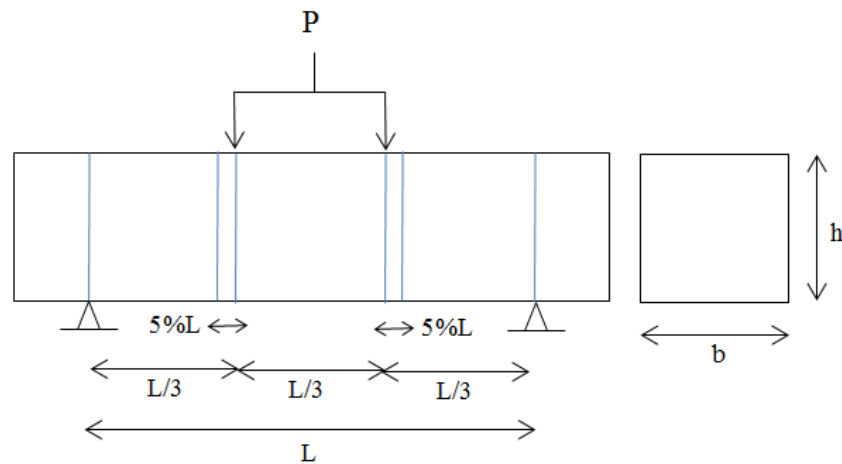
D = diameter benda uji silinder.

3.6 Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji (SNI 03-4431-1997). Kuat lentur beton dihitung dengan ketentuan dan rumus-rumus yang tergantung metoda pengujian atau sistem pembebanan, sebagai berikut ini.

1. Sistem pembebanan dua titik

Sketsa pengujian kuat lentur balok beton dengan sistem pembebanan dua titik dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sketsa Pengujian Kuat Lentur Balok Pembebanan Dua Titik

Pengujian kuat lentur balok beton dengan pembebanan dua titik dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 berikut :

- a. Bila akibat pengujian patahnya benda uji berada didaerah pusat pada $1/3$ jarak titik perletakan pada bagian tarik beton, maka dihitung menurut Persamaan 3.3.

$$f_{lt} = \frac{P L}{b h^2} \quad (3.3)$$

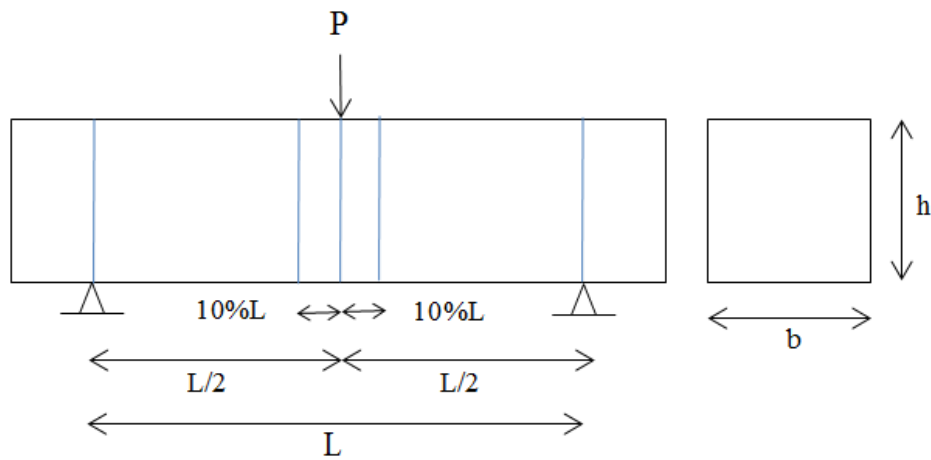
- b. Bila akibat pengujian benda uji patah diluar pusat (diluar $1/3$ jarak titik perletakan) dibagian tarik beton, dan jarak antara titik patah dan titik pusat (beban) kurang dari 5% jarak titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut Persamaan 3.4.

$$f_{lt} = \frac{3 P c}{b h^2} \quad (3.4)$$

- c. Untuk benda uji akibat pengujian patah diluar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik patah dan titik pembebanan lebih dari 5% bentang, maka hasil pengujian tidak dipergunakan.

2. Sistem pembebanan satu titik

Sketsa pengujian kuat lentur balok beton dengan sistem pembebanan satu titik dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Sketsa Pengujian Kuat Lentur Balok Pembebanan Satu Titik

Pengujian kuat lentur balok beton dengan pembebanan satu titik dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 berikut :

- a. Bila akibat pengujian benda uji patah tepat berada dibawah beban (di tengah benda uji), maka dihitung menurut Persamaan 3.5.

$$f_{lt} = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad (3.5)$$

- b. Bila akibat pengujian benda uji patah tidak tepat di bawah beban dibagian tarik beton, dan jarak titik patah dan titik beban kurang dari 10% jarak titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut Persamaan 3.6.

$$f_{lt} = \frac{3 P c}{b h^2} \quad (3.6)$$

- c. Untuk benda uji akibat pengujian patah diluar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik patah dan titik pembebanan lebih dari 5% bentang, maka hasil pengujian tidak dipergunakan.

dengan:

f_{lt} = kuat lentur benda uji,

P = baban maksimum,

L = panjang bentang antara dua perletakan,

b = lebar tampang lintang patah,

h = tinggi tampang lintang patah, dan

c = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan terdekat, diukur pada empat tempat pada sisi titik dari bentang.

3.7 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) adalah proses merancang dan memilih bahan material yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu dan secara ekonomis. Metode perencanaan campuran adukan beton yang dilakukan yaitu sesuai dengan SNI-03-2834-2000. Adapun tata acara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-03-2834-2000 adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu.
Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut ini.
 - a. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.
 - b. Beton dengan nilai $f'c$ lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan.
 - c. Beton dengan nilai $f'c$ hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.
2. Menentukan nilai deviasi standar (ds)
Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya, yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut, dengan nilai faktor pengali yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Rumus Deviasi Standar
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

3. Mencari nilai tambah untuk kuat desak rencana (M) dengan Persamaan 3.7.

$$M = 1,64 \times s \quad (3.7)$$

dengan:

M = nilai tambah,

1,64 = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%, dan

s = deviasi standar rencana.

4. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) dengan Persamaan 3.8.

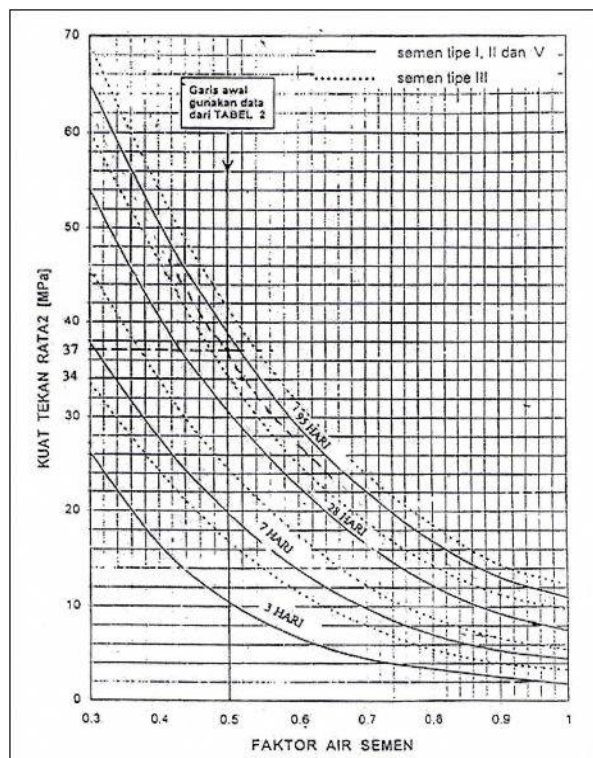
$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.8)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa), dan

M = nilai tambah (MPa).

5. Menentukan jenis semen yang digunakan.
6. Menentukan jenis agregat yang digunakan. Agregat yang digunakan sebagai berikut :
- agregat halus (pasir) alami, dan
 - agregat kasar (kerikil) batu pecah.
7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan menurut Gambar 3.1.



Gambar 3.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

8. Menentukan nilai slump

Penetapan nilai *slump* dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. *Slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan di ratakan.

9. Menghitung besar butir agregat maksimum dihitung berdasarkan ketentuan yaitu seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan.

10. Menghitung kadar air bebas sgregat campuran (agregat tak dipecahkan dan agregat dipecahkan) dihitung dengan Persamaan 3.9.

$$\text{Kadar air bebas} = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (3.9)$$

dengan :

W_h = Perkiraan Jumlah air untuk agregat halus, dan

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

Adapun nilai W_h dan W_k diperoleh berdasarkan Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Slump			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 100
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

a. Jumlah kadar air yang dipakai per m^3 beton

1) Dengan menggunakan Tabel 3.6

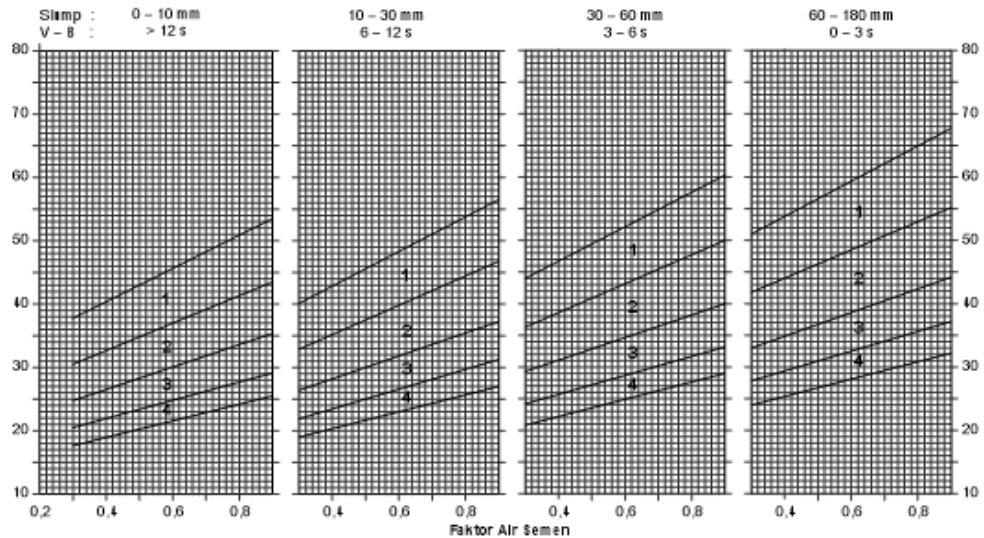
Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.6 yang sudah tertera dalam perhitungan nilai FAS dan kondisi lingkungan beton.

2) Dengan menggunakan rumus

Jumlah kadar air per m^3 beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.10.

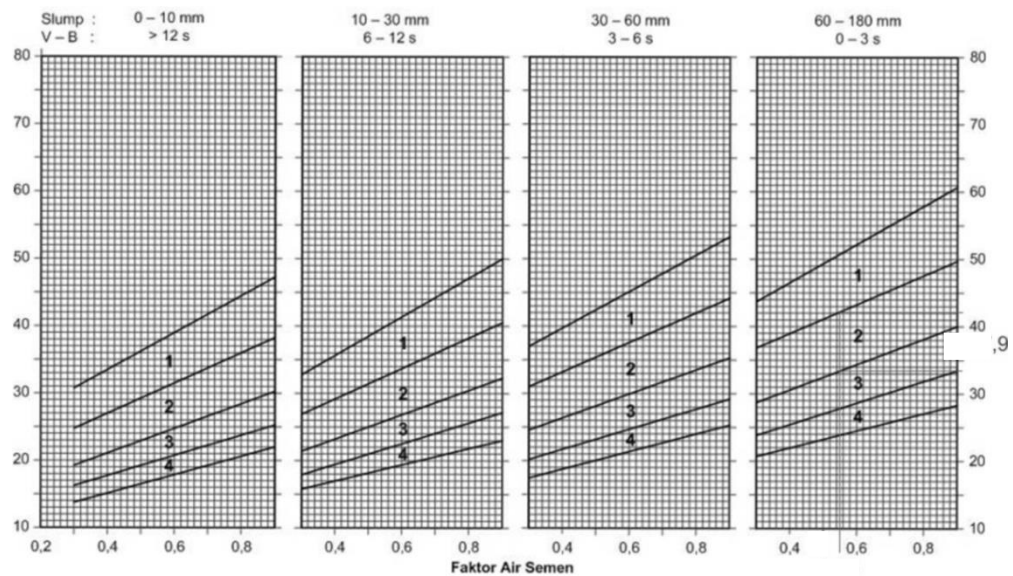
$$\text{Jumlah semen minimum per m}^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.10)$$

- b. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2000)



Gambar 3.7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2000)

Adapun dalam menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 adalah sebagai berikut:

- 1) Pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 diatas, tentukan grafik yang akan dipakai berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang direncanakan.
- 2) Tarik garis vertikal ke atas sampai ke kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- 3) Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas maupun kurva batas bawah yang berada didaerah gradasi dan catat nilainya
- 4) Ambil rata-rata dari kedua nilai tersebut

Untuk nilai persentase agregat kasar dihitung dengan Persamaan 3.11.

$$\text{Nilai persentase agregat kasar} = 100\% - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.11)$$

11. Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relatif agregat diambil berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan Persamaan 3.12.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.12)$$

dengan :

BJ_{AG} = berat jenis agregat gabungan,

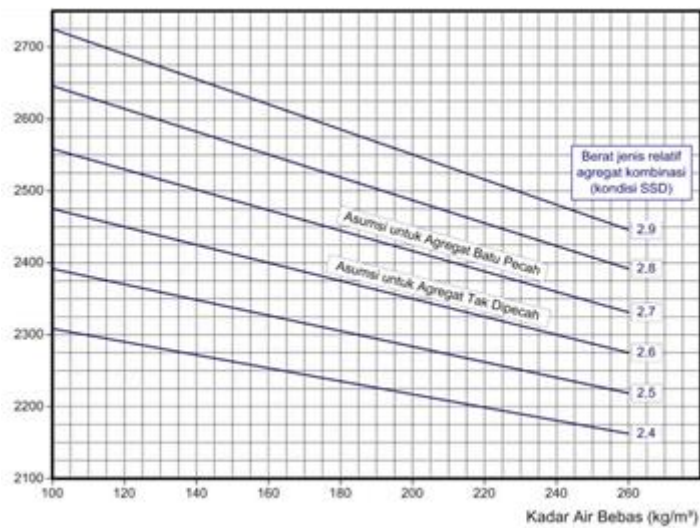
BJ_{AH} = berat jenis agregat halus,

BJ_{AK} = berat jenis agregat kasar,

$\% AH$ = persentase agregat halus, dan

$\% AK$ = persentase agregat kasar.

12. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2000)

Adapun langkah-langkah untuk mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.8 tersebut adalah sebagai berikut.:

- pada Gambar 3.8 diatas, tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik, dan
- tarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan nilai kadar air bebas Kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis diatas dan catat nilainya.

13. Menghitung kadar agregat gabungan dengan Persamaan 3.13.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} \\ &\quad - \text{kadar air bebas} \end{aligned} \quad (3.13)$$

14. Menghitung kadar agregat halus dengan Persamaan 3.14.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.14)$$

15. Menghitung kadar agregat kasar dengan Persamaan 3.15.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.15)$$

16. Menghitung proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Dari hasil perhitungan diatas, maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton.

17. Menghitung berat masing-masing bahan dalam setiap variasi campuran.