

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton merupakan suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen Portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel agregat dan setelah beton segar dicor, ia akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air sehingga membentuk suatu bahan struktural yang padat dan dapat tahan lama (dalam M.I, Saifuddin, 2012).

Mulyono (2004), mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah. Menurut Asroni (2010), secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambahkan pula campuran bahan lain (admixture) untuk memperbaiki kualitas beton. Berdasarkan berat isinya beton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu beton ringan, berat, dan normal. Umumnya beton dibuat dengan menggunakan bahan agregat yang mempunyai kepadatan seperti yang diinginkan. Beton yang memakai agregat ringan akan membentuk berat isi menjadi ringan. Agregat ringan yang berasal dari alam yang disebut dengan agregat alami sedangkan agregat yang berasal dari proses pemanasan atau pembakaran material lain disebut agregat ringan buatan. Secara umum, Beton Berdasarkan Kelas dan Mutu Beton, kelas dan mutu beton ini dibedakan menjadi 3 kelas yaitu :

1. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural, untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan mutu kelas I dinyatakan dengan B0.
2. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum, pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi

dalam mutu-mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1 pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan pada mutu-mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.

3. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225, pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

2.2 Beton Serat

Beton serat merupakan beton yang terdiri dari semen hidrolik, air, agregat halus, agregat kasar dan serat (serat baja, plastik, glass maupun serat alami) yang disebar secara diskontinu. Tjokrodinuljo mendefinisikan beton serat (fiber concrete) sebagai bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat (batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500 μm dengan panjang sekitar 2,5 mm sampai 10 mm). Penambahan serat pada beton dimaksudkan untuk memperbaiki kelemahan sifat yang dimiliki oleh beton yaitu memiliki kuat tarik yang rendah.

Beton serat adalah beton yang cara pembuatannya ditambah serat. Tujuan penambahan serat tersebut adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, sehingga beton tahan terhadap gaya tarik akibat, cuaca, iklim dan temperatur yang biasanya terjadi pada beton dengan permukaannya yang luas. Jenis serat yang dapat digunakan dalam beton serat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Serat Alam, serat alami umumnya terbuat dari bermacam-macam tumbuhan. Sifat umumnya mudah menyerap dan melepaskan air. Serat alam mudah lapuk sehingga tidak dianjurkan pada beton bermutu tinggi atau untuk penggunaan khusus.

2. Serat Buatan, serat buatan umumnya dibuat dari senyawa polimer. Mempunyai ketahanan tinggi terhadap perubahan cuaca. Mempunyai titik leleh, kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi. Digunakan untuk beton bermutu tinggi dan akan digunakan secara khusus.

2.2.1 Kelebihan Beton Serat

Beton serat mempunyai kelebihan dibanding beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturnya antara lain keliatan (ductility), ketahanan terhadap beban kejut (impact resistance), kuat tarik dan lentur (tensile and flexural strength), kelelahan (fatigue life), ketahanan terhadap pengaruh susut (shrinkage) dan ketahanan terhadap keausan (abrasion).

Menurut As'ad (2008), beton serat memberi banyak keuntungan antara lain:

- Serat terdistribusi secara acak di dalam volume beton pada jarak yang relatif dekat satu sama lain. Hal ini akan memberi tahanan berimbang ke segala arah dan memberi keuntungan material struktur yang dipersiapkan untuk menahan beban gempa dan angin.
- Perbaikan perilaku deformasi seperti ketahanan terhadap impak, daktilitas yang lebih besar, kuat lentur, dan kapasitas torsi yang lebih baik.
- Meningkatkan ketahanan beton terhadap formasi dan pembentukan retak.
- Peningkatan ketahanan pengelupasan (spalling) dan retak pada selimut beton akan membantu menghambat korosi besi tulangan dari serangan kondisi lingkungan yang berpotensi korosi.

2.2.2 Kekurangan Beton Serat

Terdapat beberapa kelemahan dari beton serat :

1. Penambahan serat menyebabkan beton menjadi sulit untuk dipadatkan
2. Penambahan serat umumnya akan menurunkan kekuatan tekan beton.
3. Proses pengerjaan lebih sulit dari beton biasa.

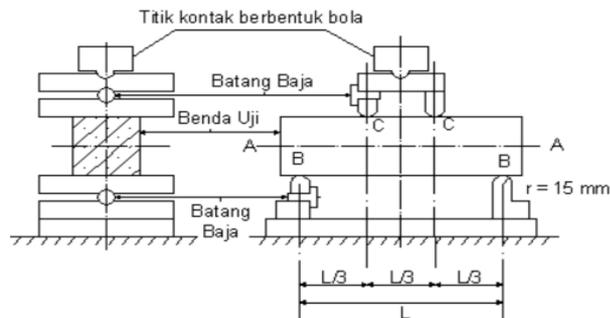
2.3 Sifat dan Karakteristik Beton

Beton memiliki sifat dan karakteristik sebagai berikut :

2.3.1 Kuat Lentur

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang di hasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang balok uji kuat lentur. Kuat lentur merupakan bagian penting didalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu pengujian kuat lentur diadakan untuk pembuatan beton konstruksi jalan raya dan lapangan terbang, kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan 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).

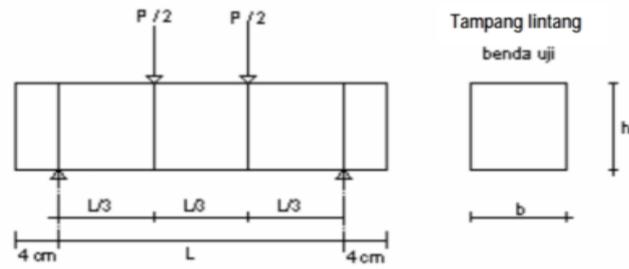
Pengujian dapat dilakukan dengan membelah benda uji berupa balok oleh suatu tekanan arah vertikal ke arah balok untuk mendapatkan apa yang disebut kekuatan lentur. Pada mesin penguji ditambahkan suatu batang agar dapat membagi beban merata pada panjang balok dari beban maksimal yang diberikan.



Gambar 2.1 Benda uji, Perletakan dan pembebanan

Keterangan gambar :

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



Gambar 2.2 garis-garis perletakan dan pembebanan

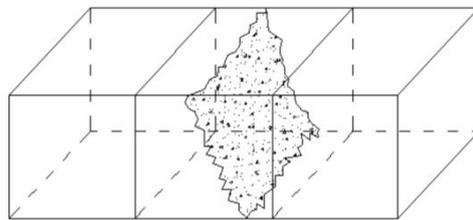
Keterangan gambar :

- L : Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (cm)
- B : Lebar tampak lintang benda uji (cm)
- H : Tinggi tampak benda uji (cm)
- P : Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)

Rumus Perhitungan Kuat Lentur

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur beton dalam mega pascal (MPa) adalah sebagai berikut :

1. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tengah dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan.



Gambar 2.3 Patah Pada 1/3 Bentang

$$\sigma_l = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana : σ_l = kekuatan lentur (MPa)

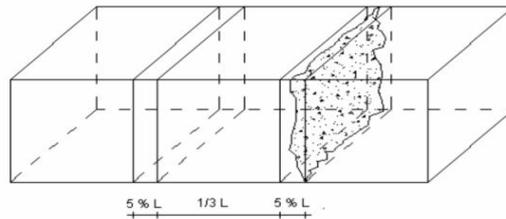
P = beban maksimal yang diberikan (N)

L = panjang (mm)

b = lebar (mm)

h = tebal/tinggi (mm)

- Untuk Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan :



Gambar 2.4 Patah Pada 1/3 Bentang dan Garis Patah <5% dari bentang

$$\sigma_l = \frac{Pa}{bh^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana : σ_l = kuat lentur(MPa)

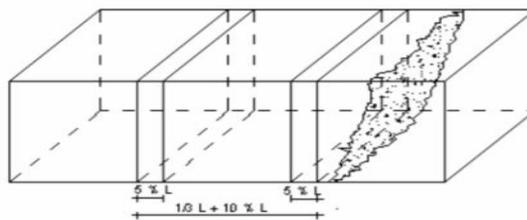
P = beban maksimal yang diberikan (N)

a = Jarak rata-rata antar tampang lintang patah (mm)

b = lebar benda uji(mm)

h = tinggi benda uji (mm)

- Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang hasil pengujian tidak dipergunakan.



Gambar 2.5 Patah Pada 1/3 Bentang dan Garis Patah >5%

1.3.3.

2.3.2 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan.

Besarnya kuat tekan benda uji dapat dihitung dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

$f'c$ = kuat tekan beton, (MPa).

P = beban tekan, (N).

A = luas permukaan benda uji

2.3.3 Kuat Tarik

Kuat tarik adalah ukuran kuat beton yang diakibatkan oleh suatu gaya yang cenderung untuk memisahkan sebagian beton akibat tarikan. Kuat tarik beton berkisar seper-delapan belas kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar seperduapuluh sesudahnya. Kuat tarik juga merupakan bagian penting didalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Pengujian kuat tarik biasanya diadakan untuk pembuatan konstruksi jalan raya dan lapangan terbang. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (brittle). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (ductile). Kekuatan tarik umumnya digunakan dalam mendesain bagian dari suatu struktur yang

bersifat ductile dan brittle yang bersifat tidak statis, dalam arti selalu menerima gaya dalam jumlah besar, meski benda tersebut tidak bergerak

Nilai kuat tarik langsung beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

: $f_{ct} = P / A$ (2) dimana :

f_{ct} : Kuat Tarik beton (MPa)

P : beban tekan (N)

A : luas bidang tekan (mm²)

2.3.4 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa berat jenisnya antara 2,5-2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3-2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis beton	Jenis beton	Jenis beton
Beton sangat ringan	< 1.00	Non struktur
Beton ringan	1.00-2.00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2.30-2.50	Struktur
Beton serat	>3.00	Perisai sinar X

Sumber : Tjokrodimuljo (2007)

2.3.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastinya, dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$1. E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$2. E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ untuk beton normal} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana, E_c = modulus elastisitas beton, MPa.

W_c = berat jenis beton, Kg/dm³.

f'_c = kuat lentur beton, MPa.

2.3.6 Susutan Pengerasan

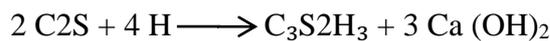
Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dari pada volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras beton mengalami sedikit penyusutan karena penguapan air. Bagian yang susut adalah pastinya karena agregat tidak merubah volume oleh karena itu semakin besar pastinya semakin besar penyusutan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

2.3.7 Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak bocornyalnya : plat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan sebagainya.

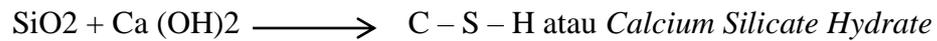
2.4 Bahan Penyusun Beton

Proses pengerasan beton dimulai dengan terjadinya proses hidrasi semen yang merupakan pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* ($C_3S_2H_3$) dari *Tricalcium Silicate*, *Dicalcium Silicate* dan air.



$C_3S_2H_3$ merupakan senyawa yang memperkuat beton sedangkan $Ca(OH)_2$ (kapur mati) adalah senyawa yang porous yang memperlemah beton dengan adanya unsur silika tambahan dari bahan tambah semen diharapkan $Ca(OH)_2$ (kapur mati) akan bereaksi kembali dengan silika tersebut dan membentuk $C_3S_2H_3$ yang mengurangi terbentuknya $Ca(OH)_2$ sehingga dapat mempertinggi

beton reaksi unsur silika dengan kapur bebas tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:



Perlu dipilih bahan - bahan yang sesuai dicampur dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat khusus yang diinginkan untuk tujuan tertentu dengan cara yang paling ekonomis, pemilihan dari bahan dan cara konstruksi tidak mudah dikerjakan karena terdapat variasi yang mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan dalam hal ini kualitas dan faktor ekonomi.

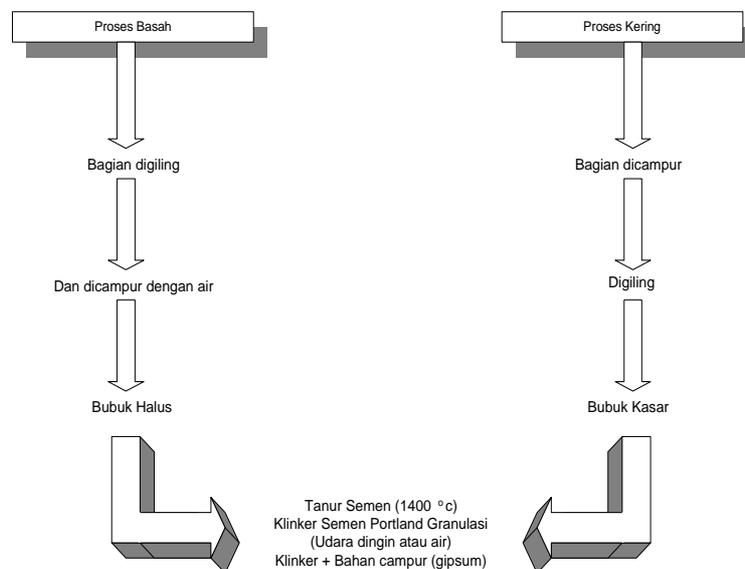
2.4.1 Semen Portland

Semen Portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan di seluruh dunia sebagai bahan dasar beton, mortar, plester dan adukan non spesialisasi. Semen Portland bersifat kaustik sehingga bisa menyebabkan luka bakar kimia bubuk tersebut dapat menyebabkan iritasi atau dengan paparan yang parah kanker paru-paru dan dapat mengandung beberapa komponen berbahaya seperti kristal silika dan kromium heksavalensi, biaya rendah dan ketersediaan batu kapur, serpih, dan bahan alami lainnya yang banyak digunakan di semen portland menjadikan salah satu bahan dengan biaya terendah yang banyak digunakan diseluruh dunia beton yang dihasilkan dari semen portland adalah salah satu bahan konstruksi paling serbaguna yang tersedia didunia.

Semen merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling kinker yang di dapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumunia, dan oxid besi, dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup, bubuk halus ini bila dicampur dengan air selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis Tjokrodimulyo (1989). Fungsi semen ialah bereaksi dengan air menjadi pasta semen pasta semen berfungsi untuk melekatkan butiran-

butiran agregat agar menjadi suatu kesatuan massa yang kompak/padat selain itu pasta semen mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat ataupun volume semen hanya kira-kira 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan perekat yang aktif dan mempunyai harga yang mahal dari pada bahan dasar beton yang lain maka perlu diperhatikan atau dipelajari secara baik Tjokoridimulyo (2004), dalam M.I, Saifuddin (2012).

Semen Portland diproduksi untuk pertama kalinya pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin dengan memanaskan suatu campuran tanah liat yang dihaluskan dengan batu kapur atau kapur tulis dalam suatu dapur sehingga mencapai suatu suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan gas asam karbon. Proses kering dan proses basah merupakan dua cara produksi yang dipergunakan dalam pembuatan semen seperti yang diuraikan dalam Gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Proses Pembuatan Semen

Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu : *trikalsium silikat* (C3S), *dikalsium silikat* (C2S), *trikalsium aluminat* (C3A), dan *tetrakalsium aluminoforit* (C4AF), selain itu pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil misalnya : MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O dan Na₂O. Soda atau potasium (Na₂O dan K₂O) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam

agregat sehingga menimbulkan disintegrasi beton Neville dan Brooks (1987). Unsur C3S dan C2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen Tjokrodimuljo (1996). Bila semen terkena air maka C3S akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur C2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari, unsur C3A bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam semen yang mengandung unsur C3A lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat unsur yang paling sedikit dalam semen adalah C3AF sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton.

Menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bukan Logam (SK SNI S- 04-1989F) semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut ini :

- ..3.1.1 Jenis I, yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- ..3.1.2 Jenis II, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- ..3.1.3 Jenis III, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi .
- ..3.1.4 Jenis IV, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- ..3.1.5 Jenis V, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat proses hidrasi yang terjadi pada semen *portland* dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :

$$2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$$

$$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$$
 Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung hasil yang lain berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan sisa dari reaksi antara C3S dan C2S dengan air, kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung

melemahkan beton karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

Tabel 2.2 Berat Isi Campuran Beton Semen

No	Nama Bahan	Minimum (T/m ²)	Maksimum (T/m ²)	Keterangan
1	Beton semen >K125 dst	2.240	2.420	
2	Beton karet	2.240	2.380	s/d 9% berat
3	Beton serat (<i>fiber</i>)	2.240	2.389	s/d 4% berat
4	Beton ringan	1.440	1.840	www.NRMCA.org
5	<i>Lean concrete</i>	2.200	2.360	
6	Mortar busa	0.600	0.800	

Sumber : Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian (2016)

2.4.2 Air

Faktor air sangat mempengaruhi dalam pembuatan beton karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat, air adalah alat untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penggunaan beton jumlah air yang digunakan tentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan organik yang dapat merusak beton atau tulangnya (Tata Cara Perhitungan Setandar Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002). Selain untuk reaksi pengikatan dapat juga untuk perawatan sesudah beton dituang air untuk perawatan (*curing*) harus memiliki syarat-syarat yang lebih tinggi dari air untuk pembuatan beton keasamannya tidak boleh atau $\text{PH} > 6$ juga tidak dibolehkan terlalu sedikit mengandung kapur.

Didalam campuran beton air mempunyai dua buah fungsi yaitu :

1. Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau pengerjaan beton.

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton kandungan kurang dari 1000 ppm (*parts per million*) masih diperbolehkan meskipun konsentrasi lebih dari 20 ppm sebaiknya dihindari. Pengaruh kotoran pada air secara umum bisa mengakibatkan gangguan pada hidrasi dan pengikatan, gangguan pada kekuatan dan ketahanan, perubahan volume yang mengakibatkan keretakan, korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton, bercak-bercak pada permukaan beton.

2.4.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga hasil mesin pemecah batu alami, agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting kandungan agregat pada beton kira-kira 70% - 75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton sifat yang paling penting dari suatu agregat ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia serta ketahanan terhadap penyusutan, agregat yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, keras, bebas dari sifat penyerapan secara kimia, tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur dan distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan yang berlaku.

Gradasi (pembagian distribusi butir, grading) ialah distribusi ukuran butir agregat gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat halus kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi, gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan ayakan berikutnya kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima yaitu :

1. Volume udara, udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton terutama setelah terbentuknya pasta semen.
2. Volume padat kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton jadi.
3. Berat jenis agregat, berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
4. Penyerapan, penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat, kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran. Pada umumnya agregat digolongkan dalam tiga kelompok, yaitu :
 1. Batu, untuk butiran antara lebih dari 5 mm dari 40 mm.
 2. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
 3. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan, sifat-sifat ini harus diketahui dan dipelajari agar kita dapat mengambil tindakan yang positif dalam mengatasi masalah-masalah yang timbul. Sifat-sifat tersebut adalah sebagai berikut : serapan air dan kadar air agregat, berat jenis dan daya serap agregat, gradasi agregat, modulus halus butir, ketahanan kimia, kekekalan, perubahan volume, karakteristik panas (sifat thermal agregat).

2.4.3.1 Agregat Halus (pasir)

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4.8 mm agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Agregat halus dapat digolongkan menjadi 5 (lima) macam Hanafiah (2010), yaitu :

- 1) Pasir sungai Pasir ini biasanya dengan kandungan lumpur yang lebih tinggi bentuk butirannya membulat.

- 2) Pasir gunung jenis pasir ini biasanya berupa hasil letusan gunung berapi, mempunyai bentuk butiran yang menyudut dan biasanya mempunyai kadar lumpur yang lebih rendah.
- 3) Pasir laut, bila akan memakai pasir laut, perlu dicuci dahulu, dan untuk pekerjaan-pekerjaan tertentu perlu diadakan penelitian.
- 4) Pasir dari batu pecah pasir ini biasanya diperoleh dari pemecahan bongkahan batu saat membuat batu pecah alami (*natural crushed stone*). Bentuk butirannya pipih dan lebih tajam sehingga akan mengurangi *workability* dan menghasilkan beton yang lebih berat.
- 5) Pasir kwarsa, pasir kwarsa biasanya diperoleh dari suatu penambangan di darat, dan kandungan terbesarnya adalah silika. Beton dari pasir kwarsa akan memberikan *bleeding* yang berlebihan dan harus diperiksa kemungkinan terjadinya AAR. (*Alkali Aggregate Reaction*).

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 tentang tata cara pencampuran beton kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- 1) Pasir harus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan adanya bentuk pasir yang tajam maka kaitan antara agregat akan lebih baik sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
- 2) Butirnya harus bersifat kekal, sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
- 3) Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 15% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
- 4) Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak. Gradasinya harus memenuhi syarat. Seperti tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
	Kasar	Agak Kasar	Halus	Aga Halus
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	90-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Mulyono (2004)

ASTMC.33-86 “*Standard Specification for Concret Anggregates*” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C.33-86

No	Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif
1	9.5	100
2	4.75	95-100
3	2.36	80-100
4	1.18	50-85
5	0.6	25-60

6	0.3	10-30
7	0.15	20-10

Sumber :Mulyono (2003)

2.4.3.2 Agregat Kasar (Split)

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) biasa juga di sebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dengan butirannya berukuran antara 4,67 mm – 150 mm. Ketentuan agregat kasar anataralain harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton seperti zat relatif alkali, batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dengan butirannya berukuran antara 4,67 mm-150mm ketentuan agregat kasar antara lain harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berfori, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton seperti zat relatif alkali.Menurut *British Standard (B.S)* gradasi agregat kasar (kerkil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas yang tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Syarat Agregat Kasar Menurut *British Standard*

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12.5	-	-	90-100
10	1.0-35	25-55	40-85
4.8	0-5	0-10	0-10

Sumber : Mulyono (2003)

2.5 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton Segar

Sifat dan karakteristik campuran beton segar secara tidak langsung akan mempengaruhi beton yang mengeras pasta semen tidak bersifat elastis sempurna tetapi *viscoelastic-solid* yaitu mampu dibentuk tanpa kehilangan kontinuitas dan mempertahankan suatu bentuk karena butir semen dan buih udara disebut dalam air dan khususnya karena gaya-gaya interpartikal cenderung memegang butir bersama sekaligus mencegah kontak langsung. Gaya gesek dalam susut dan tegangan yang terjadi biasanya tergantung dari energi tergantung dari jumlah dan distribusi air kekentalan aliran gel (pastasemen) dan penanganan pada saat sebelum terjadi tegangan serta *kristalin* yang terjadi untuk pembentukan porinya. Selain kekuatan pasta semen hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah agregat karena proporsi campuran agregat dalam beton adalah 70-80% sehingga pengaruh agregat akan menjadi besar baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi teknik semakin baik mutu agregat yang digunakan, secara linier dan tidak langsung akan menyebabkan mutu beton menjadi baik begitu juga sebaliknya.

Dalam pengerjaan beton segar tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah *workability* (kemudahan pengerjaan), *segregation* (pemisahan kerikil), dan *bleeding* (naiknya air).

3. *Workability* (Kemudahan Pengerjaan)

Kemudahan pekerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton semakin mudah pengerjaannya percobaan slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain: jumlah air pencampur, kandungan semen, gradasi campuran pasir dan kerikil, bentuk butiran agregat kasar, butir maksimum, cara pemadatan dan alat pemadatan.

4. *Segregation* (Pemisahan Kerikil)

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton *segregasi* ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya: (a) Campuran kurus kurang semen, (b) Terlalu banyak air, (c)

Besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm dan (d) Permukaan butir agregat kasar, semakin kasar permukaan butir agregat semakin mudah terjadi *segregasi*. Kecenderungan *segregasi* ini dapat dicegah jika : tinggi jatuh diperpendek, penggunaan air sesuai syarat, cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan, ukuran agregat sesuai dengan syarat dan pemadatan baik.

5. *Bleeding* (Naiknya Air)

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*) *bleeding* ini dipengaruhi oleh: susunan butir agregat, banyaknya air, kecepatan hidrasi dan proses pemadatan. *Bleeding* dapat dikurangi dengan cara : memberi banyak semen, menggunakan air sesedikit mungkin, menggunakan butir halus lebih banyak dan memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

2.6 Pengujian Bahan-Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian bahan ini meliputi pemeriksaan bahan agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah lainnya. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium.

2.6.1 Pemeriksaan Berat Volume Agregat

1) Prosedur Pelaksanaan

Agregat dimasukkan ke dalam talam sekurang-kurangnya kapasitas wadah, kemudian dikeringkan dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat menjadi tetap untuk digunakan sebagai benda uji berat isi padat agregat dengan cara penusukan :

1. Berat wadah timbangan dan dicatat (W_1).
2. Wadah diisi dengan benda uji dengan tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis didapatkan dengan tongkat yang ditusukan sebanyak 25 kali secara merata.
3. Permukaan benda uji diratakan dengan menggunakan mistar perata.
4. Benda uji timbangan dan dicatat, (W_2).
Benda uji timbangan, ($W_3 = W_2 - W_1$)

2) Perhitungan

$$\text{Berat isi Agergat} = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)(2.3)}$$

Dengan : V adalah isi wadah (dm^3)

3) Hasil Pemeriksaan.

2.6.2 Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

1. Perosedur Pelaksanaan

- Benda uji di keringkan didalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat contoh besar.
- Contoh dicurahkan pada perangkat saringan diguncang dengan dari saringan paling besar diatas perangkat saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

2. Perhitungan

Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing–masing saringan terhadap berat total benda uji hitung.

3. Hasil Perhitungan.

2.6.3 Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Agregat Halus

- Prosedur Pelaksanaan

1. Contoh benda uji dimasukan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
3. Gelas di kocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
4. Gelas di simpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur

- Perhitungan

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1+V_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

- Hasil pemeriksaan.

2.6.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

- Prosedur Pelaksanaan

1. Berat talem ditimbang dan dicatat, (W_1).
2. Benda uji dimasukkan kedalam talem dan kemudian berat talem + benda uji ditimbang kemudian dicatat, (W_2).
3. Berat benda uji dihitung, ($W_3 = W_2 - W_1$)
4. Contoh benda uji dikeringkan bersama talem dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai bobot tetap.
5. Setelah kering, contoh timbangan dan dicatat berat benda uji beserta talem (W_4).
6. Berat benda uji kering dihitung, ($W_5 = W_4 - W_1$)

- Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan: W_3 = Berat contoh semula (gram)

W_5 = Berat contoh kering (gram)

2.6.5 Analisis Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

- Prosedur pelaksanaan

1. Agregat halus yang jenuh air dikeringkan sampai di peroleh kondisi dengan indikasi contoh tercurah dengan baik.
2. Sebagian dari contoh di masukan pada *metal sand cone mold*. Benda uji didapatkan dengan tongkat pemadat (tamper) jumlah tumbukan adalah 25 kali jika cetakan di angkat dan butiran - butiran pasir longsor/runtuh maka contoh benda uji dalam kondisi SSD.
3. Berat piknometer yang berisi air sesuai kapasitas ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
4. Contoh agregat halus dimasukan ke dalam piknometer sesuai kapasitasnya. Piknometer di isi dengan air sampai 90% penuh

kemudian goyang – goyang untuk membebaskan gelembung – gelembung udara. Timbang piknometer yang berisi contoh dan air, diamkan selama 24 jam,

5. Contoh benda uji di siapkan dari piknometer dan keringkan pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, setelah kering kemudian ditimbang.

- Perhitungan

$$\text{Berat jenis permukaan kering jenuh} = \frac{Ba}{B+Ba-Bt} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Ba-Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan : B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B = berat piknometer berisi air, dalam gram

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram

B_a = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

- Hasil Pemeriksaan

2.6.6 Analisis Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

- Prosedur pelaksanaan

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
2. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 110°C sampai berat tetap, sebagai catatan , bila penyerapan dan harga berat jenis di gunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan air aslinya. Maka tidak perlu pengeringan dengan oven.
3. Keringkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (B_k).
4. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24jam.

5. Keluarkan benda uji dari dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
6. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j).
7. Letakan benda uji dalam keranjang, guncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air (B_a).

- Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{\frac{B_j - B_k}{B_a} \times 100\%} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Penyerapan} = \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = berat benda uji kering permukaan, jenuh dalam gram

B_a = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh didalam air, dalam gram

- Hasil Pemeriksaan

2.7 Serat Ijuk Sebagai Bahan Tambah

Bahan tambah (*Admixture*) adalah bahan yang bukan air agregat maupun semen yang ditambahkan pada campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat beton atau menambah sifat beton untuk menjadi pekerjaan tertentu ada berbagai macam bahan campuran lain yang ditambahkan pada beton, karena pada umumnya bahan tambah dimasukan pada campuran beton dalam jumlah yang relative kecil maka tingkatan kontrolnya harus lebih besar dari pada pekerjaan beton biasa hal ini untuk menjamin agar tidak terjadi kelebihan dosis.

Ijuk adalah serat alami yang berbentuk helaian benang-benang yang berwarna hitam, berkarakter kuat, lentur, ulet (tidak mudah putus), tahan terhadap kelembaban dan air asin. Ijuk terdapat pada pangkal pelepah pohon enau (*arenga pinnata*) yang mempunyai kemampuan tarik yang cukup baik sehingga diharapkan dapat mengurangi Serat ijuk adalah serat alam yang mungkin hanya sebagian orang mengetahui kalau serat ini sangatlah istimewa dibandingkan serat alam lainnya. Serat berwarna hitam yang dihasilkan dari pohon aren memiliki banyak keistimewaan diantaranya, tahan lama hingga ratusan bahkan ribuan tahun lebih, berarti serat ijuk aren mampu tahan lama dan tidak mudah terurai, tahan terhadap asam dan garam air laut. , mencegah penembusan rayap tanah. Maka umur beton yang diberi penambahan ijuk dapat bertahan lama karena sifat karakteristik dari ijuk yang tidak mudah terurai dan dapat bertahan ratusan maupun ribuan tahun. Ijuk merupakan bahan alami yang dihasilkan oleh pangkal pelepah enau (*arenga pinnata*) yaitu jenis tumbuhan bangsa palma. Serabut ijuk biasa dipintal sebagai tali, sapu, penutup atap, dalam dunia konstruksi bangunan ijuk digunakan sebagai lapisan penyaring pada sumur resapan. Ijuk mempunyai sifat yang awet dan tidak mudah busuk baik dalam keadaan terbuka maupun kondisi tertanam dalam tanah karakteristik serat ijuk yang diperoleh massa jenis serat ijuk sebesar 1,136 gram/cm, kandungan berupa kadar air 8,90%, selulosa 51,54% hemiselulosa 15,88%, lignin 43,09% dan abu 2,54%. Kekuatan tarik ijuk tergantung pada diameter seratnya, apabila diameter kecil maka kekuatan tarik semakin besar, sedangkan 3 diameternya besar kekuatan tarik semakin kecil. Dengan penggunaan serat ijuk diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat beton.



Gambar 2.7 Pohon Berselimut Ijuk

2.8 Mutu Beton $f'c$ 20 Mpa

Mutu beton $f'c$ adalah mutu beton yang mengacu pada standar ACI (America Concrete Institute) untuk standar di Indonesia sendiri mengacu pada SNI 03-1974-1990 (Standar Nasional Indonesia). Metoda ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian ini untuk menentukan kuat lentur beton dengan benda uji berbentuk balok yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium maupun di lapangan.

2.9 *Mix Design* Beton

Tujuan utama mempelajari sifat-sifat beton adalah untuk perencanaan campuran beton (*mix design*), yaitu pemilihan dari bahan-bahan beton yang memadai, serta menentukan proporsi masing-masing bahan untuk menghasilkan beton yang ekonomis dengan kualitas yang baik.

Perencanaan Campuran Beton Metode SNI

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jikadilihtdari perbedaan sifatdan karakteristik bahan penyusunannya, karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan pada dasarnya perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proposi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan

tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal antaralain : Metode *American Concrete Institute, Portland Cement Association, Road note No. 4, British Standard Departement Ofengineering*, Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03) dan cara coba-coba.

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*)

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 Mpa sesuai dengan teori perencanaan proporsi campuran adukan beton pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 Mpa boleh menggunakan penekaran volume tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan lebih besar dari 20 Mpa harus menggunakan campuran berat, sebelum melakukan perancangan data-data yang dibutuhkan harus dicari jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03).

- Penetapan Kuat lentur Beton yang Disyaratkan (0)
Pada umur tertentu kuat lentur beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaannya strukturnya dan kondisi setempat.
 - Penetapan Nilai Devinisi Standar (s)
Devinisi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai devisi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan padahasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.
1. Jika pelaksanaan mempunyai catatan datahasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratan satu data hasil uji kuat lentur adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali seperti tampak pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.6 Faktor Pengali Deviasi Standar (s)

Jumlah Data	30	25	20	15<15
Faktor Pengali	1	1.03	1.08	1.16

2. Jika pelaksanaan tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah) maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 Mpa. Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat dilihat pada. **Tabel 2.7** Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.

Tabel 2.7 Nilai Deviasi Standar

Memuaskan	2.8
Sangat Baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7.0
Tanpa Kendali	8.4

Sumber :Tjokrodimuljo (2007)

- Perhitungan Nilai Tambah “Margin”(M)

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 Mpa (karena tidak mempunyai data sebelumnya) maka langsung kelangkah (D). Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar s_d maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \times s_d \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan : M : nilai tambah (Mpa)

k : 1,64

s_d : deviasi standar (Mpa)

- Menentukan Kuat lentur Rata-Rata Direncanakan

Kuat lentur beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'_a = f'_c + M \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan : f'_a : kuat lentur rata-rata(Mpa)

f'_c : kuat lentur yang disyaratkan (Mpa)

M : nilai tambah (Mpa)

- Menentukan Jenis Semen Portland

Menurut PUBLI 1982 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 jenis yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut

persyaratan kekuatan awal yang tinggi atau dengan katalain sering disebut semen cepat mengeras.

- Penetapan Jenis Agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan apakah berupa agregat alami tidak dipecahkan atau agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*)

- Tetapkan Faktor Air Semen

1. Cara pertama, berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat lentur rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu ditetapkan nilai faktor air semen.

2. Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai jenis agregat kasardan kuat lentur rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu ditetapkan nilai faktor air semen dengan tabel 2.9.

Tabel 2.8 Perkiraan Kuat lentur Beton (Mpa) Dengan Faktor Air Semen 0,50

Jenis Semen	Jumlah agregat kasar	Umur (hari)			
		3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
	Batu Pecah	19	27	37	45
III	Alami	21	28	38	44
	Batu Pecah	25	33	44	48

Sumber : Tjokrodinuljo (2007)

- Penetapan Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum penetapan nilai faktor air semen maksimum dapat dilakukan dengan melihat tabel 2.10. Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah dari pada nilai fas dari langkah G maka nilai fas maksimum ini yang dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.9 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus.

Kondisi Lapangan	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan :	
Keadaan keliling no korosif	0,60
Keadaan keliling korosif di sebabkan oleh kondensi atau uap-uap korosif	0,52
Beton di luar ruangan :	
Tidak terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung	0,60
Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
Mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	0,55
Mendapatkan pengaruh sifat sulfat alkali dari tanah atau air tanah	Lihat tabel
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air:	
Air tawar	Lihat tabel
Air laut	Lihat table

Sumber : Tjokrodinuljo (2007)

Tabel 2.10 Faktor Air-Semen Maksimum Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Tanah Yang Mengandung Sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₂)			Jenis Semen	Faktor air semen maksimum
Dalam Tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air tanah = 2:1 (gr/ltr)			
<0.2	<1.0	<0.3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	0.50
0.2-0.5	1.0-1.9	0.3-1.2	Tipe I tanpa Pozolan	0.50
		1.2-2.5	Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland Pozolan	0.55
0.5-1.0	1.9-3.1	1.2-2.5	Tipe II dan V	0.45
1.0-2.0	3.1-5.6	2.5-5.0	Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen Portland Pozolan	
		5.0-5.6	Tipe II dan V	
> 2.0	>5.6	>5.0	Tipe II dan V	0.45
			Tipe II atau V dan lapisan Pelindung	0.45

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

Tabel 2.11 Faktor Air-Semen Untuk Beton Bertulang Dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe Semen	Faktor air Semen
Air Tawar	Semua tipe I s.d V	0.50
Air Payau	Tipe I + Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan	0.45
Air Laut	Tipe II atau V	0.50
	Tipe II atau V	0.45

Sumber :Tjokrodimulyo (2007)

- Penetapan Nilai Slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar adapun pemadatan adukan dengan alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai slump yang agak kecil. Nilai slump yang diinginkan dapat diperoleh dari tabel 2.13.

Tabel 2.12 Penetapan Nilai Slump

Pemakaian Beton	Max	Min
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di Bawah tanah	9,0	2,5
Plat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

- Penetapan Besar Butir Agregat Minimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

1. $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau tendon prategang atau selongsong
2. Sepertiga kali tebal plat
3. Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan

- Tetapkan Jumlah Air

Air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan.

Tabel 2.13. Perkiraan Kebutuhan Air Permeter Kubik Beton (Liter)

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	Nilai Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber :Tjokrodimulyo (2007)

Dari tabel diatas apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan) maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A=0,67 A_h + 0,33 A_k.....(2.17)$$

Dengan :

A: Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

A_h : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

A_k : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar

- Hitung Berat Semen Yang Diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah K) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah G dan H.

- Kebutuhan Semen Minimum

Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan menggunakan tabel 2.15 di bawah ini :

Tabel 2.14 Kebutuhan Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan Dan Lingkungan Khusus.

Kondisi Lapangan	Jumlah Semen Minimum (Kg/m ³ beton)
Beton didalam ruangan bangunan :	
a. Keadaan keliling no korosif	275
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensi atau uap-uap korosi	325
Beton diluar ruangan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering	325

berganti-ganti	
b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	Lihat table 2.10.a
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air tawar dan laut	Lihat table 2.10.b

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

Tabel 2.15 Kandungan Semen Minimum Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Tanah Yang Mengandung Sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₂			Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum Ukuran Nominal Agregat Maksimum (kg/cm ²)			Faktor Air Semen
	Dalam Tanah	Sulfat (SO ₂) Dalam Air Tanah g/l			40 mm	20 mm	10 mm	
1	< 0.2	< 0.1	< 0.3	Tipe 1 dengan atau tanpa pozolan (15-40%)	80	300	350	0.50
2	0.2-0.5	1.0-1.9	0.3-1.2	Tipe 1 dengan atau tanpa pozolan (15-40%)	290	330	350	0.50

				Tipe 1 pozolans (15-40%) atau semen portland pozolans	270	310	360	0.55
				Tipe II atau V	250	290	340	0.55
3	0.5-1	1.9-3.1	1.2-2.5	Tipe 1 pozolans (15-40%) atau semen portland pozolans	340	380	430	0.45
				Tipe II atau V	290	330	380	0.5
4	1.0-2.0	3.1-5.6	2.5-5.0	Tipe II atau V	330	370	420	0.45
5	> 2.0	> 5.6	> 5.0	Tipe II atau tipe V lapisan pelindung	330	370	420	0.45

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

Tabel 2.16 Kandungan Semen Minimum Untuk Beton Bertulang Dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	kandungan semen min. Ukursn maks. Agregat (mm)
-----------------------	------------	--

		40	20
Air Tawar	Semen tipe I s.d V	280	300
	Tipe I + Pozolan (15-40 %) atau semen porland		
Air Payu	pozolan	340	380
	Tipe II atau v	290	330
Air Laut	Tipe II atau v	330	370

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

- Penyesuaian Kebutuhan Semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah L ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum langkah M maka kebutuhan semen harus dipakai yang maximum (yang nilainya lebih tinggi).

- Penyesuaian Jumlah Air dan Faktor Air Semen

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah (N) maka nilai faktor air semen berubah. Dalam hal ini dapat dilakukan dengan dua cara berikut :

1. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
2. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

- Penentuan Daerah Gradasi Agregat Halus

Berdasarkan gradasi (hasil analisa ayakan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan untuk tabel 2.18.

Tabel 2.17 Batas Gradasi Pasir

No Saringan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100

4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	01-10	0-15

Sumber : Tjokrodimulyo (2007)

- Perbandingan Agregat Halus Dengan Agregat Kasar

Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik padahal langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Penetapan dilakukan dengan memperlihatkan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi halus dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

- Berat Jenis Agregat Campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$Bj_{camp} = \frac{P}{100} \times Bj_{ag. hls} + \frac{K}{100} \times Bj_{ag. ksr} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan : Bj camp : Berat jenis agregat campuran

Bj ag.hls : berat jenis agregat halus

Bj ag.ksr : berat jenis agregat kasar

P : Persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K : Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,5 untuk agregat tidak dipecah atau alami untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70

- Penentuan Berat Jenis Beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah R dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dapat diperkirakan berat jenis betonnya. Caranya adalah sebagai berikut:

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen

$$W_{\text{campuran}} = W_{\text{beton}} - A - S \dots \dots \dots (2.19)$$

- Dengan :
- W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)
 - W_{beton} : berat beton (kg/m³)
 - A : Kebutuhan Air (litr)
 - S : kebutuhan semen (kg)

- Kebutuhan Agregat Halus (pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{\text{pasir}} = \frac{P}{100} \times W_{\text{campuran}} \dots \dots \dots (2.20)$$

- Dengan :
- W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg)
 - W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)
 - P : persentase pasir terhadap campuran

- Kebutuhan Agregat Kasar (kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{\text{krk}} = W_{\text{campuran}} - W_{\text{pasir}} \dots \dots \dots (2.21)$$

- Dengan :
- W_{kerikil} : kebutuhan agregat kerikil (kg)
 - W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg)
 - W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)

Dalam perhitungan diatas agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering muka sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya koreksi harus dilakukan minimum satu kali sehari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

1. Air: $A - \frac{A_h - A_1}{100} \times B - \frac{A_k - A_2}{100} \times C \dots \dots \dots (2.22)$

2. Agregat Halus : $B + \frac{A_h - A_1}{100} \times B \dots \dots \dots (2.23)$

3. Agregat Kasar : $C + \frac{A_h - A_1}{100} \times C \dots \dots \dots (2.24)$

- Dengan =
- A : jumlah kebutuhan air (liter/m³)
 - B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³)
 - C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³)
 - A_h : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)
 - A_k : kadarair sesungguhnya dalam agregat kasar (%)
 - A₁ : kadar air pada agregat halus jenuh muka (%)
 - A₂ : kadar air pada agregat kasar jenuh kering muka (%)