

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 PENDAHULUAN

Menurut SK.SNI T-15-1990-03:1 mendefinisikan beton sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat. Membuat beton tidaklah hanya sekedar mencampur bahan-bahan dasarnya saja untuk mendapatkan beton yang plastis, tetapi jika ingin membuat beton yang baik, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara untuk mendapatkan adukan beton (beton segar) yang baik dan menghasilkan mutu beton yang baik (beton keras).

2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton

1. Kelebihan

- a. Beton menggunakan bahan-bahan dasar yang mudah didapat
- b. Mempunyai kekuatan yang sangat tinggi terutama kuat tekan
- c. Tahan terhadap temperatur tinggi
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil
- e. Beton segar dapat dengan mudah diangkut dan dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang tergantung keinginan.

2. Kekurangan

- a. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah yang akan membuat beton mudah retak. Oleh karena itu diperlukan baja tulangan untuk mengatasinya
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi
- c. Beton mempunyai bobot yang berat
- d. Panas hidrasi pada beton massa akan sangat tinggi, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retak pada saat pendinginan

2.2 BAHAN PEMBENTUK BETON

Bahan dasar pembentuk beton terdiri dari semen portland, agregat (agregat halus dan kasar), air, dan bila dibutuhkan dapat juga ditambah dengan bahan tambah (*admixture*). Agar beton mempunyai mutu yang baik diperlukan pengetahuan tentang sifat-sifat dari bahan dasarnya.

2.2.1 Semen Portland

Semen portland banyak digunakan di Indonesia sebagai bahan dalam pekerjaan beton. Dalam ASTM C-150,1985 disebutkan bahwa semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambah yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Bahan baku pembentuk semen adalah :

- 1) Kapur (CaO) - dari batu kapur
- 2) Silika (SiO₂) - dari lempung
- 3) Alumina (Al₂O₃) - dari lempung

(dengan sedikit persentase magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya[1].

Tabel 2.1 Kandungan Bahan Utama Semen Portland

Nama Bahan	Komposisi Oksida	Singkatan
Tricalcium silicate	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Dicalcium silicate	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Tricalcium aluminate	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetracalcium aluminoferrite	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Sumber : Neville, "Properties of Concrete, Fouth Edition", Longman Group Limited, 1995

Unsur C₃S merupakan unsur yang paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila terkena air akan langsung berhidrasi dan menghasilkan panas, dan berpengaruh terhadap pengerasan semen sebelum 14 hari.

Sebaliknya unsur C₂S lebih lambat bereaksi dengan air, menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dan mulai berpengaruh terhadap pengerasan

semen umur 7 hari sampai kekuatan akhir tercapai. Unsur ini juga membuat semen tahan terhadap *chemical attack* dan memperkecil susut.

Reaksi C_3A dengan air sangat cepat dan menimbulkan pengkakuan semen yang seketika. Unsur ini berguna untuk mengurangi temperatur pada proses pembakaran klinker, tapi menimbulkan panas hidrasi yang terjadi pada waktu semen bereaksi dengan air. Unsur ini juga bersifat mengurangi ketahanan semen terhadap sulfat, yang dapat menyebabkan pengembangan dan keretakan pada beton.

Sedangkan C_4AF kurang berpengaruh terhadap pengerasan pasta semen, tapi sangat reaktif terhadap air dalam proses hidrasi. Selain itu banyak kandungan unsur ini menyebabkan warna semen yang semakin tua.

a) Sifat Fisik Semen Portland [2]

1. Kehalusan butiran

Kehalusan butiran semen yang tinggi akan mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air ke permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan memudahkan terjadinya retak .

2. Konsistensi

Konsistensi pada semen portland lebih banyak berpengaruh pada saat pencampuran awal, yaitu ketika terjadinya pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi tergantung pada rasio antar semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan panas hidrasi .

3. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen menjadi kaku untuk menahan tekan.

4. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas hidrasi yang

sangat tinggi dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retak pada saat pendinginan .

Menurut SII 003-81 semen yang diproduksi khususnya dari Indonesia dibagi dalam lima type, dimana type-type semen tersebut mempunyai kecepatan kenaikan kekuatan yang berbeda dan mempunyai sifat-sifat khas tertentu sesuai dengan kebutuhan dalam penggunaan di lapangan.

Type-type semen tersebut adalah :

1. Semen type I, yaitu type standar, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Semen type II, yaitu untuk penggunaan tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.
3. Semen type III, yaitu semen yang cepat mempunyai panas hidrasi tinggi, untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Semen type IV, yaitu semen yang memiliki panas hidrasi rendah, untuk penggunaan pengecoran beton yang bersifat masal atau volume pengecoran sangat besar, sehingga diperlukan beton dengan panas hidrasi rendah.
5. Semen type V, yaitu semen yang tahan terhadap sulfat, untuk pengecoran beton dipantai atau di laut dimana diperlukan beton tahan terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat

Agregat merupakan bahan pengisi dalam campuran beton yang mempunyai komposisi yang besar. Karena memiliki komposisi yang besar dalam campuran beton maka perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat beton yang akan dihasilkan. Penggunaan agregat yang banyak dalam beton akan menghemat penggunaan semen portland, sehingga semakin murah harganya. Tetapi dalam penggunaannya ada batasnya, sebab pasta semen diperlukan untuk pelekatan butiran-butiran dalam pengisian rongga-rongga halus dalam adukan beton. Disamping itu penggunaan banyak agregat dapat mengurangi penyusutan akibat mengerasnya beton.

a) Klasifikasi

1. Berdasarkan daerah asalnya agregat terdiri dari [3] :
 - a. Agregat alam
Agregat yang diperoleh dari sumber daya alam yang mengalami pengecilan ukuran secara alami atau dapat pula diperoleh dengan cara pemecahan batu alam. Pasir alam dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau tepi laut.
 - b. Agregat buatan
Agregat buatan adalah agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan tertentu (khusus) atau karena kekurangan agregat batuan-batuan alam .
2. Berdasarkan ukuran butirannya [2] :
 - a. Agregat halus
Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,75 mm (ASTM C 33,1982).
 - b. Agregat kasar
Agregat kasar adalah agregat dengan butiran-butiran tertinggal diatas ayakan dengan lubang 4,75 mm (ASTM C 33,1982).
3. Ditinjau dari berat jenisnya [3] :
 - a. Agregat ringan
Agregat ringan yaitu agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0. Agregat ini memiliki berat sendiri yang rendah, sehingga strukturnya menjadi ringan. Agregat ringan dapat secara alami atau buatan. Contoh agregat ringan antara lain: agregat batu apung, hydite, rocklite dan lain-lain.
 - b. Agregat normal
Agregat ini memiliki berat jenis antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini jika digunakan pada beton akan menghasilkan beton dengan berat jenis sekitar 2,3 dan disebut dengan beton normal.
 - c. Agregat Berat

Agregat berat ini memiliki berat jenis lebih dari 2,8. Beton yang dihasilkanpun memiliki berat jenis tinggi juga. Biasanya digunakan sebagai pelindung dari sinar radisi sinar x.

4. Ditinjau dari bentuknya [3]:

a. Bulat

Pada umumnya agregat jenis ini berbentuk bulat atau bulat telur. Pasir/kerikil jenis ini biasanya berasal dari sungai atau pantai dan mempunyai rongga udara minimum 33 %. Ini berarti agregat mempunyai resiko luas permukaan yang kecil, sehingga hanya memerlukan sedikit pasta semen untuk menghasilkan adukan beton yang baik. Tetapi ikatan antar butir-butir menjadi kurang sehingga ikatannya (lekatannya) lemah. Oleh karena itu agregat ini tidak cocok untuk beton mutu tinggi maupun untuk perkerasan jalan.

b. Bersudut

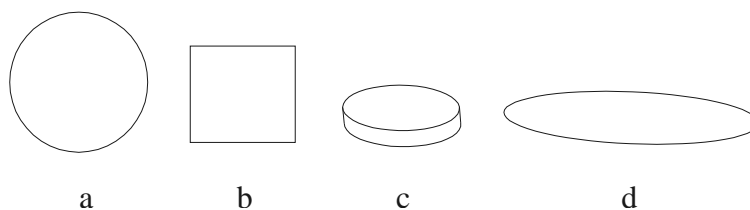
Agregat jenis ini mempunyai bentuk tidak beraturan, mempunyai sudut-sudut yang tajam dan permukaannya kasar. Yang termasuk jenis agregat ini adalah batu pecah semua jenis yaitu yang berasal dari pemecahan dengan mesin dari berbagai jenis batuan. Ikatan antar butirnya baik, sehingga membentuk daya lekat yang baik pula. Agregat ini baik untuk beton mutu tinggi dan untuk perkerasan jalan.

c. Pipih

Agregat pipih adalah agregat yang memiliki perbandingan antara ukuran terlebar dengan ukuran tertebal pada butiran ini lebih dari 3. agregat ini berasal dari batuan-batuan yang berlapis.

d. Memanjang (lonjong)

Agregat ini dikatakan memanjang (lonjong) jika perbandingan antara ukuran yang terpanjang dengan yang terlebar lebih dari 3.



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk agregat

b) Sifat-Sifat Agregat

1. Penyerapan air dalam agregat

Adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca akan menimbulkan lubang-lubang atau rongga-rongga kecil dalam agregat yang disebut dengan pori-pori. Pori-pori ini ada yang bisa dilihat dengan mata telanjang dan ada juga yang membutuhkan mikroskop untuk melihatnya dikarenakan pori-porinya sangat kecil.

Persentase air yang mampu diserap oleh agregat, jika agregat direndam dalam air sampai jenuh, disebut serapan air atau daya serap air dalam agregat. Jika agregat yang didalamnya jenuh dengan air yang diambil dari rendaman, agregat tersebut dalam keadaan basah. Jika air diluar agregat sudah menguap (permukaan agregat kering), agregat dalam keadaan jenuh kering muka.

2. Kadar air dalam agregat

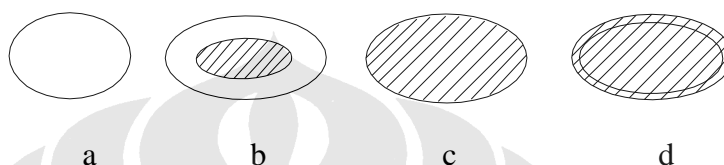
Keadaan air dalam agregat dibedakan atas beberapa hal berikut :

- a. Keadaan kering oven, yaitu agregat benar-benar dalam keadaan kering atau tidak mengandung air. Keadaan ini menyebabkan agregat dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, permukaan butir-butir dalam keadaan kering tetapi dalam butiran masih mengandung air. Pasir atau kerikil dalam keadaan ini masih dapat menyerap sedikit air.
- c. Jenuh kering muka (*saturated and surface-dry, SSD*). Pada keadaan ini permukaan agregat kering (tidak ada air), tetapi

Universitas Indonesia

butiran-butiran agregat jenuh dengan air. Sehingga pada keadaan ini tidak menyerap air dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran beton.

- d. Basah, pada keadaan ini butiran-butiran agregat banyak mengandung air, baik dalam butiran maupun dalam permukaan agregat sehingga jika dipakai dalam campuran beton penggunaan air harus dikurangi.



Gambar 2.2 Keadaan air dalam butiran agregat

3. Zat-zat yang berpengaruh buruk pada beton

- a. Bahan-bahan yang merugikan yang terdapat dalam agregat

Pengujian untuk zat organik bisa dilakukan dengan cara zat organik dinetralkan dengan soda api (NaOH) dan warna cairan yang terjadi dibandingkan dengan warna standar. Jika warnanya lebih tua dari warna standar maka itu menunjukkan adanya zat organik. Zat organik ini dapat memperlambat pengikatan (setting) semen, dan juga dapat memperlambat perkembangan kekuatan beton.

Bahan seperti gula, minyak dan lemak juga berpengaruh buruk terhadap sifat-sifat beton. Gula bersifat menghambat pengikatan semen dan perkembangan kekuatan beton sedangkan minyak dan lemak akan mengurangi daya ikat semen.

- b. Tanah liat, lumpur dan debu yang sangat halus

Tanah liat, lumpur dan debu yang sangat halus yang menempel pada permukaan agregat akan mengganggu ikatan agregat dengan pasta semen yang akibatnya akan mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Karena mempunyai pengaruh terhadap kekuatan

beton maka jumlahnya dibatasi dalam agregat yaitu tidak boleh lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.

c. Garam klorida dan sulfat

Garam klorida dan sulfat ini dapat dihilangkan dengan cara dicuci dengan air tawar. Adanya klorida dalam beton akan memberikan resiko berkaratnya baja tulangan yang ada dalam beton. Dan garam sulfat akan menghasilkan senyawa-senyawa yang volumenya mengembang, lalu sedikit demi sedikit akan merusak beton.

4. Gradasi agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat memiliki ukuran yang sama (seragam), volume pori antar butiran akan menjadi besar. Dan sebaliknya jika ukuran butiran bervariasi, maka pori antar butiran menjadi kecil karena sebagian pori-pori akan terisi oleh butiran yang lebih kecil, sehingga pori-porinya berkurang.

Gradasi agregat sangat berpengaruh terhadap beberapa sifat beton diantaranya:

a. Pada beton segar

Pada beton segar akan mempengaruhi kelecakan (*workability*), jumlah air pencampur, jumlah semen yang diperlukan, kontrol terhadap segregasi (pemisahan butir), dan *bleeding* (pemisahan air ke permukaan beton)

b. Pada beton keras

Dari sifat-sifat yang disebutkan pada beton segar, akan mempengaruhi kekuatan dalam beton keras.

5. Modulus Kehalusan (*Finnes Modulus*)

Modulus kehalusan (*finnes modulus*) atau biasa disingkat dengan FM ialah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat (Abrams,1918). Makin besar nilai FM suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya

agregat halus mempunyai FM sekitar 1,50-3,8 dan FM kerikil sekitar 5-8 [2].

2.2.3 Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan-bahan kimia lain bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai.

2.2.4 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen yang ditambahkan ke dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar "menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi".

Jenis dan fungsi dari bahan tambahan berdasarkan ASTM C 494-92 terdiri dari [3]:

1. *Water Reducing Admixture*

Bahan tambah ini berfungsi untuk mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Dengan pemakaian bahan tambah ini faktor air semen menjadi rendah pada tingkat kelecakan yang sama, sehingga beton mempunyai kuat tekan yang tinggi.

2. *Accelerating Admixture*

Bahan ini ditambahkan pada campuran beton untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan pasta semen. Bahan-bahan kimia yang berfungsi sebagai pemercepat antara lain senyawa-senyawa

garam klorida, bromida, karbonat, silikia, dan terkadang senyawa organik lainnya seperti trietanolamin. Perlu ditekankan bahwa kalsium klorida jangan dipergunakan apabila korosi dari tulangan baja dapat terjadi. Dosis maksimum adalah 2 % dari berat semen portland.

3. *Retarding Admixture*

Bahan ini berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton sehingga pengerasan dari beton terlambat. Bahan ini misalnya digunakan pada kasus dimana jarak antara tempat pembuatan pasta semen dengan tempat penuangannya cukup jauh

4. *Water Reducing and Retarding Admixture*

Bahan ini berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi penggunaan air tetapi tetap memperoleh adukan beton dengan konsistensi tertentu, dan memperlambat proses pengikatan dan pengerasan pasta semen.

5. *Water Reducing and Accelerating Admixture*

Bahan tambah ini berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat proses pengikatan pasta semen.

6. *Water Reducing and High Range Admixture*

Bahan tambah ini berfungsi mengurangi penggunaan air untuk menghasilkan adukan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12 % atau lebih.

7. *Water Reducing and High Range Retarding Admixture*

Bahan tambah ini berfungsi mengurangi penggunaan air untuk menghasilkan adukan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12 % atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

2.3 SIFAT-SIFAT BETON

Sifat dari beton terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanik, yang dimaksud disini adalah sifat beton yang diinginkan didalam perencanaan suatu konstruksi beton. Struktur yang terbuat dari beton ini haruslah kuat, tahan lama dan ekonomis serta memberikan rasa aman dan nyaman pada penggunaannya.

2.3.1 Sifat Beton Segar (*fresh Concrete*)

Sifat fisik yang terdapat pada beton segar (*fresh concrete*) yang akan dijelaskan disini antara lain adalah *workability*, *segregation*, dan *bleeding*.

a) ***Workability*** (kemudahan dikejakan)

Workability adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang atau dicetak dan dipadatkan tanpa menimbulkan kesukaran atau penurunan kekuatannya [3].

Unsur-unsur yang mempengaruhi kemudahan dalam pengerjaannya antara lain sebagai berikut :

1. Banyaknya air yang dipakai dalam campuran beton
2. Penambahan semen ke dalam campuran beton
3. Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus

Cara yang populer untuk mengukur kemudahan dalam pengerjaan ini dikenal dengan slump. Pengukuran dengan slump ini bertujuan untuk mengukur tinggi penurunan adukan beton setelah dilepas dari alat slump yang digunakan. Semakin tinggi nilai slump berarti semakin tinggi tingkat kemudahan pengerjaannya, dan menunjukkan semakin banyaknya jumlah air yang diperlukan, dimana hal ini menghasilkan kuat tekan beton yang semakin rendah. Slump beton sebaiknya ditentukan serendah-rendahnya, akan tetapi masih dapat dikerjakan dengan baik.

Alat Slump terdiri dari :

- a) Corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm, dan bagian atasnya berdiameter 10 cm dan tingginya 30 cm
- b) Tongkat baja berdiameter 16 mm dan panjang 60 cm dan bagian ujung-ujungnya dibulatkan.

b) Pemisahan Butiran (*Segregation*)

Campuran beton dikatakan mengalami *segregation* bila bahan penguji kasar (batu pecah), kerikil, terpisah dari campuran beton selama pengangkutan, pengecoran dan pemadatan .

Resiko *segregation* akan timbul jika [4] :

- a) Campuran beton yang kadar semennya rendah
- b) Campuran beton yang kadar airnya terlalu tinggi
- c) Campuran beton yang kurang pasir
- d) Pengecoran yang tidak memperhatikan tinggi jatuhnya penuangan beton.

c) Pemisahan air ke permukaan (*Bleeding*)

Bleeding adalah pemisahan air dari campuran beton, hal ini terjadi dengan merembesnya air ke permukaan beton selama beton diangkat, digetar dalam pemadatan atau setelah beton selesai pada pengecoran. Hal ini biasanya terjadi pada beton yang mempunyai kelebihan air atau campuran beton yang memiliki nilai slump tinggi. Tindakan pencegahannya dengan menambahkan *filler* atau dengan menambah kadar semen [4].

2.3.2 Sifat Beton Keras

Sifat mekanis yang terdapat pada beton keras (*hard concrete*) antara lain yang akan dijelaskan disini adalah kuat tekan, kuat lentur serta modulus elastisitas, dan untuk sifat fisiknya antara lain adalah *shrinkage* dan *creep*.

a) Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas, pemberian gaya ini tegak lurus terhadap sumbunya. Penentuan kekuatannya ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tekan.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

σ = kuat tekan benda uji (Mpa)

P = beban tekan maksimum (N)

A= luas bidang tekan (mm^2)

b) Kuat Lentur

Pengukuran kekuatan tarik lentur (*flexural tension strength*) adalah penting untuk memperkirakan elemen beton yang mengalami retak. Tidak mudah untuk menentukan kekuatan tarik beton secara langsung dan oleh karena itu ditentukan oleh tes lentur. Kekuatan tegangan tarik ini digunakan pada saat hancur (*failure*) atau *Modulus of Rupture* merupakan hal yang sangat penting dalam kekuatan tarik beton.

Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* (f_r), ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos (tanpa tulangan) yang dibebani di titik-titik sepertiga bentang, sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas.

Kekuatan tarik teoritis dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

R = *modulus of rupture*

P = beban maksimum total pada balok

L = bentang

b = lebar balok

d = tinggi balok

c) Kuat Tarik

Untuk menentukan tegangan tarik beton dilakukan dengan metode *spleitting test*/kuat tarik belah dan dapat dihitung dengan rumus ;

Silinder

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

f_{ct} = kuat tarik belah (N/m^2)

P = beban pada waktu belah (N)

L = panjang benda uji silinder (m)

D = diameter benda uji silinder (m)

d) Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas merupakan hal yang penting untuk menghitung kekakuan dan lendutan beton.

Menurut PB'98 atau ACI code perhitungan modulus elastisitas adalah

$$E_c = 33Wc^{1.5}\sqrt{f_c} \quad \text{untuk } 90 < Wc < 155 \text{ lb/ft}^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

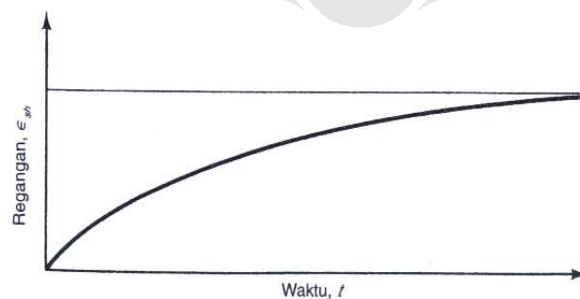
dimana Wc = berat beton per *cubic foot* ($1 \text{ lb} = 16,02 \text{ kg/m}^3$)

Untuk beton normal

$$E_c = 5700\sqrt{f_c} \text{ Psi} = E_c = 47300\sqrt{f_c} \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

e) Penyusutan (*shrinkage*)

Penyusutan pada beton adalah perubahan volume akibat mengering dan proses kimia fisik pasta semen sekeliling bahan pengisi yang terjadi pada beton waktu mengeras. Didalam gambar 2.3 diperlihatkan pertambahan regangan susut terhadap waktu.

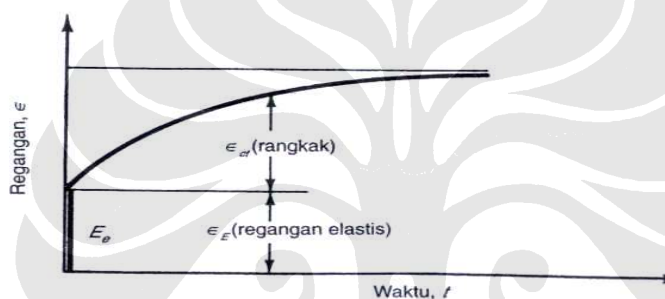


Gambar 2.3 Hubungan peningkatan regangan susut terhadap waktu {1}

f) Rangkak (*creep*)

Rangkak (*creep*) adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Deformasi awal akibat beban adalah regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut dengan regangan rangkak. Pada gambar 2.4, diperlihatkan penambahan regangan rangkak terhadap waktu sama dengan susut bahwa rangkak bertambah terhadap waktu.

Rangkak tidak dapat langsung terlihat, hanya dapat diketahui apabila regangan elastis dan regangan susut beserta deformasi total diketahui. Rangkak mempunyai hubungan dengan susut, dan pada umumnya beton yang semakin tahan terhadap susut juga akan mempunyai kecenderungan rangkak yang rendah karena keduanya mempunyai hubungan dengan panas hidrasi pasta semen [1].



Gambar 2.4 Hubungan antara waktu dengan regangan beton [1]