

BAB II

BETON DAN MATERIAL DASAR

2.1 Landasan Teori Beton

2.1.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (*SNI-03-2847-2002*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari.

2.1.2 Kekuatan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (*Tri Mulyono, 2004*). Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum. Beban maksimum didapat dari pengujian dengan menggunakan alat *compression testing machine*.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Fungsi FAS, yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*)

Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti

bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Umumnya nilai FAS yang diberikan minimum 0,4 dan maksimum 0,65 (*Tri Mulyono, 2004*).

2. Sifat agregat

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperhatikan seperti, serapan air, kadar air agregat, berat jenis, gradasi agregat, modulus halus butir, kekekalan agregat, kekasaran dan kekerasan agregat.

3. Proporsi semen dan jenis semen yang digunakan

Berhubungan dengan perbandingan jumlah semen yang digunakan saat pembuatan *mix design* dan jenis semen yang digunakan berdasarkan peruntukkan beton yang akan dibuat. Penentuan jenis semen yang digunakan mengacu pada tempat dimana struktur bangunan yang menggunakan material beton tersebut dibuat, serta pada kebutuhan perencanaan apakah pada saat proses pengecoran membutuhkan kekuatan awal yang tinggi atau normal.

4. Bahan tambah

Bahan tambah (*additive*) ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah (*additive*) lebih banyak digunakan untuk penyemenan (*cementitious*), jadi digunakan untuk perbaikan kinerja. Menurut standar *ASTM C 494/C494M – 05a*, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe, yaitu :

- a) *water reducing admixtures*
- b) *retarding admixtures*
- c) *accelerating admixtures*
- d) *water reducing and retarding admixtures*
- e) *water reducing and accelerating admixtures*
- f) *water reducing and high range admixtures*
- g) *water reducing, high range and retarding admixtures*

2.1.3 Tegangan dan Regangan Beton

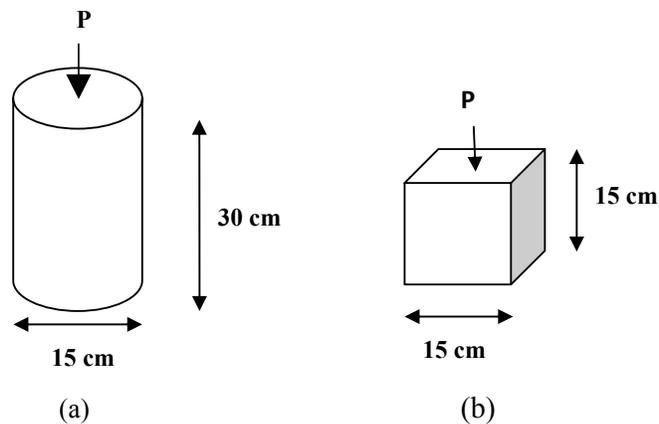
Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan dan diberi

notasi huruf Yunani “ σ ” (*sigma*). Apabila sebuah batang ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*), sedangkan apabila ditekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Dengan rumus :

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

$$A_{\text{silinder}} = 1/4 * \pi * d^2; \quad A_{\text{kubus}} = r^2$$

Dimana, σ = tegangan (N/mm²)
P = beban maksimum (N)
A = luas bidang tekan (mm²)
d = diameter silinder (mm)
r = rusuk kubus (mm)



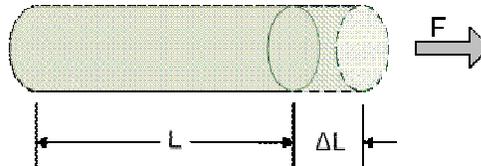
Gambar 2.1 Sampel uji kuat tekan, (a) silinder beton dan (b) kubus beton

Jika suatu benda ditarik atau ditekan, gaya P yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antar partikel dalam material yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran struktur material regangan atau himpitan yang besarnya juga berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material misalnya perubahan panjang menjadi $L + \Delta L$ (jika ditarik) atau $L - \Delta L$ (jika ditekan). Dimana L adalah panjang awal benda dan ΔL adalah perubahan

panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara ΔL terhadap L inilah yang disebut *strain* (regangan) dan dilambangkan dengan “ ϵ ” (*epsilon*).

Dengan rumus :

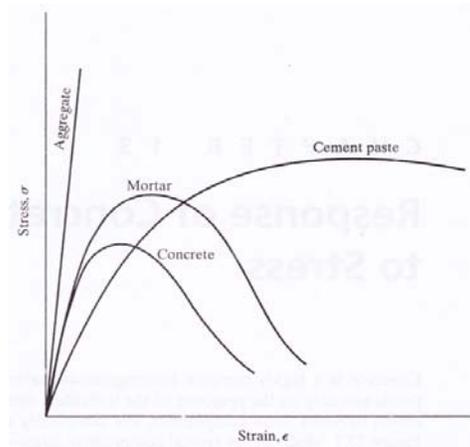
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2 Regangan (*strain*)

2.1.4 Kurva Tegangan – Regangan Beton

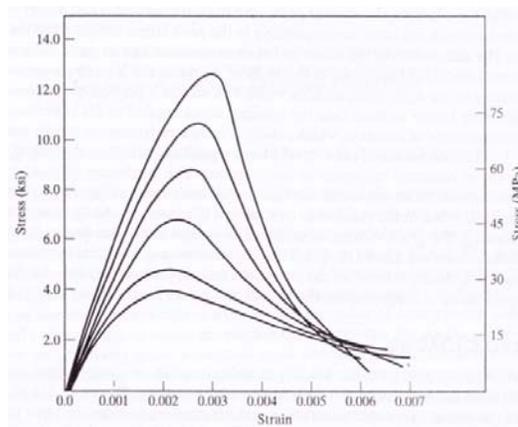
Beton adalah suatu material heterogen yang sangat kompleks dimana reaksi terhadap tegangan tidak hanya tergantung dari reaksi komponen individu tetapi juga interaksi antar komponen. Kompleksitas interaksi diilustrasikan dalam Gambar 2.3, dimana ditunjukkan kurva tegangan-regangan tertekan untuk beton dan mortar, pasta semen dan agregat kasar. Agregat kasar adalah suatu material getas elastis linier, dengan kekuatan signifikan diatas beton. Pasta semen mempunyai nilai modulus elastisitas rendah, tetapi kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan mortar atau beton. Penambahan agregat halus ke pasta semen menjadi mortar mengakibatkan suatu peningkatan modulus elastisitas, tetapi mereduksi kekuatan. Penambahan agregat kasar ke mortar, dalam ilustrasi diatas, hanya sedikit mempengaruhi modulus elastisitas, tetapi mengakibatkan penambahan reduksi kuat tekan. Secara keseluruhan, perilaku beton adalah serupa dengan unsur pokok mortar, sedangkan perilaku mortar dan beton secara signifikan berbeda dari perilaku baik pasta semen atau agregat.



(Sumber : Concrete, Mindess et al., 2003)

Gambar 2.3 Kurva stress-strain tipikal untuk agregat, pasta semen, mortar dan beton.

Kurva tegangan-regangan pada Gambar 2.4 dibawah menampilkan hasil yang dicapai dari hasil uji tekan terhadap sejumlah silinder uji beton standar berumur 28 hari dengan kekuatan beragam. Dari kurva tersebut dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu : semakin tinggi mutu beton, maka modulus elastisitasnya akan semakin besar sehingga beton dengan kekuatan lebih tinggi bersifat lebih getas (*brittle*); sedangkan beton dengan kekuatan lebih rendah lebih *ductile* (ulet) daripada beton berkekuatan lebih tinggi, artinya beton tersebut akan mengalami regangan yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan (*failure*).



(Sumber : Concrete, Mindess et al., 2003)

Gambar 2.4 Contoh kurva tegangan-regangan pada beton dengan berbagai variasi kuat tekan.

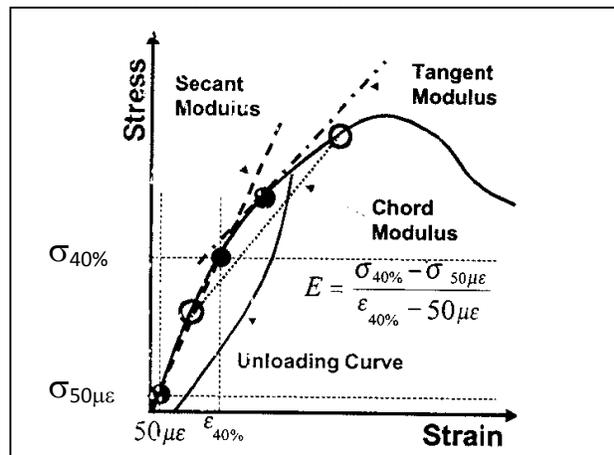
2.1.5 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau modulus *Young* merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*).

Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*Concrete, Mindess et al., 2003 & ASTM STP 169D Chapter 19*), dengan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (\text{rumus umum}) \quad (2.3)$$

$$E = \frac{\sigma_{40\%} - \sigma_{50\mu\epsilon}}{\epsilon_{40\%} - 50\mu\epsilon} \quad (\text{rumus ASTM STP 169D}) \quad (2.4)$$



(Sumber : ASTM STP 169D Chapter 19, 1994)

Gambar 2.5 Macam-macam bentuk modulus elastisitas

2.1.6 Poisson's Ratio

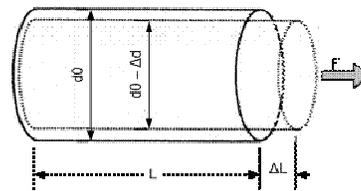
Ketika sebuah silinder beton menerima beban tekan atau beban tarik, silinder tersebut tidak hanya berkurang atau bertambah tingginya tetapi juga mengalami ekspansi (pemuai) dalam arah lateral yaitu kontraksi tegak lurus arah beban. Regangan lateral disetiap titik pada suatu batang sebanding dengan regangan aksial di titik tersebut jika bahannya elastis linear. Oleh karena itu, dibuatlah kesepakatan bahwa :

a. Regangan yang arahnya segaris dengan arah gerak gaya disebut **regangan Longitudinal. Dengan rumus :**

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.5)$$

b. Regangan yang arahnya tegak lurus terhadap arah gerak gaya disebut **regangan Lateral. Dengan rumus :**

$$\epsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (2.6)$$



Gambar 2.6 Regangan longitudinal dan lateral

- Dimana :
- ϵ = Regangan
 - L = Panjang Benda Mula-mula (m)
 - ΔL = Perubahan Panjang Benda (μm)
 - d_0 = Diameter Penampang Mula-mula (m)
 - Δd = Perubahan Diameter Penampang (μm)

Besarnya nilai perbandingan antara regangan lateral () terhadap regangan longitudinal () pada suatu bahan/ material adalah tetap (konstan). Nilai perbandingan inilah yang disebut dengan **Rasio Poisson** dan dilambangkan dengan “ ν ” (ν).

$$\nu = \frac{\epsilon_d}{\epsilon} \quad (2.7)$$

Nilai rasio poisson untuk beton berkisar antara 0,15 - 0,25 (*ASTM STP 169D Chapter 19, 1994*).

2.2 Material Penyusun Beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (*Nawy, 1985:8*). Sehingga untuk memahami dan mempelajari perilaku beton, diperlukan pengetahuan

tentang karakteristik masing – masing komponen pembentuknya. Bahan pembentuk beton terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar dengan air dan semen sebagai pengikatnya.

2.2.1 Agregat

Pada beton biasanya terdapat sekitar 70% sampai 80 % volume agregat terhadap volume keseluruhan beton, karena itu agregat mempunyai peranan yang penting dalam propertis suatu beton (*Mindess et al., 2003*). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan variasi dalam perilaku (*Nawy, 1998*). Dua jenis agregat adalah :

1. Agregat halus (pasir alami dan buatan)

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (*ASTM C 125 – 06*). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (*SK SNI T-15-1991-03*). Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam standar *ASTM C 33/ 03 “Standard Spesification for Concrete Aggregates”*.

Tabel 2.1 *Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus*

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5 mm	100	100
4,75 mm	95 - 100	97,5
2,36 mm	80 - 100	90
1,18 mm	50 - 85	67,5
600 µm	25 - 60	42,5
300 µm	5 - 30	17,5
150 µm	0 - 10	5

(Sumber: *ASTM C 33/ 03*)

2. Agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan dari *blast furnance*)
Menurut *ASTM C 33 - 03* dan *ASTM C 125 - 06*, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. Ketentuan mengenai agregat kasar antara lain :

- Harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori.
- Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- Tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton, seperti zat – zat yang relatif alkali.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %. Apabila kadar lumpur melampaui 1 %, maka agregat kasar harus dicuci.

Persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton berdasarkan standar yang direkomendasikan *ASTM C 33/ 03* “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*” (lihat Tabel 2.1). Dan standar pengujian lainnya mengacu pada standar yang direkomendasikan pada *ASTM*.

Tabel 2.2 *Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar*

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90 -100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 - 5	2,5

(Sumber: *ASTM C 33/ 03*)

2.2.2 Semen (*Portland Cement*)

Portland cement merupakan bahan pengikat utama untuk adukan beton dan pasangan batu yang digunakan untuk menyatukan bahan menjadi satu kesatuan yang kuat. Jenis atau tipe semen yang digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, dalam

hal ini perlu diketahui tipe semen yang distandardisasi di Indonesia.

Menurut *ASTM C150*, semen Portland dibagi menjadi lima tipe, yaitu :

Tipe I : *Ordinary Portland Cement (OPC)*, semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat, kekuatan awal).

Tipe II : *Moderate Sulphate Cement*, semen untuk beton yang tahan terhadap sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi sedang.

Tipe III : *High Early Strength Cement*, semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)

Tipe IV : *Low Heat of Hydration Cement*, semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah, dengan kekuatan awal rendah.

Tipe V : *High Sulphate Resistance Cement*, semen untuk beton yang tahan terhadap kadar sulfat tinggi.

Selain semen Portland di atas, juga terdapat beberapa jenis semen lain :

1. *Blended Cement* (Semen Campur)

Semen campur dibuat karena dibutuhkannya sifat-sifat khusus yang tidak dimiliki oleh semen portland. Untuk mendapatkan sifat khusus tersebut diperlukan material lain sebagai pencampur. Jenis semen campur :

- a) *Portland Pozzolan Cement (PPC)*
- b) *Portland Blast Furnace Slag Cement*
- c) Semen *Mosonry*
- d) *Portland Composite Cement (PCC)*

2. *Water Proofed Cement*

Water proofed cement adalah campuran yang homogen antara semen Portland dengan “*Water proofing agent*”, dalam jumlah yang kecil.

3. *White Cement* (Semen Putih)

Semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif, bukan untuk tujuan konstruktif.

4. *High Alumina Cement*

High alumina cement dapat menghasilkan beton dengan kecepatan pengerasan yang cepat dan tahan terhadap serangan sulfat, asam akan tetapi tidak tahan terhadap serangan alkali.

5. Semen Anti Bakteri

Semen anti bakteri adalah campuran yang homogen antara semen Portland dengan “*anti bacterial agent*” seperti *germicide*.

(Sumber : <http://en.wikipedia.org>)

2.2.3 Air

Fungsi dari air disini antara lain adalah sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (*Mindess et al.,2003*).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (*PUBI-1982*), antara lain:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram / liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO₃.
5. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

2.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Tujuan utama mempelajari sifat – sifat beton adalah untuk perencanaan campuran (*mix design*), yaitu pemilihan bahan – bahan beton yang memadai, serta menentukan proporsi masing – masing bahan untuk menghasilkan beton ekonomis dengan kualitas yang baik (*Antoni – P.Nugraha, 2007*). Dalam penelitian ini, *mix design* dilaksanakan menggunakan cara DOE (*Department of Environment*). Perencanaan dengan cara DOE dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia dan dimuat dalam buku standar *SK SNI T-15-1990*. Pemakaian metode DOE karena metode ini yang paling sederhana dengan menghasilkan hasil yang akurat, diantaranya penggunaan rumus dan grafik yang sederhana.

Secara garis besar langkah perhitungan *mix design* cara DOE dapat diuraikan sebagai berikut: menentukan kuat tekan rata-rata rencana ($f'c$); faktor air semen; nilai slump; besar butir agregat maksimum; kadar air bebas; proporsi agregat; berat jenis agregat gabungan, dan menghitung proporsi campuran beton.

2.4 Bahan *Capping*

Pada saat pengujian *compression*, permukaan silinder beton haruslah rata sehingga gaya tekan menyebar di semua permukaan silinder beton tersebut. Untuk mendapatkan permukaan silinder beton yang rata diperlukan bahan tambahan yang disebut *capping*. Bahan *capping* yang biasa digunakan adalah belerang.

Bahan pembuatan belerang sebagai *capping* adalah dengan cara memanaskan bubuk belerang hingga mencair dan dituang ke alat cetak *capping*. Selanjutnya ujung permukaan silinder beton yang tidak rata di timpa ke alat cetak *capping* tersebut sampai belerang menutup ujung permukaan beton dan mengeras.

Selain belerang terdapat juga bahan *capping* lainnya yaitu topi baja dan teflon. Topi baja berupa *pad elastomer* yang dimasukkan ke dalam

topi logam kaku yang berfungsi menahan atau mereduksi beban. Ukuran diameter topi baja 6 mm lebih besar dari diameter silinder beton. Sedangkan untuk penggunaan teflon dibentuk mengikuti bentuk permukaan benda uji. Teflon ini mempunyai dua jenis ketebalan yaitu 100 μm dan 50 μm .



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.7 Jenis capping, (a) belerang (b) topi baja dan (c) teflon

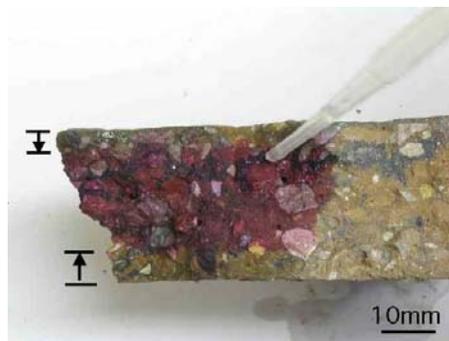
2.5 Karbonasi

Karbonisasi pada beton terjadi akibat unsur kalsium yang ada pada beton tercampur oleh karbon dioksida yang ada di udara dan berubah menjadi kalsium karbonat. Pasta semen mengandung 25-50% kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dimana rata-rata nilai pH dari pasta semen segar

setidaknya 12,5. Sedangkan nilai pH pasta semen yang terkarbonasi seluruhnya berkisar 7.

Beton akan terkarbonasi jika karbon dioksida dari udara atau dari air meresap ke dalam beton. Tingkat karbonasi tergantung dari porositas dan unsur kelembaban pada beton. Jika beton terlalu kering ($RH < 40\%$) CO_2 tidak dapat larut dan karbonasi tidak terjadi. Sebaliknya jika beton terlalu basah ($RH > 90\%$) CO_2 tidak dapat meresap ke dalam beton dan karbonasi juga tidak dapat terjadi pada beton. Kondisi optimal untuk terjadinya karbonasi pada saat RH 50% (berkisar antara 40-90%).

Karbonasi sangat merugikan pada beton bertulang karena menyebabkan atau berhubungan langsung dengan proses korosi pada tulangan dalam beton dan proses penyusutan (shrinkage). Tetapi pada beton biasa, karbonasi menyebabkan peningkatan nilai kuat tekan maupun tarik. Sehingga tidak semua efek karbonasi itu merugikan. Untuk mengetahui secara cepat dimana beton mengalami karbonasi, dapat dilakukan dengan cara menuangkan/meneteskan cairan Phenolphthalein, yang biasa disebut **Phenolphthalein indicator**. Jika setelah dituang beton berwarna keunguan, maka beton tidak terkarbonasi. Tetapi jika tidak berwarna, maka beton telah terkarbonasi.



Gambar 2.8 Gambar beton terkarbonasi