

BAB III

LANDASAN TEORI

Sebagaimana telah disebutkan pada bab I, bahwa penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik beton yang menggunakan campuran pecahan genteng “Soka” dan kerikil. Dalam landasan teori ini penulis akan menguraikan hal-hal yang berhubungan dengan karakteristik fisik beton yang meliputi berat jenis, kuat tekan, modulus elastis dan ketahanan terhadap cuaca pada beton.

3.1 Berat Jenis

Dalam ilmu teknologi beton dikenal jenis beton ringan (“*leightweight concrete*”). Beton ringan dapat dibuat dengan 3 (tiga) cara (Nevile, 1975), yaitu :

1. dengan pemakaian agregat ringan, misalnya agregat kasar yang ringan, agregat halus yang ringan atau keduanya,
2. dengan membuat gelembung-gelembung udara, yaitu dengan pemakaian bahan tertentu yang menyebabkan terjadinya gelembung udara kecil didalam beton, dan
3. dengan cara tanpa memakai pasir (beton non pasir), sehingga banyak terdapat rongga diantara butir-butir agregat kasar.

Beton ringan mempunyai berat jenis dibawah 2 gr/cm^3 (beton biasa mempunyai berat jenis $2,4 \text{ gr/cm}^3$). Secara kasar beton ringan ini menurut berat jenisnya dibagi 3

(tiga) kelompok (Nevile, 1975), yaitu :

1. beton ringan jenis antara $0,30$ sampai $0,80 \text{ gr/cm}^3$ yang biasanya dipakai sebagai bahan isolasi,
2. beton ringan dengan berat jenis antara $0,80$ sampai $1,40 \text{ gr/cm}^3$ yang dapat dipakai untuk struktur ringan, dan
3. beton ringan dengan berat jenis antara $1,40$ sampai $2,00 \text{ gr/cm}^3$ yang dapat dipakai untuk struktur sedang.

Berat jenis beton ringan dalam pembuatannya dipengaruhi oleh berat jenis agregatnya.

3.2 Kuat Tekan Beton

Kekuatan beton tidak lebih tinggi daripada kekuatan agregatnya. Oleh karena itu sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut masih dianggap cukup kuat. Namun dalam kasus-kasus beton kuat tekan tinggi yang mengalami konsentrasi tegangan lokal cenderung mempunyai tegangan lebih tinggi daripada kekuatan seluruh beton dalam hal ini kekuatan agregat menjadi kritis. Butir-butir yang lemah dan lunak perlu dibatasi nilai minimumnya jika ketahanan terhadap aberasi yang kuat dari betonnya diperlukan. Adapun salah satu cara untuk menguji kekuatan agregat kasar adalah dengan alat uji derak Los Ageles. Pada cara uji ini contoh butir-butir agregat dimasukkan kedalam silinder logam, dengan bola-bola baja untuk memukul, kemudian silinder diputar sehingga butir-butir agregat tersebut terpukul-pukul dan teraberasi. Prosentase jumlah agregat yang hancur selama pengujian merupakan ukuran dari sifat-sifat agregat,

yaitu keuletan, kekerasan dan ketahanan aus yang diharapkan merupakan sifat langsung yang berhubungan dengan kekuatan. Banyaknya butiran yang pecah pada akhir putaran ke-100 kali yang pertama dibandingkan dengan pada akhir putaran ke-500. Jika pada akhir ke-100 butiran yang pecah sudah lebih 20%, maka dianggap pada akhir ke-500 bagian butiran yang lunak sudah terlalu banyak (Tjokrodimulyo, 1993).

Menurut Salmon (1993), kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor selain oleh perbandingan faktor air semen dan tingkat pematatannya, faktor-faktor tersebut antara lain :

1. jenis semen dan kualitasnya,
2. jenis dan bentuk bidang permukaan agregat,
3. efisiensi perataan,
4. faktor umur, dan
5. mutu agregat.

Kuat tekan beton ditentukan dengan pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air dan berbagai jenis campuran. Semakin rendah perbandingan air terhadap semen , semakin tinggi kuat tekan beton. Hubungan antara fas dan kuat tekan silinder beton (f_c') dapat dilihat pada Gambar 3.1.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(f'c - f'cr)^2}{(n-1)}} \quad (3.2)$$

dengan: S = deviasi standar, MPa

$f'c$ = kuat tekan beton yang didapat masing-masing benda uji, MPa

$f'cr$ = kuat tekan beton rata-rata, MPa

n = jumlah benda uji

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pelaksanaan pencampuran beton. Dengan mengacu pada rumus (3.2), maka semakin baik mutu pelaksanaan akan semakin kecil nilai deviasi standarnya.

Sedangkan untuk menghitung kuat tekan beton yang disyaratkan dipakai rumus sebagai berikut:

$$f'cr = f'c + M \quad (3.3)$$

$$M = k \cdot s_d \quad (3.4)$$

dengan: M = nilai tambah, MPa

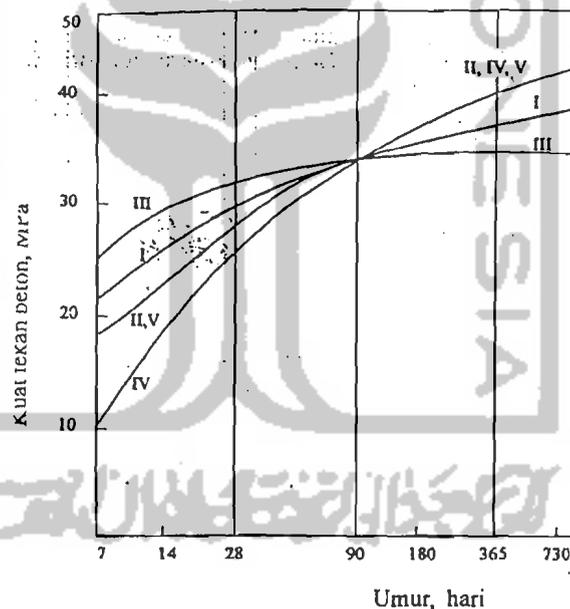
$$k = 1,64$$

s_d = deviasi standar, Mpa

Akan tetapi jika pelaksanaan tidak memiliki pengalaman hasil uji beton pada masa lalu dan hasil uji kurang dari 15 buah, maka untuk menghitung nilai karakteristik beton uji, nilai margin dapat langsung diambil sebesar 12 MPa.

3.2.1 Jenis Semen dan Kualitasnya

Semen portland mempunyai bermacam-macam type yaitu tipe I, tipe II, tipe III, tipe IV dan tipe V. Semen tipe I adalah semen yang banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi pada umumnya yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II adalah semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen tipe III yaitu semen dengan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi. Semen tipe IV yaitu semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah. Semen tipe V yaitu semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat. Hubungan kuat tekan beton untuk berbagai jenis semen dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kuat tekan beton untuk berbagai jenis semen (Tjokrodimulyo, 1995: 94)

3.2.2 Jenis dan Bentuk Permukaan Agregat

a. Jenis agregat

Jenis agregat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami diperoleh dari alam dan juga dari proses memecah batu alam. Agregat

alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi agregat beku, agregat sedimen dan agregat metamorf yang kemudian dibagi lagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil. Agregat pecahan diperoleh dengan memecah batu alam menjadi berukuran butiran sesuai yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, menyaring dan seterusnya.

Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan bata/genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi. Pecahan bata/genteng dari kualitas yang baik menjadikan agregatnya memenuhi syarat untuk beton, akan tetapi jika untuk beton bertulang sebaiknya kuat tekan batanya tidak kurang dari 30 MPa. Bata harus bebas dari mortar kapur. Beton dengan agregat dari pecahan bata/genteng tidak baik untuk beton kedap air (Tjokrodimulyo, 1992). Hubungan jenis agregat terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.3.

b. Bentuk dan permukaan agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton terbentuk. Agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai daripada agregat dengan permukaan yang halus, karena agregat dengan permukaan yang kasar dapat meningkatkan rekatan agregat-semen sampai 1,75 kali, adapun kuat tekan betonnya dapat meningkat sekitar 20 %. Sifat bentuk dan tekstur dari butir-butir agregat sebenarnya belum terdefinisikan secara jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik dan pengaruhnya terhadap beton juga sulit

diperiksa dengan teliti. Berdasarkan bentuk butiran, agregat dapat dibedakan seperti berikut ini.

1. Agregat bulat

Agregat ini memiliki rongga udara minimum 33%. Hal ini berarti memiliki rasio permukaan-volume kecil, sehingga hanya memerlukan pasta semen sedikit untuk menghasilkan beton yang baik, namun ikatan antar butir-butirnya kurang kuat sehingga lekatannya lemah.

2. Bulat sebagian

Agregat ini memiliki rongga udara sekitar 35% - 38%. Dengan demikian lebih banyak membutuhkan pasta semen untuk mendapatkan beton segar yang dapat dikerjakan. Ikatan antar butir lebih baik daripada agregat bulat.

3. Bersudut

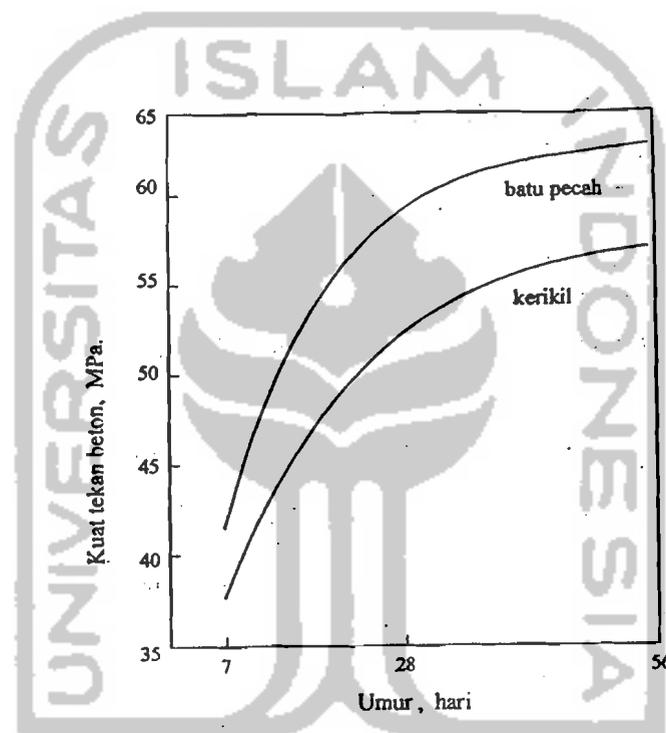
Agregat ini memiliki rongga berkisar antara 38% - 40%. Ikatan antar butirnya baik, sehingga membentuk daya lekat yang baik. Pasta semen yang diperlukan lebih banyak untuk adukan beton yang dapat dikerjakan.

4. Panjang dan pipih

Agregat pipih adalah agregat yang ukuran terkecil butirnya kurang dari $\frac{3}{4}$ ukuran rata-ratanya. Agregat panjang adalah agregat yang ukuran terbesar butirnya lebih dari $\frac{9}{5}$ ukuran rata-rata.

Tekstur permukaan ialah sifat permukaan yang tergantung pada ukuran apakah permukaan butir termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam dan macam dari bentuk kekasaran permukaan. Sifat-sifat fisik agregat, misalnya bentuk dan tekstur secara nyata mempengaruhi mobilitas dari beton segarnya, maupun daya lekat antar

agregat dengan pastinya. Kuat rekatan antara agregat dan pasta semen tergantung pada tekstur permukaan tersebut. Rekatan tersebut merupakan pengembangan dari ikatan mekanis antar butiran. Suatu agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai daripada agregat dengan permukaan halus, karena agregat dengan permukaan kasar dapat meningkatkan rekatan agregat-semen sampai 1,75 kali, adapun kuat tekan betonnya dapat meningkat sampai sekitar 20% (Tjokrodimulyo, 1996).



Gambar 3.3 Pengaruh jenis agregat pada kuat tekan beton
(Tjokrodimulyo, 1995: 95)

3.2.3 Umur Beton

Kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut dipengaruhi oleh faktor air semen .

Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya dan sebaliknya semakin rendah faktor air semen semakin cepat kenaikan kuat tekannya.

3.2.4 Mutu Agregat

Mutu agregat akan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semakin baik mutu agregat yang dipakai akan semakin besar kuat tekannya.

Agregat yang baik dan bermutu tinggi adalah agregat yang memenuhi persyaratan-persyaratan antara lain sebagai berikut ini.

- a. Butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut.
- b. Tidak mengandung zat yang menghisap air dari udara.
- c. Tidak mengandung zat organis.
- d. Tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0,075 mm.
- e. Harus mempunyai variasi gradasi yang baik.
- f. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca.
- g. Untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali.
- h. Untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20% dari berat keseluruhan.

3.2.4.1 Gradasi Agregat

Seperti yang telah disebutkan dalam tinjauan pustaka, bahwa beton biasanya terdiri dari 60% sampai 80% volumenya berupa agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang

utih, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

Karena agregat merupakan bahan terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campuran masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang menggunakan beton tersebut (Nawy,1985).

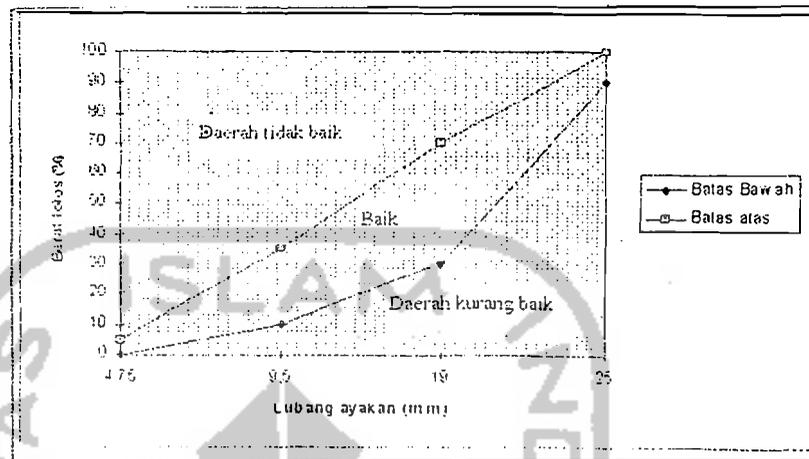
Persyaratan gradasi agregat berbobot ringan untuk beton struktural menurut ASTM C-330 ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan gradasi agregat berbobot ringan untuk beton struktural menurut ASTM C-330

Ukuran	Prosentase (berat) lewat saringan berlubang bujur sangkar								
	25,5mm	19,0mm	12,5mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm	300 μ m	150 μ m
Agregat halus	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar									
25mm	95-100	-	25-60	-	0-100	-	-	-	-
19mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
12,5mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
9,5mm	-	-	100	80-100	5-10	0-20	0-10	-	-
Gabungan agregat halus dan kasar									
12,5mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
9,5mm	-	-	100	90-100	65-90	-	-	10-15	5-15

Agregat ringan dalam campuran beton akan menyerap air yang relatif lebih banyak dibanding dengan agregat beton biasa dan penyerapan itu berlangsung sangat cepat. Pertimbangan merupakan landasan yang penting dalam perbandingan dalam campuran beton.

Batas-batas gradasi agregat kasar menurut ASTM standar C33-71a, diperlihatkan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik batas-batas gradasi agregat kasar menurut ASTM standar C33-71a

Menurut Sadji (1997), gradasi agregat dapat mempengaruhi :

1. jumlah pemakaian air,
2. naiknya air ke permukaan beton yang baru dicor (*bleeding*),
3. pengecoran beton,
4. pemadatan beton,
5. penyelesaian beton, dan
6. sifat-sifat beton yang sudah mengeras.

Gradasi yang baik dapat menghasilkan kerapatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum. Dalam pelaksanaan, ketidakseragaman gradasi ini akan mengakibatkan variasi yang cukup besar.

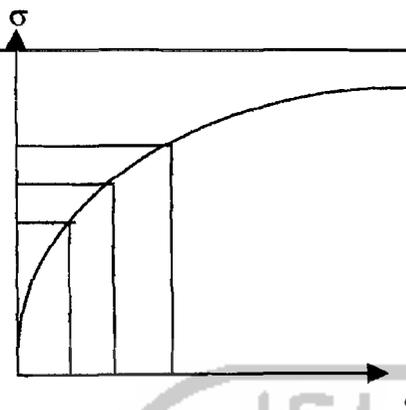
3.3.4.2 Modulus Halus Butir

Menurut Tjokrodimulyo (1992), modulus halus butir (*fineness modulus*) ialah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus halus butir (mhb) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus.

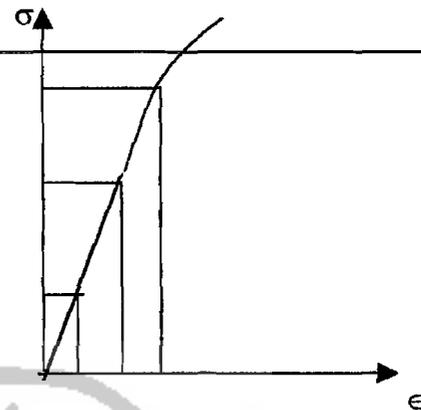
Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butirnya. Pada umumnya pasir memiliki modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8, sedangkan kerikil memiliki modulus halus butir antara 5 sampai 8.

3.3 Modulus Elastis

Menurut Vis dan Kusuma (1995), modulus elastis atau modulus Young adalah sebuah konstanta bahan yang mempunyai nilai tertentu untuk suatu bahan tertentu. Tiap bahan memiliki modulus elastis E tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tarik atau beban tekan. Bila nilai E semakin kecil, akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Grafik hubungan linier dan non-linier tegangan dan regangan ditunjukkan oleh Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5 Hubungan non-linier antara tegangan dan regangan



Gambar 3.6 Hubungan linier antara tegangan dan regangan pada nilai tegangan rendah

Tegangan tidak selalu berbanding lurus dengan regangan. Seperti pada Gambar 3.5, titik-titik yang dipetakan berturut-turut tidak terletak pada satu garis lurus, sehingga tidak terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. Bahan yang memiliki tegangan dan regangan seperti ini disebut elastis non-linier. Bahan ini jelas tidak mengikuti hukum Hooke sehingga hubungan $\sigma = E \cdot \epsilon$ tidak berlaku. Bahan ini tidak mempunyai modulus elastis konstan. Ini berarti hitungan perencanaan dengan menggunakan bahan demikian harus dengan rumus yang berbeda dengan bahan-bahan elastis linier. Gambar 3.6 menunjukkan suatu kesebandingan antara tegangan dan regangan untuk nilai tegangan yang rendah, tetapi pada tegangan yang tinggi bahan memiliki kelakuan nono-linier. Ketidak linier-an dikibatkan oleh formasi retak-retak yang menurunkan kekakuan (Ferguson, 1986).

Modulus elastis beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji (Wang dan Salmon, 1985).

Modulus sekan pada 25% sampai 50% dari kuat tekan f_c' biasanya diambil sebagai modulus elastisitas. Selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga $1000 f_c'$ oleh peraturan ACI, akan tetapi dengan penggunaan beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan (*density*) perlu diikutkan. Sebagai suatu hasil dari analisa statistik atas data-data yang tersedia, maka rumus empiris yang diberikan oleh ACI-8.5.1 adalah:

$$E_c = 0,043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana: E_c = modulus elastis beton (MPa)

W_c = berat isi beton (kg/m^3)

F_c' = kuat tekan beton (Mpa)

Persamaan (3.5) dapat dipandang sebagai modulus sekan untuk suatu tegangan tekan pada tingkatan beban kerja dan hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 sampai 2500 kgf/m^3 . Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi $\pm 25 \text{ kN/m}^3$ dapat digunakan nilai $E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$.

3.4 Keawetan Beton (*Durability*)

Suatu bangunan yang terbuat dari beton harus dapat tahan untuk jangka waktu yang lama terlebih lagi jika bangunan tersebut bersifat monumental. Untuk itu perlu

diperhatikan perhitungan analisis terhadap struktur dan keawetan serta ketahanan betonnya terhadap berbagai faktor yang menimbulkan kerusakan.

Faktor internal pada betonnya sendiri antara lain:

- a. susut plastis dan susut kering menimbulkan retakan,
- b. perubahan volume oleh perbedaan sifat thermal antara agregat dan pasta semen,
- c. adanya garam-garam sulfat dan klorida bebas pada campuran beton, dan
- d. tidak kedap (permeable) beton.

Faktor eksternal yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada beton yang berhubungan langsung dengan lingkungan antara lain faktor kimia seperti berikut ini.

- a. Serangan zat kimia yang agresif pada air, gas dan udara.

Zat kimia yang merusak beton adalah sulfat, klorida, asam, karbon dioksida dan soda.

Sulfat bisa terdapat pada air hujan yang menerima gas SO_2 dari udara, membentuk asam sulfat dan garam sulfat yang dapat bereaksi secara kimia dengan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan trikalsium aluminat dalam pasta semen lalu mengakibatkan kerusakan beton. Asam dan soda dapat bereaksi dengan kapur pada semen dan secara lambat dapat merusak beton.

- b. Proses karbonisasi yaitu bersenyawanya gas karbon dioksida (CO_2) diudara dengan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada beton berakibat turunnya pH beton dan mendorong terjadinya korosi baja tulangan. Reaksi ini hanya terjadi pada kondisi lembab. Kerusakan terutama terjadi pada beton yang tidak kedap udara, dan konsentrasi CO_2 diudara cukup tinggi.

Untuk mengetahui seberapa besar daya tahan beton terhadap faktor tersebut diatas maka perlu diadakan pengujian-pengujian pada beton antara lain uji ketahanan terhadap cuaca.

3.4.1 Ketahanan Terhadap Cuaca

Kondisi cuaca senantiasa berubah-ubah mulai dari suhu udara, waktu siang dan malam, musim kamarau dan musim penghujan atau pembekuan (pada daerah dengan musim dingin), dapat mempengaruhi sifat keawetan (*durability*) dari struktur beton yang berupa retakan pada permukaan beton atau disintegrasi pada kedalaman yang cukup besar. Untuk itu perlu diketahui sifat keawetan dari suatu struktur beton.

Untuk melakukan pengujian ketahanan terhadap cuaca beton dilakukan dengan merendam sampel beton ke dalam larutan Natrium Sulfat (NaSO_4) atau Magnesium Sulfat (MgSO_4), kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105°C . Proses perendaman dan pengeringan masing-masing dilakukan selama 12×24 jam.

Berat yang berkurang setelah selesai dilakukan pengujian akan menunjukkan sifat keawetan atau ketahanan terhadap cuaca dari beton yang diuji tersebut. Jika digunakan larutan Natrium Sulfat batasnya 12%, sedang apabila menggunakan larutan Magnesium Sulfat batasnya 18%.