

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Beton

Beton merupakan suatu zat yang seperti batuan yang berasal dari campuran pasta (semen dan air) serta agregat (kerikil, batu pecah, pasir dan sejenisnya). Terkadang, untuk menghasilkan karakteristik tertentu pada beton seperti setting time, durabilitas dan kemudahan pengerjaannya, bisa dengan menambahkan bahan aditif dalam jumlah yang disesuaikan dengan hal-hal yang ingin dicapai.

Untuk membuat beton yaitu dengan melakukan pencampuran materialnya (semen, air dan agregat), bisa juga menambahkan suatu bahan tambah tertentu. Material tersebut diaduk secara merata dengan jumlah tertentu untuk membuat campuran plastis dengan bentuk yang diinginkan sehingga bisa dituangkan ke dalam cetakan. Jika tidak dikendalikan, campuran akan mengeras karena reaksi kimia jangka panjang antara semen dan air, atau dengan kata lain campuran beton akan mengeras seiring waktu.

Dalam dunia konstruksi beton sering dipakai karena kokoh, bertekstur halus, permukaannya rata serta biaya yang lebih murah dibanding dengan konstruksi besi dan baja. Beton biasa digunakan pada beberapa konstruksi seperti jembatan, jalan raya, gedung, bendungan, dan masih banyak lagi.

Beton dikatakan baik apabila setiap ruang antar agregat dan butirnya terbungkus sepenuhnya oleh mortar. Oleh karenanya, kualitas dari pasta atau mortar sangat mempengaruhi kualitas beton itu sendiri.

Kelebihan beton dibandingkan dengan material lain, yaitu diantaranya:

1. Beton memiliki kemampuan menahan tekan yang besar juga tahan terhadap pembusukan, kebakaran serta karat.
2. Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton dibanding dengan bahan konstruksi lain lebih murah karena berasal dari lokal (kecuali harga semen).
3. Dalam pembuatannya termasuk mudah dicetak, bisa disesuaikan dengan bentuk yang diinginkan.
4. Dalam struktur yang berat, beton dapat dikombinasikan dengan baja tulangan agar memiliki kekuatan yang lebih tinggi.

5. Biaya perawatan beton relatif rendah karena tahan terhadap kebakaran dan keausan.

Kekurangan beton dibandingkan dengan material lain, yaitu diantaranya:

1. Kemampuan menahan tarik yang dimiliki beton lebih rendah dibanding baja sehingga menyebabkan keretakan pada beton.
2. Jika basah maka beton segar akan mengembang, dan apabila beton segar mengalami pengeringan maka beton akan susut.
3. Apabila terjadi perubahan suhu, beton keras dapat mengalami perkerasan atau pun penyusutan.
4. Beton dapat rusak apabila air sebagai campurannya mengandung garam.
5. Kemampuan penyerapan air yang sempurna tidak dimiliki oleh beton.
6. Agar bersifat daktil setelah dikombinasikan dengan baja, maka beton harus dihitung secara detail dan seksama untuk mengurangi kegetasannya.

2.2 Macam-Macam Beton

Beton dapat dibedakan atas 10 jenis didasarkan pada fungsi dan kegunaannya, yaitu sebagai berikut:

1. Beton Ringan

Beton ringan sesuai dengan namanya menggunakan agregat berbobot ringan sebagai bahan pencampurnya. Zat aditif juga sering digunakan oleh beberapa orang untuk membentuk gelembung udara yang ada pada beton. Dengan adanya gelembung tersebut, maka pori-pori dalam beton pun akan semakin bertambah dan kian membesar ukurannya. Akibatnya, beton yang dihasilkan akan mempunyai massa yang lebih ringan dibanding dengan beton jenis lain dalam ukuran yang sama. Beton ini biasa digunakan pada dinding non-struktur.

2. Beton Mortar

Beton mortar memiliki daktilitas dan kekuatan tarik yang baik dengan bahan baku pembuatannya terdiri atas mortar, agregat halus dan air. Bahan seperti kapur, semen dan lumpur sering digunakan pada mortar. Ada pula *ferro cement*, yaitu beton mortar semen yang dipasang bersama anyaman tulangan baja.

3. Beton Hampa

Dalam pembuatannya, beton hampa menggunakan alat vacuum khusus untuk menyedot air pengencer adukan. Hal ini berakibat pada kekuatan beton yang meningkat karena di dalam beton terkandung air yang telah bereaksi dengan semen. Maka bukan hal yang mustahil apabila jenis beton ini banyak digunakan dalam konstruksi gedung pencakar langit.

4. Beton Non-Pasir

Sesuai dengan namanya, beton ini dibuat dengan komposisi pasta semen dan agregat kasar (kerikil). Akibatnya, beton memiliki berat jenis yang lebih rendah yang disebabkan oleh adanya rongga udara diantara celah kerikil. Biasanya beton ini diaplikasikan pada struktur ringan, dinding sederhana, bata beton, kolom dan buis beton.

5. Beton Bertulang

Beton bertulang terbuat dari campuran beton dan baja. Perlu dicatat bahwa ketahanan tekan beton kuat, tetapi ketahanan tariknya lemah. Oleh karena itu, batang baja sengaja ditanam untuk meningkatkan kemampuan beton menahan tarik. Umumnya dipasang pada bentang yang lebar seperti struktur pelat, kolom, perkerasan kaku dan masih banyak lagi.

6. Beton Prategang

Beton prategang pada dasarnya dibuat menyerupai beton bertulang. Satu-satunya perbedaan yang ada yaitu bahwa tulangan baja yang akan dimasukkan ke dalam beton harus dikencangkan terlebih dahulu. Tujuannya agar meskipun beton dikenai beban lentur yang besar, tidak akan terjadi keretakan. Penerapan beton prategang juga banyak digunakan untuk menopang struktur bentang besar.

7. Beton Pracetak

Beton pracetak yaitu beton yang dibuat di tempat lain (di luar area proyek konstruksi) guna mendapatkan kualitas yang baik. Pemilihan beton ini seringkali didasarkan pada kurangnya pekerja dan area proyek yang tidak mencukupi. Umumnya diproduksi oleh perusahaan yang bergerak dibidang konstruksi dan pengadaan bahan bangunan.

8. Beton Massa

Beton yang diproduksi dalam jumlah yang tidak sedikit dan penuangannya

pun sangat besar disebut dengan beton massa. Begitupula rasio volumenya dengan luas permukaan termasuk sangat tinggi. Secara umum, ukuran beton massa melebihi 600 mm. Beton jenis ini banyak diaplikasikan dalam pembuatan bendungan, pondasi besar dan pilar bangunan.

9. Beton Siklop

Beton siklop merupakan beton yang menggunakan agregat dengan ukuran penampang kisaran 150-200 mm sebagai bahan pengisi tambahan. Agar kekuatannya meningkat, material tersebut kemudian dituangkan ke dalam campuran beton. Beton siklop biasa digunakan pada konstruksi bangunan air seperti bendungan, jembatan dan lain-lain.

10. Beton Serat

Pada prinsipnya, beton ini diproduksi dengan tambahan serat tertentu ke dalam adukan. Serat yang umum dipakai antara lain, plastik, asbes, kawat baja dan beberapa tanaman. Tujuan tambahan serat guna meningkatkan daktilitas beton agar nantinya tidak mudah retak.

Beton dibedakan menjadi 3 jenis didasarkan pada kelas dan mutunya, yaitu:

1. Beton Kelas I

Beton dengan mutu kelas I dinyatakan dengan B_0 yaitu beton yang biasa digunakan pada pekerjaan tanpa struktur. Dalam pengerjaannya tidak memerlukan kemahiran yang khusus. Juga dalam pengawasannya, tidak lebih dari pengawasan ringan seperti pada mutu bahannya saja tidak sampai ke kekuatan tekannya.

2. Beton Kelas II

Pada pelaksanaannya, beton kelas II harus dilakukan dengan pengawasan dari pimpinan tenaga ahli dengan keahlian yang cukup karena diperuntukkan pada pekerjaan struktural secara umum. Beton grade II dibagi menjadi standar mutu B1, K 125, K 175 dan K 225. Dalam kualitas B1, kontrol kualitas terbatas pada pengendalian kualitas bahan, dan tidak memerlukan pemeriksaan kuat tekan. Untuk mutu K 125 dan K 175 perlu dilakukan pengecekan kuat tekan beton secara terus menerus sesuai dengan hasil pemeriksaan sampel.

3. Beton Kelas III

Beton yang digunakan pada pekerjaan struktural yang lebih dari K 225

dikategorikan sebagai beton kelas III. Dalam pengerjaannya diperlukan keahlian khusus juga harus dilaksanakan di bawah pimpinan para ahli. Untuk melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu, maka diharuskan adanya laboratorium beton yang dilayani oleh tenaga ahli dan memiliki peralatan yang lengkap di dalamnya.

2.3 Beton Kedap Air

Beton kedap air yaitu beton yang tak mempunyai kemampuan meresap air yang harus memenuhi ketentuan minimum seperti:

1. Untuk beton kedap air normal, apabila dilakukan pengujian dengan melakukan perendaman di dalam air.
 - a. Apabila dalam rentang waktu $10 \pm 0,5$ menit, nilai maksimum resapan (absorpsi) yaitu 2,5 % dari berat beton kering oven.
 - b. Selama 24 jam, dari berat beton kering oven memiliki resapan (absorpsi) 6,5%. Adapun untuk serapan airnya dirumuskan seperti berikut ini:

$$\text{Serapan air} = \frac{W - W_k}{W_k} \cdot 100\%$$

Keterangan:

W = Berat beton kondisi SSD

W_k = Berat beton kondisi kering oven

2. Untuk beton kedap air agresif, apabila dilakukan pengujian menggunakan suatu air yang bertekanan maka air tersebut akan tembus ke dalam beton tanpa melampaui batasnya yaitu:
 - a. Agresif kuat : 40 mm
 - b. Agresif sedang : 50 mm

Tabel 2.1 Waktu Penekanan Sampel terhadap Tekanan Airnya

Tekanan Air (kg/cm ²)	Waktu (jam)
1	48
3	24
7	24

Sumber: SK SNI S - 36 - 1990 - 03, 1990

2.4 Bahan-Bahan Campuran Beton

2.4.1 Air

Air yaitu salah satu bahan dari campuran beton yang memiliki kemampuan pengikat pada bahan lainnya (semen) lainnya. Faktor air yang ada di dalam suatu campuran beton akan memengaruhi kuat tekannya, juga pada hal lainnya seperti:

1. Mutu beton.
2. Kemudahan pengerjaan (*workability*) pada adukannya.
3. Nilai susut beton.
4. Pengerasan adukan beton.
5. Reaksi *hydrasi* yang terjadi secara langsung dengan semen portland.

Agar dapat bereaksi dengan semen, jumlah air yang dibutuhkan hanya sekitar 25% dari berat semen, tetapi sulit untuk menggunakan nilai fas kurang dari 0,35 karena proporsi air dalam beton sangat kecil dan menjadi kering juga sulit untuk dipadatkan. Maka dari itu, harus digunakan tambahan air sebagai campuran pelumas untuk mempermudah pekerjaan.

Keperluan air dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

1. Ukuran nominal agregat maksimum: semakin besar ukurannya, air yang dibutuhkan semakin berkurang. Begitupun dengan kebutuhan mortar yang akan semakin kecil.
2. Bentuk butir agregat kasar: apabila bentuknya bulat, air yang dibutuhkan berkurang. Untuk batu pecah, memerlukan air yang lebih banyak karena bentuknya menjauhi dari bentuk bulat.
3. Gradasi agregat: kebutuhan air akan menurun apabila gradasinya baik (pada kelecakan yang sama).

4. Kotoran dalam agregat: akan lebih baik jika agregat dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air bersih sebelum dilakukan pencampuran. Karena kebutuhan air akan meningkat seiring dengan semakin banyaknya tanah liat, lumpur dan *silt* dalam agregat.
5. Jumlah agregat halus: perbandingan antara agregat halus dengan agregat kasar (h/k) menentukan kebutuhan air. Semakin mengecil kebutuhan agregat halus, maka kebutuhan airnya pun akan semakin berkurang.

Jika air mengandung pengotor, maka kekuatan dan keawetan beton akan menurun. Dampak terhadap beton meliputi waktu pengikatan awal dan kekuatannya pasca pengerasan. Lumpur yang terkandung di dalam air lebih dari 2 gr/lit akan berpengaruh terhadap kekuatannya yang berkurang. Air akan memperlambat kecepatan awal ikatan beton, menyebabkan beton kehilangan kekuatan selama 2-3 hari. Sodium karbonat dan potassium pada konsentrasi tinggi akan memengaruhi ikatan awal yang sangat cepat, sehingga kekuatan beton berkurang.

2.4.2 Semen

Semen portland merupakan semen hidrolik yang diproduksi dengan menghancurkan klinker pokok terdiri dari silikat kalsium yang sifatnya hidrolik dan menggunakan gipsium sebagai aditif. Semen portland dibuat dengan mencampurkan calcareous (mengandung kalsium karbonat atau batugamping) dan argillaceous (mengandung alumina) dalam proporsi tertentu, lalu dibakar secara bersamaan. Pada dasarnya, semen ini mengandung tiga bahan tercampur diantaranya kapur, alumina dan silika yang nantinya menjadi klinker setelah dibakar dalam suhu 1550°C. Lalu diangkat dan biarkan hingga dingin untuk kemudian ditumbuk sampai benar-benar halus. Umumnya klinker kemudian digiling secara mekanis, sembari menambahkan sekitar 2-4% gipsium atau kalsium sulfat (CaSO_4) sebagai zat pengatur waktu pengerasan. Agar terbentuk semen khusus maka bahan tambahan lain dimasukkan ke dalamnya.

Semen merupakan serbuk yang sangat halus yang digunakan sebagai bahan pengikat antara agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Bahan baku utama semen Portland adalah batugamping yang mengandung komponen utama CaO (kapur) dan SiO_2 (silika), Al_2O_3 (alumina), Fe_2O_3 (oksida besi), MgO (magnesium),

SO₃ (sulfur) dan Na₂+ K₂O lempung (air soda). /kalium karbonat). Adapun komponen semen lain yang lebih kecil dari beratnya adalah MgO, TiO, Mn₂O₃, K₂O dan Na₂O.

Tabel 2.2 Jenis dan Sifat Semen Portland

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m ² /kg)	Kuat 1 hari (kg/cm ³)	Panas hidrasi (J/kg)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Sumber: Paul Nugraha, (2007)

2.4.3 Agregat

Berdasarkan SNI No. 1737-1989-F, agregat yaitu sekumpulan butiran yang sumbernya berupa hasil alami atau pun buatan. Butiran-butiran tersebut dapat berupa pasir, batu pecah atau kerikil, bisa juga berupa mineral lain. Adapun pengelompokan agregat didasarkan pada jenis, gradasi dan bentuk dari agregat itu sendiri.

1) Jenis Agregat

Agregat dapat dibagi jenisnya menjadi beberapa bagian sesuai dengan proses pembentukannya, pengolahannya dan ukuran butir agregat itu sendiri. Menurut proses pembentukannya agregat dikategorikan menjadi agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*) dan batuan metamorfik (*metamorphic rock*). Selanjutnya menurut metode pengolahannya, agregat dibagi menjadi agregat alami, agregat olahan dan agregat buatan. Sedangkan menurut ukuran butirnya, didasarkan pada beberapa aturan yaitu menurut Bina Marga (2002) yaitu sebagai berikut:

- Apabila agregat berukuran lebih dari ayakan No. 4 (4,75 mm), maka dikategorikan sebagai agregat kasar.
- Dimensi butiran yang kurang dari ayakan No.4 (4,75 mm) dikategorikan

sebagai agregat halus.

- Bagian dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) minimum 75% dikategorikan sebagai bahan pengisi (*filler*).

2) Gradasi Agregat

Gradasi merupakan susunan butiran berdasarkan dimensi agregat. Ukuran butirannya diperoleh dengan melakukan pengujian analisis saringan. Dalam satu set saringan, ukuran yang umum digunakan terdiri atas ukuran 4 inci, 3^{1/2} inci, 3 inci, 2^{1/2} inci, 2 inci, 1 1/2 inci, 1 inci, inci, inci, 3/8 inci, No. 8, No. 2, No. 16, 30 No. 50, No. 100 dan No. 200. Dimensi ayakan dalam satuan panjang menyatakan dimensi bukaan, dan nomor ayakan menyatakan jumlah bukaan dalam 1 inci panjangnya.



Gambar 2.1 Saringan

3) Bentuk Agregat

Menurut bentuknya, butiran atau partikel agregat dapat diklasifikasikan menjadi bentuk bulat lonjong, pipih kubus, dan tidak beraturan, serta memiliki bentuk pecah.

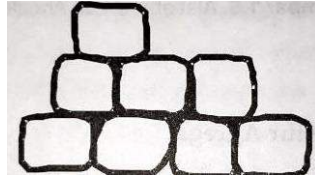
Agregat yang umumnya ditemui di sungai berbentuk bulat lonjong dan licin. Bidang kontakannya sangat sempit sehingga hasil dalam perkerasannya kurang bagus karena bentuk agregatnya hanya berupa satu titik singgung.



Gambar 2.2 Skematis susunan butir agregat berbentuk bulat

Hasil dari mesin pemecah batuan (batu masif) adalah agregat yang berbentuk kubus. Titik bidang kontak agregatnya luas, sehingga daya saing menguncinya

baik, stabil dan lebih tahan terhadap deformasi.



Gambar 2.3 Skematis susunan butir agregat berbentuk kubus

Agregat yang cenderung pecah dan bentuknya pipih biasanya berasal dari hasil produksi mesin pemecah batu. Ketebalannya lebih tipis 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihannya yaitu berat total agregat yang lolos dibagi berat total agregat tertahan pada diameter nominal tertentu. Agregat yang berbentuk tak beraturan yaitu salah satunya agregat berbentuk pipih dan cenderung pecah.



Gambar 2.4 Skematis susunan butir agregat berbentuk tak beraturan

2.4.4 Bahan Tambah

1. Definisi Bahan Tambah

Bahan yang bukan merupakan material utama dalam campuran beton (air, semen dan agregat) yang dicampurkan secara instan atau selama proses pencampuran disebut dengan bahan tambah (*admixtures*). Fungsi bahan tambah yaitu untuk mengubah sifat tertentu pada beton atau bahannya supaya bisa lebih ekonomis, atau untuk menghemat suatu energi.

Biasanya bahan ini dicampurkan ke dalam adukan beton dalam jumlah yang tidak banyak, sehingga tingkat pekerjaan pengendaliannya harus lebih besar dari pada beton normal. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian agar penambahan bahan tersebut tidak menyebabkan efek samping seperti susut kering meningkat dan elastisitas yang menurun pada beton.

2. Bahan Tambah *Super Plasticizer (SP)*

Super plasticizer adalah aditif pereduksi air yang sangat efektif. Keuntungan menggunakan SP adalah bahwa mortar dengan rasio air-semen yang lebih rendah

dapat diperoleh di bawah nilai viskositas mortar yang sama, atau campuran dengan viskositas yang lebih tipis dapat diperoleh di bawah rasio air-semen yang sama, sehingga meningkatkan kekuatan tekan beton, namun harus sesuai dengan dosis yang ditentukan. *Super Plasticizer* dibedakan menjadi 4 jenis, diantaranya :

- Modifikasi *Lignosulfonat* tidak mengandung klorida.
- Kondensasi *Sulfonat Melamine Formaldehyde* (SMF) mengandung klorida dengan presentase 0.005%.
- Kondensasi *Sulfonat Nephthalene Formaldehyde* (SNF) mengandung klorida namun diabaikan.
- *Carboxyl Acrylic Ester Copolymer*.



Gambar 2.5 *Super Plasticizer*

3. Bahan Tambah *Fly Ash* (Abu Terbang)

Fly ash atau abu terbang ini terbentuk dari bahan mineral yang berubah akibat dari suatu proses pembakaran batubara. Sisa pembakarannya kemudian dialirkan dari ruang pembakaran melewati boiler berupa asap yang tersembur. Bentuk butirannya sangat halus dan termasuk kedalam zat yang anorganik.

Berdasarkan ACI Manual of Concrete Practice 1992 parts 1 226.3R-3, ada 3 kelas abu terbang (*fly ash*), yaitu:

a. Kelas C

Fly ash yang didalamnya terdapat CaO tidak kurang dari 10% berasal dari pembakaran lignit atau batubara sub-bituminus (light coal). Senyawa lain termasuk: SiO₂ (30-50%), Al₂O₃ (17-20%), Fe₂O₃, MgO, Na₂O dan K₂O yang sedikit. Berat jenisnya diantara 2,31 sampai 2,86. Dapat langsung bereaksi dengan

air dan terbentuk senyawa CSH ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tetapi juga mempunyai sifat pozzolan. Kalsium Hidroksida dan Ettingite akan mengeras menyerupai semen.

b. Kelas F

Fly ash dengan kandungan CaO tidak lebih dari 10% yang merupakan hasil pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. Karena kandungan CaO yang kecil, maka fly ash ini tidak bisa mengendap. Adapun senyawa lain yang ada di dalamnya: SiO_2 (30-50%), Al_2O_3 (45-60%), MgO, K₂O dan sedikit Na₂O. Berat jenisnya antara 2,15-2,45 dan sifatnya seperti pozzolan.

c. Kelas N

Pada kelas ini mempunyai sifat pozzolan yang baik. Pozzolan alam atau hasil pembakaran ini bisa dikelompokkan menjadi tanah diatomik, opaline chert dan shales, tuff dan abu vulkanik baik itu yang melewati proses pembakaran atau pun tidak.

Abu terbang juga memiliki sifat fisika yaitu diantaranya:

a. Bentuk Butiran

Dimensi dan bentuk butiran fly ash bergantung pada tempat ekstraksi dan seragamnya batubara yang dipakai, tingkatan kerusakan selama pembakaran, suhu dan ketersediaan kadar oksigen selama proses pembakaran, sistem pembakaran yang serupa, pengumpulan dan pemisahan fly ash dan filter selama pembakaran. Fly ash berbentuk bulat, seperti bola amorf kecil, terjalin dalam kelompok.

b. Kehalusan

Ukuran partikel fly ash antara 1 μm sampai 1 mm. Fly ash yang halus dan bagus dihasilkan dari peralatan yang baik dalam penangkapan dan penyaringannya.

c. Berat Jenis

Nilai berat jenis fly ash dipengaruhi oleh sumber lokasi batubara itu sendiri dan biasanya berada dalam kisaran nilai 1,97 sampai 3,02.

Beton *High Volume Fly Ash (HVFA)* merupakan jenis beton yang paling sedikit 50% dari semen sebagai pengikatnya digantikan oleh fly ash dengan kelas C atau F. Pada 1980-an, para peneliti di Pusat Penelitian CANMET Kanada pertama kali memperkenalkan istilah beton abu terbang dalam jumlah besar. Penggunaan beton HVFA mempunyai keuntungan pada beton baik dalam kondisi segar maupun setelah

mengeras.

Keuntungan yang dapat diperoleh pada beton tersebut yaitu:

- 1) Keleccakan beton yang meningkat.
- 2) Finishing permukaan menjadi lebih mudah.
- 3) Drying shrinkage dan creep.
- 4) Durabilitas beton yang meningkat.

Penggunaan fly ash pada beton tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan, tetapi bisa pula menambah kualitas beton dan kinerjanya. Meskipun penggunaan beton HVFA sejalan dengan gerakan "*green concrete*", namun ada kendala yang menghalanginya agar bisa diterima secara umum dan luas.

Beberapa hambatan yang menghalangi penggunaan HVFA diantaranya:

- 1) Ketentuan dan peraturan penggunaannya sulit.
- 2) Lambatnya perkembangan dari kuat tekan.
- 3) Diperlukan waktu yang cukup lama dalam perawatannya.

Sebagai bahan silika, fly ash merupakan bahan pozzolan yang sering dipakai sebagai material tambahan bahan semen. Dalam industri konstruksi, perkembangan dan pemakaian semen dengan bahan tambah Fly ash semakin meningkat karena bisa menambah tingkat kinerja semen, mengurangi biaya, dan dampak negatif pada lingkungan juga berkurang. Selain itu juga dapat mengurangi dimensi rata-rata pori yang ada pada beton sehingga permeabilitasnya lebih kecil. Dengan nilai permeabilitas yang semakin rendah, panas hidrasi pun akan menurun karena suhunya menjadi rendah apalagi pada beton massa..

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Proporsi Campuran dan Kekuatan Beton

Di dalam setiap perencanaan konstruksi-konstruksi dari beton selalu ditetapkan dahulu mutu betonnya. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan pada mutu beton yang telah ditentukan. Mutu beton ini akhirnya menentukan ukuran daripada balok-balok, kolom-kolom, plat-plat, dinding-dinding beton. Sudah tentu perhitungan dengan mutu beton yang lebih rendah akan menghasilkan ukuran balok-balok, kolom-kolom, plat-plat, dan dinding beton yang lebih besar bila dibandingkan dengan hasil perhitungan dari mutu beton yang lebih tinggi.

Agar mutu beton yang ditetapkan dapat dilaksanakan dengan pasti di lapangan, maka di dalam pembuatannya harus dipertimbangkan baik-baik segala hal yang mempengaruhi mutu beton antara lain:

- Faktor air semen.
- Jumlah semen.
- Keawetan (Durability)
- Workabilitas dan Jumlah air
- Pemilihan agregat.
- Kadar semen.
- Cara dan lama pengadukan.
- Cara pemadatan.
- Finishing.
- Temperatur.
- Pemeliharaan.
- Umur beton.

Dengan memperhatikan hal-hal tersebut di atas, maka membuat beton sesuai dengan mutu yang ditentukan menjadi mudah.

2.5.1 Faktor Air-Semen (fas)

Perbandingan antara air dan semen atau disebut dengan faktor air-semen ini memiliki pengaruh besar pada tingkat kekuatan beton. Semakin tinggi fas maka kekuatan beton akan semakin berkurang.

2.5.2 Jenis Semen

Jenis atau tipe semen yang digunakan akan memiliki pengaruh terhadap perbedaan nilai fas yang dibutuhkan. Standar Nasional Indonesia (SNI) dan standar industri Amerika (ASTM) mengetahui ada 5 (lima) jenis dari semen, yaitu diantaranya sebagai berikut:

1. Tipe 1, semen yang tidak memerlukan aturan khusus dan bisa dipakai oleh umum.
2. Tipe 2, semen yang dalam pemakaianya diperlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe 3, yaitu semen yang dalam pelaksanaannya diperlukan kekuatan awal yang

besar sesaat setelah pengikatan antara campuran beton.

4. Tipe 4, semen ini digunakan apabila dalam kondisi panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe 5, yaitu semen yang memerlukan suatu sifat yang tahan pada senyawa sulfat.

2.5.3 Keawetan (*durability*)

Diperlukan suatu nilai fas yang maksimum, kandungan semen minimum dan nilai kekuatan minimum untuk menghasilkan beton yang awet. Berikut adalah tabel untuk menentukan nilai fas dan kadar semen.

Tabel 2.3 Kadar semen minimum dan fas maksimum

KONDISI LINGKUNGAN	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air-semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap-uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah		Lihat Tabel ^{a)}
Beton yang kontinu berhubungan dengan air		
a. Air tawar		Lihat Tabel ^{b)}
b. Air laut		

Sumber: SNI 7656:2012

Keterangan :

Tabel^{a)} – Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Tabel^{b)} – Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

2.5.4 Workabilitas dan Jumlah Air

Sifat konsistensi/kekentalan campuran beton bisa mendeskripsikan kemudahan pekerjaan beton yang direpresentasikan dengan nilai slump. Nilai slump spesifik diharapkan bisa memberikan kemudahan berdasarkan jenis konstruksi yang dikerjakan, karena dimensi agregat spesifik mempengaruhi jumlah air yang dibutuhkan. Dianjurkan untuk membatasi nilai slump sesuai dengan peruntukkan konstruksi agar dapat mengurangi kemungkinan adukan yang terlalu encer atau pun terlalu kental. Batasan nilai slump tersebut dapat ditinjau pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Nilai slump untuk berbagai jenis pekerjaan

Tipe Kontruksi	Slump (mm)	
	Maks.	Min.
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75	25
	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom Bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber: SNI 7656:2012

Pengukuran nilai slump dapat dilakukan sesuai SNI 1972:2008 untuk menguji konsistensi beton [14]. Rentang nilai slump menurut spesifikasi Bina Marga tahun 2003 revisi, yang harus dipenuhi yaitu:

- Nilai slump antara 20 mm sampai 50 mm untuk beton yang akan dibentuk dengan acuan berjalan (*slipform*)
- Nilai slump antara 50 mm sampai 75 mm untuk beton yang akan dihampar dengan acuan tetap (*fixform*)

2.5.5 Pemilihan Agregat

Penetapan ukuran agregat maksimum dipertimbangkan berdasarkan biaya, jarak tulangan terkecil dan ketersediaan material yang ada. Pemilihannya pun harus dilakukan sedemikian rupa, oleh karena itu ukuran agregat maksimum harus kurang dari $\frac{3}{4}$ jarak bersih terkecil antara baja tulangan atau antara baja tulangan dengan acuan atau celah lain.

2.5.6 Kadar Semen

Hasil perhitungan kadar semen dari perancangan awal harus dibandingkan dengan ketentuan jumlah semen minimum didasarkan pada pertimbangan durabilitasnya. Juga untuk mencegah retak akibat tingginya panas hidrasi, harus dibandingkan dengan batas kadar semen maksimum.

2.5.7 Cara dan Lama Pengadukan

Beton yang mempunyai komposisi di mana butir-butir yang lebih kecil mengisi rongga antara butir yang lebih besar sehingga merupakan susunan yang kompak (baik), dengan demikian akan memberikan beton yang bermutu baik, bila susunan beton tidak kompak (baik) akan memberikan mutu yang jelek.

Pengadukan dengan menggunakan tangan tidak akan dapat dihasilkan campuran beton yang baik seperti di atas, karena itu adukan beton yang dicampur dengan tangan tidak diperbolehkan kecuali untuk beton-beton mutu non-struktural. Campuran beton adalah baik bila dapat tercampur dengan rata dan campuran beton adalah jelek bila tercampur tidak rata. Untuk dapat didapatkan campuran beton yang baik, maka mencampur beton harus digunakan mesin pengaduk (beton molen). Selama pengadukan berlangsung kekentalan adukan beton harus diawasi terus-menerus dengan cara memberikan slump pada setiap campuran yang baru.

Besarnya slump merupakan petunjuk apakah jumlah pemberian air cukup atau tidak. Waktu pengadukan dilakukan secukupnya, sehingga adukan beton cukup rata. Lamanya pengadukan bergantung pada kapasitas drum pengaduk, banyaknya adukan, jenis dan susunan butir dari agregat serta slumpnya. Pada umumnya harus diambil paling sedikit 1,5 menit.

2.5.8 Cara Pemadatan

Pemadatan bisa dilakukan dengan cara merojok, namun dengan cara ini akan diperoleh hasil yang terbatas. Dengan cara rojokan ini butir-butir digoyangkan keseimbangannya sehingga berpindah satu terhadap lainnya mencari keseimbangan baru yang lebih memadat. Di samping dengan merojok juga disertai dengan memukul-mukul cetakan/bekisting agar adukan beton dapat mengisi seluruh ruangan. Bila pemadatannya dilakukan dengan merojok hasil kepadatannya terbatas, maka mutu betonpun juga

terbatas, karena semakin padat beton semakin tinggi mutunya, semakin tidak padat beton semakin rendah mutunya. Maka dianjurkan pemadatan dengan menggunakan alat-alat pemadat mekanis baik berupa jarum-penggetar maupun penggetar harmer (bekisting). Dengan cara ini energi yang dihasilkan lebih besar dan daya pemadatannya pun lebih tinggi, sehingga dapat diperoleh beton yang lebih baik.

Untuk dapat dicapai kepadatannya yang baik, pemadatan harus dilakukan merata dengan waktu penggetaran di setiap tempat secukupnya. Penggetaran yang berlebihan kurang baik, sebab terjadi segregasi (pemisahan), ini dapat terlihat pada permukaan yang digetar timbul lapisan air.

Bila terjadi pemisahan maka komposisi gradasinya menjadi kacau sehingga beton kurang padat yang berakibat pula terhadap mutu beton, dalam hal ini mutu beton menjadi lebih rendah.

2.5.9 Finishing

Di dalam pelaksanaan pengecoran beton diusahakan dapat diperoleh suatu hasil beton yang padat, rata tidak keropos/tidak terjadi sarang kerikil. Hal ini akan sangat mempengaruhi kekuatan konstruksi, terutama bila terjadi pada bagian beton yang terkena beban tekan. Keropos dan sarang kerikil ini perlu ditutup/ditambal yang sebelumnya harus dibersihkan dahulu.

Di dalam penambalan ini sebaiknya diberikan bahan tambah yang mempunyai fungsi mempertinggi daya lekat beton lama dan baru. Namun penambahan ini tidak memperbaiki/menolong kekuatan konstruksi, akan tetapi berfungsi sebagai pelindung besi beton terhadap pengaruh udara yang bisa mengakibatkan perkaratan. Jadi akibat keropos walaupun kemudian ditambal, pengaruhnya sama saja dengan tidak ditambal, sehingga sangat mengurangi kekuatan konstruksi.

2.5.10 Temperatur

Pembuatan beton dan pengecoran beton sebaiknya dikerjakan pada temperature-temperature yang tidak tinggi agar dapat diperoleh mutu beton yang baik. Temperature pada saat pembuatan dan pengecoran beton sebaiknya dibatasi paling tinggi 90°F. Dibatasinya temperature maximum pada pengecoran beton karena bila pengecoran pada temperature yang tinggi dapat mengurangi mutu beton ataupun keawetannya, bila

dibandingkan dengan pengecoran pada temperature yang lebih rendah. Pengecoran beton pada temperature yang tinggi juga memerlukan air yang lebih banyak sehingga susut beton pun menjadi lebih besar.

Untuk mengatasi temperature yang tinggi ini dapat dikerjakan antara lain sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan air dingin di dalam pengecoran. Pendinginan air dapat dikerjakan dengan memberikan es.
2. Dengan jalan mendinginkan kerikil. Kerikil dapat didinginkan dengan menyemprot air dingin.
3. Dengan melindungi material dari sinar matahari dengan jalan memberikan atap.
4. Dan lain-lain, seperti pengecoran pada malam hari.

2.5.11 Pemeliharaan

Air yang terkandung di dalam beton yang baru dicor melebihi dari air yang diperlukan untuk proses hydrasi cement. Akan tetapi kehilangan air ini oleh karena penguapan yang terjadi setelah beton dicor, akan menyebabkan tidak sempurnanya proses hydrasi. Kehilangan air ini terjadi bila beton tidak dilindungi terhadap pengaruh sinar langsung matahari dan kekeringan udara.

Tujuan daripada curing untuk mencegah kehilangan air pada saat-saat awal. Bila proses hydrasi tidak sempurna maka akan mengakibatkan menjadi rendahnya kekuatan beton.

2.5.12 Umur Beton

Pada kondisi beton masih plastis yaitu pada saat adukan beton baru dibuat, beton belum mempunyai kekuatan pada sifat-sifatnya. Kekuatannya ini akan terjadi dan meningkat setelah hidrasi dan bertambahnya umur beton. Sampai umur beton mencapai 28 hari, perubahan kenaikannya cukup signifikan dan dianggap maksimum kekuatan betonnya. Selain pada umur beton 28 hari kekuatan beton ini juga dapat dikonversikan sebagai berikut:

Tabel 2.5 Perbandingan umur beton terhadap sifatnya

Sifat beton	Umur beton (hari)						
	3	7	14	21	28	90	365
Beton menggunakan semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Beton menggunakan semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

2.6 Perencanaan Campuran Beton

Ada beberapa cara atau metode dalam merancang campuran beton yang telah diakui, yaitu diantaranya metode DOE dan ACI. Metode DOE ini dikembangkan oleh Department of Environment di Inggris. Di Indonesia sendiri, DOE dimuat dalam SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana beton normal juga dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum. Adapun ACI yang dikembangkan oleh American Concrete Institute di Amerika. ACI ini dimuat dalam SNI 7656:2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa. Secara umum, kedua metode ini didasarkan pada hubungan empiris, grafik, bagan dan tabel. Namun ada beberapa prosedur pengerjaan yang berbeda. Metode yang saat ini biasa digunakan di Indonesia yaitu metode SNI 7656:2012 atau metode ACI.

a. Merancang Campuran Beton

Tahapan merancang campuran beton dengan metode ACI mengikuti langkah-langkah seperti di bawah ini:

- 1) Menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dengan terlebih dahulu menentukan kuat tekan rencana yang akan dipakai sebagai perhitungan dalam pelaksanaannya.

$$f'_{cr} = f'_c + k.S \quad [2.2]$$

Keterangan,

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa).

f'_c = Kuat tekan rencana (MPa).

k = Nilai margin, biasanya bernilai 1,64.

S = Nilai standar deviasi.

Untuk nilai standar deviasi dapat diambil dengan melihat tabel berikut,

Tabel 2.6 Nilai standar deviasi dengan berbagai macam kondisi pengerjaan

Kondisi Pengerjaan	Standar Deviasi (Mpa)	
	Lapangan	Laboratorium
Sempurna	<3	<1,5
Sangat Baik	3-3,5	1,5-1,75
Baik	3,5-4	1,75-2
Cukup	4-5	2-2,5
Kurang Baik	>5	>2,5

Sumber: SNI 7656-2012 [13]

- 2) Menentukan kebutuhan air didasarkan pada nilai slump dan ukuran butiran maksimum agregat yang akan dipakai. Penentuan Nilai slump dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan untuk penetapan nilai agregat maksimum harus sesuai dengan persyaratan pemilihan agregat pada bagian 2.5.5 tentang pemilihan agregat dalam laporan proposal penelitian ini. Berikut adalah tabel untuk menentukan jumlah kebutuhan air.

Tabel 2.7 Perkiraan air campuran dan persyaratan kandungan udara dalam beton

Slump (mm)	Kebutuhan air (lt/m ³)							
	Ukuran maksimum butir agregat (mm)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
25 – 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 – 100	238	216	205	193	181	169	145	124
150 – 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Kandungan udara dalam beton (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
25 – 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 – 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 – 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Total kandungan udara (%) untuk :								
- Peningkatan workabilitas	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
- Terekspose sedang	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
- Terekspose ekstrim	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Sumber: SNI 7656:2012

- 3) Menentukan nilai faktor air-semen (fas) menurut tabel 2.8

Tabel 2.8 Nilai faktor air semen (fas)

kekuatan beton umur 28 hari, Mpa	rasio air semen	
	beton tanpa tambahan udara	beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber: SNI 7656:2012

Catatan: Nilai fas bisa diinterpolasi untuk nilai kuat tekannya yang berada di antara nilai yang diberikan pada tabel.

Fas yang diperoleh dari tabel di atas kemudian dibandingkan dengan fas maksimum untuk kebutuhan durabilitas, selanjutnya ambil nilai terkecil.

- 4) Menghitung jumlah semen yang diperlukan = jumlah air : fas [2.3]
- 5) Menentukan volume agregat kasar per meter kubik didasarkan pada ukuran butir maksimum dan modulus kehalusan agregat, menurut Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Volume agregat kasar per meter kubik campuran beton

Ukuran Nominal Agregat maksimum (mm)	volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan±dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656:2012

ditentukan dengan melakukan interpolasi.

Maka,

Berat agregat kasar = % agregat kasar x berat kering agregat kasar

- 6) Menentukan perkiraan berat beton segar, menurut tabel 2.10

Tabel 2.10 Perkiraan berat beton segar per meter kubik

Ukuran Nominal Maksimum Agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	beton tanpa tambahan udara	beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber: SNI 7656-2012

- 7) Menghitung berat kebutuhan agregat halus

Agregat Halus = berat beton basah – berat (air+semen+Ag. kasar)

Catatan :

Untuk hasil yang lebih teliti dapat dilakukan perhitungan volume absolut.

Volume absolut adalah berat bahan dibagi dengan kepadatan absolut.

Kepadatan absolut = berat jenis x kepadatan air

- 8) Menetapkan proporsi campuran beton sesuai hasil perhitungan.
- 9) Melakukan koreksi proporsi pada campuran beton berdasarkan kondisi agregat yang ada pada pelaksanaan.

b. Koreksi Proporsi Campuran

Pada metode rancangan campuran metode ACI, perlu diingat bahwa proporsi yang didapat adalah proporsi yang mempunyai basis kondisi agregat kering. Saat pelaksanaan di lapangan, kondisi agregat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi apa adanya, sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat.

Untuk melakukan koreksi penyesuaian rancangan campuran diperlukan data kadar air dan resapan agregat. Apabila diperoleh proporsi berikut dalam kondisi agregat kering,

G1 = berat semen per meter kubik

G2 = berat air per meter kubik

G3 = berat agregat halus per meter kubik dalam kondisi kering

G4 = berat agregat kasar per meter kubik dalam kondisi kering

Cm = presentase kadar air agregat halus

Ca = presentase resapan agregat halus

Dm = presentase kadar air agregat kasar

Da = presentase resapan agregat kasar

Maka, proporsi campuran dikoreksi dengan penyesuaiannya sebagai berikut:

Semen, tetap = G1

A i r = $G2 - x (Cm - Ca) G3/100 - (Dm - Da) x G4/100$

Agregat Halus = $G3 + (Cm x G3)/100$

Agregat Kasar = $G4 + (Dm x G4)/100$

2.7 Pengujian Beton

2.7.1 Uji Kuat Tekan Beton

Beton diasumsikan akan bergantung pada sifat-sifat komposisi campurannya. Oleh karena itu, beton harus dipadatkan dengan keseragaman yang baik sesuai dengan sifat-sifat keras yang dikehendaki. Kepadatan dalam campuran beton segar dapat diuji

konsistensinya atau dikenal juga dengan pengujian slump.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F_c' = P/A$$

Dengan,

P = Gaya maksimum dari alat uji tekan (N)

A = Luas penampang sampel (mm²)

F_c' = kuat tekan beton (N/mm²)

Tabel 2.11 Jenis dan ukuran benda uji kuat tekan beton

Jenis benda uji	Ukuran cetakan (mm)
Kubus	100 x 100 x 100
	150x 150 x 150
Balok	500 x 100 x 100
	600 x 150 x 150
Silinder	Diameter 150 dan tinggi 300
	Diameter 100 dan tinggi 200

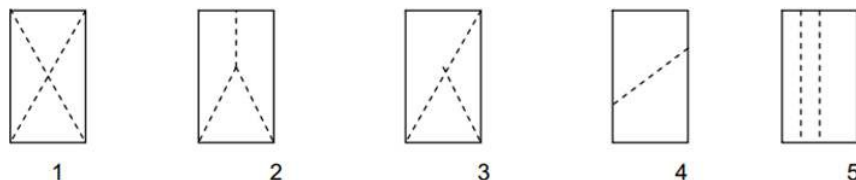
Sumber: SK SNI M-62-1990-03

Tabel 2.12 Nilai konversi berbagai bentuk benda uji

No	Bentuk benda uji	Nilai konversi
1	Kubus 15x15x15 (cm)	1
2	Kubus 20x20x20 (cm)	0,95
3	Silinder d=15, t=30 (cm)	0,83

Sumber: PBI 1971 N.I.-2 ke SNI 03-2847-2002

Setelah dilakukan pengujian kemampuan beton dalam menahan tekan, beton akan mengalami keretakan dan kehancuran dengan bentuk yang berbeda-beda, bentuk keretakan dan kehancuran yang terjadi pada beton ada lima jenis, yaitu:



Gambar 2.6 Pola Retak Beton

Sumber: SNI 1974-2011

Pada gambar diatas dapat dijelaskan beton nomor 1 bentuk kehancurannya dinamakan kerucut, beton nomor 2 bentuk kehancurannya kerucut dan belah, beton nomor 3 bentuk kehancurannya kerucut dan geser, nomor 4 bentuk kehancurannya geser, dan untuk beton nomor 5 bentuk kehancurannya sejajar sumbu tegak atau kolumnar.

2.7.2 Permeabilitas Beton

Kemudahan cairan atau gas dalam melewati beton disebut dengan permeabilitas beton. Rasio air-semen yang terkandung di dalam campuran beton merupakan faktor utama dalam penentuan permeabilitas beton. Kelebihan air dalam campuran beton yang diakibatkan oleh nilai fas yang tinggi, berguna sebagai penambah kelecakan pada beton itu sendiri sehingga mudah dalam pembuatannya. Sisa dari air yang diperlukan untuk hidrasi kemudian akan menguap dan jumlah keperluan air untuk hidrasi ini relatif sedikit. Pori-pori yang saling terikat akan akan bermunculan sampai ke permukaan beton yaitu pada saat air tersebut menguap dan keluar dari dalam beton. Akibatnya, beton akan mempunyai nilai koefisien permeabilitas cukup tinggi karena fas yang semakin banyak pula. Oleh sebab itu, agar beton bisa menyerap air dengan cepat, maka fas nya perlu dinaikkan agar bisa menghasilkan koefisien permeabilitas yang tinggi juga.

Kondisi lingkungan beton juga berpengaruh terhadap permeabilitas beton. Seperti temperatur dan kelembapan udara. Pada daerah dengan temperatur yang tinggi, kecepatan reaksi bertambah sehingga menyebabkan reaksi perusakannya terjadi dengan cepat pula. Sedangkan pada kelembapan yang tinggi, masuknya gas atau zat cair akan berpengaruh pada beton itu sendiri, gas akan lebih sukar masuk karena terhambat kondensasi air yang terjadi dalam beton sedangkan zat cair akan lebih cepat masuk.

Beberapa faktor lain yang dapat memengaruhi nilai permeabilitas beton yang besar yaitu sebagai berikut:

- 1) Penggunaan mutu dan porositas yang ada dalam beton. Hal-hal yang akan berpengaruh yaitu jenis, sifat dan porositas agregat. Apabila agregat yang digunakan poros, maka akan menambah nilai permeabilitas.
- 2) Umur beton. Permeabilitas beton akan berkurang seiring dengan bertambahnya umur pada beton.
- 3) Gradasi agregat yang digunakan dalam adukan beton. Apabila kemudahan

dalam pengerjaan menurun, maka permeabilitas akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh terlalu banyaknya penggunaan pasir dan gradasi agregat yang digunakannya terlalu kasar.

- 4) Tingkat perawatan beton. Perawatan yang baik akan meningkatkan permeabilitas beton. Sehingga beton harus dibasahi selama beberapa hari.

Koefisien permeabilitas ini kemudian dibagi ke dalam beberapa kelas sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 2.13 Kelas Permeabilitas berdasarkan Hukum Darcy

Keterangan	Laju Permeabilitas (cm/jam)	Simbol Angka
Sangat Lambat	< 0,13	1
Lambat	0,13 - 0,51	2
Agak Lambat	0,51 - 2,00	3
Sedang	2,00 - 6,35	4
Agak Cepat	6,35 - 12,70	5
Cepat	12,70 - 25,40	6
Sangat Cepat	> 25,40	7

Sumber: Hukum Darcy