

BAB III

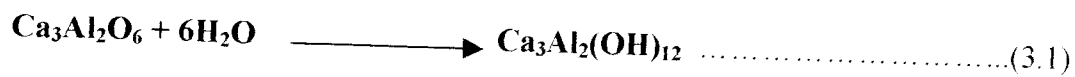
LANDASAN TEORI

Untuk mendukung penelitian yang akan kami lakukan maka, kami menyajikan teori yang berhubungan dengan penelitian yang kami rangkum dari berbagai literatur, diantaranya mengenai beton, faktor air semen, bahan penyusun beton, kekentalan adukan beton, susut pada beton, perencanaan campuran beton, perawatan beton, umur beton dan kuat desak beton. Untuk lebih jelasnya, hal-hal tersebut akan dijelaskan sebagai berikut ini.

3.1 Beton

Beton adalah suatu material seperti batu yang didapatkan dengan cara pencampuran yang teliti antara semen, pasir, kerikil, atau agregat lain dan air untuk mengeraskan dalam rangka memperoleh bentuk dan ukuran dari struktur yang diinginkan (Tjokrodimulyo, 1995). Bagian terbesar dari bahan - bahannya adalah agregat yang baik dan pilihan. Semen dan air bereaksi kimia untuk melekatkan partikel - partikel agregat menjadi massa yang padat. Air tambahan dibutuhkan untuk penyempurnaan reaksi kimia. Proses hidrasi pada semen portland sangat kompleks dan tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci, maka proses reaksi tersebut hanya bisa dibuat perkiraan antara unsur $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + x\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ca}_3\text{SiO}_5 + (x+1)\text{H}_2\text{O}$ yang bereaksi dengan air.

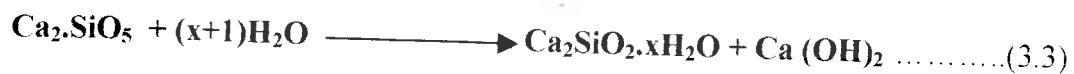
Adapun perkiraan proses reaksi hidrasi yaitu:



Pada reaksi pertama (persamaan 3.1) C₃A atau Ca₃Al₂O₆ bereaksi sangat cepat dengan air pada 24 jam pertama yang mengakibatkan terjadinya ikatan awal pada beton selama 24 jam pertama dan menghasilkan kuat tekan beton yang rendah serta beton sudah dapat dilepas dari cetakan karena reaksi C₃A dengan air telah membentuk masa padat beton setelah itu reaksi dilanjutkan dengan reaksi kedua yaitu antara trikalsium silikat (C₃S) atau Ca₃O.SiO₄ dengan air (persamaan (3.2)).



Pada reaksi kedua trikalsium silikat (C₃S) atau Ca₃O.SiO₄ bereaksi dengan air sudah mulai agak lambat dan menghasilkan pengikatan atau pembentukan masa padat. Reaksi ini berlangsung berkisar pada hari ke-2 hingga hari ke-14 yang juga meneruskan reaksi dari C₃A untuk menyempurnakan pembentukan massa padat beton kemudian reaksi dilanjutkan untuk menyempurnakan reaksi yang terjadi pada beton antara dikalsium silikat (C₂S) atau Ca₂.SiO₅ dengan air (lihat persamaan (3.3)).



Pada reaksi ini berlangsung sangat lambat dan terjadi pada umur beton lebih dari 14 hari dan memberikan kekuatan akhir. Unsur C₂S ini juga membuat semen tahan terhadap serangan unsur kimia dan juga mengurangi besar susutan pengeringan. Oleh karena itu jika dalam semen unsur C₃S dan C₃A mempunyai

prosentase yang lebih tinggi maka akan menghasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awalnya disertai suatu panas hidrasi yang tinggi dan menghasilkan suhu beton yang tinggi sehingga nantinya akan terjadi perbedaan temperatur antara beton dan udara sekitar yang mengakibatkan timbul retakan-retakan kecil dipermukaan beton, sebaliknya jika dalam semen terdapat C_2S dengan prosentase yang tinggi maka proses pengerasan akan berjalan sangat lambat dan ini akan mengakibatkan beton pada umur 28 hari kekuatan yang dihasilkan tidak akan maksimal karena proses reaksi yang lambat sehingga reaksi yang terjadi belum sempurna (Vlack, 1983). Untuk lebih mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh bahan penyusun semen untuk mencapai 80% reaksi hidrasi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu yang dibutuhkan untuk hidrasi.

Senyawa kimia	Waktu (hari)
C_3A	6
C_3S	10
C_2S	100
C_4AF	50

Hasil utama dari proses reaksi hidrasi ialah yang biasa disebut *Tobermorite* yang berbentuk gel. Karena proses hidrasi berlangsung sangat lambat maka penambahan air sangat diperlukan guna penyempurnaan proses hidrasi yang terjadi pada beton, baik pada beton biasa maupun pada beton mutu tinggi yang juga memerlukan perawatan yang sama dalam penyempurnaan proses hidrasi (Tjokrodimulyo, 1995).

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya sekitar 25 % dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan beton (Winter and Nilson, 1991).

Beton dapat mempunyai rentang kekuatan yang lebar yaitu dapat diperoleh dengan cara mengatur secara tepat proporsi dari material – material pokok. Semen khusus, Agregat khusus, Bahan tambah, dan metode perawatan yang khusus menjadikan banyak variasi dari beton akan diperoleh.

3.2 Faktor Air Semen (Fas)

Faktor air semen sangat mempengaruhi kekuatan beton, faktor air semen (fas) merupakan perbandingan antara berat air dan berat semen dalam adukan. Kenaikan fas mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat beton.

Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus seperti pers. (3.1).

$$f'c = \frac{A}{B^{1.5 \cdot x}} \dots \dots \dots (3.1)$$

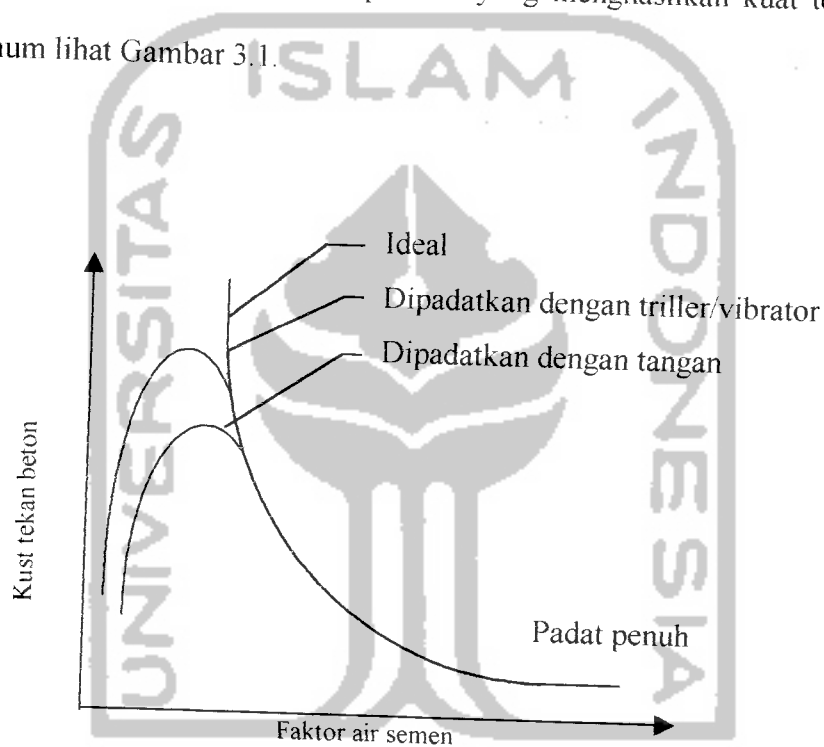
Dengan :

$f'c$ = Kuat tekan beton

x = fas (yang semula dalam proporsi volume)

A, B = konstanta

Dengan demikian semakin besar faktor air semen semakin rendah kuat tekan betonnya. Walaupun menurut rumus tersebut tampak semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka dibawah fas tertentu kekuatan beton itu malahan lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat pemadatannya sulit (Tjokrodimulyo, 1995). Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum lihat Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat desak beton dengan Fas (Tjokrodimulyo, 1995 : 7,36)

3.3 Bahan Penyusun Beton

Bahan-bahan penyusun beton terdiri dari : Semen Portland, Air dan Agregat. Bahan-bahan tersebut akan diterangkan dibawah ini.

3.3.1 Semen Portland

Semen sudah diketahui dan digunakan paling tidak sejak dua ribu tahun yang lalu Bangsa Romawi sudah banyak menggunakan bahan ini pada proyek

konstruksi mereka bahkan banyak diantaranya masih berdiri. Semen yang mereka gunakan adalah semen alami dan semen pozzolan, dibuat dari campuran batu gamping dan lempung serta dari campuran kapur mati dengan abu vulkanik yang mengandung silika.

Semen portland moderen dibuat dari beberapa bahan yang mempunyai proporsi yang tepat antara batu kapur, silika, allumina, dan besi dan sebagian kecil magnesia dan sulfur trioksida (Smith and Andres, 1989).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara membakar bersama-sama : kapur, silika dan alumina pada suhu $\pm 1500^{\circ}\text{C}$ yang menjadi klinker. Kemudian klinker-klinker ini didinginkan dan dihaluskan sampai menjadi bubuk. Biasanya lalu ditambahkan gips atau kalsium sulfat sebagai bahan pengontrol waktu ikat. Bahan tambah lain kadang – kadang ditambahkan untuk membentuk semen khusus, misalnya : kalsium klorida untuk menjadikan semen cepat mengeras (Tjokrodimulyo, 1995)

Semen portland dibuat dengan melalui beberapa langkah, sehingga menjadikan semen sangat halus dan memiliki sifat adhesif maupun kohesif

Kemudian dari berbagai reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembuatan semen tersebut terjadi beberapa senyawa kimia yang menjadi unsur – unsur pokok penyusun semen seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Unsur-unsur pokok yang terkandung didalam semen

Bahan	Rumus kimia	Kadar (%)
Kapur	CaO	60 – 65
Silika	SiO ₂	17 – 25
Alumina	Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi	Fe ₂ O + K ₂ O	0,5 – 6
Magnesia	MgO	0,5 – 4
Sulfur	SO ₃	1 – 2
Soda (potash)	Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Komposisi semen portland dan senyawa kimia yang ada berpengaruh terhadap sifat-sifat semen. Ada empat macam senyawa kimia penting yang mempengaruhi sifat semen yang berhubungan dengan sifat ikatan dan sifat pengerasan semen yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Senyawa yang terdapat dalam semen portland

Senyawa	Rumus Kimia
Trikalsium silikat (C ₃ S)	3CaO ₂ SiO ₂
Dikalsium silikat (C ₂ S)	2CaOSiO ₂
Trikalsium aluminat (C ₃ A)	2CaAl ₂ O ₃
Tetrakalsium aluminoforit (C ₂ AF)	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun

yang pasta semennya sudah keras, juga betonnya yang dibuat dari semen tersebut.

Sifat-sifat fisik semen yang penting yaitu:

- 1 kehalusan butir,
- 2 waktu ikatan,
- 3 panas hidrasi dan
- 4 berat jenis.

Berikut ini adalah penjelasan lebih rinci mengenai sifat-sifat fisik semen diatas.

1. Kehalusan butir semen

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga semakin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen yang sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa, butir-butir semen yang halus akan menjadi lebih kuat dan menghasikan panas hidrasi yang lebih cepat dari pada semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Secara umum, semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar dan dapat pula mengurangi *bleeding*, akan tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut peraturan, paling sedikit 78% berat semen harus dapat lewat ayakan nomor 200 (lubang 1/200 inci), namun perlu dicatat bahwa jikaa butir-butir semen terlalu halus, sifat semen akan menjaid kebalikannya karena terjadi hidrasi awal oleh kelembaban udara.

2. Waktu ikatan

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis dan akhirnya mengeras. Pada proses ini tahap pertama dicapai ketika pasta semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu untuk mencapai tahap ini disebut waktu ikatan. Waktu tersebut dihitung sejak air dicampur dengan semen. Waktu ikatan dibagi menjadi dua bagian yaitu ; waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*).

3. Panas hidrasi

Silikat dan aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut hidrasi. Hidrasi semen bersifat eksotermis dengan panas yang dikeluarkan kira-kira 120 kal/gr.

Panas hidrasi naik sesuai dengan ketinggian temperatur pada saat hidrasi terjadi. Untuk semen biasa panas hidrasi tersebut bervariasi antara 37 kal/gr pada 5°C sampai dengan 80 kal/gr pada 40°C. Untuk semua jenis semen pada umumnya kira-kira 50% dari panas total dibebaskan pada waktu antara 1 dan 3 hari pertama, kira-kira 75% sampai hari ke-7 dan antara 83-91% dalam jangka waktu 6 bulan. Laju perubahan panas tergantung pada komposisi semen (Smith and Andres, 1989).

4. Berat jenis

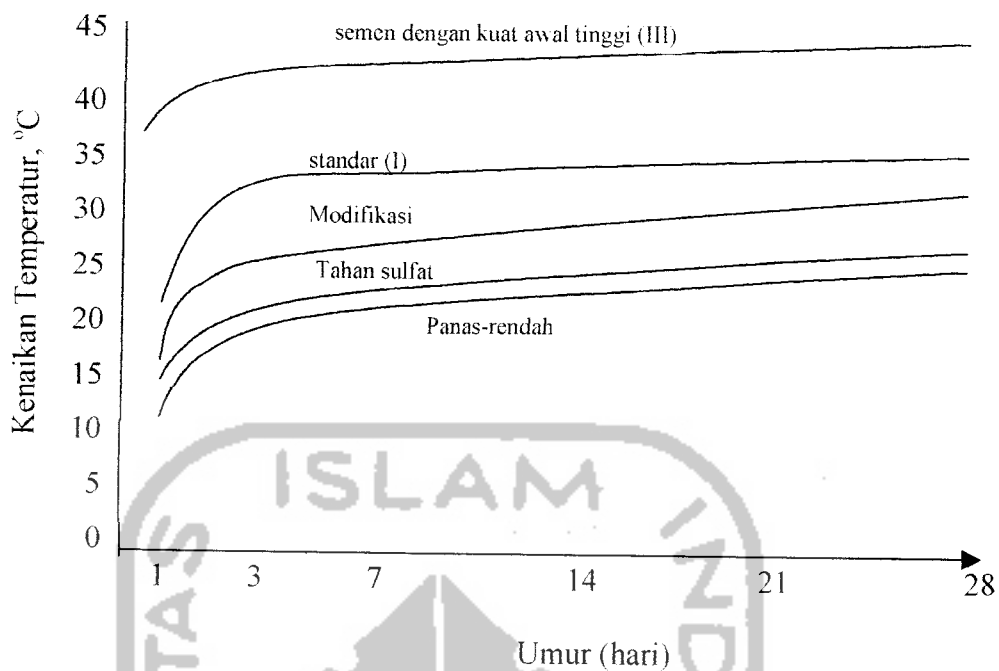
Berat jenis semen berkisar pada $3,15 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis ini bukan merupakan petunjuk kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam perbandingan campuran saja.

Di Indonesia semen dibagi menjadi 5 jenis (PUBI-1982), yaitu :

Jenis I, jenis II, jenis III, jenis IV dan jenis V yang diterangkan dibawah ini.

1. Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Didalam setiap penggunaan semen yang berbeda pada beton akan mengalami perbedaan kenaikan temperatur yang berbeda-beda sejalan dengan meningkatnya umur beton (lihat Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Kenaikan temperatur dalam beton untuk bermacam-macam tipe semen (Ferguson, 1986 : 7)

3.3.2 Air

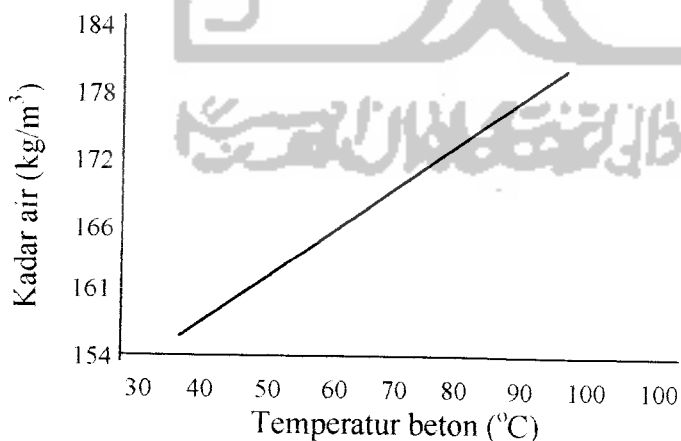
Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang dibutuhkan hanya sekitar 25% dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35 kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena akan mengurangi kekuatan beton serta betonnya porous. Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak kepermukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan *laitance*. Selaput tipis ini akan mengurangi

lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga akan keluar sehingga terjadilah sarang-sarang kerikil.

Secara umum air yang dapat dipakai bahan pencampur beton adalah air yang bila dipakai dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

Air yang dipergunakan untuk pengadukan dapat juga dipakai untuk perawatan tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna terutama jika perawatan cukup lama.

Air mempunyai pengaruh yang penting dalam pembentukan pasta semen yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*Workability*), kekuatan, susut dan keawetan mortarnya dan kebutuhan air dalam pembuatan beton meningkat sejalan dengan meningkatnya temperatur (lihat Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Pengaruh temperatur terhadap kebutuhan air (Sagel, Kole dan Kusuma, 1993 : 184)

Dalam pemakaian air untuk beton, sebaiknya air memenuhi syarat-syarat :

1. tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter,
2. tidak mengandung garam-garaman yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
3. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter dan
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.3.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat dalam campuran beton jumlahnya berkisar antara 70% - 75% dari volume beton.

Agregat akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton karena semen dan air tidak memberikan andil yang cukup besar pada kekuatan beton dan pada umumnya pemilihan agregat yang baik akan menghasilkan beton dengan kekuatan yang baik, lebih tahan terhadap cuaca serta ekonomis.

Faktor-faktor dari agregat yang berpengaruh terhadap kuat desak beton yaitu : bentuk agregat, tekstur permukaan butiran, berat jenis agregat, ukuran maksimum butir agregat, gradasi agregat, modulus halus butir, kadar air agregat, kekuatan agregat yang akan dijelaskan seperti berikut ini.

1. Bentuk agregat

Sifat-sifat dan tekstur permukaan dari butir-butir agregat sebenarnya belum teridentifikasi dengan jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik dan pengaruhnya terhadap beton juga sulit diperiksa dengan teliti.

Bentuk butir ditentukan oleh dua sifat yang tidak saling tergantung, yaitu kebulatan dan sferikal.

Kebulatan atau ketajaman sudut ialah sifat yang dimiliki butir yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir sedangkan sferikal ialah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir.

Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu : agregat bulat, agregat bulat sebagian, agregat bersudut, agregat panjang dan agregat pipih. Bentuk butiran tersebut akan diterangkan berikut ini.

- a. Agregat bulat adalah agregat yang mempunyai rongga udara minimum 33 persen oleh karena itu mempunyai rasio permukaan-volume yang kecil sehingga hanya memerlukan pasta semen yang sedikit untuk menghasilkan beton yang baik, tetapi ikatan antar butir-butirnya kurang kuat sehingga tidak cocok untuk beton mutu tinggi dan perkerasan jalan raya.
- b. Agregat bulat sebagian mempunyai rongga sekitar 35 sampai 38 persen sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen. Ikatan antar butirnya lebih baik daripada agregat bulat tetapi tidak cocok juga untuk beton mutu tinggi.

- c. Agregat bersudut mempunyai rongga antara 38 sampai 40 persen. Ikatan antar butirnya baik sehingga membentuk daya lekat yang baik dan membutuhkan pasta semen yang banyak tetapi dapat digunakan untuk beton mutu tinggi maupun perkerasan jalan.
- d. Agregat panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $9/5$ ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata agregat ialah rata-rata ukuran dalam ayakan yang meloloskan dan yang menahan butiran agregat.
- e. Agregat pipih adalah agregat yang ukuran terkecil butirannya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya.

2. Tekstur permukaan butiran

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran apakah permukaan butir termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam dan macam dari kekasaran permukaan. Pada umumnya permukaan butiran hanya disebut sebagai kasar, agak kasar, agak licin dan licin. Tetapi berdasarkan pada pemeriksaan visual butiran agregat, tekstur permukaan butiran agregat dapat dibedakan menjadi ; sangat halus (*glassy*), halus, granuler, kasar, berkrystal (*crystalline*), berpori dan berlubang-lubang.

Tekstur permukaan tergantung pada kekasaran, ukuran molekul, tekstur batuan dan juga tergantung pada besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang telah membuat licin dan kasar permukaan tersebut.

Butir-butir dengan tekstur permukaan yang licin membutuhkan air lebih sedikit daripada butir-butir yang tekstur permukaannya kasar. Dilain pihak, hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tertentu dari agregat kasar, kekasaran

Sifat-sifat fisik agregat misalnya bentuk dan tekstur permukaan secara nyata mempengaruhi mobilitas (yaitu mudah dikerjakan) dari beton segarnya, maupun daya lekat antara agregat dan pastanya. Kuat rekatan antara agregat dan pasat semen tergantung pada tekstur permukaan agregat.

3. Berat jenis agregat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, yaitu : agregat normal, agregat berat dan agregat ringan. Ketiga macam agregat tersebut akan dijelaskan dibawah ini.

- a. Agregat normal ialah agregat yang berat jenisnya antara $2,5 - 2,7 \text{ gr/cm}^3$. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt dan kuarsa. Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar $2,3 \text{ gr/cm}^3$ dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 MPa.
- b. Agregat berat ialah agregat yang berat jenisnya lebih dari $2,8 \text{ gr/cm}^3$ misalnya magnetik, barytes (BaSO_4) dan serbuk besi (Fe_3O_4). Beton yang dihasilkan berat jenisnya tinggi yang efektif sebagai dinding pelindung radiasi sinar X.
- c. Agregat ringan ialah yang mempunyai berat jenis kurang dari $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yang biasanya dibuat untuk non struktural akan tetapi bisa juga untuk beton struktural atau blok dinding tembok.

4. Ukuran maksimum butir agregat

Adukan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan yang lebih sedikit apabila dipakai butir-butir kerikil yang besar-besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi

Adukan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan yang lebih sedikit apabila dipakai butir-butir kerikil yang besar-besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi jumlah semen (sehingga biaya pembuatan beton berkurang) dibutuhkan ukuran butir-butir maksimum agregat yang sebesar-besarnya. Pengurangan jumlah semen ini juga berarti pengurangan panas hidrasi dan ini berarti mengurangi kemungkinan beton untuk retak akibat susut atau perbedaan panas yang besar. Walaupun demikian, Besar butir maksimum agregat tidak dapat terlalu besar karena ada faktor-faktor lain yang membatasi. Faktor-faktor tersebut adalah :

- a. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{3}{4}$ kali bersih jarak antar baja tulangan atau antara baja tulangan dan cetakan,
- b. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal plat, dan
- c. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

5. Gradasi agregat

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama volume pori akan besar sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil.

Pada agregat untuk pembuatan beton digunakan butiran yang kemampatannya tinggi karena volume porinya sedikit dan ini berarti hanya membutuhkan bahan ikat sedikit saja.

Modulus halus butir ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu ayakan dan kemudian dibagi 100. Susunan lubang ayakan itu ialah : 38 mm, 19 mm 9,6 mm 4,8 mm, 2,4 mm, 1,20 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Semakin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Modulus halus butir selain untuk menjadi ukuran kehalusan butir juga dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil bila kita akan membuat campuran beton.

7. Kadar air agregat

Air yang ada pada suatu agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran adukan beton dan juga untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air didalam agregat dibedakan atas 4 macam yaitu : kering tungku, kering udara, jenuh kering muka dan basah. Keadaan kandungan air agregat tersebut akan dijelaskan dibawah ini.

a. Kering tungku

Benar benar tidak berair dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.

b. Kering udara

Butir-butir agregat yang keringpermukaannya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya. Oleh karena itu agregat dalam kondisi ini masih dapat sedikit menghisap air.

c. Jenuh kering muka

Pada tingkat ini tidak ada air dipermukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap, dengan demikian butiran-butiran agregat pada

tahap ini tidak menyerap dan tidak juga menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.

d. Basah

Pada tingkat ini butir-butir mengandung banyak air baik didalam maupun dipermukaan butirannya sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

8. Kekuatan agregat

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 masih dianggap cukup kuat.

Butir-butir agregat yang lemah, yaitu butir-butir yang kekuatannya lebih rendah daripada pasta semen yang telah mengeras, tidak dapat menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan. Akan tetapi untuk butir-butir agregat yang kekuatannya sedang atau cukup mempunyai kuat tekan yang sedang, mungkin malahan dapat menguntungkan karena dapat mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi pada pasta beton selama pembebanan, pembasahan, pengeringan atau pemanasan serta pendinginan, dengan demikian membantu mengurangi bahaya akibat terjadinya retakan dalam beton.

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu : batu, kerikil dan pasir yang akan dijelaskan berikut ini.

1. Batu

Batu adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari 40 mm dan dapat dibedakan menjadi 3 kategori umum berdasarkan keadaan geologi aslinya, yaitu : batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorfosis.

2. Kerikil

Kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran 5 – 40 mm Adapun persyaratan kerikil sebagai agregat adalah :

- a. butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut,
- b. tidak mengandung tanah atau kotoran,
- c. harus tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara,
- d. harus yang benar-benar tidak mengandung zat organik,
- e. harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik sehingga rongganya sedikit,
- f. bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca,
- g. tidak boleh mengandung butiran – butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20 % dari berat keseluruhan.

3. Pasir

Pasir merupakan bahan batuan berukuran kecil, ukuran butirannya ≤ 5 mm. Pasir dapat berupa pasir alam, pasir buatan, pasir galian.

Untuk mendapatkan nilai kuat desak yang lebih besar maka digunakan pasir dengan gradasi yang lebih besar. Variasi besar butiran (gradasi) yang baik

akan menghasilkan rongga mortar yang lebih sedikit. Pasir seperti ini hanya memerlukan pasta semen yang lebih sedikit.

Volume pasir biasanya mengembang bila sedikit mengandung air. Pengembangan volume itu disebabkan karena adanya lapisan tipis air disekitar butir-butir pasir. Ketebalan lapisan air itu bertambah dengan bertambahnya kandungan air dalam pasir dan ini berarti pengembangan volume secara keseluruhan. Akan tetapi pada suatu kadar air tertentu volume pasir mulai berkurang dengan bertambahnya kadar air. Pada suatu kadar air tertentu pula, besar penambahan volume pasir itu menjadi nol berarti volume pasir menjadi sama dengan volume pasir kering.

3.4 Kekentalan adukan beton

Dalam pembuatan beton, bagian pekerjaan yang tidak kalah pentingnya selain perawatan dalam pencapaian kekuatan tekan beton yang baik adalah pemadatan. Jika beton tidak dipadatkan dengan sempurna maka sejumlah gelembung udara mungkin akan terperangkap dan mengakibatkan rongga-rongga udara pada beton setelah mengeras dan ini akan mengakibatkan pengurangan kekuatan tekannya karena beton dengan rongga minimal adalah yang terpadat dan terkuat.

Dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat *workability* yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal. *Workability* (sifat mudah dikerjakan) merupakan tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, dituang dan dipadatkan. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adalah :

1. gradasi agregat,
2. bentuk partikel agregat,
3. pengaruh kombinasi dari gradasi dan bentuk agregat,
4. pengaruh proporsi campuran, dan
5. kadar air.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecekan/kekentalan adukan beton. Semakin cair adukan beton segar maka semakin mudah cara pengerjaannya tetapi sebaliknya jika adukan beton segar terlalu kental maka tingkat pengerjaannya akan semakin sulit. Untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan *slump*.

Untuk menentukan besarnya nilai *slump* pada umumnya digunakan alat-alat corong baja dan tongkat seperti penjelasan berikut ini.

1. Corong baja yang berbentuk kerucut berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm dan bagian atas berdiameter 10 cm serta tinggi 30 cm disebut kerucut Abrams.
2. Tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm yang bagian ujungnya dibulatkan.

Pelaksanaan percobaan *slump* ini mula-mula corong baja ditaruh diatas tempat yang rata dan tidak menghisap air, dengan diameter yang besar berada dibawah. Adukan beton dimasukkan kedalam corong tersebut kira-kira sebanyak 1/3 volume corong. Setelah adukan dimasukkan kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat baja. Kemudian adukan kedua dimasukkan kedalam corong dengan volume yang sama dengan volume adukan yang pertama

lalu ditusuk-tusuk kembali tetapi penusukkan jangan sampai mengenai adukan yang pertama, lalu adukan ketiga dimasukkan dan ditusuk pula. Bila adukan ketiga telah selesai ditusuk, lalu permukaan adukan beton diratakan hingga rata dengan permukaan corong. Setelah itu tunggu 60 detik dan kemudian corong ditarik lurus keatas. Ukur penurunan permukaan atas adukan beton setelah ditarik. Besar penurunan adukan beton tersebut disebut *slump*.

Dari penurunan nilai *slump* dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu :

1. *slump* sebenarnya,
2. *slump* geser, dan
3. *slump* jatuh.

3.5 Susut pada beton

Karena beton kehilangan kelembabannya karena penguapan, maka beton akan menyusut. Karena kelembaban tidak pernah meninggalkan beton seluruhnya secara seragam, perbedaan-perbedaan kelembaban mengakibatkan terjadinya tegangan-tegangan internal dan susut yang berbeda. Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh perbedaan susut dapat cukup besar dan ini merupakan salah satu alasan perlunya kondisi-kondisi perawatan yang basah.

Dalam beton biasa, besarnya susut akan tergantung kepada keterbukaan dan beton itu sendiri. Keterbukaan terhadap angin sangat memperbesar kecepatan susut, atmosfir yang lembab akan mengurangi susut dan kelembaban yang rendah akan menambah susut.

3.6 Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*). Adapun 7 langkah perencanaan dengan metode ACI adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata, berdasarkan kuat desak yang diisyaratkan (kuat desak karakteristik) dan nilai margin yang tergantung dari tingkat pengawasan mutunya. Nilai margin adalah :

$$m = 1,64 \cdot s_d$$

dengan s_d adalah nilai deviasi standar yang diambil dari Tabel. 3.4. Kuat desak rata-rata dihitung dari kuat desak yang disyaratkan ditambah margin.

$$\sigma'_{br} = \sigma'_{bk} + m$$

dengan :

$$\sigma'_{br} = \text{kuat desak rata-rata, (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma'_{bk} = \text{kuat desak yang disyaratkan, (Kg/cm}^2\text{) dan}$$

$$m = \text{nilai margin, (Kg/cm}^2\text{)}$$

Tabel 3.4 Nilai Deviasi Standar (Kg/cm²)

Volume Pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
	m ³	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 65	65 < s ≤ 85
Sedang	1000 – 3000	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 75
Besar	> 3000	25 < s ≤ 35	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 65

atau dengan rumus :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}{(N - 1)}} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan :

S_d = deviasi standar (Kg/cm^2)

σ'_b = kekuatan tekan beton dari benda uji (Kg/cm^2)

σ'_{bm} = kekuatan tekan beton rata-rata (Kg/cm^2)

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma'_b}{N} \dots\dots\dots(3.5)$$

N = jumlah benda uji

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan desak rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat Tabel 3.5) dan keawetannya berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan (lihat Tabel 3.6). Dari kedua hhasil tersebut dipilih yang paling rendah.

Tabel 3.5 Kuat desak beton untuk berbagai faktor air semen

Faktor air semen (fas)	Kemungkinan kuat desak beton Umur 28 hari	
	Beton <i>non air entrained</i> (Kg/cm ²)	Beton <i>air entrained</i> (Kg/cm ²)
0.360	420	340
0.450	350	280
0.540	280	225
0.630	225	185
0.720	175	140
0.810	140	115

Tabel 3.6 Faktor air semen maksimum

Kondisi	fas
1. Beton dalam ruangan bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,6
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif.	0,52
2. Beton diluar ruangan bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
3. Beton yang masuk kedalam tanah:	0,6
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,55
4. Beton yang kontiyu berhubungan dengan air :	0,52
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

3. Berdasarkan jenis strukturnya, ditetapkan nilai *slump* dan ukuran agregat berdasarkan ukuran agregat maksimum (Tabel 3.7 dan Tabel 3.8)

Tabel 3.7 Nilai *slump*

Pemakaian beton	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
- Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang,	12,5	5,0
- Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur dibawah tanah,	9,0	2,5
- Pelat, balok, kolom dan dinding	15,5	7,5
- Perkerasan jalan	7,5	5,0
- Pembetonan masal	7,5	2,5

Tabel 3.8 Ukuran agregat maksimum

Tebal maks Konstruksi (cm)	Ukuran butir maks dalam (mm)			Plat tebal dengan tulangan ringan/tanpa tulangan
	Dinding balok kolom bertulang	Dinding tak bertulang	Plat tebal dengan tulangan berat	
6,25 – 12,5	12,5 – 19,6	19,6	19,6 – 25	19,6 – 38,1
15,0 – 27,5	19,6 – 38,1	38,1	38,1	38,1 – 76,2
30,0 – 76,5	38,1 – 76,5	76,2	38,1 – 76,2	76,2
> 76,5	38,1 – 76,5	150	38,1 – 76,2	76,2 - 150

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai *slump* yang diinginkan. (lihat Tabel 3.9)

Tabel 3.9 Volume air yang diperlukan tiap m³ adukan beton

SLUMP (cm)	AIR (Ltr) YANG DIPERLUKAN TIAP m ³ ADUKAN BETON UNTUK UKURAN AGREGAT MAKSIMAL (mm)								
	9,6	12,5	19,6	25	38,1	50	76,2	150	
	BETON BIASA <i>NON AIR ANTRAINED</i>								
2,5 – 5,0	213	203	188	183	168	157	147	127	
7,4 – 10,0	234	223	208	208	183	173	163	142	
15,0 – 17,5	248	234	218	218	193	183	173	152	
PERKIRAAN UDARA TERPERANGKAP (%)	3	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	
	BETON BERGELEMBUNG <i>AIR ENTRAINED</i>								
	2,5 – 5,0	188	183	168	157	147	137	127	111
	7,4 – 10,0	208	198	183	173	163	152	142	122
	15,0 – 17,5	218	208	208	183	173	163	152	132
	PERKIRAAN UDARA TERPERANGKAP (%)	8	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

5. Menghitung semen yang diperlukan berdasarkan hasil dari langkah 2 dan 4.

$$\text{Berat semen} = \frac{\text{Kebutuhan air}}{\text{Faktor air semen}}$$

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus agregat halusnya.

Tabel 3.10 Volume agregat kasar tiap m^3 adukan beton

Ukuran Maksimal kerikil (mm)	Volume kerikil tusuk kering (SSD) tiap satuan volume adukan beton untuk berbagai nilai modulus halus butir (m^3)			
	2,4	2,6	2,8	3,0
9,50	0,46	0,44	0,42	0,40
12,70	0,55	0,53	0,51	0,49
19,20	0,65	0,63	0,61	0,59
25,00	0,70	0,68	0,66	0,64
38,10	0,76	0,74	0,72	0,70
50,00	0,79	0,77	0,75	0,73
76,00	0,84	0,82	0,80	0,78
150,00	0,90	0,88	0,86	0,84

- Menghitung volume agregat halus yang diperlukan berdasarkan jumlah air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan beton dengan cara hitungan volume absolut.

3.7 Perawatan beton

Dalam proses pembuatan beton, setelah beton dicetak hal yang harus dilakukan adalah perawatan terhadap beton tersebut, yaitu perlakuan tertentu untuk menjaga kelembaban atau temperatur guna menghindari retakan pada beton dan mencegah kehilangan air terlalu banyak yang diperlukan untuk proses hidrasi semen sehingga proses pengerasan semen dapat berlangsung dengan baik. Karena retakan pada beton dapat mengakibatkan kerusakan yang serius jika bahan-bahan perusak dapat mencapai tulangan (Sagel, Kole dan Kusuma, 1993)

Metode perawatan beton terhadap beton yang baru dicetak dapat bermacam-macam disesuaikan dengan kondisi dilapangan, adapun jenis-jenis perlakuan yang dapat digunakan adalah :

1. dibiarkan dalam bekisting,
2. menutupi dengan lembar plastik foli,
3. menutupi dengan goni basah,
4. menggenangi dengan air (untuk bagian struktur yang datar)
5. menyemprot/memerciki dengan air pada permukaan beton (*sprinkling*)
6. menyemprot permukaan beton dengan *curing compound* perlakuan ini diterapkan untuk daerah yang mempunyai temperatur tinggi dan
7. *steam curing* yaitu dengan menguapi beton supaya menjaga permukaan beton agar tetap basah dan lembab.

3.8 Umur beton

Beton yang telah mengeras akan mempunyai kekuatan tekan lebih baik bersamaan dengan meningkatnya umur beton. Beton yang tidak menggunakan bahan aditif akan mempunyai kekuatan yang baik mulai pada umur 28 hari. Sejalan dengan bertambahnya umur maka kekuatan beton akan meningkat, ini dikarenakan proses reaksi yang terjadi didalam beton antara air dan semen semakin sempurna (Tjokrodimulyo, 1995)

3.9 Kuat desak Beton

Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat desaknya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara umum hanya

ditinjau kuat tekannya saja. Adapun faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah :

1. faktor air semen,
2. umur beton,
3. jenis semen,
4. jumlah semen dan udara terperangkap,
5. sifat agregat dan
6. perawatan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton selengkapnya akan dijelaskan berikut ini.

1. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) ialah faktor utama yang mempengaruhi kuat desak beton. Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa dengan fas yang berbeda akan menghasilkan kuat desak yang berbeda pula (Tjokrodimulyo, 1995).

2. Umur beton

Kuat desak beton bertambah sejalan dengan umur beton (Dunham, 1966) artinya semakin lama umur beton maka semakin besar kuat desaknya.

3. Jenis semen

Jenis semen mempengaruhi kuat desak rata-rata dan juga kuat akhir, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.4.

ditinjau kuat tekannya saja. Adapun faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah :

1. faktor air semen,
2. umur beton,
3. jenis semen,
4. jumlah semen dan udara terperangkap,
5. sifat agregat, dan
6. perawatan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton selengkapya akan dijelaskan berikut ini.

1. Faktor air semen

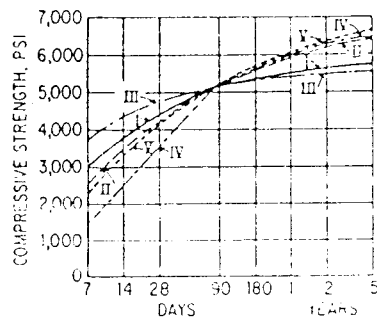
Faktor air semen (fas) ialah faktor utama yang mempengaruhi kuat desak beton. Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa dengan fas yang berbeda akan menghasilkan kuat desak yang berbeda pula (Tjokrodimulyo, 1995).

2. Umur beton

Kuat desak beton bertambah sejalan dengan umur beton (Dunham, 1966) artinya semakin lama umur beton maka semakin besar kuat desaknya.

3. Jenis semen

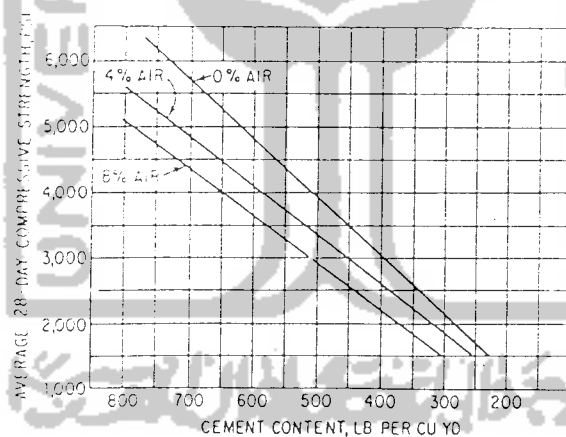
Jenis semen mempengaruhi kuat desak rata-rata dan juga kuat akhir, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kuat desak rata-rata beton berdasarkan macam-macam tipe semen (Merritt, 1983 : 5.11)

4. Jumlah semen dan udara terperangkap

Kuat desak beton menurun akibat adanya penurunan jumlah semen dan kuat desak tersebut akan menurun akibat banyaknya udara yang terperangkap (Merritt, 1983) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



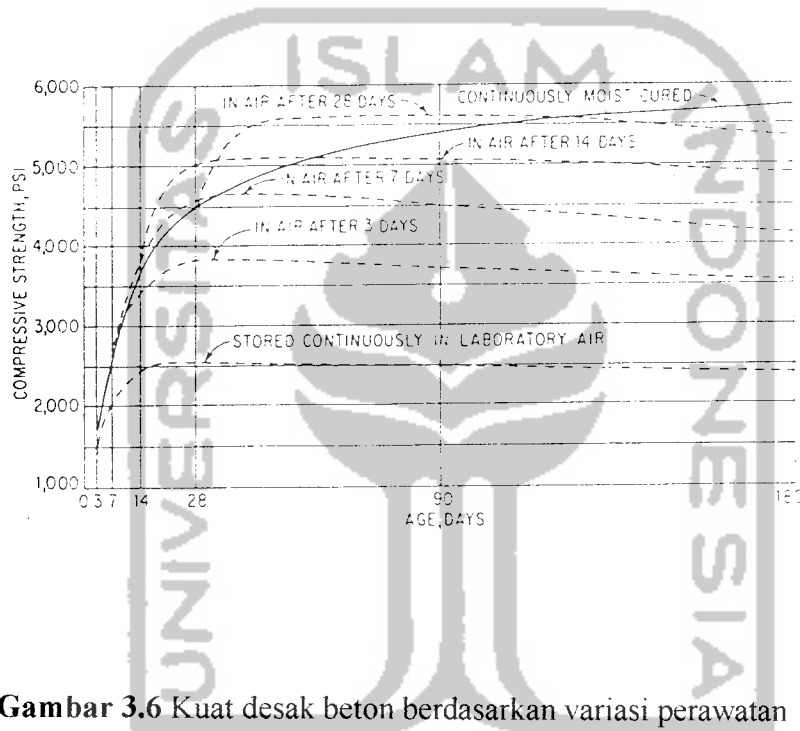
Gambar 3.5 Pengaruh jumlah semen dan ura terperangkap terhadap kuat desak beton, (Merritt, 1983 : 5.10)

5. Jenis Agregat

Kuat desak beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregat dalam hal ini adalah agregat kasar. Semakin baik kekuatan agregat maka kuat desak beton akan semakin baik pula (Tjokrodimulyo, 1995)

6. Perawatan

Perawatan pada beton sangat penting untuk mendapatkan kuat desak beton yang baik. Selama reaksi hidrasi semen berlangsung kelembaban beton harus dijaga (lihat Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Kuat desak beton berdasarkan variasi perawatan (Merritt., 1983 : 5.11)

