

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan kerikil atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Kumpulan material tersebut terdiri dari agregat yang halus dan kasar. Semen dan air berinteraksi secara kimiawi untuk mengikat partikel-partikel agregat tersebut menjadi suatu massa yang padat. Tambahan air yang melampaui jumlah yang dibutuhkan untuk reaksi kimia ini, diperlukan untuk memberikan campuran tersebut mudah diolah dan dapat mengisi cetakan-cetakan serta membungkus baja sebelum mengeras. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya. Semen–semen khusus (seperti semen berkekuatan tinggi), agregat-agregat khusus (seperti bermacam-macam agregat ringan dan agregat berat), metode-metode pemulihan khusus (seperti pemulihan dengan memakai uap) memungkinkan untuk mendapatkan variasi sifat-sifat beton yang lebih luas lagi (Smith dan Andres, 1989).

Sifat-sifat ini dalam banyak hal tergantung pada proporsi dari campurannya, pada kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran tersebut dan pada kondisi kelembaban dan temperatur pada tempat diletakkannya campuran tersebut sejak saat ditematkannya campuran tersebut dalam cetakan hingga mengeras sepenuhnya. Proses pengawasan kondisi ini dikenal sebagai proses pemulihan.

3.2 Materi Penyusun Beton

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki suatu karakteristik yang spesifiknya dipengaruhi oleh bahan-bahan penyusun sebagai berikut ini :

3.2.1 Semen

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus, material berwarna abu-abu yang terutama terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Bahan mentah utama untuk membuat semen portland adalah batu kapur yang mengandung CaO , dan tanah liat atau endapan batuan yang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 (Winter dan Nilson, 1993).

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen hanya kira-kira mengisi 10 % dari volume

beton, karena semen merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (Tjokrodimulyo, 1992).

Menurut Tjokrodimuljo (1992), perbedaan sifat jenis semen satu terhadap semen yang lain dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya. Perbedaan tersebut dapat diketahui dari :

1. Susunan kimia

Bahan dasar semen terutama mengandung kapur, silika , alumina dan oksida besi yang menjadi susunan kimia lebih kompleks. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

2. Hidrasi semen

Bila semen bercampur dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah ke luar dan ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2-5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Pada tahapan hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar), dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida Ca(OH)_2 dan air, dan beberapa senyawa lain. Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk

suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara random dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang semula ditempati air, lalu menjadi kaku dan muncullah suatu kekuatan yang selanjutnya mengeras menjadi benda yang padat dan kuat. Setelah hidrasi berlangsung, endapan hasil hidrasi pada permukaan butiran semen membuat difusi air ke bagian dalam yang belum terhidrasi semakin sulit, sehingga laju hidrasi semakin lambat.

3. Kekuatan pasta semen dan faktor air semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung dari air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan hanya sekitar 25 % dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Kuat tekan pasta semen sangat dipengaruhi oleh besar pori-pori diantara gel-gel atau pori-pori hasil hidrasi. Kelebihan air akan mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak, sehingga hasilnya kurang kuat dan juga lebih porous (berpori).

4. Sifat fisik semen

Sifat fisik semen yang penting terdiri dari :

- a. Kehalusan butir : Butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat daripada semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar dan dapat pula mengurangi *bleeding*, akan tetapi menambah kecenderungan untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

- b. Waktu ikatan : Semen jika dicampur dengan air membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis dan akhirnya menjadi keras. Waktu ikatan terjadi saat pasta semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu ikatan awal yang cukup lama diperlukan untuk pekerjaan beton yaitu waktu transportasi , penguangan, pemadatan, dan perataan permukaan.
- c. Panas hidrasi : untuk semen dengan panas hidrasi rendah harus tidak lebih dari 66 kalori/gram sampai pada tujuh hari pertama, dan 75 kalori/gram sampai pada 28 hari. Laju hidrasi dan penambahan panas bertambah besar sejalan dengan semakin halusya semen, walaupun kuantitas total panas yang dibebaskan tidak dipengaruhi oleh kehalusan tersebut.
- d. Berat jenis: Berat jenis bukan merupakan petunjuk kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam hitungan perbandingan campuran saja.

Menurut PUBI (1982), semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis sebagai berikut :

- (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 atau kalori hidrasi sedang,
- (3). Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,

(4). Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalori hidrasi rendah,

(5). Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alami, atau butiran dari pecahan batu dan kerikil yang memiliki ukuran butiran < 5 mm (Kong dan Evans, 1987). Agregat halus dapat dibedakan menjadi pasir halus, dengan ukuran butiran 0-1 mm dan pasir kasar dengan ukuran butiran 1-5 mm (Wahyudi dan Rahim, 1997).

3.2.3 Agregat kasar

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan

kebutuhan bahwa agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat di antara batang-batang baja tulangan.

Untuk tujuan ini ukuran butir agregat terbesar tidak boleh melebihi nilai:

1. seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,
2. sepertiga tebal pelat,
3. tiga per empat jarak bersih minimum antar batang tulangan, berkas batang tulangan, atau kabel pra tegang atau tendon pretegang (Winter dan Nilson, 1993).

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (Tjokrodimulyo, 1992) :

1. agregat bersih dari unsur organik,
2. keras,
3. bebas dari sifat penycrapan secara kimia,
4. tidak bercampur dengan tanah liat atau lumpur,
5. distribusi atau gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirnya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat (Tjokrodimulyo, 1992).

Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) dalam buku Teknologi Beton (Tjokrodimulyo, 1992) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Batas-batas daerah gradasi pasir tercantum dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Adapun agregat kerikil ditetapkan seperti yang tercantum dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Gradasi kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan	
	Diameter butir maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat di tetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus 1,5 sampai 3,8 dan kerikil antara 5 dan 8. Modulus halus butir campuran dihitung dengan persamaan (3.1):

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dengan W : Persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K : Modulus halus butir kerikil

P : Modulus halus butir pasir

C : Modulus halus butir campuran.

3.2.4 Air

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang, sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam faktor air-semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (kg) dibagi dengan berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut. Perlu diketahui bahwa air untuk campuran beton harus tidak mengandung minyak, larutan asam, garam alkali, material organik maupun bahan-bahan lain yang dapat mengurangi kekuatan beton. Selain faktor tersebut di atas, pemadatan, panas, dan kelembaban juga dapat mempengaruhi kekuatan beton. Untuk itu, sebaiknya menggunakan alat penggetar adukan (*vibrator*) untuk memperoleh kepadatan beton yang sempurna terutama untuk beton dengan rasio air semen yang rendah. Menjaga kelembaban dan panas agar tetap konstan sewaktu proses hidrasi berlangsung, misalnya dengan menutupi permukaan beton dengan karung-karung basah atau menyiramkan air minimum satu kali dalam sehari, merupakan hal yang sangat penting (Wahyudi dan Rahim, 1997).

Air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini (Tjokrodimuljo, 1992) :

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

Air selain digunakan untuk pengikatan beton, digunakan juga untuk perawatan beton sesudah beton dituang, yaitu untuk merendam atau membasahi beton. Air yang digunakan untuk bereaksi hidrasi dengan semen diperlukan sedikitnya 20 – 30 % jumlah air dari berat semen. Kelebihan air pada campuran beton akan menurunkan kekuatan beton karena meninggalkan pori – pori yang mengurangi kepadatan beton (Smith dan Andres, 1989).

Jumlah air optimum dalam suatu rancangan campuran beton ditentukan dari kemudahan pekerjaan yang dapat dicapai. Jumlah air optimum dikatakan tercapai apabila kemudahan pekerjaan pengecoran sesuai dengan tuntutan (dinyatakan dengan uji slump). Penyimpangan jumlah air dapat berakibat (Wahyudi dan Rahim, 1997) :

1. Bila air terlalu sedikit
 - a. dalam batas tertentu kekuatan tekan beton bisa naik,

- b. pekerjaan pengecoran menjadi lebih sulit karena air yang juga berfungsi sebagai pelumas, berkurang,
- c. *loss of slump* beton menjadi lebih singkat sehingga proses pengecoran dituntut lebih cepat,
- d. diperlukan sistem pemadatan khusus agar didapat beton yang padat, bila tidak kemungkinan besar beton akan menjadi keropos.

2. Bila air terlalu banyak

- a. kekuatan tekan beton turun,
- b. pekerjaan pengecoran menjadi lebih mudah,
- c. *loss of slump* beton leboh lama, proses pengecoran lebih lama,
- d. terjadi segregasi (pemisahan butiran) dalam campuran sehingga kuat tekan beton turun,
- e. terjadi penyusutan karena air kelebihan yang mengisi pori-pori beton, suatu saat akan menguap meninggalkan pori-pori dalam beton.

3.3 Bahan Tambah Kimia

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambah seharusnya hanya berguna kalau sudah ada evaluasi yang teliti tentang pengaruhnya pada beton, khususnya dalam kondisi dimana beton diharapkan akan digunakan. Bahan tambah biasanya diberikan

dalam jumlah yang relatif sedikit, dan pengawasan yang ketat harus diberikan agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton. Sifat-sifat beton yang diperbaiki itu antara lain kecepatan hidrasi (waktu ikatan), kemudahan pengerjaan, dan kedekatan terhadap air (Smith dan Andres, 1989).

Bahan tambah kimia (*chemical admixture*) adalah bahan tambah yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang berbeda pada beton segar atau beton yang dihasilkannya, misalnya sifat pengerjaan yang lebih mudah, sifat pengikatan lebih cepat, laju kenaikan kekuatan yang lebih cepat (Tjokrodimuljo, 1992).

Fungsi dari bahan tambah kimia adalah sebagai berikut (Smith dan Andres, 1989) :

1. untuk mempercepat pengerasan beton,
2. untuk memperlambat pengerasan beton,
3. untuk membuat beton lebih tahan terhadap kerusakan akibat pembekuan,
4. untuk mencegah terjadinya *bleeding* pada permukaan beton segar,
5. untuk meningkatkan workabilitas adukan beton,
6. untuk meningkatkan kekuatan atau kepadatan pada permukaan beton,
7. untuk mengurangi kadar air beton,
8. untuk menyatukan antara dua permukaan beton,
9. untuk mencegah terjadinya penggumpalan pasta semen,
10. untuk menghasilkan permukaan yang berwarna,
11. untuk menghasilkan permukaan yang anti selip,
12. untuk mencegah penguapan air pada beton segar,

13. untuk membantu pengembangan kekuatan yang dihasilkan pasta semen,

14. untuk mengurangi berat beton.

Menurut SK SNI S-18-1990-03 (Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton,1990), bahan tambah kimia dapat dibedakan menjadi lima jenis :

1. bahan tambah kimia untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama,
2. bahan tambah kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada suatu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam,
3. bahan tambah kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan, dan sebagainya,
4. bahan tambah kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan,
5. bahan tambah kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Selain lima jenis tersebut, ada dua jenis lain yang lebih khusus, yaitu :

1. bahan tambah kimia yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 12% atau bahkan lebih, untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama (air dikurangi sampai 12% lebih namun tidak menambah kekentalan pada adukan beton),
2. bahan tambah kimia dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 12% atau lebih dan memperlambat ikatan awal.

Berikut ini adalah beberapa contoh bahan tambah atau aditif (Smith dan Andres, 1989) :

1. *Accelerators* yaitu bahan untuk mempercepat pengerasan pada adukan beton. Bahan ini biasanya dipakai pada saat musim dingin karena kurangnya panas yang diterima untuk mempercepat pengerasan adukan beton. Bahan tambah ini banyak terdapat unsur kalsium klorida (CaCl_2) yang merupakan bahan yang dicampur dengan air dan dimasukkan pada adukan beton. Kadar bahan ini tidak boleh lebih dari 2 % berat semen karena bahan ini mempunyai efek yang jelek terhadap tulangan pada beton berupa terjadinya korosi pada tulangan tersebut.
2. *Retarder* yaitu bahan untuk memperlambat pengerasan adukan beton. Bahan ini biasanya dipakai pada daerah yang bertemperatur panas. Pada cuaca yang panas akan mempercepat pemanasan sehingga mempersingkat waktu penempatan, pemadatan dan penyelesaian cairan beton. *Retarder* memperlambat proses hidrasi dan memberikan lebih banyak cairan untuk workabilitas serta melindungi beton dari pemanasan langsung.

3. *Air entraining agents* yaitu bahan untuk mengisi pori-pori pada beton segar. Bahan ini meningkatkan durabilitas dan plastisitas, tetapi bisa saja mempunyai efek yang merugikan dalam kekuatan beton. Bahan ini dibuat dengan modifikasi dari garam untuk mempertahankan *sulfonated hydrocarbon* agar adukan beton tetap plastis.
4. *Superplasticizer* yaitu bahan yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 15 % dari campuran awal dan juga dapat meningkatkan kekuatan beton sampai 10 %.
5. *Pozzolanic admixtures* yaitu bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen. Bahan ini menambah atau mengganti sampai dengan 70% semen, bukti-bukti yang ada menunjukkan bahwa penggantian sampai 20% semen tidak berbeda dengan bilamana semen saja yang digunakan,
6. *Concrete waterproofers* yaitu bahan campuran penangkal air yang berfungsi untuk mencegah meresapnya air hujan kedalam beton, dengan demikian diharapkan beton menjadi kedap air.

3.3.1 *Superplasticizer* (SP)

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Alternatif lain, bahan ini dapat meningkatkan kekuatan

beton karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama (Murdock dan Brook, 1991).

Pengaruh *superplasticizer* akan meningkatkan kinerja beton segar berupa peningkatan workabilitas dan kekuatan beton terhadap gaya desak dan gaya geser. Biasanya dengan penambahan *superplasticizer* dapat menaikkan nilai slump antara 17,5 - 22,5 cm, maka dari itu bahan ini cocok untuk pemakaian adukan beton pada struktur berkekuatan tinggi. Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai slump yang tinggi (Murdock dan Brook, 1991).

3.3.2 Keistimewaan *Superplasticizer*

Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain (Smith dan Andres, 1989) :

1. menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan workabilitas tinggi,
2. mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar,
3. mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit,

4. tidak adanya udara yang masuk.

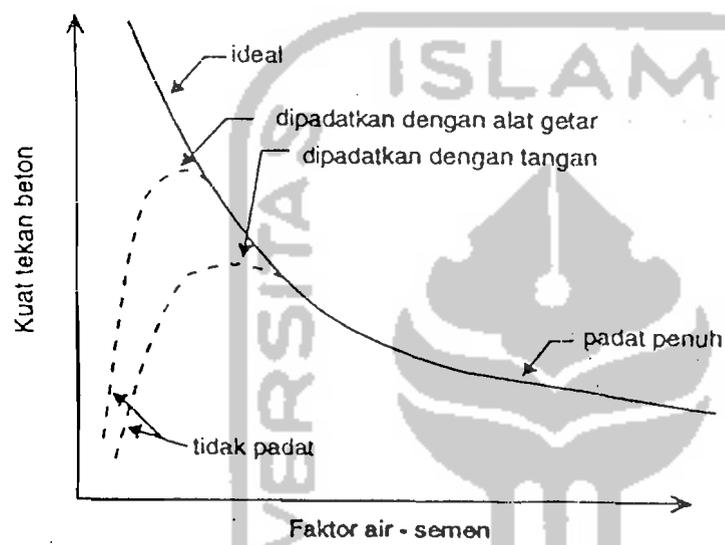
Penambahan 1% udara ke dalam beton dapat menyebabkan pengurangan kekuatan rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga *air content* di dalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara yang masuk ke dalam beton,

5. tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

Superplasticizer formulasinya tidak berisi chlorida yang dapat menyebabkan korosi pada tulangan beton.

3.4 Faktor Air-Semen

Faktor air-semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air-semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah fas, kuat tekan beton semakin tinggi. Meskipun fas yang rendah akan menyulitkan proses pemadatan sehingga kekuatan beton menjadi kurang padat, oleh sebab itu ada suatu nilai fas optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum seperti terlihat pada gambar 3.1 (Tjokrodimulyo, 1996).



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan beton dengan nilai faktor air semen

Sumber : Kardiyono Ijokrodimulyo, 1996

Perbandingan faktor air semen dengan kondisi lingkungan dapat dilihat pada

Tabel 3.3

Tabel 3.3 Faktor air-semen untuk setiap kondisi lingkungan

Jenis Konstruksi	KONDISI LINGKUNGAN		
	Kondisi Normal	Basah-kering berganti-ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Konstruksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm.	0,53	0,49	0,40
Struktur dinding penahan tanah, pilar, balok, abutmen.	*	0,53	0,44
Beton yang tertanam dalam air pilar, balok, kolom.	-	0,44	0,44
Struktur lantai beton di atas tanah.	*	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara (konstruksi interior bangunan).	*	-	-

**Rasio air semen ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana*

Sumber : Tim Penyusun Struktur Beton, 1999

3.5 Slump

Slump merupakan perbedaan tinggi dari adukan dalam cetakan kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. Slump untuk mengetahui tingkat kekenyalan adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka kemudahan pengerjaannya makin mudah (nilai workabilitas tinggi). Nilai

slump berbagai macam struktur diperlihatkan pada tabel 3.4 (Tjokrodimulyo, 1992).

Tabel 3.4 Nilai slump untuk berbagai macam struktur

URAIAN	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	80	25
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi di bawah tanah	80	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	100	25
Perkerasan jalan	80	25
Pembetonan missal	50	25

Sumber : Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992

3.6 Metode Perencanaan Adukan Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1996), metode perancangan campuran adukan beton ada beberapa macam, diantaranya terdiri dari :

1. Metode perancangan menurut "Road Note No 4"

Metode perancangan ini disimpulkan atas penelitian Glanville dkk, yang ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap pengerjaan adukan beton.

Pada metode ini memiliki kekurangan antara lain :

- a. Gradasi agregat yang dipakai ada 4 kurva, pada kenyataannya di lapangan amat sulit menentukan antara gradasi agregat yang dipakai dengan salah satu dari kurva tersebut.
- b. Agregat yang dipakai terdiri dari beberapa berat jenis sehingga perlu adanya koreksi jika berat jenisnya tidak sama.

2. Metode perancangan menurut cara Inggris

Perancangan adukan beton cara Inggris ini tercantum dalam *Design of Normal Concrete Mixes* telah menggantikan cara *Road Note No 4* sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan cara DOE (*Department of Environment*). Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia. Metode ini memiliki kelebihan dalam penggunaannya seperti pada nilai faktor air-semen didapat dengan grafik yang dengan mutu beton lebih tinggi dibandingkan metode ACI. Pada metode ini memiliki kekurangan antara lain :

- a. Jenis agregat yang hanya ditetapkan sebagai batu pecah dan alami saja tampaknya sulit, karena sering dijumpai agregat alami dengan permukaannya tidak bulat dan tidak halus. Kekasaran permukaan butiran hal yang sulit diukur sehingga berpengaruh terhadap jumlah air,
- b. Diagram proporsi agregat halus terhadap agregat total yang dipakai sulit mendapatkan hasil yang tepat,
- c. Diagram hubungan antara faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton tidak sama untuk berbagai jenis agregat yang dipakai untuk beton, sehingga sebaiknya dipakai diagram yang dipakai untuk tiap agergat yang dipakai.

3. Metode perancangan menurut *American Concrete Institute*

Cara perancangan campuran adukan beton ini memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan

yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (slump) adukan beton. Perencanaan adukan beton lebih mudah karena data-data yang diperlukan dalam perhitungan tersaji dalam bentuk tabel dengan nilai variabel tertentu.

Perencanaan dengan metode ACI ini memiliki beberapa kekurangan yaitu:

- a. Nilai modulus kehalusan agregat halus sebenarnya kurang menggambarkan gradasi agregat yang tepat, sehingga volume agregat kasar yang diperoleh kurang tepat,
- b. Agregat yang dipakai mempunyai bentuk dan gradasi yang harus memenuhi spesifikasi ACI, sehingga bila dipakai agregat yang tidak sesuai dengan spesifikasi tersebut akan menghasilkan nilai slump yang berbeda.

3.7 Pengadukan Beton

Untuk mencapai mutu beton yang baik maka bahan-bahan penyusun beton yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus yang kemudian diikat dengan semen lalu berinteraksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan di aduk dengan benar dan rata. Pengadukan beton dapat dilakukan dengan cara (Tjokrodimulyo, 1996) :

- a. Manual, dilakukan bila jumlah beton yang dibuat sedikit, dan tidak diinginkan suara berisik yang ditimbulkan oleh mesin.
- b. Mesin, dilakukan bila jumlah beton yang dibuat dalam jumlah yang banyak. Lamanya waktu pengadukan tergantung pada kapasitas isi mesin pengaduk,

jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan susun, dan slump beton, pada umumnya tidak kurang dari 1,5 menit semenjak dimulainya pengadukan, dan hasil adukannya menunjukkan susunan dan warna yang merata.

3.8 Berat Jenis

Berat jenis adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Menurut SK-SNI M-09-1989-F (Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, 1989) dan SK SNI M-10-1989-F (Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, 1989) persamaan yang digunakan untuk mencari berat jenis dalam keadaan SSD adalah :

1. Berat jenis agregat kasar

$$B_j = \frac{B}{B - B_a} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana :

B_j = Berat jenis agregat kasar dalam keadaan SSD (gr/cm^3)

B = Berat agregat kasar dalam keadaan SSD (gr)

B_a = Berat agregat kasar dalam air (gr)

2. Berat jenis agregat halus

$$B_j = \frac{B}{B_p + B - B_t} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana :

B_j = Berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD (gr/cm^3)

B = Berat agregat halus dalam keadaan SSD (gr)

B_p = Volume air dan agregat halus dalam vicnometer (Cc)

B_t = Berat vicnometer dan air (Cc)

3.9 Kuat Tekan

3.9.1 Pengujian Kuat Tekan

Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai sampai 40 MPa atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kuat tekan beton normal yang umum digunakan adalah sekitar 20 MPa sampai 50 MPa. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian dengan mesin uji tekan beton.



Gambar 3.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Persamaan yang digunakan untuk menentukan hasil pengujian kuat tekan :

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (KN)

A = luas permukaan bidang tekan (cm^2)

3.9.2 Prediksi Kuat Tekan

Pertambahan umur membuat kinerja beton semakin meningkat, terutama pada pertambahan umur tersebut disertai dengan perawatan. Kekuatan kinerja beton mencapai optimal pada umur 28 hari. Hasil pengujian yang dilakukan pada umur 7 hari dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan pada umur 28 hari. Untuk itu dapat dipakai persamaan-persamaan pendekatan yang dihasilkan peneliti atau yang tersedia dalam literatur, seperti pada persamaan 1 yang diambil dari kajian Ilham (2004) dan persamaan 2 diambil dari PBI 1971.

$$f'_{c,t} = 0,9756 \cdot f'_{c,7} \left(\frac{t}{t_7} \right)^{0,1595} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$f'_c = \frac{f'_{c_7}}{0,65} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan :

f'_{ct} = kuat tekan beton pada umur t hari (MPa),

f'_c = kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa),

f'_{c7} = kuat tekan beton pada umur 7 hari (MPa),

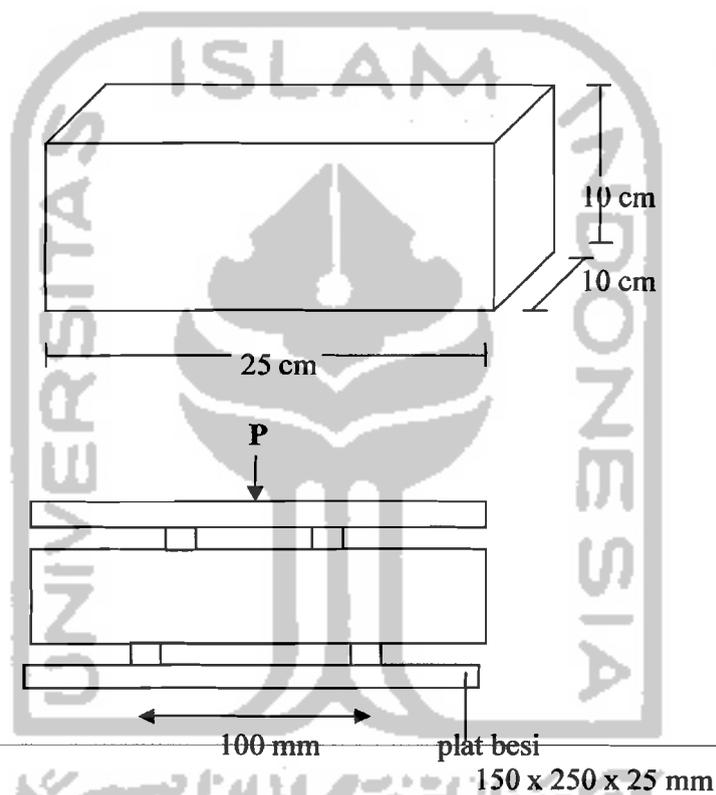
t_7 = umur beton 7 hari,

t = umur beton t hari,

3.10 Kuat Geser

3.10.1 Pengujian Kuat Geser

Tujuan pengujian geser adalah untuk memperoleh besarnya tegangan geser dari balok beton setelah mendapat pembebanan. Berdasarkan hasil kajian Ilham (2004), mengusulkan metode pengujian geser langsung beton seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengujian kuat geser balok beton

Persamaan yang digunakan untuk menentukan kuat geser langsung :

$$f_{sh} = \frac{P}{2A} \dots \dots \dots (3.7)$$

Keterangan :

f_{sh}' = kuat geser balok beton (MPa)

P = beban tekan (KN)

A = luas permukaan bidang geser (cm²)

3.10.2 Prediksi Kuat Geser

Pengujian kuat geser yang dilakukan pada saat umur beton 28 hari. Untuk lebih mempermudah dalam mencari kuat geser beton dapat dilakukan perhitungan dengan acuan kuat tekan beton pada umur 7 hari. Prediksi persamaan kuat tekan ini diambil dari penelitian yang dilakukan Ilham (2004). Persamaan yang digunakan yaitu :

$$f_{sh}' = \frac{f_c'}{0,0478 \cdot f_c' + 6,2835} \quad \dots(3.8)$$

$$f_{sh,t}' = 0,449 \cdot f_{c,t}'^{10,66} \left(\frac{t}{t_{28}} \right)^{0,0453} \quad \dots(3.9)$$

Keterangan :

f_{ct}' = kuat geser beton umur 28 hari (MPa),

f_c' = kuat tekan beton umur 28 hari (MPa),

f_{c7}' = kuat tekan beton pada umur t hari (MPa),

t = umur t hari dari beton,

t_{28} = umur 28 hari sebagai standar kuat tekan beton.