

BAB II

DASAR TEORI

2.1. PENGERTIAN BETON

Beton merupakan campuran antara semen, air, pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu yang mengeras menyerupai batu. Air dan semen membentuk pasta yang akan mengisi rongga-rongga di antara butir-butir pasir dan kerikil.³ Dalam melakukan campuran beton, dapat dilakukan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga akan didapatkan beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi. Bahan tambah lain juga sering digunakan dalam campuran beton untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu.⁴

Untuk dapat memahami perilaku beton maka diperlukan pengetahuan tentang karakteristik dari masing-masing komponen penyusun beton tersebut. Dengan memahami perilaku dari beton maka kita akan dapat membuat beton dengan karakteristik yang kita inginkan sesuai dengan perencanaan.

Adapun parameter-parameter yang paling berpengaruh dalam kekuatan beton adalah :

- a. Kualitas semen yang digunakan
- b. Proporsi semen terhadap campuran
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat
- d. Interaksi antara pasta semen dengan agregat
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
- f. Penempatan, penyelesaian dan pemadatan beton yang benar
- g. Perawatan beton
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos

³ L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", Jakarta : Gramedia, 1999

⁴ Tri Mulyono, "Teknologi Beton", Yogyakarta: Andi, 2003

i. Kualitas pelaksanaannya

Pada umumnya keuntungan dan kerugian dalam menggunakan beton diantaranya, yaitu :⁵

Keuntungan :

1. Ekonomi : merupakan pertimbangan yang sangat penting, meliputi : material, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu untuk konstruksi, pemeliharaan struktur, daktilitas, dan sebagainya.
2. Kecerahan beton untuk memenuhi kepentingan struktur dan arsitektur. Beton dicor ketika masih cair dan menahan beban ketika telah mengeras. Hal ini sangat bermanfaat, karena dapat membuat berbagai bentuk.
3. Tahan api (sekitar 1 hingga 3 jam tanpa bahan kedap api tambahan), sementara kayu dan baja memerlukan bahan kedap api khusus untuk mencapai tingkat seperti ini.
4. Rigiditas tinggi
5. Biaya pemeliharaan (maintenance) rendah.
6. Penyediaan materialnya yang cukup mudah

Kerugian :

1. Kekuatan tariknya rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan), sehingga mudah retak.
2. Memerlukan biaya untuk bekisting, perancah (untuk beton cor di tempat) yang tidak sedikit jumlahnya.
3. Berat
4. Bentuk yang sulit diubah bila beton telah mengeras
5. Daya pantul yang dihasilkan cukup besar
6. Beton mengalami rangkai jangka panjang dan susut

⁵ L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", Jakarta : Gramedia, 1999

2.2. KLASIFIKASI BETON

Klasifikasi beton terdiri dari beberapa jenis, diantaranya yaitu berdasarkan berat volume betonnya, berdasarkan material pembentuknya dan kegunaan dari strukturnya. Pada umumnya bahan agregat yang digunakan dalam campuran beton mempengaruhi beton yang akan dihasilkan.⁶

Terminologi ASTM C.125 mendefinisikan bahwa agregat ringan adalah agregat yang digunakan untuk menghasilkan beton ringan. Agregat berat didefinisikan sebagai agregat yang mampu menghasilkan beton dengan kepadatan tinggi. Sedangkan agregat normal adalah agregat yang mampu menghasilkan beton normal.

Berikut akan dijelaskan klasifikasi beton menurut berat volumenya, yaitu :

1. Beton Ringan

Merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat ringan. Biasanya beton jenis ini digunakan atas pertimbangan ekonomis dan struktural. Berat jenis agregat ringannya sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya yang berkisar antara $1440 - 1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ MPa}$ (ACI-318). SNI memberikan batasan kriteria beton ringan sebesar 1900 kg/m^3 . Agregat yang biasanya digunakan untuk menghasilkan beton ringan yaitu meliputi batu apung, scoria, vulkanik, cinder, tuff, diatomite, atau hasil pembakaran lempung, shale, slite atau batubara dan hasil residu pembakarannya.

2. Beton Normal

Merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat normal. Beton jenis ini memiliki berat isi sebesar $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$. Beton normal pada umumnya sering digunakan pada industri konstruksi. Contohnya yaitu dalam pembuatan gedung-gedung, jalan (jenis perkerasan beton), bendungan, saluran air dan lainnya.

Agregat normal dihasilkan dari pemecah batuan di industri quarry dengan ukuran butirannya sebesar $5 - 40 \text{ mm}$ atau didapatkan langsung dari sumber alam. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Berat jenis agregat normal ini rata-ratanya adalah sebesar $2.5 - 2.7$ atau tidak boleh kurang dari 1.2 kg/dm^3 . Beton

⁶ Tri Mulyono, "Teknologi Beton", Yogyakarta: Andi, 2003

normal yang dihasilkan mempunyai berat sebesar 2.200-2.500 kg/m³ dan kuat tekan sebesar 15-40 MPa (150-400 kg/cm³).

3. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat ini lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³. Beton jenis ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya. ASTM C.638 memberikan suatu deskripsi mengenai pertimbangan penggunaan agregat untuk kepentingan beton yang menahan radiasi.

Beton jenis ini digunakan bila masalah ruang tidak menjadi masalah. Agregat yang digunakan biasanya besarnya lebih dari 4.0. Contohnya seperti barium sulfat, barite, magnetite, limonite, besi atau bijih besi. Adapun penggunaan bijih besi sebagai agregat dapat mencapai 3000 – 3900 kg/m³.⁷

2.3.KARAKTERISTIK BETON NORMAL

2.3.1. Kuat Tekan Beton

Salah satu cara untuk mengendalikan mutu beton adalah dengan menguji sampel atau benda uji. Dimana nilai uji yang diperoleh dari setiap benda uji akan berbeda, karena beton merupakan material heterogen, yang kekuatannya dipengaruhi oleh proporsi campuran, bentuk, ukuran, kecepatan pembebanan dan oleh kondisi lingkungan pada saat pengujian.

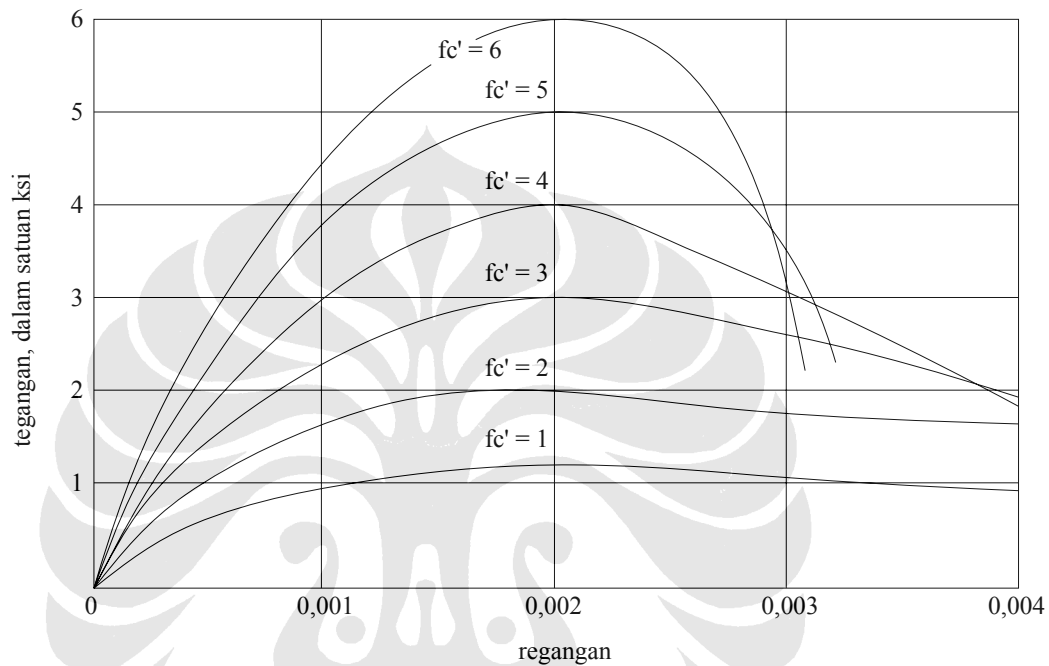
Oleh karena itu, metode statistik diperlukan untuk menentukan kekuatan tekan karakteristik beton f_c' , yang didefinisikan sebagai kekuatan tekan beton yang dilampaui oleh paling sedikit 95% dari benda uji. Nilai f_c' merupakan kekuatan tekan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan panjangnya 300 mm sebagaimana ditetapkan dalam SNI T-15-1991. Pengujian standarnya didasarkan atas kekuatan beton umur 28 hari.⁸

Berdasarkan percobaan tekan beton dapat dibuat suatu bentuk kurva yang menyatakan nilai tegangan yang bersesuaian dengan nilai regangan betonnya. Dari berbagai macam mutu beton akan dihasilkan suatu bentuk kurva seperti gambar 2.1.

⁷ Neville, A.M., "Properties of Concrete", 3rd Edition, London: Pitman Books Ltd, 1981

⁸ L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", Jakarta : Gramedia, 1999

Bagian pertama dari kurva tersebut berbentuk parabola yang dapat diidealisasi menjadi garis lurus yang nilai tegangan dan regangan beton dapat dianggap proporsional. Selanjutnya kurva akan mencapai titik maksimum pada nilai tegangan karakteristik beton, f_c' .



Gbr.2.1. Kurva tegangan-regangan beton silinder dengan pembebanan uniaksial
 Sumber : L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", 1999

Untuk beton normal tegangan tekan f_c' ini kira-kira terletak pada nilai regangan 0,002 hingga 0,003 in/in, sedangkan untuk beton ringan berkisar antara 0,003 sampai 0,0035. Setelah titik maksimum dilampaui, kurva tersebut akan menurun lagi hingga benda uji beton hancur. Dapat dilihat bahwa beton mutu rendah akan memiliki puncak kurva yang agak panjang dan datar, sedangkan kurva beton mutu tinggi lebih tajam.

2.3.2. Perbandingan Poisson

Bila suatu benda ditekan secara uniaksial (dalam satu arah), selain benda tersebut akan memendek, juga akan mengembang ke arah lateral/tegak lurus. Gejala ini secara ekstrem dapat dilihat pada suatu kubus karet yang ditekan searah dari atas dan bawah. Perubahan dimensi atau regangan lateral yang terjadi pada beton tidaklah terlalu

terlihat. Perbandingan regangan lateral terhadap regangan memanjang ini dinyatakan dalam perbandingan poisson (koefisien kontraksi), yang untuk material beton berkisar antara 0,15 hingga 0,20.⁹

2.3.3. Rangkak (*creep*)

Rangkak didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja¹⁰. Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun.

Pada umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan.

Besar kecilnya rangkak ini tergantung baik pada kondisi material, misalnya rasio air-semen, jenis semen, jenis agregat, maupun pada kelembaban lingkungan, dimensi atau ukuran beton dan ada tidaknya aditif. Dalam kondisi lembab, dimana kehilangan air dalam beton rendah, maka nilai rangkak juga rendah.

2.3.4. Susut (*shrinkage*)

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Pada waktu proses hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air, yang dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut, yang menyebabkan terjadinya susut. Susut dapat menyebabkan retak bila tidak dikendalikan dengan baik.

Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton. Sedangkan faktor-faktor lain (misalnya butir agregat, faktor air-semen, ukuran elemen beton, kondisi lingkungan, tipe semen, serta ada tidaknya aditif) kurang menentukan.

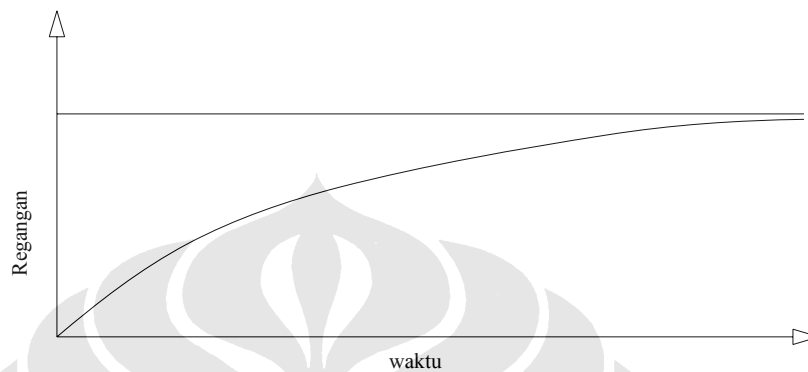
Beberapa pedoman yang dapat diambil, yaitu :

1. Susut akan rendah bila nilai slump betonnya rendah

⁹ L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", Jakarta : Gramedia, 1999

¹⁰ Nawy, Edward. G., "Reinforced Concrete a Fundamental Approach-Terjemahan", Cetakan Pertama, Bandung: PT. Eresco, 1990

2. Susut yang terjadi akan berkurang dengan meningkatnya kelembapan udara lingkungan
3. Susut akan berkurang bila tebal elemen beton bertambah



Gbr. 2.2. Kurva susut tipikal untuk beton

Sumber : Nawy, Edward. G., "Reinforced Concrete a Fundamental Approach":1990

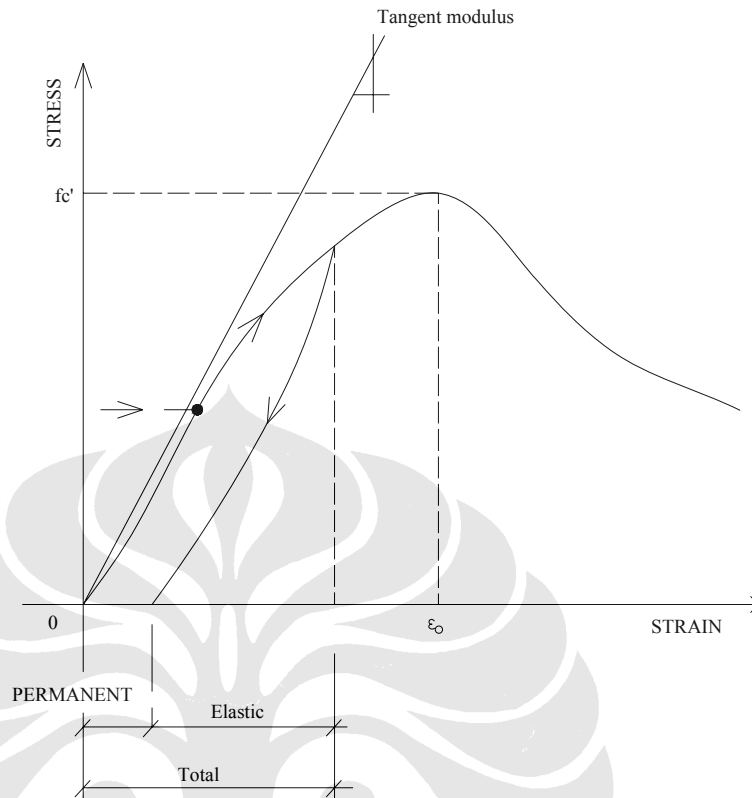
2.3.5. Modulus Elastisitas

Beton tidak memiliki nilai modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, karakteristik dan perbandingan antara semen dan agregat.

Kemiringan garis singgung pada segmen pertama garis parabola didefinisikan sebagai modulus tangen, yang sering dianggap sebagai modulus elastisitas beton, E_c . Sedangkan kemiringan garis yang melalui titik $0,5f_c'$ adalah modulus sekan (*secant modulus*), yang lebih umum diambil sebagai modulus elastisitas beton, E_c . SNI menetapkan nilai modulus E_c sebagai nilai variabel dan tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \quad (\text{dalam MPa})$$

Berdasarkan rumus di atas, dengan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$, besarnya nilai modulus elastisitas dari beberapa mutu beton dapat disusun seperti dalam tabel 2.1.



Gbr 2.3. Modulus tangen dan modulus sekan

Sumber : L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", 1999

Tabel 2.1. Nilai Modulus Elastisitas Beton Normal

f_c'		E_c
kg/cm ²	MPa	MPa
175	17,17	19 500
200	19,62	20 800
225	22,07	22 100
250	24,52	23 300
275	26,98	24 400
300	29,43	25 500
325	31,88	26 500
350	34,33	27 500
400	39,24	29 400
450	44,14	31 200

Sumber : L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", 1999

Sebagai perbandingan, ACI menetapkan beberapa rumus untuk menghitung modulus elastisitas dari beton normal dengan berat 2320 kg/m³ sebagai :

$$E_c = 57000\sqrt{f_c'} \quad (f_c' \text{ dalam psi})$$

Atau

$$E_c = 15100\sqrt{f_c'} \quad (f_c' \text{ dalam kg/cm}^2)$$

2.3.6. Kuat Tarik Belah

Kekuatan tarik beton sering kali diukur berdasarkan modulus tarik yaitu tegangan tarik lentur dari beton silinder 6 inchi. Nilai yang didapatkan sedikit lebih besar dibandingkan kekuatan tarik sesungguhnya. Kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan dengan kuat tekannya, dimana besarnya berkisar antara 10% - 15% dari kuat tekan. Tetapi saat ini lebih sering ditentukan oleh kekuatan belah silinder beton. ACI menetapkan nilai modulus tarik sebagai :¹¹

$$f_r = 7,5\sqrt{f_c'} \quad (\text{untuk beton normal})$$

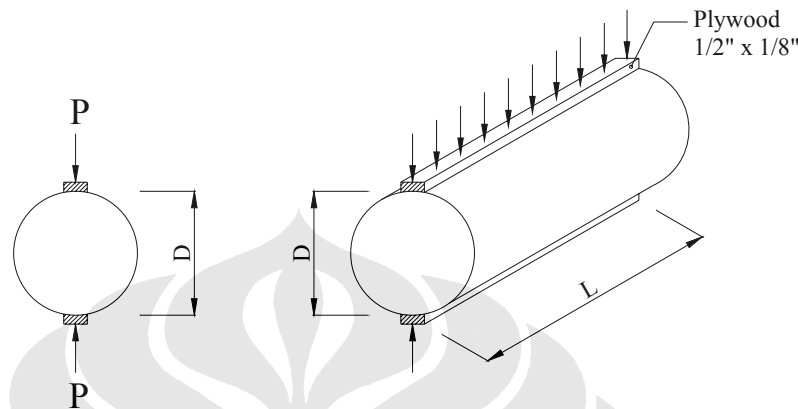
Dimana f_r dalam psi bila f_c' dalam psi. Sedangkan dalam SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 ditetapkan bahwa besarnya modulus tarik sebagai berikut :

$$f_r = 0,70\sqrt{f_c'} \quad (\text{untuk beton normal})$$

Dengan f_r dan f_c' dinyatakan dalam MPa. Dari berbagai percobaan yang telah dilakukan terlihat bahwa kekuatan tarik beton sangat kecil dibandingkan kekuatan tekannya, sehingga dalam analisis atau desain kekuatan tarik beton diabaikan dan beton dianggap hanya menahan gaya tekan saja. Pada umumnya untuk meninjau besarnya

¹¹ L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, "Struktur Beton Bertulang", Jakarta : Gramedia, 1999

kuat tarik pada beton dilakukan uji tarik tak langsung, yaitu metode dari Fernando Carneiro (kebangsaan Brazil) yang umumnya dikenal sebagai “Brazilian Test” atau “Splitting Test”.



Gbr 2.4. Splitting Test untuk uji kuat tarik beton

2.3.7. Kuat Geser

Kekuatan geser pada beton jarang ditemukan pada struktur beton. Hal ini disebabkan karena sulitnya dalam mengisolasi beban geser murni terhadap pembebanan yang lainnya. Dalam percobaan dan pengujian beton di laboratorium didapatkan hasil yang sangat bervariasi yaitu antara 20% s/d 85%. Gaya yang bekerja pada benda uji, bersifat kolinear terhadap bidang gesernya, sehingga terjadi retak dan selip di sepanjang permukaan bidang geser tersebut. Untuk itu harus diterapkan konsep gesekan geser di dalam transfer geser.¹²

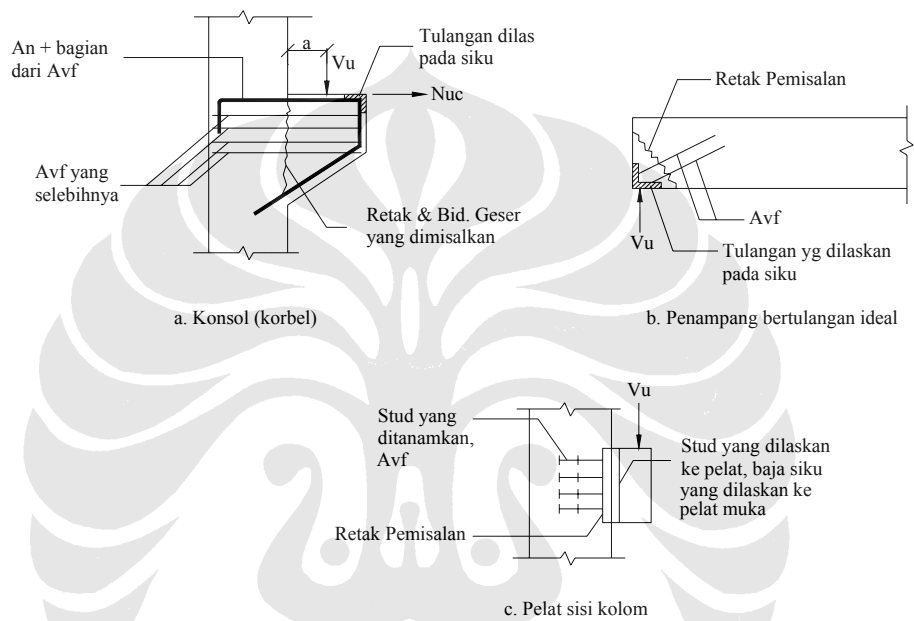
Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3;4;7 tentang geser friksi, dinyatakan bahwa dipandang perlu untuk meninjau penyaluran geser melalui suatu bidang tertentu, misalnya pada retakan atau daerah yang mempunyai potensi retak, bidang kontak antara bahan-bahan yang berlainan, atau bidang kontak antara dua beton yang dicor pada waktu yang berbeda. Pada benda uji double L ini, dianggap memiliki potensi retak, sehingga perlu diterapkan konsep geser friksi.

Pada kasus di lapangan, mekanisme untuk transfer geser dapat ditemui dalam keadaan seperti :

- Pada bidang permukaan antara beton yang dicor dalam waktu yang berlainan

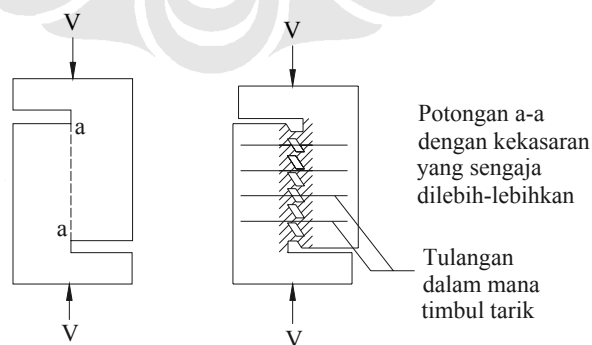
¹² Wang, Chu-Kia; Salmon, Charles G, "Desain Beton Bertulang-Terjemahan", PT. Erlangga, 1986

- Pada sambungan antar korbrel (braket) dengan kolom, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.5.a.
- Pada hubungan antara unsur dari konstruksi pracetak, seperti gambar 2.5.b.
- Pada permukaan antara baja dan beton, seperti perletakan dari braket baja dengan kolom beton seperti gambar 2.5.c.



Gbr. 2.5. Penggunaan dari konsep gesekan geser

Sumber : Wang ,90



Gbr. 2.6. Idealisasi dari konsep gesekan geser

Sumber : Wang ,92

2.4. MATERIAL DASAR PEMBENTUK BETON

Beton pada umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama, yaitu semen, agregat dan air. Bilamana diperlukan, bahan tambah dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton. Berikut akan dijelaskan mengenai ketiga bahan penyusun utama beton tersebut, maupun bahan tambahannya yang saat ini sering digunakan.¹³

2.4.1. Semen

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat bereaksi secara kimia dengan air, disebut dengan hidrasi, sehingga dapat membentuk material batu padat. Pada umumnya semen untuk bahan bangunan adalah tipe semen Portland. Semen ini dibuat dengan cara menghaluskan silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan dicampur dengan bahan gips.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Bahan baku untuk pembuatan semen terdiri atas :

- Kapur (CaI)
- Silika (SiO₂)
- Alumina (Al₂O₃)
- Fe₂O₃

Keempatnya bereaksi satu sama lain di dalam kiln membentuk klinker (setelah dipanaskan pada temperatur 1400° C. Klinker tersebut mengandung 4 senyawa kompleks, yaitu :

- *Tricalcium Silicate* (C₃S)
- *Dicalcium Silicate* (C₂S)
- *Tricalcium Silicate* (C₃A)
- *Tetra Calcium Aluminate* (C₄AF)

¹³ Gunawan.T, Margaret. S, "Diktat Konstruksi Beton", Jakarta: Delta, 2005

C_3S dan C_2S merupakan senyawa yang sangat penting, karena kekuatan beton tergantung pada kedua senyawa tersebut. Untuk membuat semen, harus lakukan pengawasan yang ketat terhadap prosentase oksida di dalam bahan mentah. Jika % kapur melebihi dari yang seharusnya, maka akan sulit untuk bereaksi dengan bahan lain, sehingga kapur bebas akan tertinggal (tidak beraksi) di dalam klinker, yang akan menyebabkan kehalusan semen tidak merata. Akhirnya dapat menyebabkan kerusakan dan ekspansi pada beton. Semen yang mengandung % alumina dan oksida besi yang tinggi akan menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Semen yang mengandung % C_3A yang lebih sedikit akan mempunyai kekuatan tekan yang tinggi pada umur awal dan tidak ada retak-retak yang terjadi.

Beberapa semen yang diproduksi di Indonesia, antara lain semen Portland tipe I, II, III dan V. Jenis struktur, cuaca dan kondisi lainnya merupakan faktor-faktor yang akan menentukan dalam memilih jenis semen yang akan dipakai.

Semen Portland tipe I merupakan semen yang paling banyak dimanfaatkan untuk konstruksi karena tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus sebagaimana jenis semen lainnya.

Semen portland tipe II merupakan modifikasi semen portland tipe I dengan maksud untuk meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan dapat menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah. Semen jenis ini umumnya dimanfaatkan untuk konstruksi yang terletak di daerah dengan tanah yang memiliki kadar sulfat yang rendah.

Semen Portland tipe III merupakan jenis semen yang cepat mengeras. Beton yang dibuat dengan semen tipe ini akan mengeras cukup cepat dan kekuatan yang dihasilkannya dalam 24 jam akan sama dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Sehingga hanya sekitar 3 hari kekuatan tekannya akan setara dengan kekuatan tekan umur 28 hari beton dari semen biasa.

Semen tipe V umumnya digunakan untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya korosi akibat pengaruh air laut, air danau, air tambang, maupun pengaruh garam sulfat yang banyak terdapat di dalam air tanah. Semen tipe ini memiliki daya resistensi terhadap sulfat yang lebih baik dibandingkan dengan semen tipe II. Persentase komposisi semen portland dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Persentase Komposisi Semen Portland

Jenis Semen	Komponen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Normal, I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Modifikasi, II	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	Relatif sedikit pelepasan panas; digunakan untuk struktur besar
Kekuatan awal tinggi, III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
Pemanasan rendah, IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan beton
Tahan sulfat, V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat

Sumber : Nawy, Edward. G, 1990

Jenis semen lainnya yaitu semen portland pozzolan yang banyak digunakan untuk konstruksi beton masif seperti bendungan karena dapat menghasilkan panas hidrasi yang rendah, dan karena jenis semen ini juga tahan terhadap sulfat sehingga sering dimanfaatkan untuk konstruksi bangunan limbah.

Dalam prakteknya, material yang dipakai disyaratkan harus melewati pengujian terhadap spesifikasi yang berlaku. Pengujian ini berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) atau *American Standard for Testing Material* (ASTM) atau standar lain yang setara, misalnya *Japanese Industrial Standard* (JIS).

Dalam penelitian ini jenis semen yang digunakan adalah semen tipe I (normal) yaitu tipe semen yang digunakan untuk semua tujuan.

2.4.2. Air

Air digunakan pada campuran beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan dapat menurunkan kekuatan beton dan juga dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, kolam, dan lainnya) air laut maupun air limbah yang memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan dalam campuran beton. Air laut tidak boleh digunakan dalam bahan campuran beton pra-tegang atau beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan.

Menurut ACI 318-89:2-2 mengenai syarat air dalam beton yaitu air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra-tekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya menjadi berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar dapat memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaannya, tetapi kekuatan hancur beton akan menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam rasio air semen, yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (kg) dibagi dengan berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut.

Beton untuk konstruksi gedung biasanya memiliki nilai rasio semen sebesar 0,45 hingga 0,65. Dengan rasio tersebut dapat dihasilkan beton yang kedap air, namun mutu beton tetap dipengaruhi cara pemadatan dan daya kerjanya. Bilamana daya kerja beton rendah, maka diperlukan bahan aditif, sehingga daya kerja beton menjadi lebih baik, tanpa mempengaruhi kekuatan atau rasio air semen.

2.4.3. Agregat

Menurut SNI T-15-1991-03 agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk semen hidrolis atau adukan.

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, komposisinya berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, namun karena komposisinya yang cukup besar, maka agregat menjadi penting.

Berdasarkan ukurannya, agregat ini dapat dibedakan menjadi :

1. Agregat halus merupakan agregat yang semua butirannya menembus ayakan berlubang 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33,1982) yang biasanya disebut pasir. Jenis agregat ini dapat dibedakan lagi menjadi :
 - a. Pasir halus : \varnothing 0 -1 mm
 - b. Pasir kasar : \varnothing 1-5 mm
2. Agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan 4,8 mm (SII.0052, 1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1982), yang biasanya disebut kerikil. Material ini merupakan hasil disintegrasi alami batuan atau hasil dari industri pemecah batu.

Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dari mutu dan cara uji agregat beton dalam SII 0052-80 ataupun persyaratan dari ASTM C330 tentang *specification for concrete aggregate*.

Ukuran nominal butir agregat terbesar menurut PB,1989:9 dan ACI 318,1989:2-1 tidak boleh melebihi nilai berikut ini, yaitu :

1. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan
2. Seperlima tebal pelat
3. Tiga perempat jarak bersih minimum antar batang tulangan, berkas batang tulangan, ataupun kabel prategang atau tendon prategang.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh kualitas agregat, proporsi campuran, serta kebersihan air dan agregatnya. Oleh karena itu, selain harus memiliki kekuatan dan daya tahan yang baik, butir agregat disyaratkan harus bersih dari lumpur atau material organis lainnya yang dapat mengurangi kekuatan beton.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton, yaitu:¹⁴

1. Volume udara

¹⁴Landgren, Robert, "Unit Weight, Specific Gravity, Absorption and Surface Moisture, Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete-Materials", Philadelphia, 1978

Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.

2. Volume padat

Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton jadi

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.

4. Penyerapan

Penyerapan berpengaruh pada berat jenis

5. Kadar air permukaan agregat

Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air pada saat pencampuran.

Tabel 2.3. Persyaratan Gradasi Untuk Agregat Pada Beton Berbobot Normal (ASTM C - 33)

Ukuran saringan standar Amerika	Persen Lewat				
	Agregat Kasar				Agregat Halus
	No.4 - 2 in.	No.4 - 1½ in.	No.4 - 1 in.	No.4 - ¾ in.	
2 in.	95 - 100	100	-	-	-
1 ½ in.	-	95 - 100	100	-	-
1 in.	25 - 70	-	95 - 100	100	-
¾ in.	-	35 - 70	-	90 - 100	-
½ in.	10 - 30	-	25 - 60	-	-
3/8 in.	-	10 - 30	-	20 - 55	100
No. 4	0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 10	95 - 100
No. 8	0	0	0 - 5	0 - 5	80 - 100
No. 16	0	0	0	0	50 - 85
No. 30	0	0	0	0	25 - 60
No. 50	0	0	0	0	10 - 30
No. 100	0	0	0	0	2 - 10

Sumber : ASTM, "Concrete and Aggregates", 2002

2.4.4. Bahan Tambah (*Admixtures*)

Bahan tambah (*admixtures*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan tambah ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi sesuai untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.¹⁵

Penambahan bahan tambah dalam campuran beton tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan yang lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Di Indonesia bahan tambah telah banyak digunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan digunakan di lapangan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan bahan tambah, yaitu :

1. Tipe semen yang akan digunakan
2. Petunjuk umum dalam menggunakan bahan tambah
3. Banyaknya bahan tambah yang digunakan dalam campuran
4. Efek dari penggunaan bahan tambah

Beberapa tujuan yang penting dari penggunaan bahan tambah ini menurut *manual of concrete practice* dalam admixture and concrete (ACI.212.1R, Revised 1986, antara lain :

- a. Memodifikasi beton segar, mortar dan grouting
 - Menambah sifat kemudahan pekerjaan tanpa menambah kandungan air atau mengurangi kandungan air dengan sifat pengerjaan yang sama.
 - Menghambat atau mempercepat waktu pengikatan awal dari campuran beton
 - Mengurangi atau mencegah secara preventif penurunan atau perubahan volume beton
 - Mengurangi segregasi

¹⁵ Tri Mulyono, "Teknologi Beton", Yogyakarta: Andi, 2003

- Mengembangkan dan meningkatkan sifat penetrasi dan pemompaan beton segar
 - Mengurangi kehilangan nilai slump
- b. Memodifikasi beton keras, mortar dan grouting
- Menghambat atau mengurangi ekolusi panas selama pengerasan awal (beton muda).
 - Mempercepat laju pengembangan kekuatan beton pada umur muda
 - Menambah kekuatan beton (kuat tekan, lentur dan geser dari beton)
 - Menambah sifat keawetan beton atau ketahanan dari gangguan luar termasuk serangan garam-garam sulfat.
 - Mengurangi kapilaritas dari air
 - Mengurangi sifat permeabilitas
 - Mengontrol pengembangan yang disebabkan oleh reaksi dari alkali termasuk alkali dalam agregat
 - Menghasilkan struktur beton yang baik
 - Menambah kekuatan ikatan beton bertulang
 - Mengembangkan ketahanan gaya impact (berulang) dan ketahanan abrasi
 - Mencegah korosi yang terjadi pada baja
 - Menghasilkan warna tertentu pada beton atau mortar

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi dan bahan tambah yang bersifat mineral. Selain itu terdapat juga bahan tambah jenis lainnya yang sering digunakan dalam campuran beton. Bahan tambah jenis kimia ditambahkan pada saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran sedangkan bahan tambah jenis mineral ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan.

Bahan tambah jenis kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan, sedangkan yang berjenis mineral lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya.

Berikut akan dijelaskan mengenai kedua jenis bahan tambah itu maupun bahan tambah jenis lainnya, yaitu :

2.4.4.1. Bahan Tambah Kimia

Menurut ASTM C494 (1995:254) jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh macam, yaitu :

- Tipe A yaitu *water reducing admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi pemakaian air pencampur yang diperlukan pada beton. Digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen yang rendah. Atau dengan tidak mengubah kadar semen yang digunakan dengan faktor air semen yang tetap maka nilai slump yang dihasilkan dapat lebih tinggi.

Bahan tambah ini dapat berasal dari bahan organik ataupun campuran anorganik untuk beton tanpa udara atau dengan udara dalam hal mengurangi kandungan air campuran. Bahan tambah ini juga dapat digunakan untuk memodifikasi waktu pengikatan beton sebagai dampak perubahan atas faktor air semen.

Komposisi dari campuran bahan tambah jenis ini dibagi atas 5 jenis, yaitu :

- a. Asam lignosulfonic dari kandungan garam-garam
- b. Modifikasi dan turunan asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam
- c. *Hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garamnya.
- d. Modifikasi *Hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garamnya.
- e. Material lainnya, seperti :
 - Material inorganik seperti seng, garam-garam, posfat, klorida
 - Asam amino dan turunannya
 - Karbohidrat, polisakarida dan gula asam
 - Campuran polimer, seperti eter, turunan melamic, naptan, silikon, hidrokarbon-sulfat.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan bahan tambah jenis ini, yaitu :

- Air yang dibutuhkan

- Kandungan air
 - Konsistensi
 - Bleeding
 - Kehilangan air pada saat beton segar
 - Susut pada saat pengeringan
 - Ketahanan terhadap perubahan volume
-
- Tipe B yaitu *retarding admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk memperpanjang waktu pengikatan awal beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau untuk memperpanjang waktu pemadatan untuk menghindari *cold joints* dan juga untuk menghindari dampak penurunan pada saat beton segar dilakukan pengecoran.
 - Tipe C yaitu *accelerating admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

Penggunaan bahan tambah jenis ini harus didasarkan atas pertimbangan ekonomi dengan membandingkan pada penggunaan bahan tambah lain seperti penggunaan semen yang lebih banyak, penggunaan metode perawatan dan proteksi yang berbeda, penggunaan bahan air dan agregat yang panas. Pada umumnya kelompok jenis bahan tambah ini terbagi menjadi tiga, yaitu :

 1. Larutan garam organik
 2. Larutan campuran organik
 3. Material *miscellaneous*
 - Tipe D yaitu *water reducing and retarding admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan sekaligus juga untuk memperlambat waktu pengikatan awal beton. Bahan tambah jenis ini digunakan untuk menambah kekuatan beton dan juga akan mengurangi

kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah, sehingga bila terjadi perubahan pada kandungan air, atau udara maupun semen, harus diatasi dengan perubahan kandungan agregat halus sehingga volume tidak berubah.

- Tipe E yaitu *water reducing and accelerating admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi pemakaian air sekaligus untuk mempercepat waktu pengikatan awal beton. Bahan ini juga digunakan untuk menambah kekuatan beton. Kondisi yang dikehendaki dari bahan tambah ini adalah kuat tekan beton yang tinggi namun kecepatan pengikatan yang diinginkan dapat lebih tinggi.

- Tipe F yaitu *Water Reducing, High Range Admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk dapat menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

Kadar pengurangan air dalam bahan tambah ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, namun tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton. Jenis bahan tambah ini dapat berupa *superplasticizer*. Tiga jenis *plasticizer* yang dikenal adalah :

1. Kondensi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0.005%
2. Sulfonat naphthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan
3. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida

- Tipe G yaitu *water reducing, high range retarding admixtures*

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga berfungsi untuk menghambat pengikatan beton. Bahan tambah ini

digunakan biasanya untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton karena terbatasnya sumber daya.

2.4.4.2. Bahan Tambah Mineral (additive)

Bahan tambah jenis ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Namun saat ini bahan tambah jenis ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton.

Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral diantaranya, yaitu :¹⁶

- Memperbaiki kinerja workability
- Mengurangi panas hidrasi
- Mengurangi biaya pekerjaan beton
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan alkali-silika
- Mempertinggi usia beton
- Mempertinggi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi keawetan beton
- Mengurangi penyusutan
- Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton

Adapun beberapa jenis yang termasuk dalam bahan tambah jenis ini, yaitu :

1. Abu terbang batu bara

Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. Abu terbang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit atau batu bara bitumius dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batu bara jenis lignite atau subbitumius. Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam abu terbang dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

¹⁶ Cain, Craig J, "Mineral Admixture, Significance of Test And Properties of Concrete and Concrete-Making Material-STP 169 C", Philadelphia, 1994

Tabel 2.4. Kandungan Kimia Abu Terbang

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70.0	50.0
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	5.0	5.0
Kadar Air, maksimum %	3.0	3.0
Kehilangan Panas, maksimum %	6.0	6.0

Sumber : ASTM C.618-95:305

2. Slag

Menurut ASTM C.989 (ASTM, 1995:494) slag didefinisikan sebagai produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan, misalnya dengan mencelupkannya dalam air.

Adapun beberapa keuntungan penggunaan slag dalam campuran beton adalah :¹⁷

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- Mengurangi serangan alkali-silika
- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- Memperbaiki keawetan karena pengaruh perubahan volume
- Mengurangi porositas dan serangan klorida

3. Silika fume

Menurut ASTM.C.1240, 1995:637-642) *silica fume* adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi besi silikon.

Penggunaan bahan tambah ini dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Misalnya untuk struktur

¹⁷ Tri Mulyono, "Teknologi Beton", Yogyakarta: Andi, 2003

kolom, dinding geser, beton prategang dan lainnya. Penggunaannya berkisar antara 0 – 30% untuk memperbaiki karakteristik kekuatan dan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0.34 dan 0.28 dengan atau tanpa bahan *superplasticizer* dan nilai slump 50 mm.

Tabel 2.5. Komposisi kimia silica fume

Kimia	Berat dalam persen
SiO ₂	92 -94
Karbon	3 - 5
Fe ₂ O ₃	0.10 – 0.50
CaO	0.10 – 0.15
Al ₂ O ₃	0.20 – 0.30
MgO	0.10 – 0.20
MnO	0.008
K ₂ O	0.10
Na ₂ O	0.10
Fisika	Berat dalam persen
Berat Jenis	2.02
Rata-rata ukuran partikel, um	0.1
Lolos ayakan no.325 dalam %	99.00
Keasaman pH (10% air dalam slurry)	7.3

Sumber : Yogendran, ACI Material Journal, Maret/April,1987

4. Penghalus Gradasi

Bahan ini berupa mineral yang digunakan untuk memperhalus perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat. Selain itu juga dapat digunakan untuk menaikkan mutu beton dan mengurangi permeabilitas maupun biaya produksi beton.

2.4.4.3. Bahan Tambah Lainnya

a. Air entraining

Merupakan bahan tambah yang membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil di dalam beton selama pencampuran. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pengerjaan beton pada saat pengecoran dan dapat menambah ketahanan awal pada beton.

Banyaknya bahan tambah jenis ini tergantung pada bentuk dan gradasi agregat yang digunakan. Semakin halus ukuran agregat maka semakin besar persentase bahan tambah yang diperlukan. Penambahan bahan jenis ini dapat mengurangi kekuatan udara, tetapi dengan mempertahankan kandungan semen dan kemudahan kerja, pengurangan kekuatan ini dapat dicegah karena faktor air semennya yang berkurang.

b. Beton tanpa slump

Beton tanpa slump didefinisikan sebagai beton yang mempunyai slump sebesar 1 inchi (25.4 mm) atau kurang, sesaat setelah pencampuran. Pemilihan bahan tambah ini tergantung pada sifat-sifat beton yang diinginkan.

c. Polimer

Merupakan bahan tambah yang dapat menghasilkan kekuatan tekan beton yang tinggi sekitar 15.000 psi atau lebih dan kekuatan tariknya sekitar 1500 Psi atau lebih. Beton yang ditambah bahan jenis ini diproduksi dengan cara :

- Memodifikasi sifat beton dengan mengurangi air di lapangan
- Menjenuhkan dan memancarkannya pada temperatur yang sangat tinggi di laboratorium

d. Bahan pembantu untuk mengeraskan permukaan beton (*hardener concrete*)

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk memperkeras permukaan beton sehingga mengurangi pengausan pada permukaan beton. Contohnya penggunaan pada lantai untuk bengkel alat-alat berat.

Terdapat dua jenis bahan ini, yaitu :

- Agregat beton yang terbuat dari bahan kimia
- Agregat metalik yang terdiri dari butiran-butiran halus

e. Bahan pembantu kedap air (*water proofing*)

Merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi permeabilitas air. Jenis bahan tambah ini mempunyai partikel-partikel halus dan gradasi yang menerus dalam campuran beton.

f. Bahan tambah pemberi warna

Merupakan bahan tambah yang memberikan keindahan pada beton, sehingga tidak diperlukan pengecatan lagi pada beton. Bahan tambah ini biasanya dicampurkan dalam suatu adukan yang mutunya terjamin baik.

g. Bahan tambah untuk memperkuat ikatan beton lama dengan beton baru

Biasanya bahan tambah ini disebut dengan bonding agent yang merupakan larutan polimer. Berfungsi untuk memperkuat ikatan beton lama dengan yang baru.

2.5. POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan polyester termoplastik yang diproduksi secara komersial melalui produk kondensasi yang dikarakterisasi dengan banyaknya ikatan ester yang didistribusikan sepanjang rantai utama polimer. *Polyethylene terephthalate* (PET) merupakan bahan dasar dari botol minuman plastik, dengan nama IUPAC-nya *Polioksi etilen neooksitereftaol*.

Proses pembuatan PET memerlukan suhu yang sangat tinggi di atas 100°C untuk produk yang secara komersial memiliki kemampuan kristalisasi cepat. Material ini memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap pelarut yang bagus, dan stabilitas hidrolitiknya yang baik.¹⁸

PET dan polyester lain pada umumnya bebas dari hasil pembakaran berbahaya selain CO₂. Titik leleh PET murni di atas 280°C untuk sampel yang di “annealing” secara lengkap. Sedangkan produk komersialnya meleleh pada suhu 255°C-265°C,

¹⁸ Ehrig, R.J. (editor), *”Plastic Recycling”*, New York: Oxford University Press, 1993

karena hasil kristalisasi berkurang dengan adanya pengotor pada rantai utamanya. Pengotor yang ada dalam PET mengakibatkan kekuatan produk akan berkurang, baik sebagai produk film atau serat. Titik transisi gelas bervariasi dalam interval yang luas tergantung pada kemurnian polimernya.¹⁹

Poliethylene terephthalate (PET) secara komersial disintesa dari *etilen glikol* (EG) dan *dimethyl terephthalate* (DMT) melalui esterifikasi langsung dengan *asam terephthalate* (TPA), dan memiliki lebih banyak gugus dietilen glikol daripada PET yang dibuat dengan proses trans esterifikasi. Polimerisasi terjadi melalui 2 tahap, yaitu pertukaran ester dan tahap polimerisasi. Secara umum tahap pembuatan PET adalah sebagai berikut :²⁰

Tahap pertama, melibatkan reaksi pertukaran ester untuk memproduksi bis (2-hidroksietil) terephthalat dengan jumlah kecil. Selanjutnya bereaksi secara terus menerus antara *dimethyl terephthalate* (DMT) atau asam terephthalate (TPA) dengan etilen glikol, akan menghasilkan oligomer dengan massa molekul yang relatif lebih banyak. Reaktan dipanaskan secara bertingkat dari 150°C-210°C dan methanol didestilasi secara terus menerus sampai hilang pada temperature tersebut.

Tahap kedua, merupakan tahap polimerisasi, suhu dinaikkan hingga 270°C-280°C dan polimerisasi berlangsung untuk mengeluarkan air dengan cara mengurangi tekanan menjadi 0.5-1.0 torr (66-133 Pa). Pada tahap ini merupakan polimerisasi lelehan karena reaksi terjadi pada titik leleh kristalin polimer.

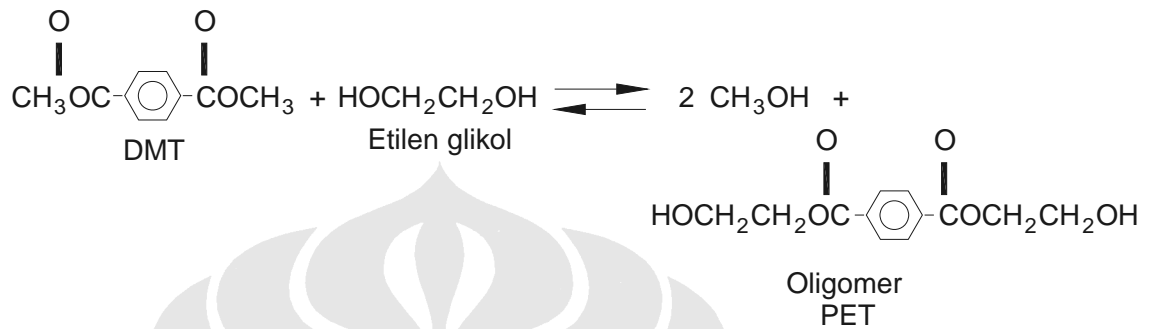
¹⁹ Young J.F., Mindess, S., Bentur, A. (editor), "The Science and Technology of Civil Engineering Material", Prentice Hall, 1993

²⁰ Juwono, H., Harmani, Kurniawan, F., "Studi Pengkajian Limbah Botol Minuman/Polietilen Terephthalate (PET) Sebagai Bahan Campur Tambah (Admixture) Dalam Pembuatan Beton Polimer", Laporan Penelitian, Surabaya: 1999

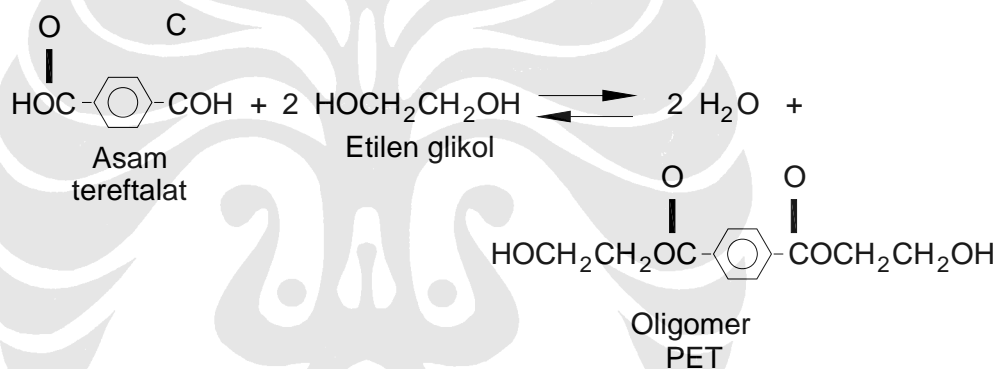
Secara singkat reaksi pembuatan PET dapat dilihat di bawah ini :

Tahap I :

- Pertukaran ester trans – esterifikasi

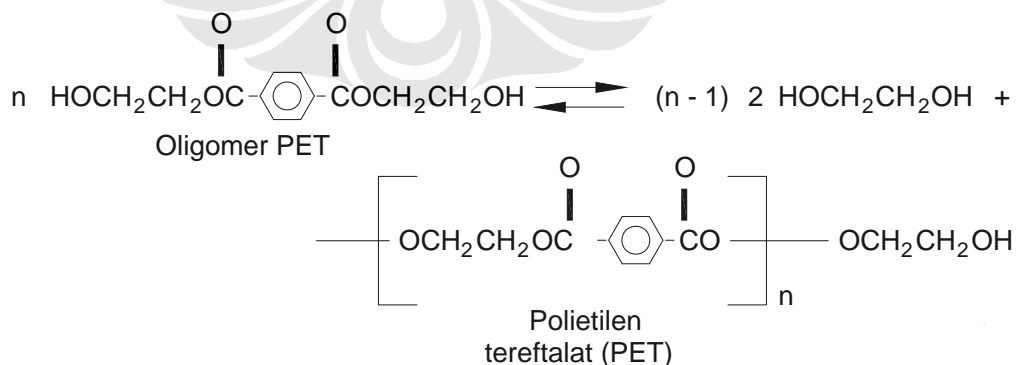


- Esterifikasi



Tahap II :

- Reaksi Polikondensasi



Pembentukan oligomer pada tahap ini merupakan reaksi katalisa pertukaran ester yang dikatalisa oleh garam-garam dari Mg, Co, Mn, Zn, atau Ca, pada temperatur dan tekanan tinggi dapat mempercepat reaksi. Dan tahap kedua dikatalis oleh *antimoni*.

Poliethylene terephthalate dapat larut dalam m-cresol panas, asam trifluoroasetat, oklorofenol, memiliki titik leleh kristalin yang cukup tinggi yaitu sekitar 270°C dan sifat mekanik yang baik, tahan terhadap perlakuan kimia, hidrolitik, dan pelarut. PET digunakan juga dalam teknik pemlastik sebagai pengganti baja, aluminium dalam pembuatan bahan elektronik.

Adapun sifat fisik maupun sifat mekanik dari *Poliethylene terephthalate* (PET) adalah sebagai berikut :²¹

Sifat – sifat fisik dari *Poliethylene terephthalate* (PET) :

- a. *Density* : 1.35 gr/cm³
- b. *Konduktivitas thermal* : 0.15 W/m-K
- c. *Ekspansi thermal* : $117 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$
- d. *Specific Heat* : 1170 J/Kg-K
- e. *Electrical Resistivity* : 10^{12} Ohm-m

Sifat-sifat mekanik dari *Poliethylene terephthalate* (PET) :

- a. Kuat tarik (*tensile strength*) : (48.3-72.4) MPa
- b. Kuat tekan (*compressive strength*) : -59.3 MPa
- c. Modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) : $(0.40-0.60) \times 10^6$ psi
- d. Ketahanan retak (*fracture Toughness*) : 7-12 MPa m^{0.5}

2.6. PROSES PEMBUATAN BAHAN TAMBAH PET

Proses pembuatan bahan tambah PET yang berupa cacahan-cacahan botol plastik ini cukup mudah dan cepat untuk dilakukan, karena dalam proses pencacahan botol plastik itu dilakukan dengan bantuan mesin pencacah. Berbagai jenis botol plastik dapat digunakan untuk penelitian ini, karena pada umumnya botol plastik terbuat dari bahan *Poliethylene terephthalate* (PET). Keterangan bahan botol plastik yang mengindikasikan bahwa botol plastik tersebut terbuat dari PET, biasanya dapat dilihat pada lapisan bawah botol plastik.

²¹ William .D. Callister, "Material Science and Engineering an Introduction"



Gbr. 2.7. Botol Plastik PET

Adapun proses pembuatan bahan tambah ini, yaitu :

1. Botol plastik dibersihkan terlebih dahulu dari sisa-sisa cairan ataupun kandungan lainnya dengan menggunakan air bersih.
2. Kemudian leher botol plastik dipotong, dan plastik merk dari botol plastik tersebut juga turut dibuang.
3. Botol plastik tersebut dipotong menjadi tiga atau empat bagian, yang kemudian dimasukkan ke dalam mesin pencacah. Mesin dinyalakan dan potongan botol plastik yang telah dimasukkan tadi akan menjadi bentuk cacahan – cacahan dengan beragam ukuran.



Gbr. 2.8. Mesin pencacah botol plastik PET

4. Cacahan-cacahan botol plastik tersebut selanjutnya dicuci kembali dengan soda api hingga bersih.
5. Setelah PET yang telah dicuci telah mengering, maka bahan tambah PET yang berupa cacahan-cacahan ini siap untuk digunakan dalam campuran beton sebagai bahan tambah



Gbr. 2.10. Cacahan botol plastik PET

2.7. METODE RANCANGAN CAMPURAN BETON ACI

Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan campuran beton (*mix design*). Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis serta ekonomis.

Kriteria dasar dalam merancang campuran beton adalah kekuatan tekan dan hubungannya dengan faktor air semen yang digunakan. Kriteria lain yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaannya. Selain dua kriteria di atas, yang perlu diperhatikan adalah keawetan dan permeabilitas beton itu sendiri.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam melakukan perancangan campuran beton, yaitu : metode ACI, *Portland Cement Association*, Road note no.4, BS, Departemen Pekerjaan Umum, dan dengan cara coba-coba. Untuk penelitian ini hanya akan digunakan metode *American Concrete Institute (ACI)*.

Metode *American Concrete Institute (ACI)* ini mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan akan bahan-bahan yang akan digunakan dilapangan,

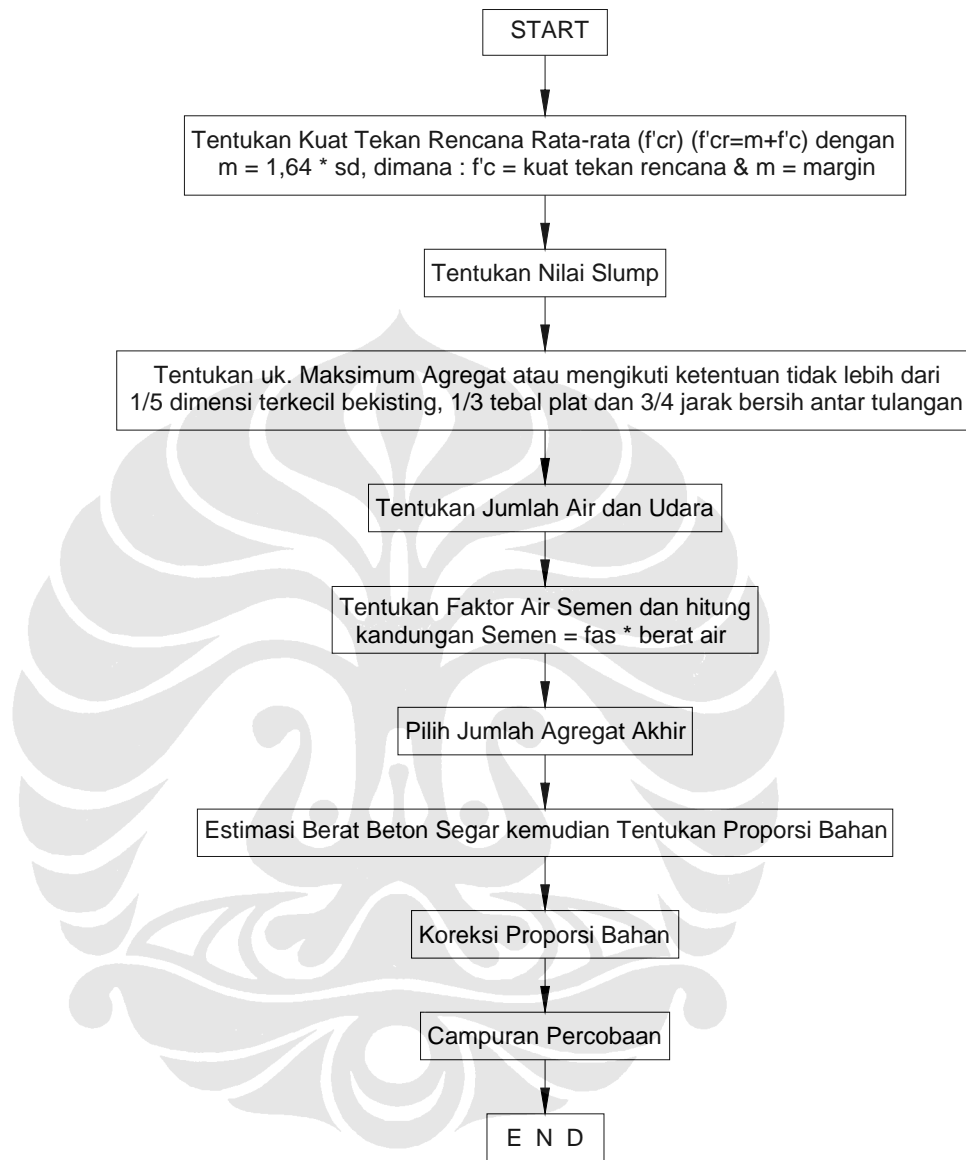
kemudahan pengerjaan, keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Metode ini melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air per kubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI) ini, yaitu :

- Metode ini merupakan cara coba-coba (eksperimental) untuk memperoleh proporsi bahan yang menghasilkan konsistensi. Bilamana digunakan agregat yang berbeda maka akan menyebabkan konsistensi yang berbeda juga.
- Nilai Modulus Halus Butir (MHB) kurang menggambarkan gradasi agregat yang tepat, maka untuk agregat dengan berat jenis yang berbeda perlu dilakukan koreksi lagi.

Langkah pengerjaan untuk merancang campuran beton dengan metode *American Concrete Institute* (ACI) ini dapat dilihat pada bagan alir pada gambar 2.10.²²

²² Tri Mulyono, "Teknologi Beton", Yogyakarta: Andi, 2003



Gbr.2.11. Bagan Alir mix design metode ACI