

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentukannya seperti semen hidrolis (*Portland Cement*), agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah Mulyono (2004). Sedangkan menurut Tjokrodinuljo (2007), beton adalah campuran antara semen portland, agregat, air, dan terkadang ditambah dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta sampai dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu.

Membuat beton sebenarnya tidaklah sederhana hanya sekedar mencampurkan bahan – bahan dasarnya untuk membentuk campuran yang plastis sebagaimana yang sering kita lihat pada pembuatan bangunan sederhana, tetapi jika ingin membuat beton yang baik, dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara – cara memperoleh adukan beton. Beton segar (*fresh concrete*) yang baik dan beton keras (*hardened concrete*) yang dihasilkannya juga baik. Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, dapat diangkut, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi segregasi (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan). Hal ini karena segregasi maupun *bleeding* mengakibatkan beton yang diperoleh akan jelek. Beton (beton keras) yang baik ialah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (Tjokrodinuljo,2007).

3.2 Beton Serat

Beton serat (*fiber concrete*) ialah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa : serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja. Jika serat yang dipakai mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi daripada beton biasa (Tjokrodimuljo 1996).

3.3 Beton Ringan

Beton normal merupakan bahan yang relatif cukup berat, dengan berat jenis berkisar 2,4 atau berat 2400 kg/m³ . Untuk mengurangi beban mati suatu struktur beton atau mengurangi sifat penghantaran panas maka telah banyak dipakai beton ringan. Beton dengan berat kurang dari 1800 kg/m³ biasa disebut dengan beton ringan. Pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuran betonnya. Oleh karena itu pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara-cara berikut :

- a) Dengan membuat gelembung gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bahan tambah khusus (pembentuk udara dalam beton) yaitu *air entrance* ditambahkan ke dalam semen akan timbul gelembung-gelembung udara.
- b) Dengan menggunakan aggrerat ringan, misalnya tanah liat bakar, dan batu apung. Dengan demikian beton yang terbentuk akan menjadi lebih ringan daripada beton normal.

- c) Pembuatan beton tidak menggunakan agregat halus. Beton yang dihasilkan merupakan beton non pasir. Beton jenis ini hanya dibuat dengan menggunakan semen dan agregat kasar saja. Dengan penggunaan ukuran maksimal butir agregat kasar sebesar 10 atau 20 mm. Beton non pasir mempunyai pori-pori yang hanya berisi udara (yang semula terisi oleh butir-butir agregat halus) (Tjokrodimuljo,2007).

Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat sendiri mencapai 2400 kg/cm^3 . Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka telah banyak dipakai jenis beton ringan. Beton dapat digolongkan sebagai beton ringan apa bila beratnya kurang dari 1900 kg/m^3 (Standar Nasional Indonesia 03-2847 2002). Kuat tarik beton ringan pada umumnya lebih kecil bila dibandingkan dengan beton normal (Navy, 2004)

3.4 Beton Ringan Agregat Ringan

Terdapat tiga jenis beton agregat ringan berdasarkan *density*, yaitu: a) Beton agregat ringan kepadatan rendah dengan *density* kering udara $400 - 800 \text{ kg/m}^3$ dan kuat tekan antara $0,69-6,89 \text{ MPa}$. Agregat ringan yang digunakan antara lain *vermiculite* dan *perlite*. b) Beton agregat ringan kekuatan moderat dengan *density* kering udara $800-1400 \text{ kg/m}^3$ dan kuat tekan antara $6,89-17,24 \text{ MPa}$. Agregat ringan yang digunakan antara lain batu apung (*pumice stone*) dan *scoria*. c) Beton agregat ringan struktural dengan *density* kering udara $1440 - 1850 \text{ kg/m}^3$ dan kuat tekan lebih besar dari $17,24 \text{ MPa}$. Agregat ringan yang digunakan antara lain *pumice stone*, *slag*, *clay* dan *slate* (ACI 213R 1987).

Terdapat tiga *density* beton agregat ringan yaitu: a) *density* rendah antara 400–800 kg/m³. b) *density* menengah antara 800–1400 kg/m³ dan c) *density* tinggi antara 1440–1850 kg/m³ (ACI 213R 1987).

3.5 Faktor Air Semen

Faktor air semen pada beton non pasir berkisar 0,36 dan 0,46 sedangkan nilai faktor air semen optimum sekitar 0,40. Perkiraan faktor air semen tidak dapat terlalu besar karena jika faktor air semen terlalu besar maka pasta semen akan terlalu encer sehingga pada waktu pemadatan pasta semen akan mengalir ke bawah dan tidak menyelimuti permukaan agregat. Jika faktor air semen terlalu rendah maka pasta semennya tidak cukup menyelimuti butir-butir agregat kasar penyusun beton. Maka pada beton non pasir perlu ditambahkan admixture untuk menambah *workability*. Nilai *slump* umumnya sangat kecil bahkan mencapai 0, sehingga untuk pada pelaksanaan dalam jumlah besar beton non pasir menggunakan conveyor dan tidak disarankan menggunakan concrete pump. Dengan nilai faktor air semen optimum akan dihasilkan pula kuat tekan maksimum suatu beton non pasir (Tjokrodimulyo, 2007).

3.6 Bahan Penyusun Beton Ringan Agregat Ringan

3.6.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (SNI-15-2049-2004).

Semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya adalah sebagai berikut.

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi terhadap sulfat (SNI-15-2049-2004).

Sebagai bahan dasar dari semen adalah batu kapur (CaO), silika (SiO_2), Oxid besi (Fe_2O_3), alumina (Al_2O_3) dan bahan – bahan lain dalam jumlah kecil seperti trioxid belerang (SO_3), belerang (S) dan sebgainya. Oxid besi bersama alumina dan silika selalu terdapat dalam tanah liat, maka itu ia selalu terdapat di dalam semen. Pada semen yang baik akan terdapat bahan – bahan utama dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Kandungan Semen

Senyawa	Persentase
Kapur (CaO)	58 – 65 %
Silika (SiO ₂)	10 – 26 %
Alumina (Al ₂ O ₃)	5 – 9 %
Oxid besi (Fe ₂ O ₃)	1 – 5 %
Magnesia (MgO)	1 – 4 %
Trioxid belerang (SO ₃)	0.5 – 2 %
Belerang (S)	0 – 2 %

Sumber : SNI-15-2049-2004

3.6.2 Air

Air merupakan salah satu bahan yang paling penting dalam pembuatan beton karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kima semen portland dan sebagai bahan pelicin antara semen dengan agregat agar mudah dikerjakan. Air diperlukan pada adukan beton karena berpengaruh pada sifat pengerjaan beton (*workability*).

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25%-30% dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 maka adukan beton akan sulit dikerjakan. Akan tetapi jumlah air untuk pelicin pada adukan beton tidak boleh terlalu banyak karena dapat mempengaruhi beton setelah mengeras yaitu beton akan porous sehingga kekuatannya akan rendah (Tjokrodinuljo, 2007).

Air untuk campuran beton minimal yang memenuhi persyaratan air minum, akan tetapi bukan berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar air minum. Penggunaan air sebagai bahan campuran beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton, asam, zat organik lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida atau $Cl > 0,5$ gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter (Tjokrodimuljo,2007).

Air diperlukan untuk proses hidrasi semen untuk pembuatan beton. Air yang paling baik untuk digunakan dalam campuran adukan beton adalah yang memenuhi syarat air bersih. Air yang digunakan dalam campuran adukan beton juga harus dengan jumlah yang tepat, karena menurut Tjokrodimuljo. (2007) air yang digunakan dalam proses pembuatan beton jika terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton akan sulit dikerjakan, tetapi jika air yang digunakan terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton akan sulit dikerjakan, tetapi jika air yang digunakan terlalu banyak maka kekuatan beton akan berkurang dan terjadi penyusutan setelah beton mengeras.

3.6.3 Agregat Ringan

Esensi agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis ringan, porositas tinggi serta konduktivitas panasnya rendah, yang dapat dihasilkan dari agregat alam maupun hasil fabrikasi yang disebut dengan agregat buatan. Namun ada beberapa masalah yang timbul bila menggunakan agregat ringan yaitu kemudahan pengerjaan (*workability*) dan penyelesaian (*finishability*) betonnya yang rendah, tendensi terjadinya segregasi meningkat, sulit untuk menentukan nilai

faktor air semen yang efektif dan kekuatan beton yang dihasilkan cenderung akan menurun. (Popovics,1979).

. Kriteria agregat ringan untuk beton ringan struktural telah dinyatakan secara jelas dalam ASTM 330 bahwa bobot isi kering gembur tidak boleh melampaui 880 kg/m^3 dan berat jenis agregat tidak boleh melampaui 2000 kg/m^3 .

Menurut ASTM C.330, agregat ringan ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Agregat yang dihasilkan dari pembekahan (*expanding*), kalsinasi (*calcining*), atau hasil *sintering*, misalnya dapur tanur tinggi, tanah liat, diatome, abu terbang (*fly ash*), lempung atau *slate*.
2. Agregat yang dihasilkan oleh pengolahan bahan alam, misalnya skoria, batu apung (*pumice*) atau *tuff*.

Aggregat ringan memiliki karakteristik yang berbeda dengan karakteristik dari agregat ringan. Berikut ini beberapa karakteristik dari agregat ringan :

1. Bentuk partikel dan permukaan agregat

Aggregat ringan dari sumber yang berbeda akan mempunyai bentuk partikel dan tekstur yang berbeda – beda. Bentuk dan tekstur permukaan ini akan mempengaruhi proporsi campuran beton, seperti workabilitas, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen serta keperluan air.

2. Berat jenis

Aggregat ringan mempunyai struktur yang bersifat seluler sehingga berat jenisnya lebih rendah daripada agregat normal. Agregat halus

ringan mempunyai berat jenis lebih besar daripada berat jenis agregat kasar ringan. Berat jenis agregat kasar ringan berkisar antara $1/3 - 2/3$ dari berat jenis agregat normal. Dengan standar dari ASTM yang ada sekarang ini, sulit untuk menentukan secara tepat berat jenis dan daya absorpsi agregat ringan. Oleh karena itu dalam perhitungan *mix design* beton ringan, metode volume yang dalam perhitungannya berdasarkan pada berat jenis agregat, semen, air jarang digunakan.

3. Kandungan air daya absorpsi agregat

Daya absorpsi agregat ringan jauh lebih tinggi dari agregat normal karena sifatnya yang porous. Berdasarkan test absorpsi selama 24 jam, agregat ringan mampu menyerap 5% - 20% berat agregat ringan kering, sedangkan agregat normal hanya menyerap 2% berat. Kandungan air pada agregat ringan sebagian besar terserap pada struktur dalam agregat. Kecepatan absorpsi masing – masing agregat berbeda – beda tergantung dari keadaan kandungan air agregat tersebut.

4. Ukuran agregat

Ukuran maksimum agregat ringan umumnya yang digunakan adalah $3/4$ inch (19 mm), atau $1/2$ inch (13 mm), atau $3/8$ inch (10mm). ukuran maksimum agregat ringan ini berpengaruh pada workabilitas, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen, kandungan udara optimum, tingkat kekuatan dan susut. Biasanya, kekuatan beton menjadi meningkat dengan memakai butiran agregat yang lebih kecil, apabila faktor – faktor tersebut ingin dibandingkan terhadap beton ringan dan beton normal, maka

perbandingan harus dilakukan dengan memakai aggregrat dengan ukuran maksimum yang sama.

Tabel 3.2 Gradasi Aggregrat Ringan Untuk Beton Struktural

Ukuran (mm)	Persentase (berat) Lolos Ayakan Berukuran Lubang Persegi, mm								
	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3
Agregat Halus									
(4.75-0)	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat Kasar									
(25-4.75)	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19.0-4.75)	100	95-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12.5-4.75)	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9.5-0)	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi Agregat Halus dan Kasar									
(12.5-0)	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9.5-0)	-	-	100	90-100	68-90	35-65	-	10-25	5-15

(Sumber: ASTM C.330-00)

5. Kekuatan aggregrat

Aggregrat ringan umumnya lebih lemah dari pada aggregrat normal. Meskipun tidak ada hubungan yang pasti antara kekuatan aggregrat dan kekuatann beton yang akan dihasilkan, tetapi kekuatan beton yang sering tidak memenuhi syarat adalah beton dengan memakai aggregrat ringan.

Mengacu pada SNI 03 – 2461-2002 aggregrat ringan dapat diklarifikasi menjadi dua , yaitu :

1. Aggregrat ringan buatan yang merupakan hasil proses pengembangan, pemanasan atau sintering dari bahan terak tanur tinggi, lempung, diatome, abu terbang, batu sabak, batu obsidian.
2. Aggregrat ringan alami diperoleh secara alami, seperti batu apung dan skoria, batu letusan gunung atau batuan lahar.

Dalam kurun waktu belakangan ini banyak dibuat beton ringan dengan bermacam – macam aggregrat ringan. Pemilihan terhadap pemakaian jenis

aggregat ringan ini tergantung dari jenis beton yang akan dihasilkan. Pada tabel 3.3 dapat dilihat sifat – sifat fisis yang digunakan sebagai campuran pembuatan beton ringan.

Tabel 3.3 Sifat – Sifat Fisis Aggregat Ringan

Jenis Agregat	Berat Isi (kg/m ³)	Berat Jenis (SSD)	Daya Absorpsi (% berat)
<i>Pumice</i>	480-880	1.25-1.65	20-30
<i>Foamed Blast-furnace slag</i>	400-1200	1.25-2.20	8-15
Expanded Perlite	160	0.90-1.05	10-30
Expanded Vermiculite	160	0.85-1.05	10-30
Expanded Clay,Shale,Slate	560-960	1.1-1.2	2.15
<i>Sintered Fly Ash</i>	590-770	1.7	14-24
<i>Saw Dust</i>	128-320	0.35-0.6	10-35
<i>Polystyrene Foam</i>	10-20	0.05	30

Berdasarkan jenis aggregat ringan yang digunakan, beton ringan dapat diklarifikasikan menjadi (Waddel,Dobrowolski,1994) :

1. Beton ringan dengan berat jenis rendah (*low-density concrete*)

Beton ini sangat ringan sekali dan biasanya digunakan untuk insulasi dan sebagai peredam suara. Berat isinya kurang dari 50 *lb/ft³* (800 kg/mm³) dengan kekuatan berkisar antara 220-1000 psi (0,69 -6,89 MPa) dan daya hantar yang cukup rendah. Jenis aggregat yang digunakan *perlite* dan *vermiculite*.

2. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*moderate – strength light concrete*).

Beton ini biasanya digunakan sebagai bahan pengisi dan mempunyai kekuatan tekan antara 1000-2500 *psi* (6,89 – 17,24 MPa) dengan berat jenis 50 – 90 *lb/ft³* (800-1440 kg/m³). Jenis aggregat yang digunakan biasanya *pumice* dan *scoria*.

3. Beton ringan structural (*structural lightweight concretes*)

Beton ringan ini digunakan untuk bangunan yang bersifat structural dengan daya hantar panas yang rendah dari beton normal walaupun lebih tinggi dari beton ringan dengan densitas rendah. Beton ini mempunyai kekuatan tekan lebih dari 25000 *psi* (17,24 MPa) dengan berat isi maksimum 115 *lb/ft³* (1840 *kg/m³*). Untuk mencapai kekuatan tersebut di atas maka butiran halus ringan pada campuran beton diganti dengan pasir alam. Jenis agregat yang digunakan antara lain *expanded shale, clays dan slag*.

Batu apung merupakan batuan yang sangat berpori dan merupakan gelas vulkanik menyerupai spons, sebagai hasil proses pendinginan yang cepat diudara disertai pelepasan produk-produk gas. Batu apung tidak higroskopis dan konduktivitas thermal rendah sehingga cukup baik sebagai material penahan panas dan bunyi serta cukup layak digunakan sebagai bahan baku beton ringan (Direktorat Jenderal Pertambangan Umum PPTM, 1986).

Di wilayah DIY, menyimpan potensi yang sangat besar untuk pengembangan produksi berbasis breksi batu apung (*natural pumice*). Cadangan *pumice* yang tersimpan di DIY tercatat lebih dari 350 juta *m³*, yang meliputi wilayah kabupaten Bantul sebesar ±57,3 juta *m³*, Kabupaten Gunung Kidul ± 122,9 juta *m³* dan Kabupaten Sleman ± 214,8 juta *m³*, dimana masing lokasi terletak saling berdekatan. Hasil uji awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa breksi batu apung yang berada pada formasi batuan jenis 1600 *kg/m³*. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa breksi batu apung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi beton ringan structural (Muryowidihardjo 1993).

Beberapa keuntungan menggunakan *pumice* sebagai berikut 1) *pumice* lebih ramah lingkungan (tidak banyak menimbulkan polusi udara berupa gas CO₂ sehingga tidak memicu global warming) karena dapat dimanfaatkan tanpa melalui proses pembakaran, tidak seperti aggregate ringan buatan yang membutuhkan proses pembakaran, 2) lebih murah karena tersebar secara luas di wilayah DIY bahkan Indonesia., 3) dapat menyerap tenaga kerja di sekitar lokasi penambangan. (Moeljono, 1959).

Batu apung adalah salah satu batuan sedimen, yaitu batuan vulkanis yang bobotnya ringan karena sangat berpori, *pumice* biasanya warnanya terang atau kulit keputihan – putihan. *Pumice* juga sudah banyak dipakai sejak jaman romawi kuno, dengan cara digali, dicuci, lalu digunakan. Karena bobotnya ringan, maka jika digunakan sebagai aggregate pembuatan beton akan diperoleh beton yang ringan (Setty, 1997).

3.6.4 Agregat halus

Menurut Tjokrodinuljo (2009), agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15-5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau dari tepi laut.

Menurut PBI (1971), syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, serta tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.

- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak. Hal demikian dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams header* dengan menggunakan larutan NaOH.
- d. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 1. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 2. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 3. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80-90% berat.

Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan. Batasan gradasi agregat halus dapat ditunjukkan seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Batas – Batas Gradasi Aggregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Butir yang Lewat Ayakan Dalam Persen			
	Kasar	Agak Kasar	Agak Halus	Halus
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
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Tjokrodinuljo, 2009)

3.6.5 Bahan Tambah

Menurut Tjokrodinuljo (2009) bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan kedalam adukan beton, bertujuan untuk

mengubah sifat adukan atau betonnya. Menurut Mulyono (2004) bahan tambah dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

3.6.5.1. Bahan tambah mineral (*additive*)

Pemberian bahan tambah ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja beton. Contoh bahan tambah mineral adalah abu terbang batu bara (*fly ash*), *slag* dan *silica fume*.

3.6.5.2. Bahan tambah kimia (*chemical admixture*)

Bahan tambah kimia bertujuan mengubah beberapa sifat beton. Adapun macam-macam bahan tambah kimia, yaitu :

a. Tipe A (*water reducing admixtures*)

Water reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*retarding admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

c. Tipe C (*accelerating admixture*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*water reducing and retarding admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*water reducing and acceleratiing admixtures*)

Water reducing and acceleratiing admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*water reducing high range admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahan pengerjaannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

g. Tipe G (*water reducing high range retarding admixtures*)

Water reducing high range retarding admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan.

3.7 Beton Fiber

Menurut Soroushian, P. dan Bayazi, Z. (1987), beton *fiber* adalah beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah *fiber* yang disebar secara *random*. Beton *fiber* mempunyai kelebihan dibanding beton tanpa *fiber* dalam beberapa sifat strukturnya, antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan kuat lentur (*tensile and flexural strength*), kekuatan terhadap pengaruh susut (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap keausan (*abrasion*). Ada beberapa *fiber* yang sering dipakai dalam campuran beton antara lain :

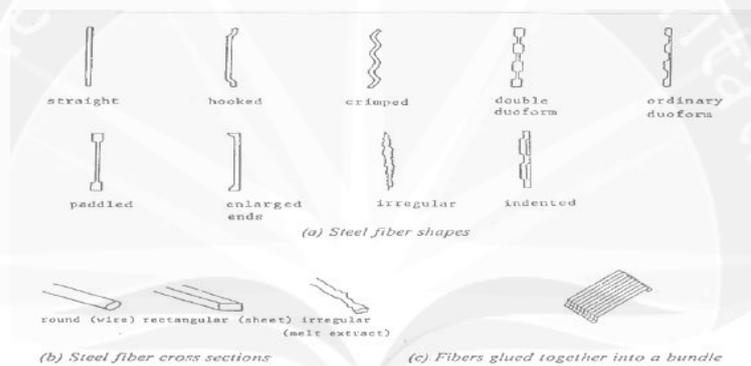
3.7.1 Fiber Baja

Kelebihan *fiber* ini adalah kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi *fiber* ini juga mempunyai kelemahan yaitu sangat korosif. Hal ini akan terlihat bila ada sebagian dari *fiber* yang tidak terlindung/tertutup beton. Ada beberapa tipe *fiber* baja yang biasa digunakan :

1. Bentuk *fiber* baja (*steel fiber shapes*)
 - a. Lurus (*straight*)
 - b. Berkait (*hooked*)
 - c. Bergelombang (*crimped*)
 - d. *Double duo form*
 - e. *Ordinary duo form*
 - f. Bundel (*paddled*)
 - g. Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
 - h. Tidak teratur (*irregular*)

- i. Bergerigi (*indented*)
2. Penampang *fiber* baja (*steel fiber cross section*)
 - a. Lingkaran atau kawat (*round* atau *wire*)
 - b. Persegi atau lembaran (*rectangular* atau *sheet*)
 - c. Tidak teratur atau bentuk dilelehkan (*irregular* atau *melt extract*)
3. *Fiber* dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fiber glued together into a bundle*).

Tipe dari *fiber* baja dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.1.



(Sumber : Ariatama,2007)

Gambar 3.1. Berbagai tipe bentuk *fiber* baja

3.7.2 Fiber Gelas

Kekuatan *fiber* gelas sebanding dengan *fiber* baja, yaitu mempunyai kepadatan lebih rendah dan modulus elastisitasnya sekitar sepertiga dari baja. Namun kelemahan utama dari *fiber* gelas yaitu *fiber* gelas dapat rusak dalam waktu jangka panjang karena memiliki kerentanan tinggi dalam lingkungan alkali semen. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini, yaitu mengembangkan *fiber* gelas tahan alkali atau semen rendah alkali. Namun masalah lain adalah harga *fiber* gelas yang relatif tinggi.

3.7.3 Fiber Plastik (*Polypropelene*)

Polypropelene adalah salah satu jenis *fiber* plastik. Sifat *fiber* ini adalah tidak menyerap air semen, modulus elastisitas rendah, mudah terbakar, kurang tahan lama dan titik lelehnya yang rendah.

3.7.4 Fiber Karbon

Fiber ini juga relatif mahal. *Fiber* ini sering dipakai untuk beton yang harus mempunyai ketahanan terhadap retak yang tinggi.

3.8 Beton Serat Kawat

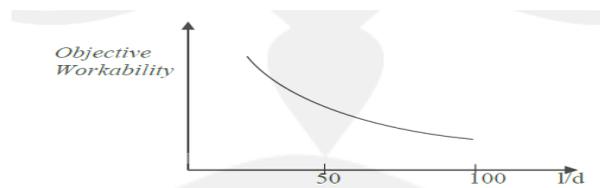
Dalam ACI Comitte 544 dikatakan bahwa semua material yang terbuat dari baja / besi yang berbentuk fisik kecil / pipih dan panjang dapat dimanfaatkan sebagai serat pada beton. Dalam ACI Comitte 544 secara umum *fiber* baja panjangnya antara 0,5 in (12,77mm) sampai 2,5 in (63,57 mm) dengan diameter antara 0,017 in (0,45mm) sampai 0,04 in (1,0 mm).

3.9 Variabel Beton Fiber

Menurut Sorousihan, P. dan Bayasi, Z. (1987) dalam pembuatan beton *fiber* ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, antara lain :

3.8.1 Aspek rasio

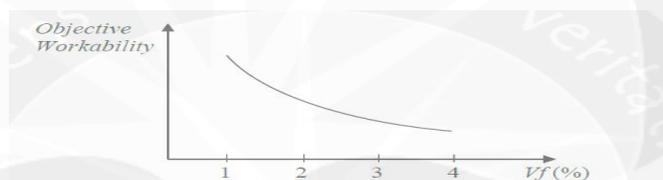
Aspek rasio adalah tingkat kelangsingan *fiber*. Secara empirisnya merupakan nilai perbandingan antara panjang *fiber* dengan diameter *fiber*. Semakin besar nilai aspek rasio akan semakin mengurangi kelecakan beton. Pengaruh aspek rasio terhadap *workability* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pengaruh Aspek Rasio Terhadap *Workability*

3.9.2 Volume Fraksi (V_f)

Volume fraksi adalah prosentase volume *fiber* yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Semakin tinggi volume fraksi yang ditambahkan ke dalam campuran beton, maka kelecakan adukan beton akan semakin rendah. Grafik mengenai pengaruh penggunaan volume fraksi campuran beton *fiber* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Pengaruh Volume Fraksi Terhadap *Workability*

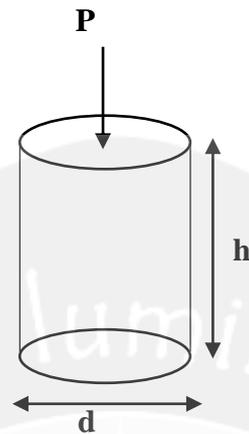
3.10 Slump Test dan VB Time Test

Menurut Tjokrodimuljo (1996), pengujian *slump* adalah suatu cara untuk mengukur kelecakan adukan beton. Pada kasus beton *fiber* pengujian kelecakan tidak hanya berdasar pada nilai *slump*, namun juga diikuti dengan pengujian nilai *VB time* nya. *VB apparatus* adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton normal/beton *fiber*. Alat ini terdiri dari kerucut *Abrams* (biasa digunakan dalam *slump test*) diletakkan di dalam sebuah wadah yang berada di atas meja getar. Adukan beton dimasukkan dalam kerucut *Abrams*, kemudian diangkat ke atas dan dihitung nilai *slump* nya. Nilai *slump* adukan beton normal biasanya diambil nilainya sekitar 75-150 mm yaitu untuk pembuatan plat, balok dan

kolom (PBI, 1971). Selanjutnya alat *VB apparatus* dihidupkan sampai permukaan adukan beton berubah menjadi rata. Waktu penggetaran yang diperlukan untuk meratakan ini disebut *VB time*. Bila adukan memiliki *VB time* antara 5 sampai 25 detik, maka adukan tersebut dapat diterima dikarenakan mempunyai tingkat kelecakan yang baik (*ACI Committee 544, 1984*).

3.11 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Untuk benda uji dengan dimensi yang berbeda nilai kuat tekan beton didapat dengan mengkonversi hasil beton menggunakan faktor kali yang telah tersedia pada SNI 1974-2011. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ($f'c$) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Sketsa pengujian kuat tekan beton dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

Rumus untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A_0} \quad (3-1)$$

Keterangan :

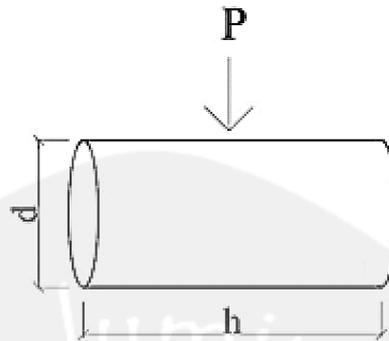
$f'c$: kuat tekan beton (MPa)

P : beban tekan (N)

A_0 : luas penampang benda uji (mm²)

3.12 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut. Benda uji diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja mesin uji tekan (SNI 03-2491-2002). Sketsa pengujian kuat tarik belah beton dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Sketsa pengujian kuat tarik belah beton

Rumus untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut : 4

$$f_t = \frac{2P}{dh} \quad (3-2)$$

Keterangan :

f_t : kuat tarik belah beton (MPa)

P : beban maksimum (N)

h : tinggi silinder (mm)

d : diameter silinder beton (mm)

3.13 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton didefinisikan sebagai kemiringan garis singgung (slope dari garis lurus yang ditarik) dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45 f_c pada kurva tegangan-regangan beton.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 10.5, modulus elastisitas beton dihitung berdasarkan rumus

$$Ec = 0,043(wc)^{1,5}\sqrt{fc'} \quad (3-3)$$

dimana nilai $Wc = 1500 - 2500 \text{ kg/m}^3$. Untuk beton normal, modulus elastisitas beton adalah

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} \quad (3-4)$$

Sedangkan dalam pengujian langsung terhadap sample beton, modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan rumus

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-5)$$

dengan,

$$f = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (3-6)$$

$$\varepsilon = \frac{0.5 \times \Delta P}{P_0} \quad (3-7)$$

Keterangan :

E = modulus elastisitas beton tekan (N/mm^2)

f = tegangan (MPa)

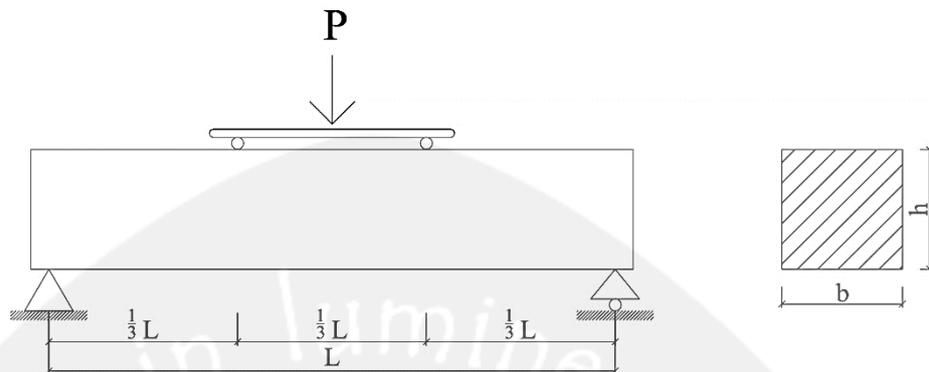
ε = regangan

P_{maks} = beban maksimum benda uji (N)

P_0 = Panjang awal benda uji (mm)

3.14 Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah (SNI 03-4431-1997). Sketsa pengujian kuat lentur balok dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Sketsa pengujian kuat lentur balok
Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat

lentur balok beton adalah sebagai berikut :

1. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat ($1/3$ jarak titik perletakan) di bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan :

$$f_{lt} = \frac{PL}{bh^2} \quad (3-8)$$

2. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah $1/3$ jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan :

$$f_{lt} = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (3-9)$$

Keterangan :

f_{lt} : kuat lentur balok beton (MPa)

P : beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

l : panjang bentang di antara kedua blok tumpuan (mm)

b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sisi titik dari bentang (mm)