

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Bahan Penyusun Beton

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Pasta semen mengikat pasir dan bahan-bahan agregat lain (batu kerikil, basalt, dan lain-lain). Rongga di antara bahan-bahan kasar diisi oleh bahan-bahan halus. Adukan beton tersebut bersifat plastis dan mudah dikerjakan. Sifat-sifat inilah yang memungkinkan beton dicetak dalam bentuk yang diinginkan.

Kekentalan adukan beton harus diawasi dan dikendalikan dengan cara memeriksa nilai workabilitas (*slump*) pada setiap adukan beton baru. Nilai *slump* digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air hubungannya dengan faktor air semen yang ingin dicapai.

Menurut Dipohusodo (1994), sesuai dengan tingkat mutu beton yang hendak dicapai, perbandingan campuran bahan susun harus ditentukan agar beton yang dihasilkan memberi :

1. Kelecekan dan konsistensi yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, perataan, pemadatan) dengan mudah ke dalam acuan dan sekitar tulangan baja

tanpa menimbulkan kemungkinan terjadinya segregasi atau pemisahan agregat dan *bleeding* air,

2. Ketahanan terhadap kondisi lingkungan khusus (kedap air, korosif, dan lain-lain),
3. Memenuhi uji kuat yang akan dicapai.

Selain hal tersebut di atas nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metoda pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur dan kondisi perawatan pengerasannya.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik.

II.1.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan yang disebut pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambahkan pasir menjadi mortar semen dan jika ditambahkan lagi dengan kerikil/batu pecah disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok yang aktif. Kelompok aktif

ini berfungsi sebagai perekat/pengikat, sedangkan kelompok pasif yaitu pasir dan kerikil berfungsi sebagai pengisi.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Dalam campuran beton, semen menempati kira-kira 10% dari volume beton. Karena merupakan bahan aktif maka penggunaannya harus dikontrol dengan baik. Di dalam semen terkandung bahan/senyawa kimia yang mengandung kapur, silika, alumina dan oksida besi yang kesemuanya menjadi unsur-unsur pokok.

ASTM C 150-89 (American Society for Testing Material 1986) membagi Semen portland menjadi beberapa tipe :

- Tipe I : untuk konstruksi biasa di mana tidak diperlukan suatu sifat khusus.
- Tipe IA : semen *air entraining* yang penggunaannya sama dengan tipe I.
- Tipe II : untuk konstruksi biasa di mana diinginkan perlawanan terhadap sulfat maupun panas dari hidrasi yang sedang.
- Tipe IIA : semen *air entraining* yang penggunaannya sama dengan tipe II.
- Tipe-III : untuk konstruksi di mana diinginkan kekuatan permulaan yang tinggi.
- Tipe IIIA : semen *air entraining* yang penggunaannya sama dengan tipe III.
- Tipe IV : untuk konstruksi di mana diinginkan panas hidrasi yang rendah.
- Tipe V : untuk konstruksi di mana diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen *air entraining* adalah semen portland di mana selama proses pembuatannya dicampurkan bahan untuk mengisikan udara. Jadi semen tersebut mengandung campuran kimia yang bersama-sama dengan semen digerinda halus sehingga akan menimbulkan gelembung-gelembung udara berdiameter 0,5 mm yang tersebar merata di seluruh beton. Gelembung-gelembung udara ini akan memberikan ketahanan beton terhadap pembekuan, meskipun kuat tekan beton ini agak lebih rendah.

Bahan dasar untuk pembuatan semen portland terdiri atas batu kapur (*limestone*), tanah liat atau lempung (*clay*), pasir silika, pasir besi dan gipsum. Adapun kandungan bahan-bahan kimia dalam semen dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kandungan bahan-bahan kimia dalam bahan baku semen (Kusuma, 1993)

	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO(%)
Batu kapur	52,77	1,02	0,92	0,70	1,33
Tanah liat	9,27	46,99	16,46	6,62	2,44
Pasir silika	1,41	90,51	3,26	1,65	2,98
Pasir besi	1,03	12,38	3,49	76,21	0,34

Setelah semen bercampur dengan air, terjadi dua macam proses yaitu proses pengikatan (*setting process*) dan proses pengerasan (*hardening process*).

Proses pengikatan berawal beberapa menit setelah pencampuran yang disebut *initial set* (pengikatan awal) dan berakhir setelah beberapa jam disebut *final set* (akhir pengikatan). Waktu pengikatan adalah jangka waktu dari

mulai mengikatnya semen setelah berhubungan dengan air sampai adukan semen menunjukkan kekentalan yang tidak memungkinkan lagi untuk dikerjakan lebih lanjut.

Proses pengerasan sudah mulai sejak semen berhubungan dengan air. Proses kimia dalam pengerasan terdiri dari hidrasi atau hidratasi dan hidrolisa. Hidrasi adalah pembentukan persenyawaan-persenyawaan baru dengan air. Hidrolisa adalah perubahan dari suatu komponen menjadi komponen-komponen lain akibat pengaruh kimia dan air.

Pada proses hidrasi terjadi pembebasan panas yang disebut panas hidrasi. Untuk hidrasi dari semen diperlukan air hanya kira-kira 20% dari berat semen itu. Tetapi air kelebihan juga diperlukan untuk memberikan semacam pelincir pada butir-butir semen, sehingga adukan mudah diolah dan dikerjakan. Air kelebihan ini mutlak harus ada, kemudian akan menguap dan meninggalkan pori-pori di dalam semen yang sedang mengeras, dan memudahkan pembentukan retak-retak akibat susut. Tetapi jumlah air kelebihan ini harus dibatasi.

Proses pengerasan semen portland merupakan suatu proses kompleks menuju ke pembentukan komponen-komponen baru di dalam batu semen yang semula tidak ada di dalam klinker.

II.1.2 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan

semen, air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen. Namun demikian dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 sulit dilaksanakan. Kelebihan air yang ada digunakan sebagai pelumas. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan berkurang, selain akan menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini berupa lapisan tipis yang mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton.

Fungsi air di dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan/material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat, untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.
5. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Penggunaan banyaknya air dapat dinyatakan dalam satuan berat atau satuan volume. Dalam praktik yang normal, air biasa diukur dengan satuan volume yaitu liter. Kuantitas (jumlah) air yang akan dipergunakan untuk beton dengan mutu tertentu harus dihitung setelah melalui kelembaban (kadar air) dari agregat halus dan agregat kasar. Kadar air dari agregat akan mengurangi jumlah air yang diperlukan untuk campuran beton. Sebaliknya, kadang-kadang agregat dapat menyerap air dari campuran beton. Dalam hal ini, maka perlu ditemukan cara untuk mengatasi penyerapan tersebut yaitu dengan meningkatkan jumlah air yang perlu ditambahkan dalam campuran beton.

Jadi air yang dipergunakan untuk campuran beton dapat berasal dari :

1. Air yang diserap dalam agregat, yang membuat agregat dalam keadaan jenuh-kering permukaan (*saturated surface dry=SSD*).
2. Air yang ditambahkan selama proses pencampuran (*mixing*). Jumlahnya dikoreksi dengan air permukaan pada agregat dan atau tanpa air yang diserap dalam agregat, tergantung pada pengambilan dasar perhitungan dalam perbandingan air/semen (faktor air semen).
3. Air permukaan pada agregat. Jumlahnya bervariasi serta mempengaruhi jumlah air total untuk campuran beton.

Air yang digunakan dalam campuran beton minimal memenuhi persyaratan sebagai air minum, tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan sebagai air minum. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1992) :

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

II.1.3 Agregat

Agregat adalah material yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk pembentuk beton, yang di antaranya adalah : pasir, kerikil, batu pecah, di mana agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dan jumlahnya sekitar

75% volume beton. Dalam teknologi beton, agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus.

Dalam campuran beton, agregat yang diperhitungkan adalah agregat dalam keadaan *saturated surface dry (SSD)*/jenuh kering muka. Jenuh kering muka adalah suatu keadaan dimana permukaan agregat tidak ada airnya akan tetapi bagian dalamnya terisi oleh air, sedangkan berat jenis agregat adalah berat jenis partikel agregat dalam keadaan jenuh kering muka.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan agar agregat yang dipergunakan memberikan campuran beton yang baik :

a) Bentuk agregat

Sifat bentuk dari butir-butir agregat belum terdefinisikan dengan jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik dan pengaruhnya terhadap beton juga sulit diperiksa dengan teliti. Namun demikian bentuk butir lebih ditentukan oleh dua sifat yang tidak saling tergantung yaitu kebulatan dan sferikal. Bentuk agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada beton yang sudah mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi seperti di bawah ini :

1. Agregat bulat.
2. Bulat sebagian.
3. Bersudut.

4. Panjang.

5. Pipih.

b) Tekstur permukaan butiran

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran permukaan butir agregat seperti: halus atau kasar, mengkilap atau kusam, dan bentuk kekasaran permukaan. Secara visual umumnya pemeriksaan tekstur permukaan butiran agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus, halus, bergranuler, kasar, berkrystal, berpori-pori dan berlubang.

c) Ukuran maksimum agregat

Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah ukuran yang ditentukan oleh lubang saringan tertentu. Tetapi besar butir maksimum agregat tidak dapat terlalu besar karena banyak faktor yang membatasinya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka ukuran maksimum butir agregat umumnya dipakai 10 mm; 20 mm; 30 mm; 40 mm.

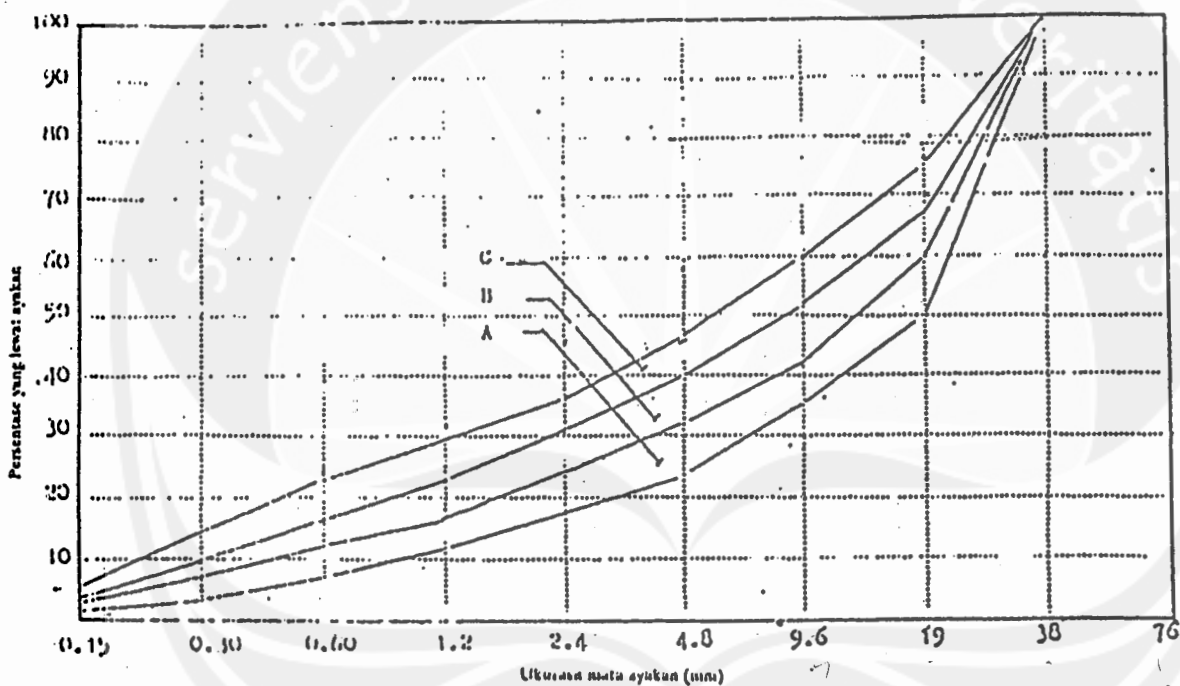
d) Gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama/seragam volume pori akan besar, sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Butir yang kecil akan mengisi pori di antara butir-butir yang lebih besar, sehingga pori-porinya semakin sedikit, yang akhirnya menghasilkan kemampuan yang tinggi.

Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase berat butiran yang tertinggal atau lewat di dalam suatu susunan ayakan. Susunan ayakan yang

digunakan dengan lubang 76 mm; 38 mm; 19 mm; 9,6 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm.

Menurut SK SNI T-15-1990-03, untuk agregat dengan ukuran diameter maksimum 38 mm, gradasi agregatnya harus berada di dalam batas-batas seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Grafik Batas Gradasi Kerikil untuk Besar Butir Maksimum 38 mm

(Grafik 9 SK SNI T-15-1990-03 halaman 22)

II.1.4 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm (lolos saringan No.4).

Pada umumnya agregat halus yang dipergunakan sebagai bahan dasar pembentuk beton adalah pasir alam, sedangkan pasir yang dibuat dari pecahan batu umumnya tidak cocok untuk pembuatan beton karena biasanya mengandung partikel yang terlalu halus yang terbawa pada saat pembuatannya.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F) adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - . jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%
 - . jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan

adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

6. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 dan 4 (SKBI/BS.882) dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - sisa di atas ayakan 4,8 mm, harus maksimum 2% berat.
 - sisa di atas ayakan 1,2 mm, harus maksimum 10% berat.
 - sisa di atas ayakan 0,30 mm, harus maksimum 15% berat.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negatif.
8. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
9. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan di atas (pasir pasang).

Susunan besar butir agregat halus lebih penting daripada susunan besar butir agregat kasar, karena agregat halus bersama dengan semen dan air membentuk mortar yang akan melekatkan dan mengisi rongga-rongga antar butiran agregat kasar sehingga beton yang dihasilkan permukaannya menjadi rata.

Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit akan mengakibatkan :

1. Terjadi segregasi, karena agregat kasar dengan mudah saling memisahkan diri akibat mortar yang tidak dapat mengisi rongga-rongga antara butiran agregat kasar dengan baik.
2. Campuran akan kekurangan pasir, yang disebut *under sanded*.
3. Adukan beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan sehingga dapat menimbulkan sarang kerikil.
4. *Finishing* akan menghasilkan beton dengan permukaan kasar.
5. Beton yang dihasilkan menjadi tidak awet.

Jika pemakaian agregat halus terlalu banyak maka akan mengakibatkan :

1. Campuran menjadi tidak ekonomis.
2. Diperlukan banyak semen untuk mencapai kekuatan yang sama yang dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan optimum antara agregat halus dan agregat kasar.
3. Campuran akan kelebihan pasir, yang disebut *over sanded*.
4. Beton yang dihasilkan menunjukkan gejala rangkak dan susut yang lebih besar.

II.1.5 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan maupun berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5 - 40 mm (tertahan pada saringan No.4).

Kerikil sebagai hasil desintegrasi alami batuan, karena diambil langsung dari alam (sungai) maka mempunyai bentuk permukaan yang bulat tak beraturan, rata dan licin akibat gerakan-gerakan atau pengausan oleh air sehingga dapat mengurangi daya lekat antara mortar dengan butiran agregat itu sendiri. Sedangkan batu pecah yang diperoleh dari alat pemecah batu mempunyai bentuk permukaan yang tidak rata, tidak beraturan, bersudut tajam dan lebih kasar sehingga dapat menambah daya lekat antara mortar dengan butiran agregat tersebut. Dengan demikian dapat memperkecil segregasi dan beton yang dihasilkan lebih kuat.

Menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian yang lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga, maksimum 5%.
Tabel 2.2 menunjukkan pengujian kekerasan agregat kasar.
2. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dan panjang hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih dan panjang tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
4. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan garam sulfat sebagai berikut :
 - jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%
 - jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%

5. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
6. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
7. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6 -7,10 dan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0% berat.
 - sisa di atas ayakan 4,8 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat
8. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih daripada seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diizinkan apabila menurut penilaian Pengawas Ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadi sarang-sarang kerikil.

Tabel 2.2. Pengujian kekerasan agregat kasar
(Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, SK SNI S-04-1989-F)

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dengan Bejana Tekan Rudeloff Bagian Hancur Menembus Ayakan 2 mm, Maksimum %		Kekerasan dengan Bejana Geser Los Angeles, Bagian Hancur Menembus Ayakan 1,7 mm, Maksimum %
	Fraksi Butir 19-30 mm	Fraksi Butir 9,5-19 mm	
B ₀ serta mutu B ₁	22-30	24-32	40-50
Beton Mutu K ₁₂₅ , K ₁₇₅ dan K ₂₂₅	14-22	16-24	27-40
Mutu Beton di atas K ₂₂₅ atau beton pratekan	kurang dari 14	kurang dari 16	kurang dari 27

Penyimpangan dari pembatasan ini diizinkan apabila menurut penilaian Pengawas Ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadi sarang-sarang kerikil.

II.2 Beton Ringan Struktural

II.2.1 Beton Ringan

Menurut Neville (1981), terdapat tiga metoda untuk menghasilkan beton ringan yaitu (i) menggunakan agregat porous atau yang lebih ringan dibanding agregat normal, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih kecil dari 2,6 t/m³, (ii) membuat rongga-rongga di dalam mortar beton, dan (iii) menghilangkan agregat ringan (pasir) dalam adukan sehingga terjadi banyak celah.

Beton ringan struktural menurut SK SNI S-16-1990-F adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dengan pasir sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak melampaui berat isi

maksimum beton 1850 kg/m^3 dan harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik-belah beton ringan untuk tujuan struktural.

II.2.2 Agregat Ringan

Agregat ringan alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti batu apung, batu letusan gunung atau bekuan lahar.

Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan atau memanaskan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, tanah liat diatomit, abu terbang, tanah serpih, batu tulis dan lempung.

Agregat ringan yang digunakan untuk beton harus diuji kualitasnya dan harus memenuhi persyaratan yang terdapat pada Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktural (SK SNI S-16-1990-F). Spesifikasi ini mencakup ketentuan mengenai agregat ringan yang digunakan dalam pembuatan beton struktural dengan pertimbangan utamanya adalah ringannya bobot dan tingginya kekuatan, yang meliputi persyaratan mengenai komposisi kimia, sifat fisis serta penggantian pasir alam.

II.2.3 Persyaratan Bahan

Sifat fisis dan mekanis dari agregat ringan yang diuji harus memenuhi persyaratan seperti yang tercantum dalam tabel 2.3 dan 2.4. Pada beton ringan, agregat ringan yang diuji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) kuat tekan dan kuat tarik beton ringan memenuhi ketentuan dalam tabel 2.5;
- 2) penyusutan akibat pengeringan contoh benda uji yang dibuat tidak boleh melebihi 0,07%.

Tabel 2.3. Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural (Tabel 1 SK SNI S-16-1990-F, halaman 3)

UKURAN	PERSENTASE YANG LULUS ANGKA (% BERAT)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3
Agregat halus (4,75-8) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar (25,8-4,27) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0-4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5-4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5-2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat halus dan kasar (12,5-8) mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5-8) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

Tabel 2.4. Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural (Tabel 2 SK SNI S-16-1990-F, halaman 3)

No.	SIFAT FISIS	Persyaratan
1.	Berat Jenis	1,0-1,8
2.	Penyerapan air maksimum (%)	20
3.	Berat isi maksimum gembur kering (kg/m ³)	
	Agregat halus	1100
	Agregat kasar	900
	Campuran agregat kasar dan halus	1000
4.	Nilai persentase volume padat (%)	60
5.	Nilai 10% keremukan (ton)	7,5-14
6.	Kadar bagian yang terapung setelah telah direndam dalam air 10 menit, maksimum (%)	5
7.	Kadar bahan yang mentah (<i>clay lump</i>) (%)	2
8.	Nilai keawetan, jika direndam dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

Catatan : Perbedaan berat isi antara contoh yang dikirim untuk diuji dengan contoh agregat yang digunakan tidak boleh lebih dari 10%

Tabel 2.5. Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik-Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural (Tabel 3 SK SNI S-16-1990-F halaman 4)

Berat Isi Kering Udara 28 Hari, Maksimum (kg/m^3)	Kuat Tarik Belah (Tidak Langsung) Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata 28 Hari, Minimum (MPa)
	Semua Agregat Ringan	
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
	Agregat Ringan dan Pasir	
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,0	17

Catatan :

- Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 3 buah benda uji sedangkan kuat tarik-belah diambil rata-rata dari 6 benda uji.
- Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi.
- Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan asal saja rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah.

II.3 Keramik

Keramik adalah bahan padat anorganik yang bukan logam. Barang yang terbuat dari keramik seperti: keramik cina, porselen, gelas, semen, refraktori (bahan tahan api), sejak dahulu telah dipergunakan dalam kehidupan manusia sehari-hari. Bahan keramik adalah bahan dasar penyusun kerak bumi, yaitu : SiO_2 ,

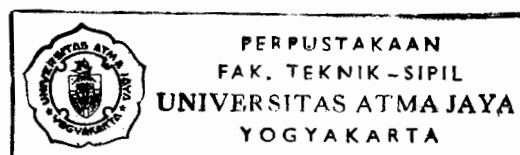
Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O dan seterusnya, yang banyak tersedia di alam. SiO_2 , Al_2O_3 atau MgO masing-masing dapat dipakai sebagai bahan keramik tersendiri, sedangkan banyak bahan lainnya yang terdiri dari campuran silikat tunggal atau campuran dari berbagai silikat.

Di masa lalu keramik umumnya dibuat dari bahan baku alam. Karena terbatasnya kemampuan pengendalian komposisi kimia dan struktur mikronya, maka sifat-sifat asli keramik dalam banyak kasus biasanya tidak nampak jelas (Surdia, Saito, 1985).

Umumnya senyawa keramik lebih stabil dalam lingkungan termal dan kimia dibandingkan dengan elemennya. Al_2O_3 adalah senyawa yang terdiri dari elemen aluminium dan oksigen. Karena senyawa mempunyai koordinasi atom yang lebih kompleks dari masing-masing komponen, daya tahan terhadap slip umumnya lebih baik, sehingga pada umumnya keramik lebih keras dan selalu kurang ulet dibandingkan dengan bahan logam atau polimer (Vlack, 1991).

II.3.1 Sifat mekanik keramik

Berbagai jenis keramik termasuk semen, bata untuk bangunan, bata tahan api dan gelas telah dipergunakan sejak lama sebagai konstruksi bangunan. Bidang penggunaan baru bagi keramik sebagai bahan konstruksi telah dikembangkan, sebagaimana telah terlihat dalam studi yang luas mengenai karbida silikon (SiC) dan nitrida silikon (Si_3N_4) sebagai bahan untuk turbin dan motor yang sangat efisien. Pada umumnya keramik memiliki sifat-sifat yang baik yaitu: keras, kuat



dan stabil pada temperatur tinggi. Tetapi keramik bersifat getas dan mudah patah seperti halnya pada porselen, keramik cina ataupun gelas.

Beberapa sifat mekanik keramik yang penting adalah kekerasan, peka takik dan kekuatan pada temperatur tinggi.

a) Kekerasan

Kekerasan yang dimiliki intan (kekerasan Mohs 10) dan korundum (kekerasan Mohs 9), adalah salah satu ciri khas bahan keramik dengan kekerasannya yang tinggi. Kekerasan adalah ukuran tahanan bahan terhadap deformasi plastis pada permukaan bahan. Fasa keramik keras karena biasanya tidak dapat mengalami deformasi plastik.

Penekanan pada bahan getas seperti keramik dalam banyak hal mengakibatkan retakan lokal mengikuti deformasi elastik. Sukar sekali menghubungkan secara teoritis antara kekerasan yang memiliki proses rumit tersebut dengan sifat-sifat fisiknya. Tetapi secara empiris diketahui bahwa ada hubungan antara tegangan patah dengan kekerasan Vickers (H), $\sigma_f = H/n$, di mana n berkisar sekitar 3 untuk logam dan 30-50 untuk keramik.

b) Peka takik

Suatu takik atau retak merupakan penyebab tegangan. Pengaruhnya sangat besar. Tegangan sebenarnya σ terdapat pada pangkal takik atau cacat dan berkaitan dengan tegangan nominal s , kedalaman retak c dan jari-jari lengkung r ,

$$\sigma = s \sqrt{2c/r}.$$

Bila σ melampaui kekuatan luluh bahan ulet, maka pangkal takik akan bertambah besar, dan konsentrasi gaya akan berkurang. Bila takik terdapat dalam bahan yang tidak ulet (rapuh) maka jari-jari lengkung mendekati dimensi atomik ($\sim 0,1$ nm), retak yang lebih dalam akan lebih berbahaya. Meskipun keramik tahan terhadap geseran, konsentrasi tegangan σ dapat melampaui kekuatan ikatan antar atom. Jadi retak tersebut dapat merambat. Berarti c bertambah besar, konsentrasi tegangan bertambah, sampai terjadi perpatahan.

Bahan keramik umumnya memiliki kekuatan tarik yang rendah karena ketahanan terhadap geseran pada pangkal retak. Faktor yang sama, kekuatan geser, membuat keramik tahan terhadap tekanan. Beban tekan dapat dipikul tanpa menyebabkan membesarnya retakan.

c) Kekuatan pada temperatur tinggi

Walaupun beberapa permasalahan dalam pembuatan dan kegetasan masih belum dapat dipecahkan, keramik memiliki ketahanan termal dan kestabilan kimia, dan mempunyai kemungkinan penggunaan pada temperatur tinggi sebagai bahan teknik yang baru, yang tidak dapat dilaksanakan oleh bahan logam. Penurunan yang cepat dari kekuatan dan deformasi plastis sering juga ditemukan dalam bahan keramik pada temperatur melebihi 1000°C . Gejala deformasi plastis yang meningkat menurut waktu pada tegangan tetap pada temperatur tinggi disebut melar (*creep*).

II.3.2 Proses Pembentukan Bahan Keramik

Kebanyakan produk keramik dibentuk mengikuti proses pembentukan viskos atau sinter. Pembentukan viskos meliputi pencairan dan pembentukan viskos. Proses sinter mulai dengan partikel halus yang kemudian beraglomerasi menjadi bentuk yang dikehendaki; disusul dengan pembakaran untuk mengikat partikel. Pembentukan viskos hanya biasa dipakai pada pembentukan bahan keramik kaca, sehingga cara ini tidak dibahas.

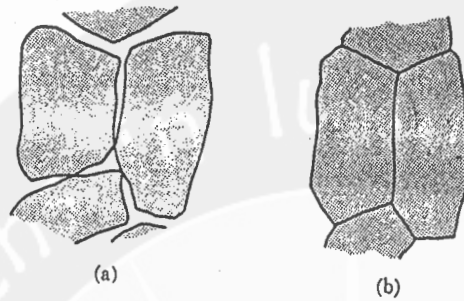
Kebanyakan bahan keramik bukan kaca terbuat dari partikel halus yang disinter (dibakar) menjadi produk. Pengrajin menerapkan suatu prosedur yang telah dikenal sejak dahulu yaitu membentuk lempung halus yang basah dan bersifat *hidro plastik*. Produk seperti bata dibentuk selagi basah, dikeringkan kemudian dibakar sehingga partikel lempung disinter menjadi satu membentuk ikatan yang kuat dan keras. Pengrajin keramik Kasongan, Bantul memiliki instalasi penyaringan bahan lempung, perangkat pencetakan dan tungku sebagai tempat pembakaran bahan. Tungku sebagai tempat pembakaran dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dapat juga, bahan keramik dibentuk secara cetak *slip* dengan membuat suspensi atau *slip* yang dapat dituangkan dalam cetakan yang berpori. Cetakan menguap air dan *slip* yang berdekatan dengan dinding cetakan. Kelebihan *slip* (yang masih cair) dibuang dan produk dikeringkan kemudian dibakar. Pada proses ini terjadi penyusutan yang besar karena faktor tumpukan untuk partikel padat dalam *slip* rendah.



Gambar 2.2 Tungku

Sinter memerlukan pemanasan agar partikel halus beraglomerasi menjadi bahan padat. Sinter tanpa cairan memerlukan difusi dalam bahan padat itu sendiri sehingga diperlukan suhu yang tinggi (dibawah titik cair).

Prinsip-prinsip yang melandasi proses sinter dijelaskan pada Gambar 2.3. Pada (a) tampak bahwa ada dua permukaan yang membatasi partikel sebelum sinter. Setelah sinter terdapat satu batas butir. Kedua permukaan merupakan batas dengan energi tinggi sedang batas butir memiliki energi yang lebih rendah.



Gambar 2.3. Sinter padat (Gambar 8-8.2. Vlack, 1991 halaman 339)

II.4 Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji berupa silinder beton sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan. Perlu diperhatikan bahwa tegangan f'_c bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$.

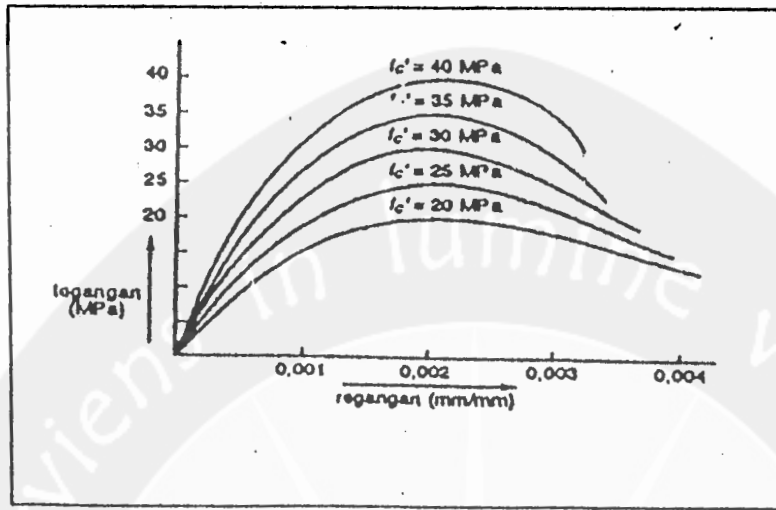
Dengan mengamati berbagai macam kurva tegangan-regangan kuat desak beton yang berbeda, tampak bahwa umumnya kuat tekan maksimum tercapai pada saat nilai satuan regangan tekan ϵ' mencapai $\pm 0,002$. Selanjutnya nilai regangan f'_c akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai ϵ' mencapai 0,003-0,005. Beton mutu tinggi lebih getas dan akan hancur

pada nilai regangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan beton kuat rendah.

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 menetapkan bahwa regangan kerja maksimum yang diperhitungkan di serat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur. Regangan kerja maksimum 0,003 tersebut boleh jadi tidak konservatif untuk beton kuat tinggi dengan nilai f'_c antara 55-80 MPa. Tidak seperti pada kurva tegangan-regangan baja, kemiringan awal kurva pada beton sangat beragam dan umumnya sedikit agak melengkung. Kemiringan awal yang beragam tersebut tergantung pada nilai kuat betonnya, dengan demikian nilai modulus elastisitas beton pun akan beragam pula.

Sesuai dengan teori elastisitas, secara umum kemiringan kurva pada tahap awal menggambarkan nilai modulus elastisitas suatu bahan. Karena kurva pada beton berbentuk lengkung maka nilai regangan tidak berbanding lurus dengan nilai tegangannya, berarti bahan beton tidak sepenuhnya bersifat elastis, sedangkan nilai modulus elastisitas berubah-ubah sesuai dengan kekuatannya dan tidak dapat ditetapkan melalui kemiringan kurva. Bahan beton bersifat elasto-plastis di mana akibat dari beban tetap yang sangat kecil sekalipun, di samping memperlihatkan kemampuan elastis bahan beton juga menunjukkan deformasi permanen (Dipohusodo, 1994).

Hubungan tegangan-regangan dari berbagai kuat tekan benda uji beton diberikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Berbagai kuat tekan benda uji beton
(Dipohusodo, Struktur Beton Bertulang, 1994)

Kuat hancur dari beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor. Selain oleh perbandingan air semen dan tingkat pematatannya, faktor-faktor penting lainnya (Murdock dan Brook, 1986) adalah:

1. Jenis semen dan kualitasnya.

Mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

2. Jenis dan lekukan bidang permukaan agregat.

Penggunaan agregat kasar berupa batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun tarik yang lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.

3. Efisiensi dan perawatan (*curing*).

Kehilangan kekuatan sampai sekitar 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.

4. Suhu.

Umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan meningkatnya suhu.

5. Umur.

Pada keadaan normal, kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Misalnya, semen dengan kadar alumina yang tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam sama dengan semen biasa pada umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

II.5 Kuat Tarik-Belah Beton

Nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik (Dipohusodo, 1994).

Kuat tarik-belah benda uji silinder beton ialah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja

penekan mesin uji tekan (Metode Pengujian Kuat Tarik-Belah Beton, SK SNI M-60-1990-03).

Benda uji hasil pencetakan harus memenuhi ketentuan yang meliputi :

1. ukuran dan perawatan benda uji silinder beton dari hasil pencetakan harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku dalam standar buku Metode Pembuatan Benda Uji Beton di Laboratorium (SK SNI M-62-1990-03 F);
2. ketelitian ukuran diameter benda uji tidak boleh lebih dari 0,1 mm;
3. ketelitian ukuran panjang benda uji tidak boleh lebih dari 1 mm;
4. setelah benda uji dikeluarkan dari tempat perawatan harus segera dibungkus dengan kain penyerap yang basah agar benda uji tersebut dapat diuji dalam keadaan lembab.

Khusus untuk benda uji beton ringan yang harus diuji pada umur 28 hari dalam kondisi kering udara, sebelumnya harus dirawat selama 7 hari dalam kondisi lembab dan kemudian dilanjutkan dengan perawatan selama 21 hari dalam suhu udara $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban nisbi $50\% \pm 5\%$.