

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847–2002). Pada adukan beton segar agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dapat berasal dari material alam ataupun buatan.

B. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Menurut Mulyono (2004), kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut :

1. kelebihan
 - a. dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi,
 - b. mampu memikul beban yang berat,
 - c. tahan terhadap temperatur yang tinggi,
 - d. biaya pemeliharaan yang kecil.
2. kekurangan
 - a. bentuk yang dibuat sulit diubah,
 - b. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi,
 - c. berat,
 - d. daya pantul yang besar.

C. Kuat Tekan Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tarik rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat yang lain juga baik.

Menurut Mulyono (2004), kuat tekan beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang beton. Rumus kuat tekan beton (f_c') adalah :

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan : f_c' = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis.

Tabel 3.1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal (beton biasa)	15 – 30 MPa
Beton pra tegang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

Pada dasarnya kuat tekan beton tergantung pada 3 hal, yaitu :

1. kekuatan pasta (air dan semen),
2. daya rekat antara pasta dan permukaan butir-butir agregat, dan
3. kuat tekan agregat.

Dari ketiga butir diatas, biasanya secara lebih rinci diuraikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

1. umur beton

Kuat tekan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksudkan umur disini dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu semakin lambat dan laju kenaikan tersebut menjadi sangat kecil setelah berumur 28 hari, sehingga secara umum dianggap tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Oleh karena

itu, sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) ialah kuat tekan pada umur 28 hari.

Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur terhadap beton yang berumur 28 hari, dapat diambil menurut tabel 3.2,

Tabel 3.2. Rasio kuat tekan beton pada berbagai umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber : PBI 1971, NI-2 dalam Tjokrodinuljo, 2007

2. faktor air semen

Faktor air semen (FAS) ialah perbandingan berat antar air dan semen *Portland* di dalam campuran adukan beton. Dalam praktek, nilai faktor air semen berkisar antara 0,40 dan 0,60,

3. kepadatan beton

Kekuatan beton berkurang jika kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga sehingga kuat tekannya berkurang,

4. jumlah pasta semen

Pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butir-butir agregat terisi penuh dengan pasta semen, serta seluruh permukaan butir agregat terselimuti pasta semen. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat dan tidak seluruh permukaan butir agregat terselimuti oleh pasta semen, sehingga rekatan antar butir kurang kuat, dan berakibat kuat tekan beton rendah. Akan tetapi, jika jumlah pasta semen terlalu banyak maka kuat tekan beton lebih didominasi oleh pasta semen, bukan agregat. Karena pada umumnya kuat tekan pasta

semen lebih rendah daripada agregat, maka jika terlalu banyak pasta semen kuat tekan beton menjadi lebih rendah,

5. jenis semen

Semen *Portland* untuk pembuatan beton terdiri dari beberapa jenis, masing-masing jenis semen *Portland* (termasuk Semen *Portland Pozolan*) mempunyai sifat tertentu, misalnya cepat mengeras, dan sebagainya, sehingga mempengaruhi pula terhadap kuat tekan betonnya,

6. sifat agregat

Agregat terdiri atas agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain :

- a. kekasaran permukaan,
- b. bentuk agregat, dan
- c. kuat tekan agregat.

D. Kuat Tarik Belah Beton

Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007), Uji kuat tarik dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Spesimen silinder direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton. Uji ini disebut juga *Splitting test* atau *Brazillian test* karena metode ini diciptakan di Brazil.

Cara lain untuk menguji tegangan tarik langsung pada specimen silinder maupun prisma dilakukan dengan menempelkan benda uji pada suatu pelat besi dengan lem epoxy. Namun benda uji harus digergaji dengan gerinda intan untuk menghilangkan pengaruh pengecoran atau vibrasi. Beban pada kecepatan 0,05 MPa/detik sampai runtuh.

Tegangan tarik tidak langsung dihitung dengan persamaan :

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan : T = Kuat Tarik Beton (MPa)

P = Beban hancur (N)

L = Panjang spesiman (mm)

D = Diameter spesimen (mm)

E. Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

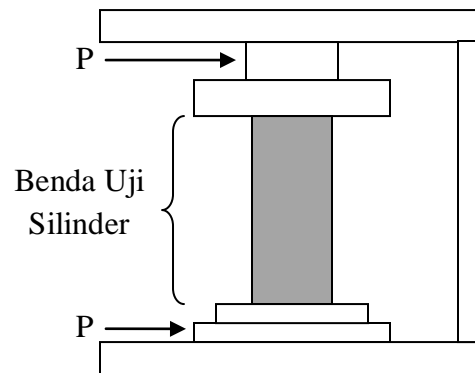
1. Kuat tekan beton

Menurut Mulyono (2004), kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Cara pengujian tekan beton menurut SNI 03-1974-1990 Untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. ambil benda uji yang akan ditentukan kekuatannya dari bak perendam, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain,
- b. tentukan berat dan ukuran benda uji,
- c. lapislah (*capping*) permukaan atas beton apabila permukaan beton tidak rata menggunakan mortar belerang,
- d. letakkan benda uji pada mesin secara sentris. Sesuai dengan tempat yang tepat pada mesin tes kuat tekan,
- e. jalankan benda uji atau mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/m³ per detik,
- f. lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji,
- g. pengujian kuat tekan beton batu apung ini dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.

Prosedur pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm × 30 cm dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Simulasi uji kuat tekan

2. Kuat tarik belah beton

Menurut Mulyono (2004), nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus. Nilai kuat tarik berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya.

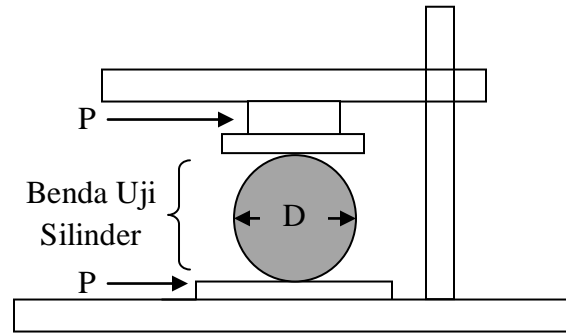
Cara pengujian tarik belah beton menurut SNI 03-2491-2012 Untuk melaksanakan pengujian kuat tarik belah beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. pemberian tanda pada benda uji tarik garis tengah pada setiap sisi ujung silinder benda uji dengan mempergunakan peralatan bantu yang sesuai hingga dapat memastikan bahwa kedua garis tengah tadi berada dalam bidang aksial yang sama. Sebagai alternatif dapat digunakan alat bantu penandaan garis tengah berbentuk T pada kedua ujung benda tersebut terdiri dari 3 bagian sebagai berikut:
 - 1) sebuah baja kanal C-100 yang kedua flensnya sudah diratakan dengan mesin,

- 2) bagian alas dari perlengkapan berbentuk T yang diberi alur yang sesuai dengan tebal kedua flens baja kanal dan celah persegi empat untuk perletakan batang tegaknya,
 - 3) bagian tegak dari alat perlengkapan berbentuk T terpasang tegak lurus pada alas bagian tegak tersebut diberi celah yang memanjang, untuk memudahkan pembuatan tanda garis tengah pada kedua ujung benda uji. Alat perlengkapan (rakitan) berbentuk T tersebut tidak terpasang mati pada baja kanal, tetapi dapat dipindahkan dan digeserkan pada kedua ujung baja kanal dengan tidak mengganggu posisi benda uji pada waktu dilakukan penandaan garis tengah pada kedua sisi benda uji.
- b. peralatan bantu ini terdiri dari tiga bagian, sebagai berikut:
- 1) bagian alas tempat untuk meletakkan bantalan untuk pembebanan bagian bawah dan benda uji silinder,
 - 2) pelat atau batang bantu penekanan yang memenuhi persyaratan, baik ukuran maupun kerataannya,
 - 3) dua buah bagian tegak yang kegunaannya untuk meletakkan benda uji pada posisi uji lengkap dengan pelat atau batang penekan tambahan dan bantalan bantu pembebanannya.
- c. tentukan diameter benda uji dengan ketelitian sampai 0,25 mm yang merupakan harga rata-rata dari tiga kali pengukuran diameter pada kedua ujung dan bagian tengah benda uji, pengukuran dilakukan pada garis tanda yang dibuat pada benda uji. Tentukan panjang benda uji dengan ketelitian hingga 2,5 mm yang merupakan harga rata-rata dari paling sedikit dua buah pengukuran pada bidang yang diberi tanda garis pada kedua ujung benda uji,
- d. perletakan benda uji pada posisi uji dengan berpedoman pada tanda garis tengah pada kedua ujung, sebagai berikut:

- 1) letakkan sebuah dari dua bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis pada tengah-tengah pelat menekan bagian-bagian bawah dari mesin uji,
 - 2) letakkan benda uji di atas bantalan bantu dari kayu lapis tersebut sedemikian rupa hingga tanda garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah dan bantalan kayu lapis,
 - 3) letakkan bantalan kayu lapis lainnya memanjang di atas silinder sedemikian rupa hingga bagian tengahnya tepat berpotongan dengan tanda garis tengah yang ada pada ujung silinder,
 - 4) atur posisi pengujian hingga tercapai kondisi sebagai berikut :
 - a) proyeksi dari bidang yang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat berpotongan dengan titik tengah meja penekanan bagian atas dari mesin meja penguji,
 - b) bila digunakan pelat atau batang penekan tambahan, titik tengahnya dan titik tengah benda uji pada posisi uji, harus berada tepat dibawah titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin penguji.
- e. perletakkan benda uji pada posisi uji dengan menggunakan peralatan bantu benda uji. Cara meletakkannya adalah sebagai berikut :
- 1) letakkan bantalan – bantalan bantu pembebanan dari kayu lapis, benda uji dan peralatan tambahan penekan (batang atau pelat penekan tambahan) secara sentris dengan menggunakan peralatan bantu perletakkan benda uji,
 - 2) titik tengah pelat penekan tambahan dan titik tengah benda uji pada posisi uji harus berada tepat dibawah titik tengah penekan bagian atas.

Prosedur pengujian kuat tarik belah beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Simulasi uji kuat tarik belah beton

F. Beton Ringan

Menurut ACI-318, Beton ringan adalah beton yang memiliki berat satuan sekitar 1900 kg/m^3 . Menurut Tjokrodinuljo (2007), beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara kedalam campuran betonnya. Oleh karena itu pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara-cara berikut :

1. dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara didalam betonnya.
2. dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, dan batu apung. Dengan demikian beton yang terjadi pun akan lebih ringan dari beton normal.
3. pembuatan beton tidak dengan butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). Beton ini mempunyai pori-pori yang hanya berisi udara (yang semula terisi oleh butir-butir agregat halus).

G. Bahan Tambah dan Beton Serat

1. Bahan Tambah

Menurut Tjokrodinuljo (2007), bahan tambah ialah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton selama pengadukan dengan tujuan mengubah sifat adukan atau betonnya (Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton Standar, SK SNI S-18-1990-03).

Pemberian bahan tambah pada adukan beton dengan maksud untuk memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan dan sebagainya.

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre concrete*).

2. Beton Serat

Beton serat (*fibre concrete*) ialah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500 μm (mikro meter), dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Bahan serat dapat berupa : serat *asbestos*, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja.

Dalam hal ini serat dapat dianggap sebagai agregat yang bentuknya sangat tidak bulat. Adanya serat mengakibatkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah adanya retak-retak, sehingga menjadikan beton serat lebih daktil daripada beton biasa.

H. Bahan Penyusun Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton pada umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu :

1. semen *portland*

Semen *portland* ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagia A (Bahan Bangunan Bukan Logam), SK-SNI-S-04-1989-F).

Fungsi semen ialah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat.

Bahan dasar semen *portland* terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Susunan unsur semen *portland*

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 - 65
Silika, SiO ₂	17 - 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 - 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 - 6
Magnesia, MgO	0,5 - 4
Sulfur, SO ₃	1 - 2
Soda/potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

Walaupun kompleks, namun pada dasarnya dapat disebutkan 4 senyawa yang paling penting. Keempat senyawa tersebut ialah :

- a. trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂,
- b. dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂,

- c. trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO \cdot Al_2O_3$,
- d. tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Perbedaan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen *portland* di Indonesia (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam, SK SNI S-04-1989-F) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

- a. jenis I, Semen *portland* untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. jenis II, Semen *portland* untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. jenis III, Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.
- d. jenis IV, Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.
- e. jenis V, Semen *portland* untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

2. agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Dalam praktik agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

- a. batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm,
- b. kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm,
- c. pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh

dengan cara memecah batu alam, membakar tanah liat dan sebagainya. Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi, yaitu agregat beku, agregat sedimen, dan agregat metamorf. Yang kemudian dibagi lagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil.

Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir alam dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau dari tepi laut. Pasir alam dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu :

- a. pasir galian, yaitu pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam,
- b. pasir sungai, yaitu pasir yang diperoleh langsung dari dasar sungai, yang umumnya berbutir halus dan bulat-bulat akibat proses gesekan,
- c. pasir pantai, yaitu pasir yang diambil dari pantai. Pasir pantai berasal dari pasir sungai yang mengendap di muara sungai (di pantai) atau hasil gerusan air di dasar laut yang terbawa arus air laut dan mengendap di pantai. Pasir pantai biasanya berbutir halus dan mengandung garam. Oleh karena itu sebaiknya pasir pantai diperiksa terlebih dahulu sebelum dipakai. Jika mengandung garam maka sebaiknya dicuci dulu dengan air tawar sebelum dipakai.

Bila agregat alami jauh dari lokasi pekerjaan, maka dapat dipakai agregat buatan. Agregat buatan dapat berupa :

- a. batu pecah

Batu pecah (*split*) merupakan butir-butir hasil pemecahan batu. Permukaan butir-butirnya biasanya lebih kasar dan bersudut tajam,

- b. pecahan bata/genteng

Agregat ini merupakan hasil dari pecahan bata/genteng. Bahan ini harus bebas dari kotoran dan tidak mengandung kotoran yang mengurangi mutu beton. Beton dari agregat pecahan bata/genteng ini biasanya lebih ringan,

c. tanah liat bakar

Tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar 5 sampai 20 mm, kemudian dibakar. Beton dengan agregat ini beratnya lebih rendah daripada beton dari agregat normal, yaitu sekitar 1900 kg/m^3 ,

d. *herculite* atau *haydite*

Agregat ini adalah hasil pembuatan dari tanah *shale* yang dimasukkan kedalam tungku putar pada suhu $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 10-15 menit. Agregat ini dapat dipakai untuk menggantikan agregat dalam pembuatan beton. Berat jenis betonnya sekitar $2/3$ beton biasa. Beton ini mempunyai ketahanan terhadap panas sehingga biasa digunakan untuk dinding penahan panas, lapis tahan api pada baja struktur, dan untuk struktur beton yang permukaannya terkena pada baja struktur. Beton ini juga mempunyai sifat mereda suara yang baik,

e. abu terbang (*sintered fly-ash aggregate*)

Agregat ini ialah hasil dari pemanasan abu terbang (pada pembakaran batu bara) sampai meleleh dan mengeras lagi yang membentuk butir-butir seperti kerikil,

f. terak dingin

Terak dingin ialah hasil sampingan dari pembakaran bijih besi pada tanur tinggi, yang didinginkan pelan-pelan di udara terbuka,

g. benda padat buangan/limbah

Kemungkinan pemakaian benda padat limbah untuk dipakai sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton yang pada masa-masa terakhir ini sering dibicarakan dan tampak meningkat kebutuhannya, sebenarnya bukanlah suatu konsep yang baru. Misalnya pemakaian abu terbang (*fly-ash*), *blast-furnace slags*, dan robekan-robekan kaleng bekas, juga barang-barang bekas bongkaran bangunan, maupun barang-barang sampah dari kantor dan rumah misalnya kertas, gelas, plastik, dan sebagainya.

Berat jenis agregat ialah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama. Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, yaitu :

- a. agregat normal ialah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar 2,3. Betonnya pun disebut beton normal,
- b. agregat berat berberat jenis lebih dari 2,8, misalnya magnetik ($\text{Fe}_3 \text{O}_4$), barytes (BaSO_4), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan juga berat jenisnya tinggi (sampai 5), yang efektif sebagai dinding pelindung/perisai radiasi sinar X,
- c. agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk beton ringan. Berat beton ringan kurang dari 1900 kg/m^3 . Beton ringan biasanya dipakai untuk elemen non-struktural, akan tetapi mungkin pula untuk elemen struktural-ringan. Kebaikannya ialah berat sendiri yang rendah sehingga struktur pendukungnya dan fondasinya lebih kecil. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan misalnya :
 - (1) agregat ringan alami misalnya : *diatomite, pumice, volcanic cinder*,
 - (2) agregat ringan buatan misalnya : tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*sintered fly ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*).

Berdasarkan banyaknya kandungan air didalam agregat, maka kondisi agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat kandungan airnya, yaitu :

- a. kering tungku, butiran agregat benar-benar tidak berisi air,
- b. kering udara, butir-butir agregat mengandung sedikit air (tidak penuh) di dalam porinya dan permukaan butirannya kering,
- c. jenuh kering-muka, butir-butir agregat mengandung air sebanyak (tepat sama banyak) dengan volume porinya (pori-pori tepat terisi penuh air). Namun permukaan butirnya kering,

d. basah, pori-pori agregat terisi penuh air dan permukaan butiran basah.

Menurut standar SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. agregat halus

- (1) butir-butirnya tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$,
- (2) kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam *Natrium Sulfat* bagian yang hancur maksimum 12 persen, jika dengan garam *Magnesium Sulfat* maksimum 18 persen,
- (3) tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5 persen,
- (4) tidak mengandung zat organis terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar/pembanding,
- (5) modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi,
- (6) khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali,
- (7) Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

b. agregat kasar

- (1) butir-butirnya keras dan tidak berpori. Indeks kekerasan ≤ 5 persen (diuji dengan goresan batang tembaga). Bila diuji dengan bejana *Rudeloff* atau *Los Angeles* seperti Tabel 3.4,
- (2) kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam *Natrium Sulfat* bagian yang

hancur maksimum 12 persen, jika dengan garam *Magnesium Sulfat* maksimum 18 persen,

- (3) tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1 persen,
- (4) tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap *alkali*,
- (5) butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20 persen,
- (6) modulus halus butir antara 6-7,10 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi,
- (7) ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari : $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Tabel 3.4 Persyaratan kekerasan/kekuatan agregat kasar untuk beton normal

Kelas dan mutu beton	Bejana <i>Rudeloff</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2 mm (persen)		Mesin <i>Los Angeles</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (persen)
	Ukuran butir : 19 – 30 (mm)	Ukuran butir : 9,5 – 19 (mm)	
Kelas I mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II mutu K-125($f_c' = 10$ MPa) sampai K-225 ($f_c' = 20$ MPa)	22	24	40
Kelas III mutu diatas K-225 ($f_c' = 20$ MPa)	14	16	27

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

3. air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Dalam pembuatan beton air diperlukan untuk :

- a. bereaksi dengan semen *portland*,
- b. menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dipadatkan).

Untuk bereaksi dengan semen *portland*, air yang diperlukan hanya sekitar 25-30 persen saja dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih dari 0,40.

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A)

- a. air harus bersih,
- b. tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter,
- c. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter,
- d. tidak mengandung *klorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan *klorida* tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter,
- e. tidak mengandung senyawa *sulfat* (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram per liter.

I. Batu Apung

Menurut tekmira.esdm.go.id, batu apung (*pumice*) adalah jenis batuan yang berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batuan ini terbentuk dari magma asam oleh aksi letusan gunung api yang mengeluarkan materialnya ke udara, kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai

batuan piroklastik. Batu apung mempunyai sifat vesicular yang tinggi, mengandung jumlah sel yang banyak (berstruktur selular) akibat ekspansi buih gas alam yang terkandung di dalamnya, dan pada umumnya terdapat sebagai bahan lepas atau fragmen-fragmen dalam breksi gunung api. Sedangkan mineral-mineral yang terdapat dalam batu apung adalah feldspar, kuarsa, obsidian, kristobalit, dan tridimit.

Sifat kimia dan fisika batu apung antara lain, yaitu: mengandung oksida SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , TiO_2 , SO_3 , dan Cl , hilang pijar (*Loss of Ignition*) 6%, pH 5, bobot isi ruah 480–960 kg/cm^3 , peresapan air (*water absorption*) 16,67%, berat jenis 0,8 gr/cm^3 , hantaran suara (*sound transmission*) rendah, rasio kuat tekan terhadap beban tinggi, konduktifitas panas (*thermal conductivity*) rendah dan ketahanan terhadap api sampai dengan 6 jam. Keterdapatannya batu apung selalu berkaitan dengan rangkaian gunung api berumur kuartar sampai tersier. Penyebaran meliputi daerah Serang, Sukabumi, Pulau Lombok, dan Pulau Ternate.

J. Kawat Bendrat

Menurut info.teknik.sipil.com, kawat bendrat merupakan kawat yang berdiameter kecil tapi ukurannya panjang. Kawat bendrat memiliki beberapa diameter dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Diameter kawat bendrat

Tipe	Diameter (mm)
KW 0,90	Ø 0,9
KW 2,00	Ø 2,0
KW 2,30	Ø 2,3
KW 2,60	Ø 2,6
KW 3,00	Ø 3,0

Sumber : PT. Makmur Maju Sejahterah, 2016

Fungsi dari kawat bendrat adalah untuk mengikat besi beton ulir atau polos yang dijadikan sebagai tulangan untuk kolom, *shearwall*, *floor deck*, atau lainnya. Pengikatan dilakukan agar rangkaian tidak lepas saat akan diberikan adukan semen & pasir. Menurut Wikipedia.com, Kawat bendrat memiliki berat jenis sebesar 6680 kg/m³ kuat tarik sebesar 38,5 MPa dengan perpanjangan saat putus sebesar 5,5%.