

BAB III

LANDASAN TEORI

Paving block sebagai salah satu bahan konstruksi perkerasan memiliki bahan-bahan yang hampir sama dengan bahan penyusun beton. Sebagai pembanding perbedaan maupun persamaan antara beton dan *paving block* dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

3.1. Beton

Beton adalah bahan bangunan yang tersusun dari semen, agregat, dan air dengan perbandingan tertentu. Penjelasan mengenai beton akan diuraikan dalam beberapa bagian meliputi pengetahuan beton secara umum, faktor air semen (fas), umur beton, jenis semen, jumlah semen, sifat agregat, serta keuntungan dan kerugian menggunakan beton seperti berikut ini.

3.1.1. Umum

Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland dan agregat (kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) dengan perbandingan tertentu.

Kekuatan, keawetan, dan sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan-bahan dasar penyusunnya, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan. Luasnya pemakaian beton disebabkan oleh karena terbuat dari bahan-bahan yang umumnya mudah diperoleh, serta mudah diolah sehingga menjadikan beton mempunyai sifat yang dituntut sesuai dengan situasi pemakaian tertentu.

Membuat beton sebenarnya tidaklah sesederhana hanya dengan 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 agar beton (beton keras, *hardener concrete*) yang dihasilkan 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/ awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susutnya kecil).

3.1.2. Faktor Air Semen (fas)

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan antara berat air dan berat semen

$$fas = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}} \dots \dots \dots (1)$$

Hubungan antara faktor air semen (fas) dan kuat desak beton dapat dituliskan secara empiris dengan rumus Duff Abrams (1919) dalam Tjekrodimuljo, 1995; sebagai berikut :

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5x}} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

$f'c$ = kuat desak beton

x = fas (yang semula dalam proporsi volume)

A, B = konstanta

Dengan demikian semakin besar faktor air semen (fas) semakin rendah kuat desak betonnya. Walaupun menurut rumus tersebut tampak semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan masa

dibawah fas tertentu (misalnya sekitar 0,40) kekuatan beton itu malahan lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat pemadatannya sulit. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak beton maksimum sesuai dengan jenis pekerjaannya.

Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat dilakukan dengan cara pemadatan memakai alat getar (*vibrator*), atau dengan menggunakan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (keenceran) adukan beton.

3.1.3. Uraur Beton

Kuat desak beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton itu. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.

3.1.4. Jenis Semen

Menurut SII 0031-81 semen *Portland* dibagi menjadi lima jenis sebagai berikut ini.

Jenis I : Semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.

Jenis II : Semen untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.

Jenis III : Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).

Jenis IV : Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.

Jenis V : Semen untuk beton yang sangat tahan sulfat.

Jenis-jenis semen tersebut mempunyai sifat – sifat yang berbeda.

3.1.5. Jumlah Semen

Pada umumnya orang mengetahui bahwa kekuatan beton akan bertambah bila pemakaian semen juga ditambah. Hal tersebut benar untuk campuran-campuran yang mempunyai perbandingan air semen (fas) yang sama. Pada campuran yang memakai jumlah air sama, pemakaian semen yang lebih banyak akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan air semen (fas) nya menjadi kecil. Tapi perlu dicatat bahwa campuran dengan faktor air semen yang rendah akan menyebabkan adukan menjadi kental sehingga pematatannya akan menjadi lebih sulit.

Di dalam praktek, biasanya suatu pekerjaan telah ditentukan “work-ability”-nya (kemudahan untuk dikerjakan) di lapangan, seperti yang diukur secara kasar dengan pengujian “slump”. Namun demikian, pemakaian air dan semen yang terlalu banyak dapat menyebabkan penyusutan yang luar biasa dengan meningkatnya kecenderungan untuk retak-retak, sehingga beton yang paling padat dan kuat akan diperoleh bila menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat work abilitas yang dibutuhkan.

3.1.6. Sifat Agregat

Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada pastanya. Meskipun demikian bila dikehendaki kekuatan beton yang tinggi, diperlukan juga agregat yang kuat agar kekuatannya tidak lebih rendah daripada pastanya.

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pada pemakaian butir agregat besar menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit berarti porinya sedikit pula. Namun karena butir-butirnya besar mengakibatkan luas permukaannya lebih sempit, dan ini berakibatkan lekatan antara pasta semen dan agregatnya kurang tepat. Lagipula karena butirannya yang besar menghalangi susutan pasta, dan ini berakibat retakan-retakan kecil pada pasta disekitar butirannya. Kedua hal terakhir ini memperlemah kekuatan beton. Agregat beton memiliki porsi terbesar yaitu sebesar 60% - 80% dari volume beton. Karena itu untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang berkualitas baik pula. Agregat yang baik untuk pembuatan beton harus memenuhi tahap persyaratan (PBI, 1971), yaitu :

1. Harus bersifat kekal, berbutir tajam dan kuat,
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar,

3. Tidak mengandung bahan-bahan organik dan zat-zat yang reaktif alkali, dan
4. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.

3.1.7. Keuntungan dan kerugian menggunakan beton

Dibandingkan bahan bangunan lain keuntungan dan kerugian menggunakan beton menurut Tjokrodinuljo (1995) adalah sebagai berikut ini.

a. Keuntungan beton :

- 1). Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan lokal, kecuali semen portland.
- 2). Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
- 3). Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang sesuai dengan keinginan.
- 4). Cetakan dapat dipakai ulang beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi murah.
- 5). Beton segar dapat disemprotkan dipermukaan beton lama yang retak maupun diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
- 6). Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
- 7). Beton termasuk tahan aus dan kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah.

b. Kerugian beton :

- 1). Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak,
- 2). Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah,
- 3). Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu,
- 4). Beton sulit untuk kedap air secara sempurna dan bersifat daktail (getas).

3.1.8. Faktor yang mempengaruhi kekuatan beton

Mutu atau kualitas dari suatu beton akan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berikut ini.

a. Bahan – bahan.

1. Semen : Kualitas dan kecepatan pengerasan
2. Agregat :
 - (a) Gradasi, mempengaruhi kemudahan pengerjaannya
 - (b) Kadar air, mempengaruhi perbandingan air-semen
 - (c) Kebersihan, mempengaruhi kekuatan dan sifat awet beton
3. Air: Kuantitas mempengaruhi hampir semua sifatnya, kualitas mempengaruhi pengerasan, kekuatan, sifat awet, dan lain-lain.
4. Bahan campuran (bila dipakai) : Modifikasi dari sifat-sifat beton. Hal ini tergantung pada jenis dan jumlah bahan campur yang dipakai.

b. Cara menakar dan mencampur.

1. Dengan dasar volume:
 - a. Kepadatan waktu menakar pasir mempengaruhi perbandingan
 - b. Ketepatan pengukuran.
2. Dengan dasar berat:
 - a. Kadar air agregat
 - b. Ketepatan pengukuran
3. Bahan-bahan yang terbuang sewaktu dimasukkan ke dalam mesin pencampur.
4. Efisiensi dari mesin pencampur.

c. Cara pelaksanaan pekerjaan

1. Pemadatan : Rongga-rongga udara mengurangi kekuatan.
- 2 . Perawatan : Perlu untuk meningkatkan kekuatan dan menyempurnakan sifat-sifat lain.
3. Keadaan cuaca selama mencetak dan merawat beton.

3.2. Paving Block

Penjelasan *paving block* akan diuraikan dalam beberapa bagian meliputi pengetahuan *paving block* secara umum, definisi, syarat mutu, dan perkerasan *paving block*, seperti berikut ini.

3.2.1. Umum

Jika dibandingkan dengan beton, *paving block* tidak jauh berbeda bila dilihat dari segi teknologinya, susunan komponen pembuatnya yaitu semen, pasir, kerikil dan air, tetapi cara pengujian kuat desak *paving block* sedikit berbeda dengan pengujian kuat desak beton pada umumnya, sedangkan pemeliharaannya sama. Namun jika dilihat dari cara pembuatan, diameter agregat yang dipakai, faktor air semen yang berpengaruh pada nilai slump *paving block* mendekati nol, koefisien pengali kuat desak beton dihubungkan dengan umur beton (sebagai contoh pada umur 7 hari, koefisien pengali beton setelah didesak adalah 64% sedangkan untuk *paving block* adalah 95%) adalah berbeda. Dari berbagai perbedaan dan persamaan antara beton dan *paving block* tersebut, maka pada *paving block* diperlukan perilaku khusus yaitu dalam pembuatan, pemadatan, perawatan, umur pemakaian yang berbeda dari pada beton umumnya.

Dari pemanfaatan teknologi beton dihubungkan dengan pemanfaatan sarana transportasi, yang dilihat dari keuntungan beton yaitu dari segi kemudahan mendapatkan bahan penyusun, kemudahan cara pembuatan, kemudahan biaya perawatan, biaya yang relatif murah dibanding aspal, dan dari segi kekuatan yang dicapai relatif tinggi, maka teknologi beton tersebut dapat dimanfaatkan sebagai perkerasan jalan, yaitu sebagai *rigid pavement* (perkerasan jalan menggunakan beton).

Pada perkerasan jalan yang menggunakan *paving block* ini, diusahakan dalam hal pemasangan, jangan sampai terjadi celah yang berakibat rusaknya struktur jalan tersebut. Kerusakan timbul dari celah antar *paving block* yang dapat meresap air,

sehingga bila terjadi beban dinamis yang melewati struktur jalan *paving block*, dan struktur dibawahnya menjadi rusak.

Paving block muncul dengan sifat yang unik, dimana jika *paving block* hanya berjumlah satu buah maka dia akan bersifat kaku. Tetapi jika *paving block* dipasang bersama-sama akan mempunyai sifat seperti perkerasan lentur. Kekuatan perkerasan *paving block* ini ditentukan oleh dua hal seperti berikut ini (Haning, 1993).

- a. kuat tekan masing-masing elemen *paving block* yang terbuat dari beton dengan mutu yang telah tertentu, dan
- b. gesekan antar elemen- elemen *paving block* dengan adanya pasir pengisi di antara sela-sela *paving block*.

Paving block menurut Haning (1993) mempunyai kelebihan-kelebihan sebagai berikut ini.

1. Biaya pemeliharaan yang ringan dan mudah untuk perbaikannya sehingga gangguan operasional dapat ditekan serendah mungkin. Hal ini sangat penting bagi jalan yang melayani jalur perekonomian, dimana gangguan terhadap kelancaran lalu lintas tidak dapat ditolerir.
2. *Paving block* dengan mudah dibongkar kembali tanpa menghilangkan kemampuan *paving block* dalam memikul beban, maka perbaikan dari perkerasan yang mengalami penurunan cukup besar menjadi lebih mudah.
3. Perkerasan *paving block* sangat tahan terhadap beban vertikal (*punching load*) dan gaya horizontal yang disebabkan oleh pengereman, perlambatan atau percepatan dari kendaraan, serta pada tempat penumpukan peti kemas.

4. Mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap bahan bakar minyak atau oli yang tumpah.
5. Perkerasan *paving block* dapat segera dibuka untuk lalu lintas setelah pemasangan selesai.
6. *Paving block* juga dapat diangkat bila mana diadakan penggalian pada badan jalan (seperti galian pipa-pipa dan kabel listrik) untuk kemudian dipasang kembali dengan biaya murah. Hal ini sangat berguna untuk daerah-daerah perkotaan.

3.2.2. Definisi

SII 0819-88 mendefinisikan *paving block* sebagai suatu komposisi bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya, yang tidak mengurangi mutu *paving block* tersebut.

3.2.3. Syarat Mutu

Adapun syarat mutu *paving block* yang ditetapkan oleh SII 0819-88 adalah sebagai berikut:

1. Sifat Tampak

Bata beton untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Bentuk dan Ukuran

Bentuk dan ukuran bata beton untuk lantai dapat tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Setiap produsen harus memberikan penjelasan tertulis dalam pamflet mengenai bentuk ukuran, dan konstruksi pemasangan bata beton untuk lantai. Penyimpangan tebal bata beton untuk lantai diperkenankan 3 mm.

3. Sifat Fisik

Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Kekuatan Fisik Bata Beton Untuk Lantai

Mutu	Kuat Tekan (Kg/cm ²)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-rata (%)
	Rata-rata	Terendah	Rata-rata	Terendah	
I	400	340	0,090	0,103	3
II	300	255	0,130	0,149	5
III	200	170	0,160	0,184	7

3.3. Bahan Pembentuk *Paving Block*

3.3.1. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan tambahan gips (kalsium sulfat). Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-

butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Semen portland mempunyai bermacam-macam tipe yaitu tipe I, tipe II, tipe III, tipe IV, dan tipe V. Semen tipe I adalah semen yang banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi pada umumnya yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II adalah semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen tipe III adalah semen dengan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi. Semen tipe IV adalah semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah. Semen tipe V adalah semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Pada dasarnya semen mengandung empat unsur yang penting yaitu (Tjokrodimuljo, 1995) :

- a. Trikalsium Silikat (C_3S) atau $CaO SiO_2$,
- b. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2CaO SiO_2$,
- c. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3CaO Al_2O_3$, dan
- d. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3$

Kehalusan semen ternyata juga memberikan pengaruh pada kekuatan beton.

Reaksi antar semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga semakin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen yang sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dari pasta semen dari

butir-butir yang lebih kasar. Secara umum semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar dan dapat pula mengurangi bleeding, akan tetapi menambah kecenderungan susutan yang lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut SII 0013-81, paling sedikit 90 % berat semen harus dapat lewat ayakan 0,09mm. Namun perlu dicatat, bahwa jika butir-butir semen terlalu halus, sifat semen akan menjadi kebalikannya karena terjadi hidrasi awal oleh kelembaban (Tjokrodinuljo, 1995).

3.3.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam, agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat menempati sekitar 60%-80% volume beton, karena itu agregat adalah komponen yang paling berpengaruh terhadap sifat-sifat dan kekuatan dalam beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.

Jenis agregat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami diperoleh dari alam dan juga dari proses memecah batu alam. Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi agregat beku, agregat sedimen dan agregat metamorf yang kemudian dibagi lagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil, agregat pecahan diperoleh dengan memecah

batu alam menjadi berukuran butiran sesuai yang diinginkan dengan cara meledakan, memecah, menyaring dan seterusnya.

Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan bata/ genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi. Pecahan bata/ genteng dari kualitas yang baik menjadikan agregatnya memenuhi syarat untuk beton, akan tetapi jika untuk beton bertulang sebaiknya kuat tekan batasnya tidak kurang dari 30 MPa. Bata harus bebas dari mortar kapur. Beton dengan agregat dari pecahan bata/ genteng tidak baik untuk beton kedap air (Tjokrodinuljo, 1995).

Agregat dapat diklasifikasikan atas dua macam bentuk:

a). Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Untuk mendapatkan kualitas beton yang baik, maka pasir yang digunakan harus memenuhi syarat mutu :

1. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), dalam % berat maksimum :
 - a. untuk beton yang mengalami abrasi 3,0
 - b. untuk jenis beton lainnya 5,0
2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapihkan, maksimum 3,0%
3. Kandungan arang dan lignit
 - a. bila tampak permukaan beton dipandang penting, kandungan maksimum 0,5%
 - b. untuk beton jenis lainnya, maksimum 1,0%

4. Agregat halus bebas dari pengotoran zat organik yang merugikan beton. Bila diuji dengan Na-sulfat dan dibandingkan dengan warna standar/ pembanding, tidak berwarna lebih tua dari warna standar. Jika berwarna lebih tua maka agregat halus itu harus ditolak, kecuali apabila :
 - a. warna lebih tua timbul oleh adanya sedikit air, lignit atau yang sejenisnya
 - b. diuji dengan melakukan percobaan perbandingan kuat desak mortar yang memakai agregat tersebut terhadap kuat desak mortar yang memakai pasir standar silica, menunjukkan nilai kuat desak mortar tidak kurang dari 95% kuat desak mortar memakai pasir standar. Uji kuat desak mortar harus dilakukan sesuai cara ASTM C87.
5. Agregat halus yang akan dipergunakan untuk pembuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan didalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh dipakai untuk membuat beton dengan semen yang kadar alkalinnya dihitung sebagai setara Natrium Oksida ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) tidak lebih dari 0,60%, atau dengan penambahan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaian yang membahayakan oleh karena reaksi alkali-agregat tersebut.

6. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat :
 - a. jika dipakai Natrium-Sulfat, bagian hancur maksimum 10%.
 - b. jika dipakai Magnesium-Sulfat bagian yang hancur maksimum 15%.
7. Susunan besar butir (grading)

b). Agregat kasar

Agregat kasar butir-butirnya lebih besar dari 4,60 mm. Secara umum agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kerikak, batu pecah atau split.

Syarat-syarat agregat kasar menurut (PBI, 1971) adalah seperti berikut ini.

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil hasil disintegrasi (pembekuan) alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu.
2. Agregat kasar tidak boleh berpori dan terdiri atas batuan keras. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dapat dipakai asalkan jumlahnya tidak lebih dari 20% berat total agregat. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dan tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton.
4. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana pengujian dari Rudolf dengan beban penguji 2 ton, dimana harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a. tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24%,
 - b. tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-30 mm lebih dari 20%.

5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2mm, 1mm, 0,5 mm, 0,25mm harus memenuhi syarat-syarat :

- a. sisa diatas ayakan 31,5 mm sebesar 0%,
- b. sisa diatas ayakan 4 mm sebesar 90%-98% berat,
- c. selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas 2 ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat dan minimum 10% berat.

Mutu agregat akan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semakin baik mutu agregat yang dipakai akan semakin besar kuat tekannya. Agregat yang baik dan bermutu tinggi adalah agregat yang memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- a. butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut,
- b. tidak mengandung zat yang menghisap air dari udara,
- c. tidak mengandung zat organis,
- d. tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0,075 mm,
- e. harus mempunyai variasi gradasi yang baik,
- f. bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca,
- g. untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali,
- h. untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20% dari berat keseluruhan,

3.3.3. Pecahan genteng

Pecahan genteng termasuk sebagai agregat buatan atau *artificial aggregate*. Bisa digolongkan sebagai agregat ringan. Biasanya digunakan untuk beton non-struktural, tetapi dapat pula untuk beton struktural atau blok dinding tembok. Pecahan genteng dari kualitas yang baik menjadikan agregatnya memenuhi syarat untuk beton, akan tetapi untuk beton bertulang sebaiknya kuat tekannya tidak kurang dari 30 Mpa.

Agregat dengan menggunakan pecahan genteng umumnya mempunyai daya serap air yang tinggi, sehingga dalam pengadukan beton cepat keras hanya dalam beberapa menit saja setelah pencampuran, untuk itu perlu diadakan pembasahan agregat terlebih dahulu sebelum pengadukan. Karena sifatnya yang menyerap air maka agregat dengan menggunakan pecahan genteng ini tidak baik untuk beton yang kedap air. Ketahanan ausnya juga rendah sehingga tidak baik untuk lapis perkerasan jalan raya. Tetapi kelebihan dari agregat jenis ini selain bobotnya rendah juga mempunyai sifat lebih tahan api dan sebagai bahan isolasi panas yang lebih baik. Mutu dari pecahan genteng akan berbeda-beda tergantung dari mutu bahan penyusunnya dan dari mutu pembakarannya.

3.3.4. Air

Air merupakan bahan dasar utama selain semen dalam pembuatan beton. Keberadaan air dalam adukan memungkinkan adanya reaksi kimia pada semen yang menyebabkan pengikatan dan pengerasan serta berfungsi sebagai pelumas butir-butir agregat halus dan kasar untuk memudahkan pelaksanaan dan pencetakan.

Adapun air yang digunakan dalam pembuatan beton harus mempunyai persyaratan :

- a. tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lit.
- b. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/lit.
- c. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lit, dan
- d. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lit.