

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan. (SNI 7656:2012, 2012)

Beton merupakan material yang menyerupai batu diperoleh dengan membuat suatu campuran. Campuran dengan proporsi tertentu dari semen, pasir dan agregat lainnya dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Salah satu kekuatan beton adalah termasuk bahan yang berkekuatan tinggi. Bila dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya dapat sama dengan batuan alami (Tjokrodinuljo,1996).

Beton telah lama digunakan sebagai material konstruksi karena kelebihanannya seperti kemudahan dalam menemukan material penyusun dan serta sifat properties beton yang sangat baik. Untuk mendapatkan kekuatan maksimum pada beton maka diperlukan pengenalan terhadap proses pembuatan beton dan sifat material penyusun beton (Popovics, 1992).

2.2 Sifat Sifat Campuran Beton

2.2.1 Kemudahan pengerjaan (*workability*)

- a. Sifat ini merupakan ukuran tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan serta tidak terjadi pemisahan /segregasi. Sifat ini dipengaruhi oleh perbandingan bahan-bahan dan sifat bahan-bahan pembentuk beton secara bersama-sama

- b. *Workabilitas* sulit didefinisikan dengan tepat, menurut Newman dapat didefinisikan dengan sekurang-kurangnya menunjukkan 3 sifat:
 - 1. Kompaktibilitas, kemudahan beton dipadatkan, udara dikeluarkan
 - 2. Mobilitas, kemudahan beton mengisi acuan dan membungkus tulangan
 - 3. Stabilitas, kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan dipadatkan/ digetarkan tanpa terjadi segregasi
- c. Tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton maka makin mudah dikerjakan. Untuk mengukur tingkat kelecakan dilakukan pengujian slump (*slump test*) menggunakan alat Kerucut Abrams. Umumnya nilai slump berkisar 50 –150 mm.
- d. Unsur-unsur yang mempengaruhi *workability* adalah :
 - 1. jumlah air yang dipakai dalam campuran beton
 - 2. penambahan semen juga meningkatkan kemudahan pengerjaan, karena pasti diikuti penambahan air agar nilai *fas* tetap
 - 3. gradasi campuran pasir dan kerikil
 - 4. bentuk butir dan tekstur permukaan butir
 - 5. ukuran maksimum butir agregat (> 25 mm)

2.2.2 Waktu Peningkatan (*setting time*)

Waktu pengikatan merupakan waktu yang dibutuhkan beton untuk merekatkan antara bahan pembentuk beton untuk mengeras beton. Dengan mengurangi kadar air hingga tingkat tertentu, maka waktu pengikatan dapat dipercepat, sehingga beton lebih cepat kering, dan bahan cetakan beton dapat merekat satu sama lain. Waktu pengikatan beton yang cepat sangat membantu untuk meminimalkan waktu konstruksi dapat mempercepat waktu penyelesaian proyek.

2.2.3 Kedap Air

Beton biasanya memiliki rongga yang disebabkan oleh gelembung udara yang terbentuk selama atau setelah selesainya pencetakan, atau merupakan ruangan yang berisi air yang tidak tercampur sempurna dengan semen selama pengerjaan. Jika suhu air naik, pasti air akan menguap. Kantong udara terbentuk di beton. Rongga udara inilah tempat air masuk dan keluar dari beton.

2.2.4 Keuntungan dan Kerugian Menggunakan Beton

a. Keuntungan menggunakan beton

1. Dibandingkan dengan material lain relatif lebih ekonomis karena menggunakan material lokal (kecuali semen).
2. Memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan korosi dan tahan cuaca.
3. Beton segar mudah ditangani dan dapat dicetak sesuai bentuk dan ukuran yang dibutuhkan, serta cetakannya dapat digunakan kembali.
4. Dikombinasikan dengan batang baja, beton dapat dibuat menjadi struktur berat (koefisien muai dari keduanya hampir sama).
5. Beton segar bisa disemprotkan ke permukaan beton lama, dan retakan kecil juga bisa diperbaiki untuk diperbaiki.
6. Dapat memompa beton segar untuk dituangkan di tempat yang sulit.
7. Tahan lama dan tahan api, hampir tidak ada perawatan.
8. Mampu membawa benda berat.

b. Kerugian menggunakan beton

1. Kekuatan tarik rendah sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberi tulangan baja.
2. Beton segar akan menyusut bila kering, sedangkan beton keras akan mengembang bila basah.
3. Beton keras akan mengembang dan menyusut karena perubahan suhu, sehingga perlu dilakukan sambungan *expansionjoin* untuk mencegah terjadinya retak akibat perubahan suhu.
4. Beton tidak kedap air secara sempurna sehingga air yang mengandung garam dapat merusak beton.
5. Beton bersifat getas (daktilitas rendah) sehingga perlu direncanakan secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi daktilai terutama pada stuktur tahan gempa.
6. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
7. Berat dan daya pantul suara besar.

2.2.5 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa berat jenisnya antara 2,5-2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3-2,4. Apabila dibuat

dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenis Dan Pemakaiannya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1.00	Non struktur
Beton ringan	1.00 - 2.00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2.30 - 2.50	Struktur
Beton berat	> 3.00	Perisai sinar X

Sumber : IR. Kardiyo Tjokrodinuljo, M.E., (2007:77)

2.2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$E_c = (W_c) 1,5 \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \quad (2. 1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ untuk beton normal} \quad (2. 2)$$

Dimana,

E_c = modulus elastisitas beton, MPa.

W_c = berat jenis beton.

f'_c = kuat tekan beton, MPa.

2.2.7 Bahan Campuran Beton

A. Semen Portland

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10 %, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Semen portland terbuat dari bubuk mineral kristal halus, yang komponen utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Menambahkan air ke mineral ini akan menghasilkan pasta yang, saat dikeringkan, memiliki kekuatan seperti batu.

Bahan baku pembentuk semen adalah : (1) Kapur (CaO) dari batu kapur; (2) Silika (SiO_2) dari lempung; (3) Aluminium (Al_2O_3) dari lempung

Kandungan kimia semen : (1) Trikalsium Silikat; (2) Dikalsium Silikat; (3) Trikalsium Aluminat; (4) Tetrakalsium Aluminofe; (5) Gypsum

Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Sifat Fisika Semen Portland

Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar.

2. Sifat-Sifat Kimiawi

Sifat-sifat kimiawidari semen Portland meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (insoluble residu), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen. Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu :

- a) Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C3S.
- b) Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C2S.
- c) Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C3A.
- d) Tetrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C4AF.

Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen memiliki karakter dan peruntukannya yang berbeda- beda tergantung jenis bangunan yang akan dibangun dan karakter lingkungannya. Jenis semen dibagi menjadi lima jenis type, yaitu :

1. Jenis Semen Portland Type I

Jenis semen portland type I mungkin yang paling familiar disekitar Anda karena paling banyak digunakan oleh masyarakat luas dan beredar di pasaran. Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan

persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan Semen Portland Type I diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya. Karakteristik Semen Portland Type I ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

2. Jenis Semen Portland Type II

Kondisi letak geografis ternyata menyebabkan perbedaan kadar asam sulfat dalam air dan tanah dan juga tingkat hidrasi. Oleh karena itu, keadaan tersebut mempengaruhi kebutuhan semen yang berbeda. Kegunaan Semen Portland Type II pada umumnya sebagai material bangunan yang letaknya dipinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, dan bendungan. Karakteristik Semen Portland Type II yaitu tahan terhadap asam sulfat antara 0,10 hingga 0,20 persen dan hidrasi panas yang bersifat sedang.

3. Jenis Semen Portland Type III

Lain halnya dengan tipe I yang digunakan untuk konstruksi tanpa persyaratan khusus, kegunaan semen portland type III memenuhi syarat konstruksi bangunan dengan persyaratan khusus. Karakteristik Semen Portland Type III diantaranya adalah memiliki daya tekan awal yang tinggi pada permulaan setelah proses pengikatan terjadi, lalu kemudian segera dilakukan penyelesaian secepatnya. Jenis semen Portland type III digunakan untuk pembuatan bangunan tingkat tinggi, jalan beton atau jalan raya bebas hambatan, hingga bandar udara dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat. Ketahanannya Portland Type III menyamai kekuatan umur 28 hari beton yang menggunakan Portland type I.

4. Jenis Semen Portland Type IV

Karakteristik Semen Portland IV adalah jenis semen yang dalam penggunaannya membutuhkan panas hidrasi rendah. Jenis semen portland type IV diminimalkan pada fase pengerasan sehingga tidak terjadi keretakan. Kegunaan Portland Type IV digunakan untuk dam hingga lapangan udara.

5. Jenis Semen Portland Type V

Karakteristik Semen Portland Type V untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap kadar asam sulfat tingkat tinggi lebih dari 0,20 persen. Kegunaan Semen Potrtland Type V dirancang untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti misalnya rawa-rawa, air laut atau pantai, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan, konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir. Tetapi dalam penelitian pemilihan jenis semen Portland type 1 dilakukan untuk mengetahui pengaruh rendaman air yang mengandung garam terhadap beton.yang biasa di gunakan untuk pembangunan pembangunan dimasyarakat.

B. Air

Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yaitu :

1. Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau pengerjaan beton.

Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ dan lainnya), air laut maupun air limbah juga dapat digunakan asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Tabel berikut ini memberikan kriteria kandungan zat kimiawi yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu yang dapat digunakan dalam adukan beton.

Tabel 2. 2 Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Dalam Air

Kandungan unsur kimiawi	Maksimum konsentrasi (ppm*)
Chloride, Cl :	
- Beton prategang	500
- Beton bertulang	1000
Sulfate, SO ₄	1000
Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600
Total solids	50000

Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton ; 11

C. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga hasil mesin pemecah batu alami. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting. Kandungan agregat pada beton kira-kira 60% - 70% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton. Sifat yang paling penting dari suatu agregat ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. Agregat yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, keras, bebas dari sifat penyerapan secara kimia, tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur dan distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan yang berlaku.

Gradasi (pembagian distribusi butir, *grading*) ialah distribusi ukuran butir agregat. Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat halus kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan ayakan berikutnya. Kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras.

Adapun ketentuan gradasi untuk agregat kasar adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Ketentuan Gradasi Agregat Halus

				% Lolos Saringan/Ayakan				
Ukuran Saringan				SNI 03-2834-2000				ASTM C-33
(Ayakan)				Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus	Fine Aggregate
mm	SNI	ASTM	inch	Gradasi No. 1	Gradasi No. 2	Gradasi No. 3	Gradasi No. 4	Sieve Analysis
9,50	9,6	3/8 in	0,3750	100 – 100	100 – 100	100 – 100	100 – 100	100 – 100
4,75	4,8	N0. 4	0,1870	90 – 100	90 – 100	90 – 100	90 – 100	90 – 100
2,36	2,4	No. 8	0,0937	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100	80 – 100
1,18	1,2	No. 16	0,0469	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100	50 – 85
0,60	0,6	No. 30	0,0234	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100	25 – 60
0,30	0,3	No. 50	0,0117	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50	5 – 30
0,15	0,15	No. 100	0,0059	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15	0 – 10

Sumber : SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33

D. Pasir

Agregat halus ialah agregat yang semua butir menembus ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu :

1. Pasir galian

Diperoleh langsung dari permukaan tanpa atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara dicuci.

2. Pasir Sungai

Diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan, daya lekat antar butir agak kurang, karena butirannya bulat. Karena butirannya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok.

3. Pasir Laut

Diambil dari pantai, butiran-butirannya halus dan bulat. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman yang menyerap kandungan air dan udara. Hal ini menyebabkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

2.2.8 Bahan Tambah

Bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubukan atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

2.2.8.1 Kaca

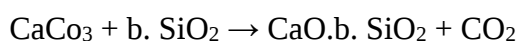
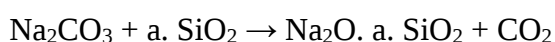
Kaca adalah material padat yang bening dan transparan (tembus pandang), biasanya rapuh. Jenis yang paling banyak digunakan selama berabad-abad adalah jendela dan gelas minum. Kaca dibuat dari 75% silikon dioksida (SiO_2), plus Na_2O , CaO dan beberapa zat tambahan. Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silica (SiO_2) dan proses pembentukannya. (Purnomo & Hisyam, 2014)

Limbah kaca biasanya dipisahkan berdasarkan penggunaan akhirnya, dan berdasarkan penggunaan akhirnya itu kaca dipisahkan berdasarkan warna kaca. Secara garis besar kaca dipisahkan menjadi dua warna:

1. Bening / tidak berwarna, biasanya digunakan sebagai botol minuman ringan.
2. Hijau, biasanya digunakan sebagai botol bir dan wine.

Limbah kaca dapat digunakan sebagai agregat pada campuran beton, hal ini memiliki banyak keunggulan karena dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah kaca.

Reaksi yang terjadi dalam pembuatan kaca secara ringkas pada persamaan berikut :



Adapun karakteristik serbuk kaca dalam pembuatan beton adalah :

1. Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*
2. Kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia
3. Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air.
4. Serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau filler, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat.

Tabel 2. 4 Kandungan Kaca

Jenis Kaca	<i>Clear Glass</i>	<i>Amber glass</i>	<i>Green glass</i>	<i>Pyrex glass</i>	<i>Fused silica</i>
SiO ₂	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al ₂ O ₃	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na ₂ O + K ₂ O	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
CaO + MgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-
SO ₃	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe ₂ O ₃	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr ₂ O ₃	-	0,01	0,43	12,0 – 13,0	-

Sumber : Setiawan 2006

Tabel 2. 5 Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61,72%
Al ₂ O ₃	3,45%
Fe ₂ O ₃	0,18%
CaO	2,59%

Sumber : Hanafiah, 2011

Dalam penelitian ini kaca menjadi substitusi agregat halus karena telah memenuhi syarat sebagai agregat halus menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras

2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan menentukan besarnya mutu beton. Agregat untuk beton adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70 % volume beton sehingga dapat pengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk besar butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (Standar Nasional Indonesia, 2000). Agregat kasar ialah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4,75 mm.

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
2. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %, apabila

kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.

4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang didapat dari pelapukan batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari pemecahan batu yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar.

Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.
4. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
5. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Menurut (Tjokrodinulyo, 2007), beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan agregat untuk pekerjaan campuran beton, antara lain:

1. Bentuk agregat

Bentuk agregat dipengaruhi dua sifat, yaitu kebulatan dan sferikal. Kebulatan atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Sedangkan sferikal adalah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir. Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi : agregat bulat, bulat sebagian, bersudut, panjang dan pipih.

2. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada dasarnya tekstur permukaan

dapat dibedakan menjadi : sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkristal, berpori, dan berlubang-lubang. Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang menyebabkan kehalusan permukaan agregat.

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat dan massa air dengan volume yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah yaitu, berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

4. Berat satuan dan kepadatan

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m^3 . Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya ialah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbuka.

5. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum butiran agregat biasanya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, 40 mm.

6. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi dari butiran agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi maka akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi.

7. Kadar Air Agregat

Kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu benar-bener tidak berair atau dapat secara penuh menyerap air,
- b. Kering udara, yaitu butir-butir agregat kering permukaanya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya,

- c. Jenuh kering muka, yaitu tidak air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton,
 - d. Basah yaitu butir-butir mengandung banyak air di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah air. Keadaan jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry, SSD*) lebih dipakai sebagai standar, karena merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak mengurangi dan menambah air dalam pastanya, dan kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD dari pada kering tungku.
8. Kekuatan dan Keuletan Agregat
- Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat disebabkan dua hal yaitu karena terdiri bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat kuat.

2.3.2 Semen Portland

Semen portland adalah bahan hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982), gips disini berfungsi sebagai penghambat pengikatan antara semen dan air.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat yang akan mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Persentase kandungan semen dalam beton yaitu 10 % dari berat campuran beton, walaupun hanya 10 % tapi semen sangat penting karena semen berfungsi untuk mengikat agregat halus dan agregat kasar pada beton.

Reaksi kimia antara semen Portland dengan air menghasilkan senyawa kimia yang disertai pelepasan panas. Pelepasan panas ini akan berpengaruh pada kondisi beton yaitu terhadap penyusutan ketika beton mengeras dan kecenderungan retak pada beton. Reaksi kimia semen dengan air dibedakan menjadi dua, yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Periode pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis ke keadaan pengerasan, sedangkan periode pengerasan merupakan

periode penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai.

Reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air yang ditimbulkan akibat pencampuran menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Menurut (Murdock, 1986), ada 4 (empat) oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu:

1. Trikalsium silikat (C3S) atau $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$

Senyawa ini bila terkena air akan langsung terhidrasi (proses reaksi semen dengan air), dan menghasilkan panas. Panas akan berpengaruh pada kecepatan pengerasan semen sebelum hari ke-14.

2. Dikalsium silikat (C2S) atau $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$

Senyawa ini bila bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan juga mengurangi besar susutan pengeringan.

3. Trikalsium aluminat (C3A) atau $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$

Senyawa ini memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. Dalam semen kandungan senyawa ini tidak boleh lebih dari 10 % karena dapat menyebabkan semen lemah terhadap serangan sulfat.

4. Tetrakalsium aluminofert (C4AF) atau $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$

Senyawa ini kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen. Kandungan besi yang sedikit dalam semen putih akan memberikan kandungan C_4AF yang sedikit dalam semen, sehingga kualitas semen akan bertambah dari segi kekuatannya.

2.3.3 Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen, dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30 % dari berat semen (Tjokodimuljo, 2007). Air adalah campuran beton yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang tidak merata.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat standar yang telah ditentukan. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syaratnya adalah :

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gr/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 0,5 gr/liter.

2.4 Pengujian Material

Pengujian bahan dilakukan untuk mendapatkan *mix design*. Pengujian bahan bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam bahan tersebut sesuai dengan peraturan. Pemeriksaan karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian bahan penyusun beton :

2.4.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar.

Cara pelaksanaan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut :

2. Peralatan
 - a. Timbangan dan neraca
 - b. Satu set saringan : 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (3/8"); No 4 (4,75 mm); No 8 (2,36 mm); No 16 (1,18 mm); No 30 (0,600 mm); No 50 (0,300 mm); No 100 (0,150 mm); No 200 (0,075 mm).
 - c. Oven

- d. Alat pemisah contoh
 - e. Mesin mengguncang saringan
 - f. Talam-talam
 - g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya
3. Benda uji
- a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
- a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
 - b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Perhitungan
- Hitunglah persentase benda berat uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

2.4.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C . Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C . Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C . Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut :

a. Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

1. Peralatan yang digunakan diantaranya : (1) Keranjang kawat; (2) Tempat air; (3) Timbangan; (4) Oven; (5) Alat pemisah contoh; (6) Saringan no 4 (4,75 mm)
2. Benda uji Agregat yang tertahan saringan no 4 (4,75 mm)
3. Prosedur pengujian :
 - (a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
 - (b) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
 - (c) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang (B_k).
 - (d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
 - (e) Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
 - (f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j).
 - (g) Letakkan benda uji didalam keranjang goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (B_a).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (2.3)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (2.4)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan :

- Bk = Berat jenis uji kering oven (gram)
 Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
 Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

- b. Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
1. Peralatan yang digunakan diantaranya : (1) Timbangan; (2) Piknometer; (3) Kerucut terpancung; (4) Batang penumbuk; (5) Saringan no 4 (4,75 mm); (6) Oven; (7) Pengukur suhu; (8) Talam; (9) Bejana tempat air; (10) Pompa hampa udara; (11) Desikator
 2. Benda uji : Agregat yang lewat saringan no 4 (4,75 mm)
 3. Prosedur pengujian
 - (a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
 - (b) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
 - (c) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
 - (d) Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
 - (e) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar $25 ^\circ\text{C}$.
 - (f) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
 - (g) Timbang piknometer berisi air dan benda uji
 - (h) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110$

± 5 °C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.

- (i) Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (B_k).
- (j) Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu 25 °C (B).

(k) Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.6)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.7)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (2.8)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan :

- B_k = Berat benda uji kering oven (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram)
- B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- 500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.4.3 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menemukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Cara pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan : (1) Timbangan; (2) Oven; (3) Talam.
2. Benda uji : (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar.
3. Prosedur pengujian
 - a. Timbang dan catatlah berat talam (W_1).

- b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2).
 - c. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)
 - d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu 110 ± 5 oC sampai beratnya tetap.
 - e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4)
 - f. Hitunglah berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$)
4. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan :

W_3 = Berat benda uji semula (gram)

W_5 = Berat benda uji kering (gram)

2.4.4 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu beton semen hidrolik atau adukan. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Cara pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan : (1) Timbangan; (2) Batang penusuk; (3) Alat penakar berbentuk silinder; (4) Sekop atau sendok
2. Benda uji : (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
 - a. Kondisi padat
 - 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
 - 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk.
 - 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25 x tusukan.
 - 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.

- 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
- 7) Catat beratnya
- 8) Hitung berat isi agregat dengan rumus :

$$M = \frac{(G - T)}{V} \text{ atau } M = (G - T) \times F$$
- 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus :

$$\text{MSSD} = \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\}$$

b. Kondisi gembur

- 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- 2) Ratakan permukaan dengan batang perata.
- 3) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar sendiri.
- 4) Catat beratnya.
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkahdi atas.

4. Perhitungan

a. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G-T)}{V} \text{ atau} \quad (2. 11)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2. 12)$$

Keterangan :

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m³)

G = Berat agregat dan penakar (kg)

T = Berat penakar (kg)

V = Volume penakar (m³)

F = Faktor penakar (m³)

b. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$\text{MSSD} = M \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2. 13)$$

Keterangan :

MSSD = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m³)

M = Berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m³)

A = Absorpsi (%)

2.4.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

Cara pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Peralatan : (1) Gelas ukur; (2) Alat pengaduk
2. Benda uji : Sampel pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air
3. Prosedur pengujian
 - a. Sampel benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
 - b. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
 - c. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
 - d. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
 - e. Tinggi pasir (V1) dan tinggi lumpur (V2) diukur.

4. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V2}{(V1 + V2)} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan :

V1 = Tinggi pasir (mm)

V2 = Tinggi lumpur (mm)

2.4.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Mesin abrasi Los Angeles merupakan alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu.

Tujuan analisis pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

Cara pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

a. Mesin abrasi Los Angeles

Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28") panjang dalam 508 mm (20"), silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu, di bagian dalam silinder terdapat bilah naja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5").

b. Saringan No 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.

c. Timbangan

d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32") dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram

e. Oven

f. Alat bantu pan dan kuas

2. Benda uji

a. Agregat kasar

3. Prosedur pengujian

a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut :

- 1) Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
- 2) Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
- 3) Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
- 4) Cara D : Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
- 5) Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- 6) Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
- 7) Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm.

Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

- b. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles.
- c. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran gradasi A, B, C dan D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, F dan G adalah 1000 putaran.
- d. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No 12 (1,70 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- e. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20.

4. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{(a - b)}{a} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan :

- a = Berat benda uji semula (gram)
- b = Berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm) (gram)

2.5 Desain Campuran Beton SNI 7656 : 2012

Pada penelitian ini digunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI-7656-2012. Salah satu tujuan penelitian digunakan perencanaan campuran beton dengan standar SNI-7656-2012 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Tingkat derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat saat pengujian slump. Perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-7656-2012 adalah sebagai berikut.

2.5.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Disyaratkan

Kuat tekan beton yang disyaratkan sesuai dengan persyaratan perencanaan dan kondisi setempat pada umur 28 hari, yaitu kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5%. Berikut ini merupakan mutu beton dan penggunaannya :

Tabel 2. 6 Mutu Beton Dan Penggunaannya

Jenis Beton	f'_c (MPa)	Uraian
Mutu Tinggi	$F'_c > 45$	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu Sedang	$20 < F'_c < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	$15 < f'_c < 20$	Umumnya digunakan untuk bangunan beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	$F'_c < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembalidengan beton

Sumber : SNI 7656-2012

2.5.2 Deviasi Standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlah nya sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian. Jika tidak ada data yang mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan atau kekuatan tekan perlu diambil dari 2. 7.

Tabel 2. 7 Kekuatan Tekan Rata-Rata Perlu Jika Data Tidak Tersedia Untuk Menetapkan Deviasi Standar Benda Uji

Kuat Tekan yang Disyaratkan, f'_c (MPa)	Kuat tekan rata-rata perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 < f'_c < 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,10 f'_c + 5,0$

Sumber : SNI 7656-2012

2.5.3 Nilai Tambah (Margin)

Nilai Margin dihitung berdasarkan nilai deviasi standar (sd) dengan rumus berikut :

$$M = 1,64 \times Sd \quad (2.16)$$

Keterangan :

M = Nilai tambah/margin (Mpa)

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

Sd = Deviasi standar rencana (Mpa)

2.5.4 Kuat Tekan Rata-Rata

Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan di hitung dengan rumus berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.17)$$

Keterangan :

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata (Mpa)

f'_c = Kuat tekan yang disyaratkan (Mpa)

M = Nilai tambah (Mpa)

2.5.5 Nilai Slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan dan jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (triller) dapat dilakukan dengan nilai slump yang agak kecil. Nilai slump yang diinginkan dapat diperoleh dari tabel di bawah ini :

Tabel 2. 8 Penetapan Nilai Slump

Pemakaian Beton	Slump (mm)	
	Maks	Min
Pondasi beton bertulang (dinding pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan plat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI 7656-2012

2.5.6 Ukuran Agregat Kasar Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan yaitu maks 20 mm. Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut :

1. $1/5$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
2. $1/3$ ketebalan pelat lantai, ataupun
3. $3/4$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan, kawat-kawat, bundel tulangan, tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

2.5.7 Kadar Air dan Kadar Udara

Untuk perkiraan kadar air pecampur dan kadar udara untuk berbagai nilai slump dan ukuran agregat maksimum batu pecah dengan beton tanpa tambahan udara seperti pada Tabel 2.9 (SNI 7656:2012).

Tabel 2. 9 Perkiraan Kadar Air Dan Kadar Udara

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber : SNI 7656:2012

2.5.8 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang diperlukantidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada Tabel 2.10

Tabel 2. 10 Hubungan Rasio Air Semen Dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari (Mpa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber : SNI 7656-2012

2.5.9 Kadar Semen

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air dengan rasio air semen.

2.5.10 Kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat kasar per satuan volume beton seperti pada Tabel 2.11 dengan hubungan ukuran agregat maksimum dan modulus halus butir agregat halus.

Tabel 2. 11 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum agregat(mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,79	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : SNI 7656-2012

2.5.11 Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat beton segar atau metode berdasarkan volume absolut.

Tabel 2. 12 Perkiraan Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m ³)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2200
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber : SNI 7656-2012

1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton seperti pada Tabel 2.9 (SNI 7656:2012) berdasarkan dari ukuran nominal maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan bahan yang telah diketahui seperti air, semen, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

2.5.12 Koreksi Campuran

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Umumnya berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang berada di dalam ataupun dipermukaan agregat. Besarnya jumlah air tersebut yang harus

ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu terserap oleh agregat

$$\text{Semen} = A \quad (2.18)$$

$$\text{Air} = B - \left[(Da - Ca) \frac{C}{100} \right] - \left[(Dk - Ck) \frac{D}{100} \right] \quad (2.19)$$

$$\text{Agregat Halus} = C + \left[(Da) \frac{C}{100} \right] \quad (2.20)$$

$$\text{Agregat Kasar} = D + \left[(Dk) \frac{D}{100} \right] \quad (2.21)$$

Keterangan :

- A = berat semen (kg/m³)
- B = berat air (kg/m³)
- C = berat beton (kg/m³), kering
- D = berat agregat kasar (kg/m³), kering
- Da = kadar air agregat halus (%)
- Dk = kadar air agregat kasar (%)
- Ca = resapan agregat halus (%)
- Ck = resapan agregat kasar (%)

2.5.13 Data Perencanaan Campuran Beton

Informasi yang diperlukan mengenai data dari bahan-bahan yang akan digunakan untuk penentuan proporsi campuran adalah sebagai berikut:

- a. Analisa ayak (gradasi) agregat halus dan agregat kasar;
- b. Bobot isi agregat;
- c. Berat jenis, penyerapan air, dan kadar air agregat;
- d. Air pencampur yang dibutuhkan beton berdasarkan pengalaman dengan menggunakan agregat yang ada;
- e. Hubungan antara kekuatan dan rasio air-semen atau rasio air terhadap semen+bahan bersifat semen lainnya.
- f. Berat jenis semen atau bahan bersifat semen lainnya bila digunakan.

Prosedur Penentuan Proporsi Campuran :

Prosedur pemilihan proporsi campuran yang dijelaskan dalam pasal ini mencakup untuk beton normal, beton massa dan beton berat, dengan didukung oleh data-data bahan dasar yang akan digunakan.

Spesifikasi/persyaratan beton yang akan diproduksi dapat didasarkan Sebagian atau seluruh dari ketentuan berikut ini :

- a. Rasio air-semen maksimum atau rasio air-bahan bersifat semen;
- b. Kadar semen minimum;
- c. Kadar udara;
- d. Slump;
- e. Ukuran besar butir agregat maksimum;
- f. Kekuatan tekan yang ditargetkan;
- g. Persyaratan lain yang berkaitan dengan kekuatan yang berlebihan, bahan tambahan, semen tipe khusus, bahan bersifat semen lainnya, atau agregat.

Langkah Awal Penentuan Pemilihan Campuran Beton Normal

1. Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Disyaratkan
2. Pemilihan Slump

Bila slump tidak disyaratkan, gunakan Tabel 3.1 Rentang nilai slump tersebut berlaku bila beton dipadatkan dengan digetar.

Tabel 2. 13 Nilai Slump Yang Dianjurkan Untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum [†]	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI-7656-2012

3. Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Ukuran normal agregat kasar maksimum dengan gradasi yang baik memiliki rongga udara yang lebih sedikit dibandingkan dengan agregat berukuran lebih kecil. Dengan demikian, beton dengan agregat berukuran lebih besar membutuhkan lebih sedikit adukan mortar per satuan isi beton.

Secara umum ukuran nominal agregat maksimum harus yang terbesar yang dapat diperoleh secara ekonomi dan tetap menurut dimensi komponen struktur/konstruksinya. Ukuran nominal agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- a. $1/5$ dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/bekisting,
- b. $1/3$ tebalnya pelat lantai,
- c. $3/4$ jarak minimum antar masing-masing batang tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan pra-tegang (*pretensioning strands*).

Bila diinginkan beton berkekuatan tinggi, maka hasil terbaik dapat diperoleh dengan ukuran nominal agregat maksimum yang lebih kecil karena hal ini akan memberikan kekuatan lebih tinggi pada rasio air-semen yang diberikan.

4. Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Banyaknya air untuk tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan slump tertentu tergantung pada:

- a. Ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat;
- b. Temperature beton;
- c. Perkiraan kadar udara, dan;
- d. Penggunaan bahan tambahan kimia.

Slump tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian yang normal, penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target slump yang diinginkan lihat Tabel 3.4.

Perbedaan dalam kebutuhan air tidak selalu ditunjukkan dalam kekuatan mengingat adanya faktor-faktor penyimpangan lainnya yang juga terlibat. Agregat kasar yang bundar dan bersudut, keduanya bermutu baik dan memiliki gradasi yang

sama, dapat diharapkan menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang kira-kira sama untuk jumlah semen yang sama, sekalipun ada perbedaan dalam rasio air-semen atau rasio air-(semen+pozolanik) yang dihasilkan dari kebutuhan air pencampur yang berbeda.

Bentuk partikel agregat tidak selalu merupakan indikator, baik lebih tinggi atau lebih rendah dari kekuatan rencana.

Tabel 2. 14 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur Dan Kadar Udara Untuk Berbagai Slump Dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

Air (kg/m³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm*	12,7 mm*	19 mm*	25 mm*	37,5 mm*	50 mm [†] *	75 mm ^{††}	150 mm ^{††}
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton dengan tambahan udara								
20-25	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
>175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut: ringan (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5 ^{**†} ↑	1,0 ^{**††}
Sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5 ^{**†} ↑	3,0 ^{**††}
Berat (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5 ^{**†} ↑	4,0 ^{**††}

Sumber : SNI-7656-2012

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan perkiraan kebutuhan air, diantaranya adalah

- Bahan tambahan kimia
- Tingkat paparan ringan
- Tingkat paparan sedang
- Tingkat pemaparat berat

5. Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen

Rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Oleh karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang sama, sangat dibutuhkan adanya hubungan antara kekuatan dengan w/c atau $w/(c+p)$ dari bahan-bahan yang sebenarnya akan dipakai. Bila data ini tidak ada, maka perkiraan dan nilai lama dari beton yang menggunakan semen Portland tipe I, diberikan dalam Tabel 3.5. Dengan bahan-bahan tertentu, nilai w/c atau $w/(c+p)$ akan memberikan kekuatan seperti dalam Tabel, berdasarkan hasil pengujian benda uji umur 28 hari yang dipelihara dalam kondisi baku di laboratorium.

Tabel 2. 15 Hubungan Antara Rasio Air-semen (w/c) Atau Rasio Air-bahan Bersifat Semen $\{w/(c+p)\}$ dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari, MPa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber : SNI-7656-2012

Untuk tingkat paparan yang sangat buruk, w/c atau $w/(c+p)$ harus dipertahankan tetap rendah sekalipun persyaratan kekuatan mungkin dicapai dengan nilai lebih tinggi. Tabel 3.6 memberikan Batasan nilai-nilainya.

Tabel 2. 16 Maksimum Rasio w/c Atau Rasio $w/(c+p)$ Yang Diijinkan Untuk Beton Tingkat Paparan Berat (Severe Exposures)*

Tipe struktur	Struktur selalu/seringkali basah dan terpapar pembekuan serta pencairan	Struktur yang dipengaruhi air laut atau sulfat
Bagian tipis (pegangan tangga, gili-gili, sills, talang, ornamental work) dan bagian selimut beton kurang dari 25 mm.	0,45	
Struktur lain	0,50	0,40 0,45

Sumber : SNI-7656-2012

Bila beton menggunakan bahan-bahan bersifat pozzolan (*pozzolanic materials*), seperti pozzolan alam, abu terbang, serbuk tanur tinggi (GGBF), serbuk silika, maka rasio air-semen ditambah bahan pengikat lainnya (dalam berat) harus digunakan sebagai pengganti rasio air-semen (dalam berat) tradisional. Ada 2 (dua) pendekatan yang biasanya dipakai untuk menentukan rasio $w/(c+p)$ yang dianggap ekuivalen dengan rasio air-semen w/c

- a. Berat ekuivalen dari bahan-bahan bersifat pozzolan, atau
- b. Isi atau volume absolut dari bahan-bahan pozzolanik dalam campuran.

Untuk pendekatan pertama, kesamaan berat, berat total dari bahan-bahan pozzolanik tetap sama, (artinya, $w/(c+p) = w/c$); tetapi volume absolut total dari semen ditambah bahan pozzolanik biasanya sedikit lebih besar.

Pendekatan kedua, dengan menggunakan persamaan 2, rasio $w/(c+p)$ dalam berat dihitung dengan memakai hubungan volume absolut yang sama, namun akan mengurangi berat total bahan pozzolanik, karena berat jenis dari bahan-bahan pozzolanik umumnya lebih kecil dari berat jenis semen.

Persamaan untuk mengubah target rasio air-semen (w/c) ke dalam rasio air-semen plus bahan pozzolanik $w/(c+p)$ dengan (1) ekuivalensi berat atau (2) ekuivalensi volume, yaitu sebagai berikut :

Ekuivalensi berat

$$\frac{w}{c+p} \text{ ratio berat, Ekuivalensi berat} = \frac{w}{c} \quad (2.22)$$

Dengan pengertian :

$$\frac{w}{c+p} = \text{berat air dibagi berat semen} + \text{bahan pozzolanik}$$

$$\frac{w}{c} = \text{target rasio air-semen dalam berat}$$

Apabila dipakai pendekatan ekuivalensi berat, maka presentasi atau fraksi dari bahan pozzolanik yang dipakai dalam bahan-bahan bersifat semen dinyatakan dalam berat. Dengan demikian F_w presentase bahan pozzolanik dalam berat dari berat total semen ditambah bahan pozzolanik, dinyatakan dalam faktor decimal adalah :

$$F_w = \frac{p}{c+p} \quad (2.23)$$

Keterangan :

F_w adalah presentase bahan pozolanik dalam berat yang dinyatakan dalam faktor decimal

p adalah berat bahan pozolanik

c adalah berat semen

jika yang diketahui adalah faktor persentase bahan pozolanik dengan volume F_v , maka persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$F_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,15}{G_p}\right)\left(\frac{1}{F_v} - 1\right)} \quad (2.24)$$

Keterangan :

F_v adalah persentase bahan pozolanik dalam volume absolut dari seluruh volume absolut campuran semen ditambah bahan pozolanik yang dinyatakan dalam faktor desimal

G_p adalah berat jenis bahan pozolanik

3,15 adalah berat jenis semen (gunakan nilai sebenarnya, bila ternyata berbeda)

6. Perhitungan kadar semen

Kebutuhan semen adalah sama dengan perkiraan kadar air pencampur dibagi rasio air-semen. Namun demikian, bila persyaratannya memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak.

Penggunaan bahan pozolanik atau bahan tambahan kimia akan mempengaruhi sifat-sifat dari beton baik beton segar maupun beton yang telah mengeras.

7. Perkiraan kadar agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton.

Untuk beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang lebih baik bila pengecoran dilakukan memakai pompa, atau bila beton harus ditempatkan ke dalam cetakan dengan rapatnya tulangan baja, dapat mengurangi kadar agregat kasar sebesar 10% dari nilai yang ada dalam Tabel 3.7.

Tabel 2. 17 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan [†] dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : SNI-7656-2012

Volume ini dipilih dari hubungan empiris untuk menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan untuk pekerjaan konstruksi secara umum. Untuk beton yang lebih kental (keleccakan rendah), seperti untuk konstruksi lapis lantai (*pavement*), nilainya dapat ditambah sekitar 10%.

8. Perkiraan kadar agregat halus

Seluruh komponen bahan dari beton sudah dapat diperkirakan, kecuali agregat halus. Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat atau metode berdasarkan volume absolut.

Bila berat per satuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Umumnya, berat satuan dari beton telah diketahui dengan ketelitian cukup dari pengalaman sebelumnya yang memakai bahan-bahan yang sama.

Dalam hal informasi semacam ini tidak diperoleh, Tabel 3.8 dapat digunakan untuk perkiraan awal. Sekalipun bila perkiraan berat beton per m³ tadi adalah perkiraan cukup kasar, proporsi campuran akan cukup tepat untuk

memungkinkan penyesuaian secara mudah berdasarkan campuran percobaan seperti yang akan ditunjukkan dalam contoh-contoh.

Tabel 2. 18 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³ *	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber : SNI-7656-2012

Bila diinginkan perhitungan berat beton per m³, secara teoritis rumus berikut ini dapat digunakan

$$U = 10G_a(100 - A) + c(1 - G_a/G_c) - w(G_a - 1) \quad (2. 25)$$

Keterangan :

U adalah berat beton segar, kg/m³

G_a adalah berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan kasar, kering permukaan jenuh (SSD adalah *saturated surface dry*)

G_c adalah berat jenis semen (umumnya = 3,15)

A adalah kadar udara (%)

W adalah syarat banyaknya air pencampur, kg/m³

c adalah syarat banyaknya semen, kg/m³

Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang diketahui, yaitu air, udara, bahan yang bersifat semen, dan agregat kasar. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

9. Penyesuaian terhadap kelembaban agregat

Jumlah agregat yang harus ditimbang untuk beton harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap dalam agregat. Umumnya, agregat ada dalam keadaan lembab, sehingga berat keringnya harus ditambah sebanyak presentase air yang dikandungnya baik yang terserap maupun yang ada dipermukaan. Banyaknya air pencampuran yang harus ditambahkan ke dalam campuran haruslah dikurangi sebanyak air bebas yang didapat dari agregat, yaitu jumlah air dikurangi air terserap.

2.5.14 Pembuatan Serbuk Kaca

Pembuatan serbuk kaca dengan Los Angeles penelitian ini, untuk mendapatkan serbuk kaca yang ukuran butirannya halus dan lolos ayakan No. 30 dan tertahan No. 50, dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Adapun alat dan bahan serta Langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut:

1. Alat dan Bahan: (1) Mesin Los Angeles; (2) Peluru pengaus; (3) Ayakan No. 30; (4) Pecahan kaca.
2. Prosedur pengerjaan:
 - a. Bersihkan pecahan-pecahan kaca dari sisa-sisa kotoran
 - b. Masukkan bola-bola baja dan pecahan-pecahan kaca yang telah dibersihkan tadi ke dalam mesin Los Angeles
 - c. Tutup dan kunci mesin Los Angeles
 - d. Putar mesin $\pm$ 45 menit

2.6 Uji Slump

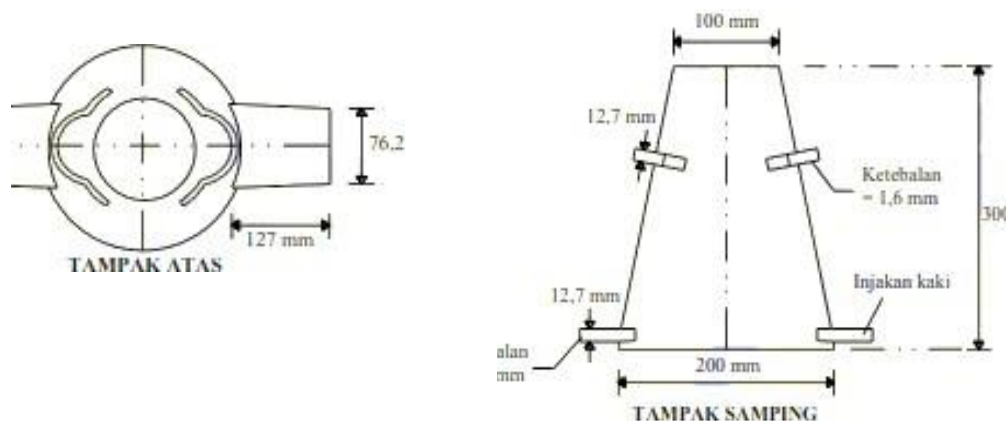
Uji *slump* merupakan suatu uji empiris atau metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau kekakuan dari campuran beton segar (*freshconcrete*). Uji *slump* dapat menunjukkan kekurangan, kelebihan, atau kecukupan air yang digunakan dalam pembuatan beton tersebut.

Nilai *slump* ditentukan oleh besarnya penurunan adukan beton dalam *slump* setelah alat *slump* diangkat. Nilai *slump* yang dihasilkan jika lebih besar dari nilai *slump* rencana maka adukan encer dan nilai workability akan semakin tinggi, dan sebaliknya jika nilai *slump* lebih kecil dari nilai *slump* rencana maka adukan kental dan nilai workability akan semakin rendah.

Slump adalah salah satu ukuran kekentalan adukan beton yang dinyatakan dalam mm dan ditentukan dengan alat kerucut abrams (SNI 03-1972-1990) tentang Metode Pengujian *Slump* Beton Semen Portland. Kelecakan (*workability*) adalah sifat-sifat fisik adukan beton yang menentukan sejumlah usaha pekerjaan mekanikal (*mechanical works*), atau sejumlah energi tertentu yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton yang padat dan monolit tanpa segregasi.

Uji *slump* ini mengacu pada SNI 1972-2008. Beton dengan nilai *slump* kurang dari 15 mm mungkin tidak cukup plastis dan beton yang nilai *slump* lebih dari 230 mm mungkin tidak cukup kohesif untuk pengujian ini.

Pengujian *slump* menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya, yang disebut kerucut *abrams* berukuran bagian bawah berdiameter 20 cm, bagian atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm.



Gambar 2. 1 Sketsa Kerucut *Abrams*

Sumber : SNI 1972-2008

2.7 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Menurut SNI-7656-2012, langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan dan perawatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Bahan dan alat-alat yang akan digunakan untuk pembuatan beton (benda uji) telah disiapkan terlebih dahulu.
2. Dilakukan pemeriksaan laboratorium terhadap material yang akan digunakan agar mutu beton yang direncanakan mencapai kekuatan maksimal sesuai dengan perhitungan, yaitu pemeriksaan agregat yang meliputi kadar lumpur, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan berat isi agregat, Analisa saringan dan kadar air.

3. Merencanakan campuran beton (mix design).
4. Menimbang bahan yang dibutuhkan sesuai dengan yang telah ditentukan dalam perencanaan.
5. Pengadukan bahan didahului dengan memasukkan pasir dan semen portland kemudian diaduk, bahan tambah serbuk kaca dengan variasi 6%, 8%, dan 10% secara bergantian sampai semua bahan habis, masukkan kerikil, dan air.
6. Kemudian menambahkan Bondcrete ke adukan beton.
7. Setelah adukan homogen, tuang adukan ke alas campuran beton.
8. Diukur nilai slump dari adukan tersebut, jika belum sesuai dengan nilai slump yang direncanakan masukkan kembali ke dalam bak pengadukan untuk dilakukan penyesuaian dengan penambahan air.
9. Setelah slump yang didapat sesuai dengan rencana, kemudian adukan beton dimasukkan kedalam cetakan silinder. Pengisian adukan dilakukan tiga tahap, masing-masing $\frac{1}{3}$ dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja (dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 60 cm yang ujungnya dibulatkan) sebanyak 25 kali.
10. Setelah padat dan cetakan penuh, kemudian permukaannya diratakan.
11. Setelah itu simpan cetakan ditempat yang sejuk, diletakan ditempat yang rata dan bebas dari getaran dan gangguan lain dan dibiarkan 24 jam. Setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari cetakan. Diukur tinggi, diameter dan beratnya serta beri tanda seperlunya. Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji di dalam kolam perendaman selama 28 hari.
12. Pengujian dilakukan dengan mesin kuat tarik belah beton sesuai dengan umur yang telah ditentukan.

2.8 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019).

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton

tersebut. Sifat yang lainnya, misalnya kuat tarik dan modulus elastisitas beton dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut (SNI 2847-2013), kuat tekan beton diberi notasi dengan f'_c , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. Mutu beton dengan f'_c kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton nonstruktur misalnya kolom praktis dan silinder praktis.
2. Mutu beton dengan f'_c antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktur misalnya kolom, balok, pelat, maupun pondasi.
3. Mutu beton dengan f'_c lebih dari 20 MPa, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton (diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm ataupun diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm) ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P , maka terjadi tegangan tekan pada beton (f'_c) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2. 26)$$

Keterangan :

- f'_c = Tegangan tekan beton (MPa)
 P = Besar beban tekan (N)
 A = Luas penampang beton, (mm²)

Beban P tersebut juga mengakibatkan bentuk fisik silinder beton berubah menjadi lebih pendek, sehingga timbul regangan tekan pada beton ($\epsilon c'$) sebesar perpendekan beton (ΔL) dibagi dengan tinggi awal silinder beton (L_0), ditulis dengan rumus :

$$\epsilon c' = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2. 27)$$

Keterangan :

- $\epsilon c'$ = Regangan tekan beton
 ΔL = Perpendekan beton (mm)

L_0 = Tinggi silinder beton (mm)

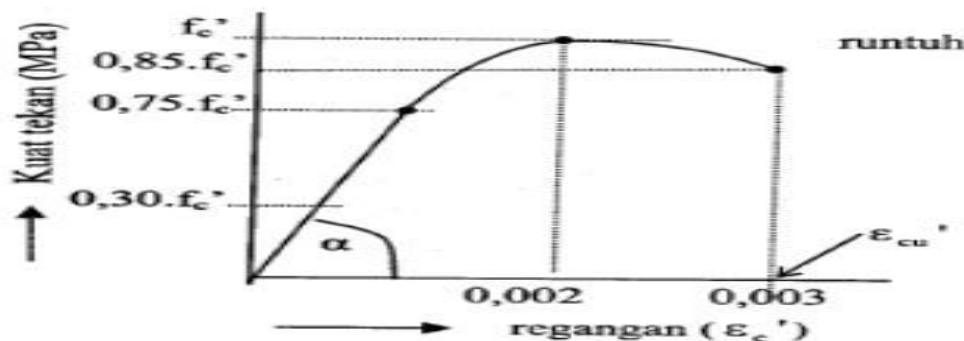
Jika perbandingan panjang (L) terhadap diameter (D) benda uji kurang dari 1,8, koreksi hasil yang diperoleh dengan mengalikan dengan faktor koreksi yang sesuai seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 19 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D) Benda Uji

L/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Faktor	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Sumber : SNI 1974:2011

Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton digambarkan seperti berikut :



Gambar 2. 2 Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan Tekan Beton

Sumber : SNI 7656-2012

1. Pada saat beban tekan mencapai $0,3.f_c'$ $0,4.f_c'$, perilaku tegangan regangan beton pada dasarnya masih linear. Retak – retak lekatan (bond crack) yang sebelum pembebanan sudah terbentuk, akan tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih dibawah $0,3.f_c'$ (f_c' merupakan kekuatan batas tekan beton).
2. Pada saat beban tekan melebihi $0,3.f_c'$ $0,4.f_c'$, retak – retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai terjadi deviasi pada hubungan tegangan – regangan dari kondisi linear.
3. Pada saat beban tekan mencapai $0,75.f_c' \sim 0,90.f_c'$, retak – retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan – regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.

Gambar 2.3 juga menunjukkan bahwa pada saat beton akan runtuh (kuat tekan beton telah mencapai puncak f_c'), maka tegangan beton turun (menjadi $0,85.f_c'$)

sedangkan regangan tekan tetap naik sampai mencapai batas retak (ϵ_{cu}' sebesar 0,003). Kedua angka ini (tegangan 0,85. f_c' dan regangan batas $\epsilon_{cu}' = 0,003$) sangat penting bagi perencanaan struktur beton bertulang.

2.8.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodinuljo (2007), faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton antara lain adalah faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat.

1. Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air yang digunakan dengan berat semen. Hubungan antara faktor air semen (FAS) dengan kuat beton secara umum dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{A}{B^x} \quad (2.28)$$

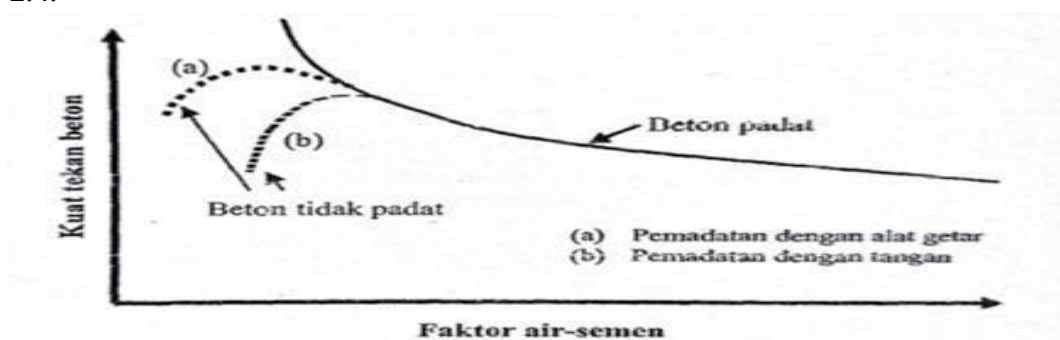
Keterangan :

f'_c = Kuat tekan beton

X = Perbandingan volume antara air dan semen (faktor air semen)

A – B = Konstanta

Dari rumus diatas tampak bahwa semakin rendah nilai FAS semakin tinggi nilai kuat tekan betonnya, namun pada kenyataanya pada suatu nilai FAS tertentu semakin rendah nilai FAS kuat betonnya semakin rendah pula, dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 3 Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Semen

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

Dari gambar diatas, jika nilai FAS terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada nilai suatu FAS tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan maksimum.

2. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton itu. Kecepatan bertambahnya kuat tekan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : FAS dan suhu perawatan. Semakin tinggi nilai FAS semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan tekan betonnya. (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, disebutkan perbandingan kekuatan tekan (desak) beton pada berbagai umur beton seperti disajikan pada tabel 2.10 dibawah ini.

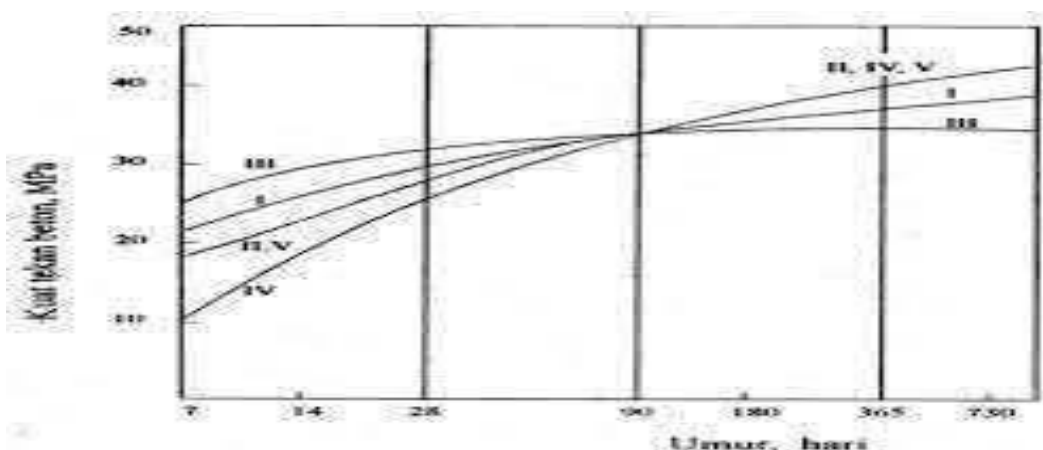
Tabel 2. 20 Perbandingan Kekuatan Beton Berbagai Umur

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	90	385
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,120

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

3. Jenis Semen

Menurut SIII 0031-81 semen portland dibagi menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. jenis-jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda, sebagai mana tampak pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2. 4 Kuat Tekan Beton Untuk Berbagai Jenis Semen

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

4. Jumlah Semen

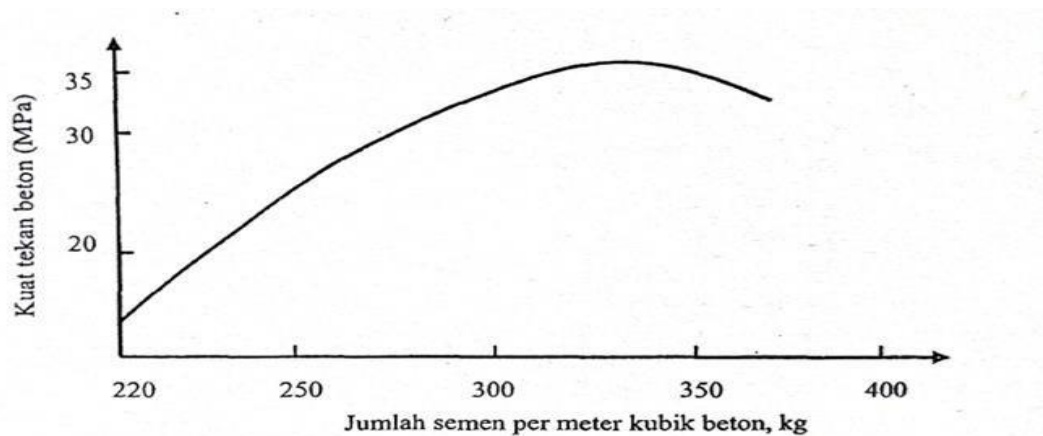
Menurut Tjokrodimuljo, (2007) jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika nilai FAS sama (nilai slump berubah), betondengan

jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi.

Jumlah semen yang terlalu sedikit, berarti jumlah air sedikit akan mengakibatkan sulitnya pemadatan adukan beton, sehingga kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah.

Jika nilai slump sama nilai FAS berubah, beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi, hal ini karena pada nilai slump sama jumlah air hampir sama, sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai FAS yang berakibat penambahan kuat tekan beton.

Hubungan antara jumlah semen dan kuat tekan beton untuk setiap nilai FAS seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 5 Hubungan Antara Jumlah Semen Dan Kuat Tekan Beton Untuk Setiap Nilai FAS

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

5. Sifat Agregat

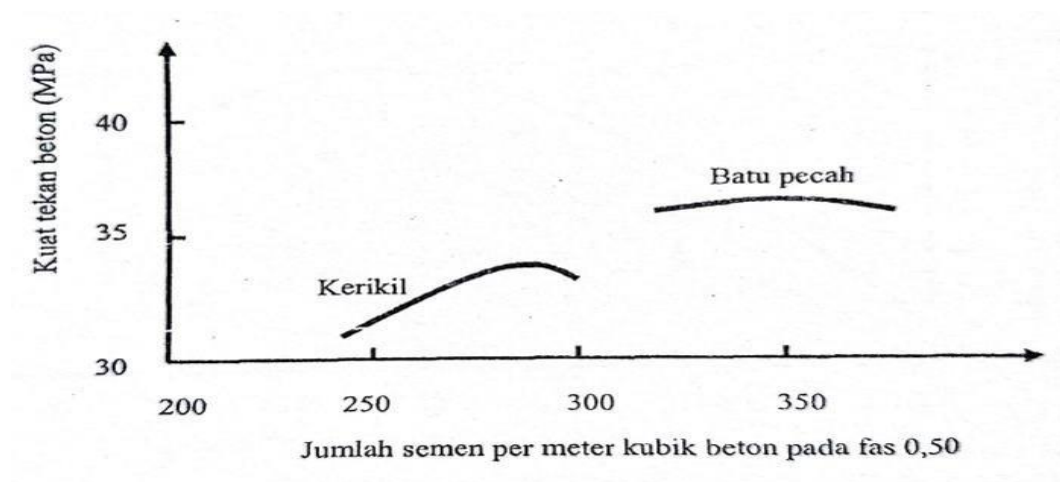
Menurut (Wuryati Samekto, 2001) agregat adalah butiran mineral sebagai pengisi dalam campuran mortar dan beton. Sifat agregat yang paling banyak berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekerasan permukaan dan ukuran maksimumnya.

Pemakaian ukuran butir maksimum agregat yang lebih besar, memerlukan jumlah pasta yang sedikit untuk mengisi rongga-rongga pada butirnya, berarti sedikit pula pori-pori pada beton, sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya karena butiran agregat yang besar, maka luas permukaannya lebih sempit, sehingga kekuatan lekatan antara permukaan agregat kurang kuat, sehingga retakan- retakan kecil pasta disekitar agregat akan mudah terjadi. Dengan alasan

ini maka pada beton dengan kuat tekan tinggi disarankan menggunakan agregat dengan ukuran butiran maksimum yang sama 20 mm.

Bentuk agregat yang bersudut (batu pecah) mempunyai luas permukaan yang lebih besar (kerikil), sehingga mempunyai daya lekat dengan pasta yang lebih kuat. Dengan adanya lekatan antara batuan dengan pasta yang baik, dimana retak rambut atau *micro crack* akibat gaya tekan biasanya dimulai, maka kekuatan beton lebih tinggi (Tjokrodinuljo 2007).

Menurut Wahyono dalam (Harmulif, 2004), pengaruh kekerasan permukaan agregat terhadap kuat tekan beton adalah pada FAS yang sama. Pemakaian agregat kasar dari batu pecah akan mempunyai kuat tekan lebih tinggi bila dibandingkan dengan pemakaian agregat dari kerikil alami, karena agregat kasar dari batu pecah mempunyai ikatan antar butir yang baik, sehingga membentuk daya lekat yang kuat. Dengan lekatan yang kuat menjadikan kekuatan beton menjadi lebih tinggi. Hubungan antara jumlah semen dengan kuat tekan beton pada jenis agregat yang berbeda yaitu batu pecah ukuran maksimum 40 mm dan kerikil alami ukuran 40 mm dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 6 Hubungan Antara Jumlah Semen Dengan Kuat Tekan Beton Pada Jenis Agregat Yang Berbeda

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007