

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian-Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan objek pembahasan. Penelitian ini juga sebagai acuan pada penelitian selanjutnya dan juga batasan agar penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan baik dan menghasilkan referensi yang baru.

Hasil penelitian Riandi, Dwiky Septian dan M. Azril Afifi Rabanos (2021), melakukan penelitian “Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Campuran Agregat Pemulutan dan Tanjung Raja”. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f_c$  35 Mpa pada umur 28 hari dan pengujian yang dilakukan pada umur 7 hari 14 hari dan 28 hari. Superplasticizer sebagai bahan tambah dan komplemen pada kuat tekan beton dalam pengujian ini. Pada umur 28 hari peningkatan kuat tekan beton normal agregat pemulutan yaitu 19,50 Mpa dan agregat Tanjung Raja 28,30. Kuat tekan beton dengan campuran superplasticizer agregat Pemulutan 28,3 Mpa dan superplasticizer agregat Tanjung Raja 33,9 Mpa. Pada umur 28 hari pengujian beton yang paling tinggi nilainya dan sesuai standar yaitu beton superplasticizer agregat Tanjung Raja yang memiliki kuat tekan beton yang lebih tinggi dari yang lain.

Hasil penelitian Santoso, Aji dan Khusnul Juliyadi (2021), melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Lampung dan Bojonegoro Terhadap Kuat Tekan Beton”. Pada penelitian ini menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan masing masing benda uji 9 buah beton silinder. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dengan mutu  $F_c$  25 MP yaitu agregat kasar Lampung sebesar 25,46 Mpa dan agregat kasar Bojonegoro sebesar 28,11 Mpa, dengan demikian kuat tekan beton yang dihasilkan agregat kasar Bojonegoro lebih besar 10,41 % dari agregat kasar Lampung. Kekerasan agregat kasar Bojonegoro jauh lebih baik dengan persentase kehancuran sebesar 97,90 % dibandingkan agregat kasar Lampung 96,50 %. Sehingga karakteristik agregat kasar yang lebih baik untuk campuran beton adalah agregat kasar Bojonegoro hal ini dikarenakan semakin kecil persentase kehancuran agregat kasar maka akan semakin besar nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.

Hasil penelitian Asmara, Frans Joviana.dkk. (2021), penelitian “Analisis Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Yang Menggunakan Pasir Sungai Batang Asai Dan Pasir Sungai Batanghari”. pada pengujian kuat Tekan beton dan kuat Tarik belah beton dengan mutu  $f'c = 20$  Mpa dan untuk mutu rencana  $f'cr = 27$  Mpa, Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari, dan untuk uji kuat Tarik belah umur 28hari. Hasil uji kuat tekan kedua jenis benda uji hanya memenuhi  $f'cnya$  (20 Mpa) dan tidak memenuhi  $fc'r$  (27 Mpa). Hasil uji menunjukkan kedua nilai kuat tekan umur 28hari relatif sama  $Ps\ ba = 20,97$  Mpa dan  $Ps\ Bh = 19,99$  Mpa. Untuk kuat Tarik belah betonnya masih termasuk pada batasan kuat Tarik beton normal (9 – 15%) dari kuat tekannya. Kuat Tarik belah beton  $Ps\ Bh$  lebih besar dibandingkan beton  $Ps\ Ba$ .

Hasil penelitian Resti, Agnesia. dkk. (2021), melakukan penelitian “Perbandingan Kuat Tekan dan Lentur Beton Menggunakan Agregat Kabupaten Kutai Barat Terhadap Agregat Palu”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton dengan membandingkan penggunaan material daerah Palu dengan material kombinasi daerah Kutai Barat. Benda uji yang berbentuk silinder beton dengan ukuran 10 cm x 20 cm dan kuat lentur beton yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm. Pembuatan mix design menggunakan metode SNI serta umur beton 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan variasi Palu dan Palu mendapatkan hasil optimum yaitu 16,04 MPa (7 hari) dan 20,7 MPa (28 hari). Dan kuat lentur beton mendapatkan hasil optimum pada variasi Muara Asa dan Keay 3,62 MPa (28 hari).

Hasil penelitian Meihizkia Y. dkk. (2018), melakukan penelitian “Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus Sungai Benlelang dan Sungai Lembur Serta Agregat Kasar Sungai Lembur”. Pada pengujian ini benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan mutu rencana 15 MPa dan 25 MPa dengan durasi curing 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, Rata- rata nilai kuat tekan beton untuk mutu 15 MPa dan 25 MPa secara berturut agregat halus Benlelang dengan agregat kasar Lembur untuk agregat halus dan kasar Lembur untuk agregat Takari adalah sebesar 16,93 MPa dan 27,29 MPa.

Berdasarkan rata-rata yang diperoleh untuk agregat Benlelang, agregat Lembur dan agregat Takari, kuat tekan yang diperoleh masih mencapai kuat tekan beton yang direncanakan. Nilai kuat tekan beton yang menggunakan agregat halus Takari lebih tinggi di dengan beton yang menggunakan agregat halus Benlelang dan Lembur. Persentase perbandingan untuk kuat tekan rencana 15 MPa antara agregat Takari dan Benlelang sebesar 11,15% sedangkan perbandingan antara agregat Takari dan Lembur sebesar 5,65% tekan rencana 25 MPa persentase perbandingan kuat tekan antara agregat Takari dan Benlelang sebesar 5,93 % sedangkan perbandingan antara agregat Takari dan Lembur sebesar 4,33 %.

## 2.2 Pengertian Beton

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia saat ini sangat berdampak pada bertambahnya penggunaan beton sebagai material dalam penguatan struktur. Selain mudah dalam proses pekerjaannya dan mendapatkan materialnya, teknologi pada beton juga selalu mengalami perkembangan yang lebih dinamis.

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Perencana (*engineer*) dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi. ( Mulyono, 2005).

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar atau agregat halus, agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam yang dihasilkan oleh industri pengolahan pasir, sedangkan agregat kasar yang

dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

- a. Jenis-jenis beton berdasarkan berat satuan (SNI 03-2847-2002)
1. Beton ringan: Berat satuan  $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$
  2. Beton normal: Berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$
  3. Beton berat: Berat satuan  $\geq 2500 \text{ kg/m}^3$

Berikut tabel mutu beton dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2.1 Mutu beton dan penggunaan

Jenis Beton	$f_c'$ (MPa)	$\sigma_{bk}'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Uraian
Mutu tinggi	35 - 65	K 400 - K 800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 - <35	K 250 - <K 400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 - <20	K 175 - <K 250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang di isi adukan, pasangan batu. digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.
	10 - <15	K 125 - <K175	

(Sumber : departemen pu puslitbang prasarana transportasi, divisi 7 – 2005)

Fungsi dari masing-masing komponen pada pembuatan beton adalah :

1. Semen sebagai bahan pengikat dengan komposisi didalam beton sebanyak 15-20 % dari volume beton.
2. Air sebagai pereaksi bagi semen agar dapat mengikat agregat. Banyak penggunaan air dibandingkan dengan volume beton berkisar 8-10%.
3. Agregat sebagai bahan pengiri rongga-rongga dalam beton dengan jumlah 60-70 % dari volume beton.
4. Bahan tambah sebagai pemberi/pengubah sifat tertentu pada beton.

Adapun keuntungan dari penggunaan beton diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Ekonomi (bahan dasar mudah diperoleh dan ditemukan).
2. Mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
3. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.
4. Beton tahan aus dan tahan terbakar api, sehingga perawatannya lebih murah.

Adapun kerugian dari penggunaan beton diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Beton tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak.
2. Beton sukar diubah bentuknya bila sudah mengeras.
3. Biaya pembuatannya lebih mahal.
4. Pembuatannya membutuhkan tenaga ahli.

Menurut Paul Nugraha dan Antoni, keunggulan dari penggunaan beton adalah sebagai berikut :

a. Ketersediaan (*availability*) material dasar:

- 1) Biaya pembuatan relative lebih murah karena semua bahan mudah didapat. Bahan termahal adalah semen tetapi bisa diproduksi di Indonesia.
- 2) Pengangkutan/mobilisasi beton bisa dilakukan dengan mudah.

b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*)

- 1) Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
- 2) Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, pondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas. Beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural bisa digunakan untuk keperluan dekoratif.
- 3) Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat.

c. Kemampuan beradaptasi

- 1) Beton bersifat *mololit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
- 2) Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk kubus 3 dimensi.

- 3) Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar.
- 4) Konsumsi energy minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.

d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal

Secara umum ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

### 2.3 Umur Beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Karena beton ini termasuk bahan yang sangat awet (ditinjau dari pemakaiannya), maka sebagai standar kuat tekan akan ditetapkan waktu beton berumur 28 hari. Menurut PBI-1971, hubungan antara umur dan kekuatan tekan beton dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur

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

(Sumber : PBI-1971)

### 2.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas,  $E_c$ , merupakan properti mekanik dari struktur beton yang sangat penting. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada benda uji silinder dipasang dial gauge untuk mengukur pemendekan yang terjadi pada benda uji, pembacaan dial dilakukan tiap interval tertentu. Standar pengujian modulus elastisitas mengacu pada ASTM C469/C469M - 10 “*standar test method for static modulus of elasticity and poisson’s ratio of concrete in compressions*” Modulus elastisitas atau modulus young adalah ukuran kekerasan (*Stiffness*) dari suatu bahan tertentu. Modulus ini dalam aplikasi rekayasa dapat didefinisikan sebagai

perbandingan tegangan yang bekerja pada sebuah benda atau dengan regangan yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 8.5.1 memberikan korelasi antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan dan berat jenisnya. Untuk kuat tekan beton normal pada umumnya nilai modulus elastisitas diambil sebagai berikut :

$$E_c = 4700x \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$E_c$  : Modulus elastisitas (MPa)

$f_c'$  : Kuat tekan beton rencana (MPa)

## 2.5 Slump

Parameter slump beton merupakan indikator dari keenceran beton. Secara tinjauan pelaksanaan angka slump menunjukkan kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin encer beton maka semakin mudah untuk dikerjakan, tapi kental-encernya campuran beton mempunyai batasan tertentu, sesuai dengan tipe dari konstruksi. Terlalu kental beton akan mudah mengalami getas (*brittle*) mudah hancur, terlalu encer-pun beton akan mudah mengalir dan mempunyai kekuatan yang rendah. Umumnya variasi nilai slump adalah 2,5 - 10 cm.

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai slump adalah:

- a. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton.
- b. Jumlah semen dalam campuran adukan.
- c. Gradasi agregat.
- d. Besar butir maksimum agregat.

Cara pembuatan pengujian slump diterangkan dalam BS: 1881:1990. Pengujian ini diselenggarakan pada logam yang tingginya 300 mm, diameter dasar 200 mm, dan diameter atas 100 mm.

## 2.6 Faktor Air Semen

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. FAS yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah FAS kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu

berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2005).

Tujuan pengurangan FAS ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton . Pada beton atau sangat tinggi, FAS dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap beton total semen dan aditid *cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton (Supartono, 1998). Pada beton nilai faktor air semen ada dalam rentang 0,2-0,5 (SNI 03-6468-2000). Rumus yang digunakan pada beton adalah:

$$FAS = W/(c + p) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- FAS : Faktor air semen
- W : Rasio total berat air
- c : Berat semen
- p : Berat bahan tambah pengganti semen

## 2.7 Jumlah dan Identitas Benda Uji

Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah berbentuk silinder 15 cm x 30 cm. Sampel diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari. Jumlah sampel sebanyak 18 buah seperti terlihat pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3 Rencana campuran beton

No	Kode benda uji	Umur Uji (hari)			Jumlah sampel (buah)
		7	14	28	
1	BN (Lebong banyuasin)	3	3	3	9
2	BN (Tanjung Raja)	3	3	3	9
Total					18

(Sumber: Hasil uji di laboratorium teknik sipil uji material, 2022)

Dimana :

BN : Beton normal

## **2.8 Material Konstruksi Penyusun Beton**

### **2.8.1 Agregat**

Agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat tekan lama (*durable*), dan ekonomis (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Berdasarkan gradasinya agregat terbagi menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar.

#### 1. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir adalah butiran – butiran mineral yang bentuknya mendekati bulat, tajam, dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak antara 0,07 – 5 mm (SNI 03 – 1750 – 1990).

##### 1) Syarat mutu agregat

Syarat mutu menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F a. Agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut ini :

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
  - Jika dipakai natrium sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
  - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung zat organik seperti sisa sisa tumbuhan, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.

- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
- sisa di atas ayakan 4,8 mm, mak 2 % dari berat
  - sisa di atas ayakan 1,2 mm, mak 10 % dari berat
  - sisa di atas ayakan 0,30 mm, mak 15 % dari berat
- g. Tidak boleh mengandung garam
- 2) Syarat mutu agregat menurut SII 0052 adalah sebagai berikut ini :
- a. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 1,50 – 3,80.
  - b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5 %.
  - c. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 3 %, jika dibandingkan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
  - d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa bangka memberikan angka hasil bagi tidak lebih dari 2,20.
  - e. Kekekalan (jika diuji dengan Na-Sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15%)
- 3) Cara-cara memeriksa sifat-sifat pasir adalah sebagai berikut :
- a. Untuk mengetahui kandungan tanah liat/lumpur pada pasir dilakukan dengan cara meremas atau menggenggam pasir dengan tangan. Bila pasir masih terlihat bergumpal dan kotoran tertempel di tangan, berarti pasir banyak mengandung Lumpur.
  - b. Kandungan lumpur dapat pula dilakukan dengan mengisi gelas dengan air, kemudian masukkan sedikit pasir ke dalam gelas. Setelah diaduk dan didiamkan beberapa saat maka bila pasir mengandung Lumpur, Lumpur akan terlihat mengendap di atasnya.

- c. Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan cara memasukkan pasir ke dalam larutan Natrium Hidroksida ( NaOH) 3 % . Setelah diaduk dan didiamkan selama 24 jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- d. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Na-Sulfat/Magnesium Sulfat.

Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas mutu beton yang dibuat. Agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33% lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh agregat berbentuk lainnya. Dengan semakin berkurangnya rongga udara yang berbentuk, beton yang dihasilkan akan mempunyai rongga udara yang lebih sedikit.

Gradasi yang baik dan teratur dari agregat halus, besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. 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 pada ayakan berikutnya.

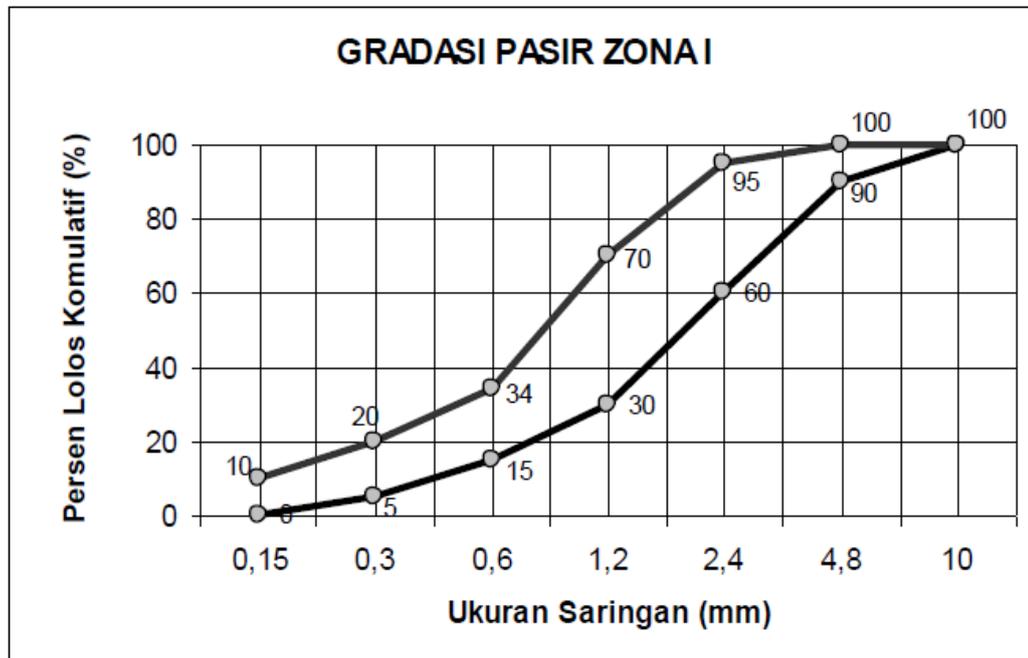
Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. seperti terlihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Gradasi agregat halus menurut (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

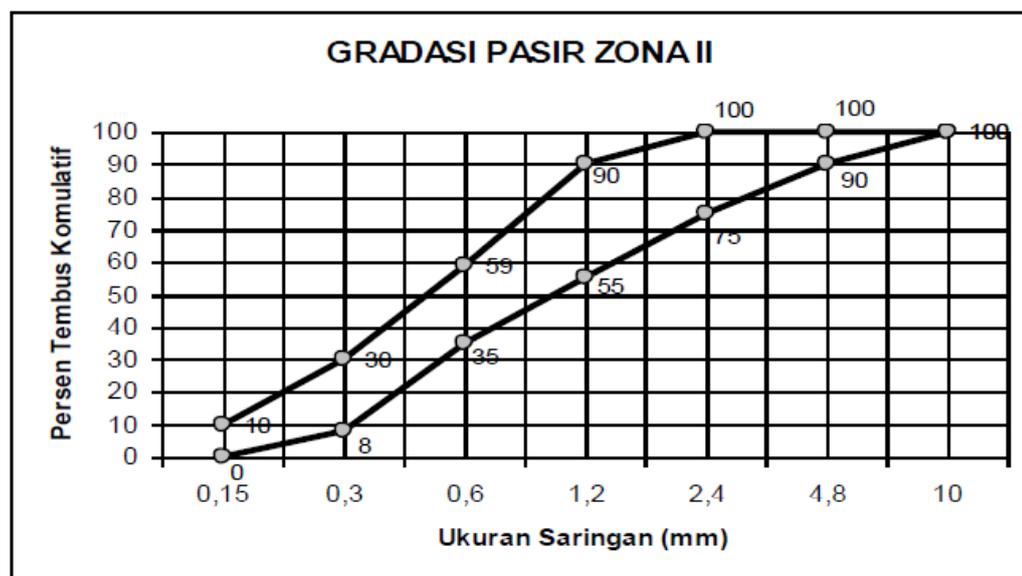
(Sumber : Tri mulyono, 2005)

Berdasarkan Tabel 2.1 gradasi pasir dapat dilihat pada Gambar 2.1 sampai dengan Gambar 2.4 sebagai berikut :



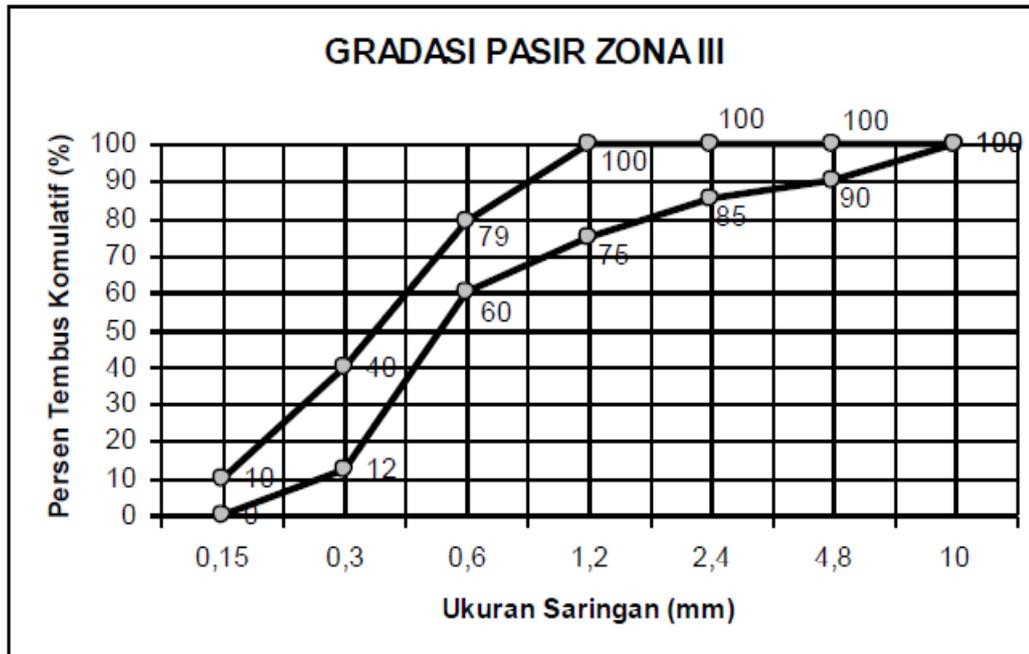
Gambar 2.1 Gradasi pasir zona I

(Sumber : Tri mulyono, 2005)



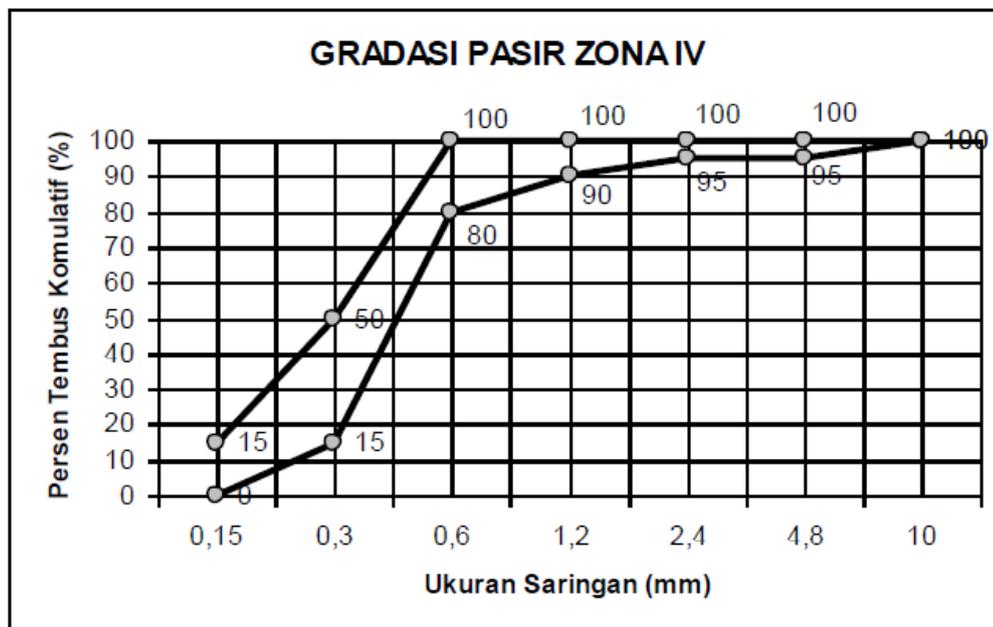
Gambar 2.2 Gradasi pasir zona II

(Sumber : Tri mulyono, 2005)



Gambar 2.3 Gradasi pasir zona III

(Sumber : Tri mulyono, 2005)



Gambar 2.4 Gradasi pasir zona IV

(Sumber: Tri mulyono, 2005)

## 2. Agregat Kasar

Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976). Bentuk fisik dari agregat kasar yang bersudut. Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas yang berbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38% - 40%, dengan demikian membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan untuk mengurangi rongga ini dikombinasikan dengan butiran agregat halus yang berbentuk bulat.

Beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton karena ikatan antar agregat baik dan kuat. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat kasar besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. 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 pada ayakan berikutnya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. Syarat mutu agregat kasar menurut SII.0052 sebagai berikut:

- a. Modulus halus butir 6.0 sampai 7.1.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 1%.
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.

- d. Kekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12% dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.
- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai Na<sub>2</sub>O lebih besar dari 0.6%.
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.
- g. Kekerasan agregat harus memenuhi syarat seperti Tabel 2.3

Kekerasan atau kekuatan dari butir-butir agregat bergantung pada bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan lainnya. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penelitian Larrard (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang Memberikan arti nyata untuk membuat beton tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton dalam proses produksinya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. seperti terlihat pada Tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Syarat mutu kekuatan agregat sesuai SII.0052-80

Kelas dan mutu beton	Kekerasan dengan bejana Rudeloff, bagian hancur menembus ayakan 2 mm, persen (%) maksimum		Kekerasan dengan bejana geser Los Angelos, bagian hancur menembus ayakan 1.7 mm, % maks.
	Fraksi butir 9.5 – 19 mm	Fraksi butir 19 – 30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton kelas I dan mutu Bo dan B1	22 – 30	24 – 32	40 – 50
Beton kelas II dan mutu K.125, K.175 dan K.225	14 – 22	16 – 24	27 – 40
Beton kelas III dan mutu >K.225 atau beton pratekan.	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

(Sumber: Tri mulyono, 2005)

Dalam membentuk suatu beton yang akan mempunyai mutu yang tinggi kualitas kekuatannya perlu menjadi perhatian, dalam hal ini ditentukan dengan suatu uji kuat tekan dan ketahanan akan abrasinya..

### 2.8.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan – perubahan volume beton setelah pengadukan semen dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Umumnya beton mengandung rongga udara 1 – 2 %, pasta semen 25- 40 %, dan agregat 60 – 75 %.

Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu :

a. Semen Non Hidrolik

Semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non hidrolik adalah kapur. Jenis kapur yang baik adalah kapur putih yang mengandung kalsium oksida tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor (belum berhubungan dengan air), dan akan mengandung kalsium hidroksida ketika berhubungan dengan air. Jika digunakan sebagai bahan tambah campuran beton, kapur putih akan menambah kekenyalan dan memperbaiki sifat pengerjaan (*workability*). Selain itu dengan menggunakan campuran 1:3, kapur putih dapat memperbaiki permukaan beton yang tidak mengandung pori-pori. Kekuatan kapur sebagai bahan pengikat, hanya dapat mencapai sepertiga kekuatan semen portland.

b. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik adalah :

1. Kapur hidrolik
2. Semen pozzolan
3. Semen terak
4. Semen alam
5. Semen portland

6. Semen portland – pozzolan
7. Semen portland terak tanur tinggi
8. Semen alumina
9. Semen ekspansif
10. Semen portland putih, semen warna dan semen untuk keperluan khusus.

c. Semen portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Semen Portland yang digunakan, yaitu :

Semen Portland tipe I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Semen portland dibagi menjadi lima jenis (SK. SNI T-15-1990-03:2), yaitu :

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan syarat khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

d. Syarat Fisik Semen Portland

Di Indonesia syarat mutu yang dipergunakan adalah SII.0013-81, "Mutu dan Cara Uji Semen Portland". Syarat mutu yang ditetapkan SII diadopsi dari syarat mutu ASTM C-150 dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.6 Syarat fisika semen portland

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan : Uji Permeabilitas udara, m <sup>2</sup> /kg Dengan alat : Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
		280	280	280	280	280
2	Kekekalan : Pemuaiian dengan <i>Autoclave</i> , maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat Tekan :	-	-	120	-	-
	Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	125	100	240	-	80
	Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	200	70 <sup>a)</sup>	-	70	150
	Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	280	175	-	170	210
4	Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	280	120 <sup>a)</sup>	-	170	210
	Waktu pengikatan ( metode alternatif) dengan alat: Gillmore					
	- Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	- Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	- Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375

(Sumber :SNI 15-2049-2004)

e. Kehalusan butir (*Fineness*)

Kehalusan semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* (naiknya air semen ke permukaan), tetapi menambah kecenderungan beton

untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butir semen yang lewat ayakan no.200 harus lebih dari 78%. Untuk mengukur kahalusan butir semen digunakan ”*turbidimeter*” dari Wagner atau ”*air permeability*” dari Blaney.

f. *Kepadatan (density)*

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah  $3.15 \text{ mg/m}^3$ . Berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara  $3.05 \text{ mg/m}^3$  sampai  $3.25 \text{ mg/m}^3$ . Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian berat jenis semen dapat dilakukan dengan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

g. *Konsistensi*

Konsistensi semen berpengaruh pada saat awal pencampuran, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada ratio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregat pencampurnya.

h. *Waktu Pengikatan (Setting Time)*

Waktu pengikatan adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung dari saat semen mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sampai pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.

Waktu pengikatan semen dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Waktu pengikatan awal (*initial setting time*), yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan. Pada semen portland berkisar 1 – 2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam.
2. Waktu pengikatan akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Tidak boleh lebih dari 8 jam.

Waktu pengikatan awal sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Pada keadaan tertentu diperlukan waktu pengikatan awal lebih dari 2 jam. Waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan

(*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaiannya (*finishing*). Proses ikatan disertai perubahan temperatur, dimulai sejak terjadi ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya temperatur sebesar 30°C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan oleh lingkungan sekitarnya.

i. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air. Satuannya kalori/gram. Jumlah panas yang terbentuk tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas mengakibatkan masalah, yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) selama masa pelaksanaan.

Panas hidrasi naik sesuai dengan nilai temperatur pada saat hidrasi terjadi. Pada semen biasa, panas hidrasi bervariasi mulai 37 kalori/gram pada temperatur 5°C hingga 80 kalori/gram pada temperatur 40°C. Semua jenis semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada satu hingga tiga hari pertama, 70% pada hari ketujuh, serta 83-91% setelah 6 bulan. Laju perubahan panas ini tergantung pada komposisi semen. Perkembangan panas hidrasi untuk berbagai semen pada suhu 21°C diperlihatkan pada Tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 Perkembangan panas hidrasi semen portland pada suhu 21°C

Jenis Semen Portland	Hari					
	1	2	3	7	28	90
Tipe I	33	53	61	80	96	104
Tipe II	-	-	-	58	75	-
Tipe III	53	67	75	92	101	107
Tipe IV	-	-	41	50	66	75
Tipe V	-	-	-	45	50	-

(Sumber : Neville, A.M. *properties of concrete*. longmand.1995. Tabel 1.7 hal 38 )

j. Kekekalan (*Perubahan Volume*)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan suatu kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya. Ketidakkekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Kapur bebas mengikat air kemudian menimbulkan gaya-gaya

ekspansi. Alat untuk menentukan nilai kekekalan semen portland adalah "*Autoclave Expansion of Portland Cement*" cara ASTM C-151, atau cara Inggris, BS "*Expansion by Le Chatellier*".

k. Kuat Tekan

Kuat tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang akan diuji dicampur dengan pasir silika dengan perbandingan tertentu, kemudian dicetak dengan silinder ukuran 15 cm x 30 cm. Setelah berumur 7, 14 dan 28 hari dan setelah mengalami perawatan dengan perendaman, benda uji tersebut diuji kuat tekannya.

### 2.8.3 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut ini, (Tjokrodimulyo, 1992) :

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

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organik lainnya yang

dapat merusak beton atau tulangnya. (Tata Cara Perhitungan Standar Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002).

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk pembentukan pada semen. Air juga digunakan untuk pelumas antara beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Air pada campuran beton akan berpengaruh pada :

- a. Sifat *workability* adukan beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton.
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga menghasilkan kekuatan dalam selang beberapa waktu.
- d. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

## 2.9 Prosedur Pengujian di Laboratorium

### 2.9.1 Pengujian Analisa Saringan dan Berat Jenis Penyerapan Agregat

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah- langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan akan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Pengujian ini meliputi sebagai berikut:

- a. Pengujian analisa saringan agregat

Modulus halus butir (MHB) ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Maka semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.3)$$

### 2.9.2 Pengujian Berat Jenis Penyerapan Agregat

- a. Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat halus yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh

agregat. Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1969-1990 sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.5)$$

3. Berat jenis semu (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Penyerapan

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$B_k$  : berat benda uji kering oven, dalam gram

$B_j$  : berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

$B_a$  : berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

- b. Pengujian berat jenis penyerapan agregat kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat kasar yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1969-1990 sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.8)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.9)$$

3. Berat jenis semu (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (2.10)$$

4. Penyerapan

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

$B_k$  : berat benda uji kering oven, dalam gram

$B_j$  : berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

$B_a$  : berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

### 2.9.3 Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen (%). Tujuan dari uji ini adalah untuk memperoleh angka presentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Uji ini dilakukan pada agregat yang mempunyai kisaran garis tengah dari 6,3 mm sampai 152,4 mm. Hasil uji kadar air agregat dapat digunakan dalam pekerjaan : (i) perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton; (ii) perencanaan campuran dan pengendalian mutu perkerasan jalan.

Pengujian kadar air agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1971-1990 sebagai berikut:

1. Kadar air agregat

$$= \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$W_3$  : berat benda uji semula, (gram)

$W_5$  : berat benda uji kering, (gram)

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-4142-1996 sebagai berikut :

- a. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

- b. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

- c. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$W_1$  : berat kering benda uji + wadah (gram)

$W_2$  : berat wadag (gram)

$W_3$  : berat kering benda uji awal (gram)

$W_4$  : berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

$W_5$  : berat kering benda uji setelah pencucian (gram)

$W_6$  : % bahan lolos saringan nomor 200 (0,075 mm)

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1971-1990 sebagai berikut:

1. Kadar air agregat

$$= \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

$W_3$  : berat benda uji semula, (gram)

$W_5$  : berat benda uji kering, (gram)

#### 2.9.4 Pengujian Kadar Lumpur

Tanah liat dan lumpur yang sering terdapat dalam agregat mungkin berbentuk gumpalan atau lapisan yang menutupi lapisan butiran agregat. Tanah liat dan lumpur pada permukaan butiran agregat akan mengurangi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton.

Lumpur dan debu haus hasil pemecahan batu adalah partikel berukuran 0,0075. Adanya lumpur dan tanah liat menyebabkan bertambahnya air pengaduk yang diperlukan dalam pembuatan beton, disamping itu pula akan menyebabkan berkurangnya ikatan antara pasta semen dengan agregat sehingga akan menyebabkan turunnya kekuatan beton yang bersangkutan serta menambah penyusutan dan creep.

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-4142-1996 sebagai berikut:

1. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.17)$$

2. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots (2.18)$$

3. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

$W_1$  : berat kering benda uji + wadah (gram)

$W_2$  : berat wadah (gram)

$W_3$  : berat kering benda uji awal (gram)

$W_4$  : berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

$W_5$  : berat kering benda uji setelah pencucian (gram)

$W_6$  : % bahan lolos saringan nomor 200 (0,075 mm)

### 2.9.5 Pengujian Bobot Isi Agregat

Standar metode pengujian ini yaitu untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Ukuran butir agregat kasar adalah 5mm – 40mm, agregat halus terbesar 5mm. pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara ditusuk. Dalam kondisi gembur dengan cara sekaop sendok. Bobot isi kering udara agregat dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan bobot isi padat yang di padatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat daripada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada agregat sangat di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi agregat, bentuk agregat, diameter maksimum agregat. Dalam SII No.52-1980, berat isi untuk agregat beton diisyaratkan harus lebih dari 1,2 - 1,5 gr/cm<sup>2</sup>. Pengujian bobot isi agregat dilakukan berdasarkan rumus dari PEDC Bandung sebagai berikut:

1. Bobot isi gembur

$$= \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.20)$$

2. Bobot isi padat

$$= \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

W = berat agregat

V = volume takaran

### 2.9.6 Pengujian Kekerasan Agregat Kasar

Beton yang dibuat harus menggunakan bahan agregat normal tanpa bahan tambahan. Dengan ketentuan demikian perlu dilakukan terlebih dahulu percobaan kekerasan agregat kasar untuk mengetahui agregat tersebut bisa atau tidaknya digunakan untuk membuat beton dengan berat isi 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> (beton normal). Untuk memeriksa agregat kasar, kerikil alam dan batu pecah. Dilakukan sama seperti pengujian pada pasir ditambah dengan pemeriksaan kekerasan dan ketahanan aus. Pengujian kekerasan agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari BS 812-110 1990 sebagai berikut:

1. Kekerasan agregat kasar

$$= \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

W<sub>1</sub> = berat benda uji (garam)

W<sub>2</sub> = berat agregat lolos saringan 2,36 mm (gram)

### 2.9.7 Pengujian Keausan Agregat Kasar Menggunakan Mesin Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no 12 (1,18 mm) terhadap berat semula dalam persen. Untuk menguji kekuatan agregat kasar dapat menggunakan bejana Rudolf ataupun dengan alat uji los angeles test.

Mesin yang digunakan untuk pengujian keausan ini adalah mesin los angeles. Mesin ini berbentuk silinder dengan diameter 170 cm yang terbuat dari baja. Dalam pengujian ini menggunakan bola-bola baja yang berukuran 4 – 6 cm sebagai nilai bantu untuk menghancurkan agregat. Jumlah bola yang digunakan tergantung dari tipe gradasi dan agregat yang diuji. Di dalam mesin los angeles terdapat sirip yang berfungsi sebagai pembalik material yang diuji dan lama pengujian tergantung dari jumlah berat material.

Berdasarkan SK SNI 2417 – 1991, keausan agregat tergolong sebagai berikut :

1. Apabila nilai keausan yang diperoleh > 40%, maka agregat yang diuji tidak baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan.
2. Apabila nilai keausan agregat yang diperoleh < 40%, maka agregat yang diuji baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan.

Adapun tabel gradasi dan berat benda uji dapat di lihat pada Tabel 2.8 berikut ini :

Tabel 2.8 Gradasi dan berat benda uji

Ukuran Saringan		Berat dan Gradasi Benda Uji ( Gram						
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A	B	C	D	E	F	G
76,2	63,5	-	-	-	-	2500	-	-
63,5	50,8	-	-	-	-	2500	-	-
50,8	38,10	-	-	-	-	5000	5000	-
38,10	25,40	1250	-	-	-	-	5000	5000
25,40	19,05	1250	-	-	-	-	-	5000
19,05	12,70	1250	2500	-	-	-	-	5000
12,70	9,50	1250	2500	-	-	-	-	-
9,50	6,35	-	-	2500	-	-	-	-
6,35	4,75	-	-	2500	-	-	-	-
4,75	2,36	-	-	-	5000	-	-	-
Jumlah Bola		12	11	8	6	12	12	12
Berat Bola		5000	4584	3330	2500	5000	5000	5000

(Sumber: SNI-03-2417-1991)

Rumus untuk menentukan keausan agregat adalah :

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Dimana : A : Berat awal benda uji

B : Berat akhir benda uji yang lolos saringan 2,36 mm.

### 2.9.8 Pengujian Berat Jenis Semen

Semen Portland merupakan bahan perekat hidrolis, yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksigen utamanya : kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen Portland dibuat dalam satu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi dan lamanya semen Portland dalam penyimpanan memungkinkan dan pengurangan mutu. Salah satu pengujian yang dapat mengindikasikan kepada hal tersebut adalah dengan pengujian berat jenisnya.

Berat jenis semen Portland pada umumnya berkisar antara 3,10 sampai 3,20 dengan angka rata-rata 3,15 untuk semen tipe I sampai V. Pengujian berat jenis semen dilakukan berdasarkan rumus dari PEDC Bandung sebagai berikut :

1. Berat jenis semen

$$= \frac{\text{Berat Semen (w)}}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

W = Berat benda uji (gram)

$V_2$  = Volume akhir (ml)

$V_1$  = Volume awal (ml)

### 2.9.9 Pengujian Konsistensi Semen

Konsistensi normal semen adalah suatu kondisi pasta semen dalam keadaan standar basah yang artinya merata dari ujung satu keujung yang lainnya. Maksud dari konsistensi normal semen itu sendiri untuk menentukan waktu mulainya pengikatan semen mulai dari di campurnya semen dengan air. Konsistensi normal akan tercapai jika jarum vicat yang digunakan dalam praktikum ini menembus pasta semen sedalam 10 mm pada detik ke-3 dihitung mulai dari jarum dilepaskan. Pengujian konsistensi semen dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-6826-2002 sebagai berikut :

1. Konsistensi semen

$$W = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

W = konsistensi dinyatakan dalam kadar air pasta (%)

$W_a$  = berat air (gram)

$W_s$  = berat semen kering (gram)

## 2.10 Perencanaan Campuran Beton

Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria workabilitas, kekuatan, durabilitas, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. Proporsi yang dihasilkan oleh rancangan pun harus optimal, dalam arti penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria teknis. Perancangan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena itu, sifat dan karakteristik masing-masing bahannya tersebut akan menyebabkan produksi beton yang dihasilkan cukup bervariasi. Selanjutnya perlu diketahui beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi pekerjaan pembuatan rancangan campuran beton, diantaranya adalah kondisi dimana pekerjaan dilaksanakan, kekuatan beton yang direncanakan, kemampuan pelaksana, tingkat pengawasan, peralatan yang digunakan, dan tujuan peruntukan bangunan.

## 2.11 Metode Perencanaan Campuran Beton

Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain seperti metode DOE yang dikembangkan oleh *Department of Environment* di Inggris dan Metode ACI (*American Concrete Institute*). Metode rancangan campuran beton dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI 03-2834-2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal". Sedangkan SNI 7656:2012, "Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa" mengacu pada ACI. Secara garis besar kedua metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel, tetapi pada beberapa procedural terdapat perbedaan.

### 2.12 Perawatan (*Curing*)

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup (sekitar 12 liter per sak semen) untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang karena menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relative cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% dari pada yang tidak dirawat,

Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya.

Ada 3 jenis metode perawatan:

a. Cara terus memberi air

Dengan menggenangi, membuat empang, menyemprot, memasang *springkle*, memberi kabut air atau penutup yang basah. Cocok untuk lantai pavement, sidewalk. Genangan air dibuat dengan membuat bendungan dari pasir/tanah pada tepi lantai yang dicor. Bisa memakai penyemprot kebun. Bila disemprot atau diberi kabut secara berkala, jangan sampai beton kering di antaranya, karena akan retak. Penutup bisa memakai pasir, karung goni, jerami, terpal yang basah. Untuk beton yang tegak seperti kolom atau dinding, biarkan dulu bekistingnya tetap terpasang dan disiram.

b. Cara mencegah hilangnya air dari permukaan

Dengan lapisan tipis, dari kertas tak tembus air (misalnya kertas aspal) atau plastik, atau membran kimia, tanpa tambahan air. Merupakan perlindungan agar air di dalam tidak menguap keluar. Harus segera dipasang setelah beton cukup keras. Secara praktis harus selebar lembaran. Bagian tepi harus saling menumpuk beberapa sentimeter lalu ditutup rapat dengan pasir, papan, cellotape, mastic (resin) atau lem. Jenis ini juga melindungi beton dari gangguan aktivitas konstruksi.

- c. Cara mempercepat dicapainya kekuatan dengan memberi panas dan kelengasan.

Dengan uap air, coil pemanas atau bekisting yang dipanaskan secara elektrik. Bila temperatur dinaikkan maka hidrasi akan berlangsung lebih cepat sehingga didapat kekuatan awal yang tinggi. Sepintas kelihatannya kontroversial, mengingat di depan telah dikemukakan bahayanya pengecoran dalam keadaan panas. Karena itu perlu diingat bahwa panas kita berikan dengan uap air sehingga beton tetap dalam keadaan jenuh air, Secara teoritis kekuatan dapat dihubungkan dengan kematangan (*maturity*), yang tergantung pada faktor waktu dikalikan temperatur.

Secara teoritis kekuatan dapat dihubungkan dengan kematangan (*maturity*), yang tergantung pada faktor waktu dikalikan temperature Tujuan pemakaian uap air adalah untuk mendapatkan kekuatan awal yang tinggi dan supaya dapat cepat membongkar acuan, terutama pada pabrik pracetak. supaya acuan bisa digunakan lebih efisien. Cara ini juga digunakan pada pabrik pratekan

*Steam curing* dilakukan dalam ruang tertutup. Sering memakai terpal supaya panas/kelembapan tidak hilang. Dimulai sedikitnya 2 jam setelah pengecoran. Temperatur ditahan pada 65°C sampai dicapai kekuatan. Kekuatan tidak akan bertambah bila temperatur dinaikkan lagi. Pada tekanan atmosfer, kecepatan menaikkan dan menurunkan panas tidak boleh drastis (karena perubahan volume), kurang dari 22°C per jam. Dalam 1 hari didapat kekuatan 2-2,5 kali kekuatan normal (20°C). Namun kekuatan akhir berkurang sampai 10%. Ada siklus pendek dan panjang.

### **2.12.1 Lama Perawatan**

Tergantung pada jenis semen, kekuatan, cuaca, rasio permukaan terekspose per volume, dan kondisi terekspos. Lama perawatan bisa selama 3 minggu untuk beton kurus (*lean*) yang mengandung bahan pozzolanic, misalnya bangunan masif seperti bendungan. Sebaliknya, perawatan hanya perlu untuk beberapa hari saja untuk beton yang kaya (*rich*), khususnya jika memakai semen jenis III. Steam curing juga lebih pendek waktunya. Karena perawatan memperbaiki mutu beton

maka perawatan semakin lama semakin baik, selama hal itu praktis untuk dilakukan. Untuk plat beton yang terletak di tanah dan beton struktural dibutuhkan minimum 7 hari perawatan, atau bila tercapai 70% kekuatannya

### 2.13 Kuat Tekan Beton

Dalam perencanaan suatu komponen struktur beton, biasanya diasumsikan bahwa beton memikul tagangan tekan dan bukannya tegangan Tarik. Oleh karena itu kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton. Pada umumnya sifat mekanik beton yang lainnya, dapat diperkirakan berdasarkan kuat tekan beton. Untuk menentukan besarnya kuat tekan beton dapat dilakukan uji kuat tekan dengan mengacu pada standar ASTM C 39-12 a “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”. Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm titik di beberapa negara lain seperti Inggris, Jerman dan negara-negara Eropa lainnya digunakan benda uji kubus berukuran sisi 150 mm atau 200 mm.

Kekuatan beton yang utama adalah kuat tekannya. Nilai kuat tekan beton meningkat sejalan dengan peningkatan umurnya dan pada umur 28 hari, beton mencapai kekuatan maksimal. Perbandingan kuat tekan silinder dan kubus menurut ISO Standard 3893 – 1977 disajikan pada Tabel 2.9 berikut ini :

Tabel 2.9 Perbandingan kuat tekan antara silinder dan kubus

Silinder (MPa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kubus (MPa)	2,5	5	7,5	10	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Ratio silinder / kubus	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91

(Sumber : ISO standard 3893 – 1977)

Pada umumnya, beton mencapai kuat tekan 70% pada umur 7 hari, dan pada umur 14 hari, kekuatannya mencapai 85 – 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari. Pengukuran kuat tekan beton didasarkan pada SK SNI M14-1989-F (SNI 03-1974-1990). Pembebanan pada pengujian kuat tekan termasuk pembebanan statik monotorik dengan menggunakan *Compressive Test*. Beban yang bekerja akan terdistribusi secara kontinue melalui titik berat.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

$f'_c$  = kuat tekan beton (kg/cm<sup>2</sup>)

P = beban (kg)

A = luas penampang (cm<sup>2</sup>)

Dari hasil perhitungan di atas perlu dilakukan konversi satuan terlebih dahulu mengingat mutu yang ingin dicapai adalah 21 MPa. Sementara itu, benda uji yang akan dibuat ialah menggunakan cetakan berbentuk silinder dimana hasil pengujiannya memiliki satuan kg/cm<sup>2</sup>. Untuk mengkonversi satuan dari kg/cm<sup>2</sup> menjadi MPa dapat menggunakan persamaan pada Tabel 2.10 sebagai berikut.

Tabel 2.10 Faktor koreksi kuat tekan silinder berdasarkan rasio tinggi terhadap diameter benda uji

Rasio H/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,10	1,00	0,75	0,50
Faktor koreksi kuat tekan	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87	0,70	0,50
Kuat tekan relatif terhadap silinder standar	1,00	1,02	1,04	1,06	1,11	1,18	1,43	2,00

(sumber : Hassoun et a., 2005 )

Adapun rasio kuat tekan benda uji silinder terhadap kubus dapat di lihat pada Tabel 2.11 di bawah ini :

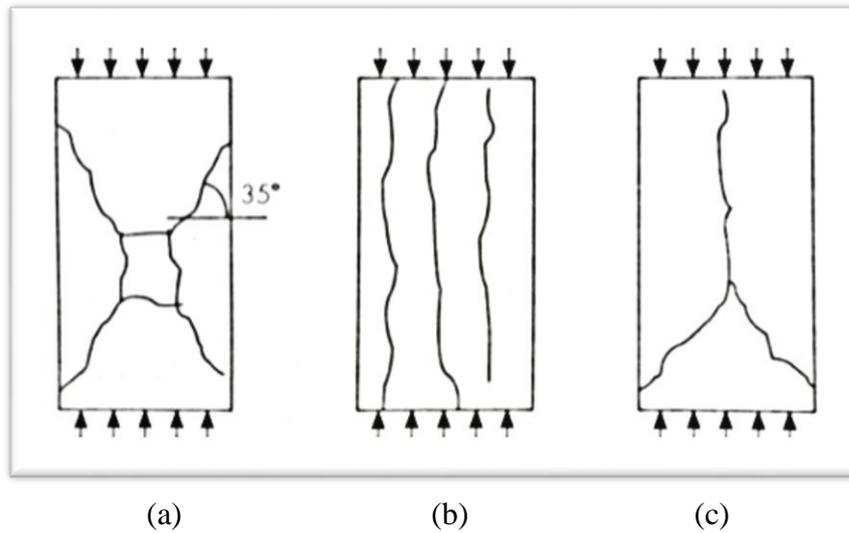
Tabel 2.11 Rasio kuat tekan benda uji silinder terhadap kubus

Kuat Tekan ( MPa)	7,0	15,5	20,0	24,5	27,0	34,0	37,0	41,5	45,0	51,5
Rasio kuat tekan silinder terhadap kubus	0,77	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96

(sumber: Neville, A. M., 1999)

Kegagalan suatu benda uji Dalam uji tekan biasanya dapat terjadi dalam tiga kemungkinan yang pertama, akibat beban aksial tekan, benda uji gagal dalam geser (gambar 2. 5. a) Didik tahanan yang muncul adalah dari kohesi dan friksi internal dalam benda uji titik kemungkinan kedua, kegagalan pada benda uji ditandai dengan pecahnya benda uji menjadi potongan-potongan berbentuk kolom-kolom atau dikatakan beton membelah ( Gambar 2.5.b) Kegagalan ini terjadi pada beton

dengan kuat tekan tinggi titik kegagalan ketiga merupakan gabungan dari kemungkinan pertama dan kedua yaitu antara geser dan belah (Gambar 2.5.c).



Gambar 2.5 Kegagalan pada uji kuat tekan beton : (a) gagal geser; (b) gagal belah;  
(c) gagal gabungan  
(sumber: Setiawan, 2016:19)