

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

a. Muhamad Wihardi Tjaronge

Pada penelitian benda uji di buat dari beton yang menggunakan agregat agregat buatan yang ringan sebagai agregat kasar dan pasir sebagai agregat halus.

Hasil penelitan dapat di simpulkan sebagai berikut :

1. Workability (kemudahan pekerjaan) dapat di jaga dengan slump rata-rata 8 cm.
2. Kemudahan udara yang di peroleh 5.6 % memenuhi kandungan udara rencana $5\% \pm 1.5$.
3. Kuat tekan rata-rata 29.35 Mpa melampaui kuat tekan rencana 27 MPa dengan standar deviasi kecil 0.43 MPa.
4. Perbandingan kuat lentur dengan kuat tekan 0.15 atau 1 : 6.5

b. I Ketut Sudarsana

Dari Hasil Penelitian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton dengan penambahan *styrofoam* maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. Penambahan persentase *styrofoam* dalam campuran beton menambah jumlah rongga udara dalam beton yang mengakibatkan nilai slump meningkat, namun menurunkan berat satuan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton.

2. Setiap penambahan 10% *styrofoam* ke dalam campuran beton akan menurunkan berat satuan beton sebesar $81,08 \text{ kg/m}^3$ (4,01 %) dan kuat tarik belah sebesar 0,34 MPa (12,19%).
3. Penambahan *styrofoam* pada pengujian kuat tarik lentur mengakibatkan penurunan kekuatan yg tidak linier, penambahan 10%, 20%, 30%, 40%, *styrofoam* akan menurunkan kuat tarik lentur 22,67%, 29,62%, 28,76%, 27,98% terhadap beton tanpa penambahan *styrofoam*.

3. Triana Dewi

Hasil dari penelitian pengaruh penggunaan terak sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat lentur dan berat jenis pada beton normal dengan perbandingan 1:2:3 dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh yang kuat antara variasi penggantian terak sebagai agregat kasar terhadap kuat lentur beton atau penggantian terak sebagai agregat kasar berpengaruh secara signifikan terhadap kuat lentur beton. Pengaruh yang terjadi bersifat negatif, penggantian terak sebagai agregat kasar akan mengakibatkan penurunan kuat lentur beton.
2. Ada pengaruh antara variasi penggantian terak sebagai agregat kasar terhadap berat jenis beton. Pengaruh yang terjadi bersifat positif, pengantiaan terak sebagai agregat kasar menyebabkan peningkatan berat jenis beton.
3. Tidak terdapat kuat lentur beton yang optimal dengan pertambahan persentase pengantian terak, karena semakin besar pergantian terak kuat lentur beton semakin menurun. Hal tersebut disebabkan oleh kurangnya kemampuan terak dalam berkaitan dengan bahan penyusun beton lainnya.

4. Hasil pengujian berat jenis beton menunjukkan variasi penggantian terak 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% telah mencapai berat jenis beton normal yaitu 2200 kg/m^3 (SNI 03-2847-2002).

2.2 Perbedaan antara Penelitian ini dengan Penelitian Terdahulu

Dari hasil dan pembahasan penelitian laboratorium dapat diketahui hasil kuat lentur beton yang di buat dari 2 quarry bahan agregat kasar yang berbeda maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Agregat kasar memenuhi kriteria yang baik digunakan campuran beton mutu $f' 20 \text{ MPa}$ dengan menggunakan Batu Split Cogreg.
2. Baik buruknya kualitas beton di tentukan saat kita memilih material tersebut sebelum di campur dengan bahan lainnya, maka dari itu dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap agregat yang dapat meningkatkan kualitas mutu beton.
3. Nilai kuat lentur beton yang terbesar pada 28 hari.

2.3 Landasan Teori

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), Beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau semen hidrolik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan yang membentuk massa padat. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan. Sebagai materi komposit, keberhasilan penggunaan beton tergantung pada perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan masing masing material yang baik. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras, dan akan mencapai kekuatan rencana (f_c). .

Beton memiliki kuat tarik yang lemah namun kuat tekan yang tinggi. Untuk kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor :

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis dan lekak-lekul bidang permukaan agregat.
3. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu.
5. Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a. Kualitas semen,
- b. Proporsi semen terhadap campuran,
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat,
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,
- g. Perawatan beton,
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985 : 24).

Kelebihan beton diantaranya dapat mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Selain itu pula beton juga memiliki kekuatan mumpuni, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang murah. Namun beton juga

mempunyai kekurangan-kekurangan diantaranya hal-hal yang membatasi pemakaiannya ialah :

- (1) Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- (2) Kekuatan tariknya rendah.
- (3) Beton cenderung untuk retak, karena semennya *hidraulis*. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terlihat separah struktur baja.
- (4) Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- (5) Penyusutan kering dan perubahan kadar air. Beton menyusut bilamana mengalami kekeringan dan bahkan ketika terjadi pengerasan, memuai dan menyusut bilamana basah dan kering.
- (6) Rayapan. Beton mengalami perubahan bentuk secara berangsur-angsur bilamana mengalami pembebanan.
- (7) Kerapatan terhadap air. Beton yang paling baik tidak dapat secara sempurna rapat terhadap air dan kelembaban serta mengandung senyawa-senyawa yang mudah larut serta terbawa keluar oleh air yang jumlahnya berubah-ubah.

2.4. Sifat dan Karakteristik Beton

1. Beton sangat baik menahan gaya tekan (*high compressive strength*), tetapi tidak begitu pada gaya tarik (*low tensile strength*).
2. Memiliki elastisitas rendah sehingga tidak mampu menahan gaya tegangan (tension) yang tinggi.

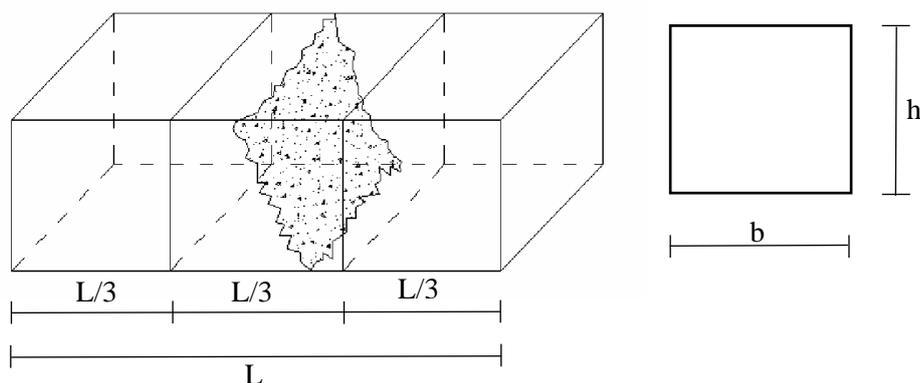
3. Konduktivitas termal beton relatif rendah. Dalam keadaan yang mengeras kekuatan beton sangat tinggi, Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk.
4. Agregat bertekstur seni jika diletakkan di bagian luar, sehingga nampak jelas pada permukaan betonnya.

2.4.1 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan.

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur beton dalam mega pascal (MPa) adalah sebagai berikut :

1. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan.



Gambar 2.1Patah pada 1/3 Bentang tengah

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b \cdot h^2}$$

Dimana, σ_I = kuat lentur benda uji (MPa)

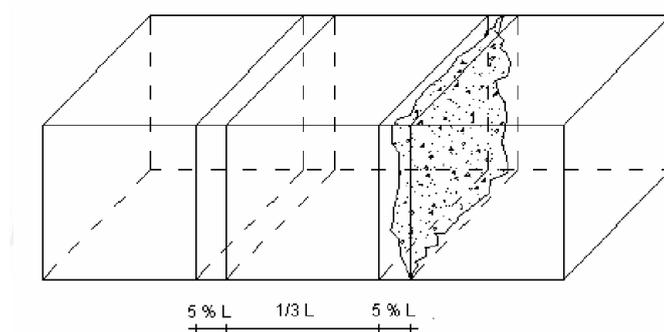
P = beban maksimal yang diberikan (N)

L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang arah vertikal (mm)

2. Untuk Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan.



Gambar 2.2 Patah pada 1/3 Bentang dan garis patah <5% dari bentang

$$\sigma_I = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

Keterangan: σ_I = kuat lentur benda uji (MPa)

P = beban maksimal yang diberikan (N)

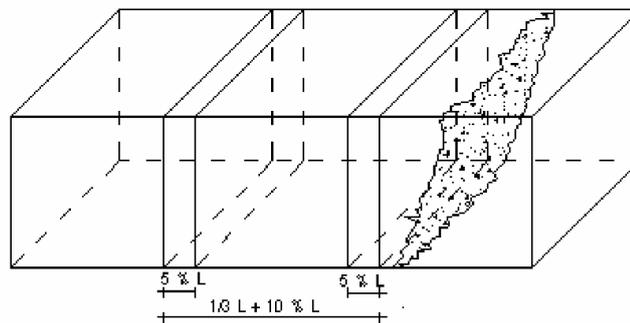
L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang arah vertikal (mm)

a = Jarak rata- rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat (mm).

3. Untuk benda uji yang patahnya di luar $1/3$ lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.



Gambar 2.3 Patah pada $1/3$ Bentang dan garis patah $>5\%$

2.4.2 Rangkak dan Susut

Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* adalah perubahan bentuk dibawah beban tetap. Pemberian beban pada beban pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut dengan rangkak. Besarnya deformasi ini tergantung pada faktor tegangan-kekuatan ada waktu pembebanan, tetapi dipengaruhi juga oleh faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen dan bahkan kondisi iklim. Jika beban kemudian diangkat, beton akan mengalami *recoveryelastic* yang langsung. Perpanjangan rangkap adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak dan susut dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat),
- b. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*),
- c. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*),
- d. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*),
- e. Umur beton pada saat beban bekerja,
- f. Nilai *slump* (*slump test*),
- g. Lama pembebanan,
- h. Nilai tegangan,
- i. Nilai rasio permukaan komponen struktur.

2.4.3 Berat Jenis

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.

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. Kardiyono Tjokrodinuljo, M.E., 1998, Bahan Bangunan : IV-57, Tabel 4.2)

2.5. Modulus Elastisitas

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

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

$$b) E_c = 4700 \text{ 00} \quad \text{untuk beton normal}$$

dimana, E_c = modulus elastisitas beton, MPa.

W_c = berat jenis beton.

F_c = kuat tekan beton, MPa.

2.6. Sifat dan Karakteristik Campuran Beton

Sifat dan karakteristik campuran beton segar secara tidak langsung akan mempengaruhi beton yang telah mengeras. Pasta semen tidak bersifat elastis sempurna tetapi *viscoelastic-solid* yaitu mampu dibentuk tanpa kehilangan kontinuitas dan mempertahankan suatu bentuk karena butir semen dan buih udara disebut dalam air dan khususnya karena gaya-gaya interpartikel cenderung memegang butir bersama sekaligus mencegah kontak langsung. Gaya gesek dalam, susut dan tegangan yang terjadi, biasanya tergantung dari energi, jumlah dan distribusi air, kekentalan aliran gel (pasta semen) dan penanganan pada saat sebelum terjadi tegangan serta *kristalin* yang terjadi untuk pembentukan porinya.

(1) Sifat dan Karakteristik Bahan Penyusun

Selain kekuatan pasta semen, hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah agregat. Karena proporsi campuran agregat dalam beton adalah 70-80 %, sehingga pengaruh agregat akan menjadi besar.

(2) Metode Pencampuran

a. Penentuan Proporsi Bahan (*Mix Design*)

Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui perancangan beton (*mix design*). Metode perancangan ini pada umumnya menentukan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton untuk kinerja tertentu yang diharapkan. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain :

(1). *Metode American Concrete Institute,*

(2). *Portland Cement Association,*

(3). *Road Note No.4,*

(4). *British Standard, Departement of Engineering,*

(5). Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03),

b. Metode pencampuran (*Mixing*)

Metode pencampuran dari beton diperlukan untuk mendapatkan kelecakan yang baik sehingga beton mudah dikerjakan. Metode pengadukan atau pencampuran beton akan menentukan sifat kekuatan dari beton.

c. Pengecoran (*Placing*)

Metode pengecoran akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika syarat-syarat pengecoran tidak terpenuhi, kemungkinan besar kekuatan tekan yang direncanakan tidak akan tercapai.

d. Pemasatan (*Vibrating*)

Pemasatan yang tidak baik akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton,

(3) Perawatan (*Curing*)

Perawatan dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan akibat suhu, Perawatan ini juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi ukur.

(4) Kondisi pada saat pengerjaan pengecoran

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton diantaranya:

- (1). Bentuk dan ukuran contoh,
- (2). Kadar air,
- (3). Suhu contoh,
- (4). Keadaan permukaan landasan, dan
- (5). Cara pembebanan.

2.7. Beton Mutu Sedang

Material beton terdiri atas agregat dan matriks pasta semen. Antara agregat dan mortar terdapat *interface zone* (zona antar permukaan). *Interface zone* merupakan daerah yang paling lemah pada beton. Kehancuran pada beton biasanya terjadi pada *interface*, yaitu bidang kontak antara pasta semen dengan agregat dimana ikatannya tidak sempurna.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton:

- (1) Faktor air semen

Secara umum, semakin besar nilai fas semakin rendah mutu kekuatan beton. namun hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya. Umumnya nilai fas minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimumnya 0,65. Tujuan pengurangan fas ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi.

(2) Kualitas agregat halus

Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas beton yang dibuat. Agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33 % lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh agregat berbentuk lainnya.

Modulus halus butir (*finnes modulus*) atau yang biasa disingkat MHB ialah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal (*retained*) diatas satu set ayakan, kemudian nilai tersebut dibagi 100. Semakin besar nilai MHB suatu agregat, semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai MHB sekitar 1,50 – 3,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MHB $1,5 < MHB < 3,8$ umumnya menghasilkan beton mutu tinggi dengan fas yang rendah dan mempunyai kekuatan tekan dan kelecakan yang optimal.

(3) Kualitas agregat kasar

Kekuatan agregat bervariasi dalam batas yang besar. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua hal. Pertama, karena terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel yang kuat tetapi tidak baik dalam hal

pengikatan (*interlocking*). Kedua, porositas yang besar yang akan mempengaruhi keuletan atau ketahanan terhadap beban kejut.

(4) Kontrol kualitas

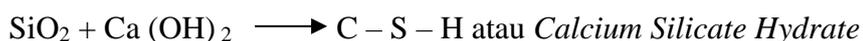
Selain hal diatas, untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan mutlak menjadi perhatian penting.

2.8. Bahan-bahan Penyusun Beton

Proses pengerasan beton dimulai dengan terjadinya proses hidrasi semen yang merupakan pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* ($C_3S_2H_3$) dari *Tricalcium Silicate*, *Dicalcium Silicate* dan air.



$C_3S_2H_3$ merupakan senyawa yang memperkuat beton, sedangkan $Ca (OH)_2$ (kapur mati) adalah senyawa yang porous yang memperlemah beton. Dengan adanya unsur silika tambahan dari bahan tambah semen diharapkan $Ca (OH)_2$ (kapur mati) akan bereaksi kembali dengan silika tersebut dan membentuk $C_3S_2H_3$ yang mengurangi terbentuknya $Ca (OH)_2$ sehingga dapat mempertinggi beton reaksi unsur silika dengan kapur bebas tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :



2.8.1 Air

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

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

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton.

Pengaruh kotoran pada air secara umum bisa mengakibatkan:

1. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
2. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
3. Perubahan volume yang mengakibatkan keretakan.
4. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
5. Bercak-bercak pada permukaan 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)

ppm* = parts per million.

2.8.2 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. Pasta semen adalah *lem*, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu kuat maka tidak menjamin lekatan yang baik.

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen Portland adalah kapur (CaO) sekitar 60 % - 65 %, silica (SiO₂) sekitar 20 % - 25 %, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃) dan Al₂O₃) sekitar 7 % - 12 %. Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

(1). Sifat fisika semen Portland

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

(2). Sifat-sifat kimiawi.

Sifat-sifat kimiawi dari 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 (3CaO.SiO₂) yang disingkat menjadi C₃S.
- b. Dikalsium Silikat (2CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₂S.
- c. Trikalsium Aluminat (3CaO. Al₂O₃) yang disingkat menjadi C₃A.
- d. Tertakalsium aluminoferrit (4CaO. Al₂O₃.Fe₂O₃) yang disingkat menjadi C₄AF.

Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen membentuk karakter dan jenis semen menjadi lima jenis, yaitu :

- 1) Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus.
- 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 yang rendah.
- 5) Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat

2.8.3 Agregat

Agregat pada beton menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*), dan ekonomis..

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 pada 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.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu :

1. Volume udara. Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton.
2. Volume padat. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton.
3. Berat jenis agregat. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
4. Penyerapan. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat. Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

Pada umumnya agregat digolongkan dalam tiga kelompok, yaitu :

- a. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

2.8.3.1 Sifat-sifat agregat dalam campuran beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton.

Sifat-sifat tersebut adalah :

1. Serapan air dan kadar air agregat,

2. Berat jenis dan daya serap agregat,
3. Gradasi agregat,
4. Modulus halus butir,
5. Ketahanan kimia,
6. Kekentalan,
7. Perubahan volume,
8. Karakteristik panas (sifat thermal agregat), dan
9. Bahan-bahan lain yang mengganggu.

2.8.3.2 Agregat halus (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.

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah).

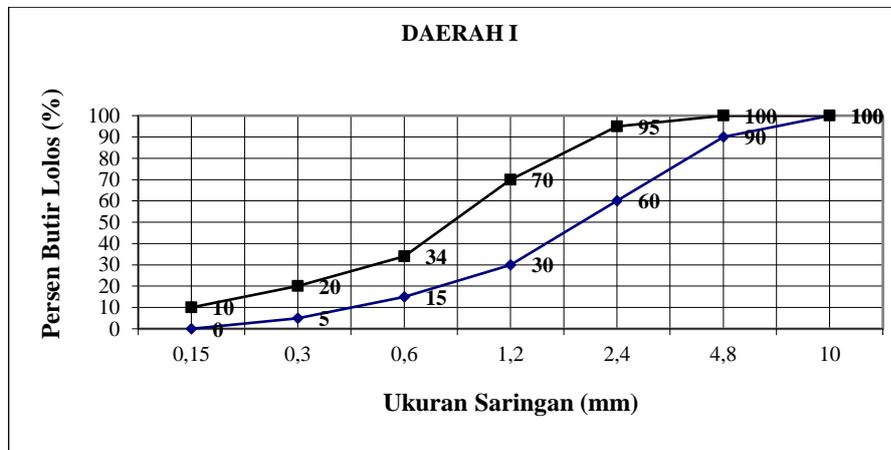
Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Halus (*British Standard*)

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	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

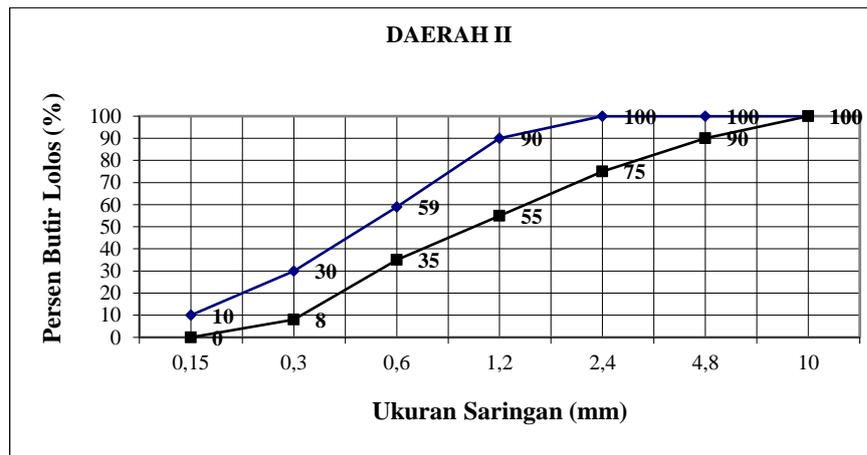
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

(Sumber : SNI 03-2834-1993., Metode, Spesifikasi dan Tata Cara ;233, Tabel 6)

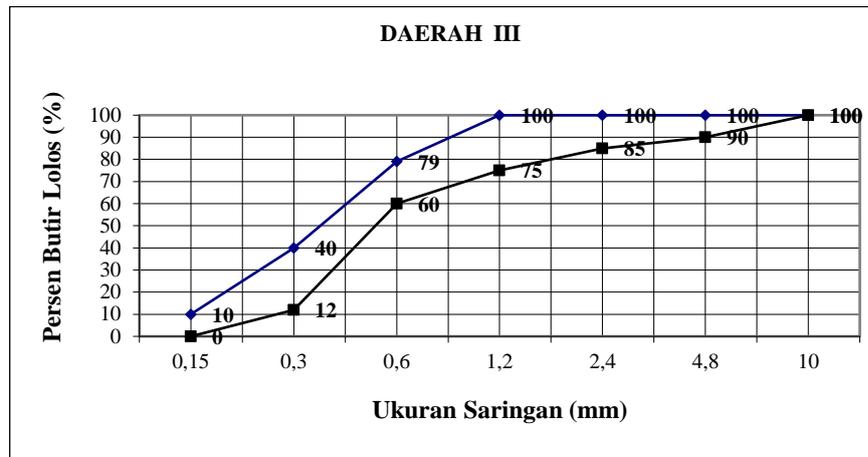
- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
 - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
 - Daerah Gradasi III = Pasir Halus
 - Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus



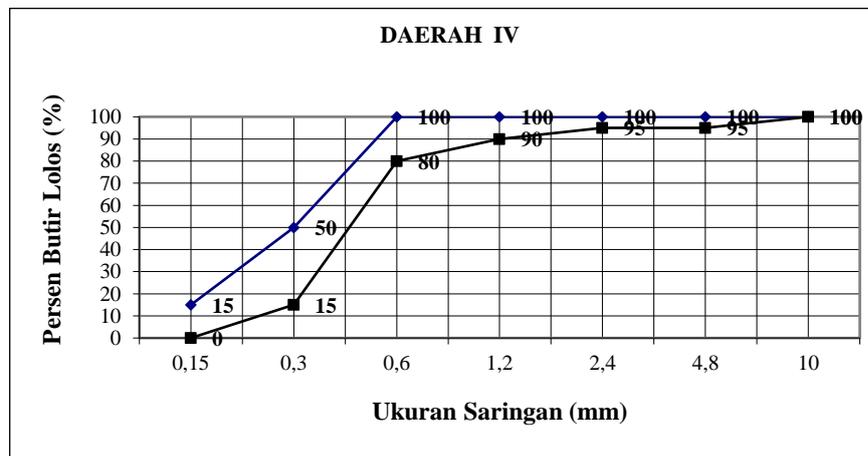
Gambar 2.4 Daerah Gradasi Pasir Kasar



Gambar 2.5 Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Gambar 2.6 Daerah Gradasi Pasir Halus



Gambar 2.7 Daerah Gradasi Pasir Agak Halus

ASTM C.33-86 dalam “Standard Specification for Concrete Aggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C.33-86

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9.5	100
4.75	95 – 100
2.36	80 – 100
1.18	50 – 85
0.6	25 – 60
0.3	10 – 30

0.15	2 – 10
------	--------

(Sumber : Mulyono Tri, 2013; Hal 93)

2.8.3.3 Agregat kasar (Kerikil)

Lubang Ayakan (mm)	Persen butir lewat ayakan, besar butir maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12.5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 - 85

Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua butir tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat ini dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang pecah.

Menurut *British Standard* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.5 Syarat Agregat Kasar Menurut *British Standard*

4.8	0 – 5	0 - 10	0 – 10
-----	-------	--------	--------

(Sumber : Mulyono Tri, 2013; Hal 94)

2.8.3.3.1 Agregat Kasar Cogreg

Agregat kasar gunung batu Cogreg terletak di Desa Cogreg Kecamatan Cikatomas Kabupaten Tasikmalaya, agregat kasar ini dibuat atau dibentuk dengan mesin pemecah batu dan disaring sesuai ukuran yang dibutuhkan.

Ciri dari agregat gunung batu Cogreg berbentuk pipih, kuat dan tajam. Tidak mudah pecah karena cuaca dan tidak mengandung lumpur, zat organik dan sebagainya.



Gambar 2.8 Quarry Bahan Agregat Kasar Cogreg Cikatomas



Gambar 2.9 Batu Cogreg Setelah Dipecah dan Disaring

2.8.3.3.2 Agregat Kasar Galunggung

Letusan Gunung Galunggung yang terjadi pada tahun 1982 menghasilkan material alam berupa pasir dan batuan yang melimpah. Penambangan pasir di

sekitar Gunung Galunggung menghasilkan limbah berupa kerikil yang bercampur tanah, yang oleh masyarakat setempat biasa disebut barangkal Galunggung. Barangkal Galunggung mempunyai deposit yang besar dan mudah diperoleh, tetapi sampai saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik dan sifat teknis barangkal Galunggung selama ini belum banyak diinformasikan. Berdasarkan pemeriksaan dan pengujian awal ternyata barangkal Galunggung mempunyai berat jenis yang lebih ringan dari agregat normal serta mempunyai nilai serapan air atau tingkat porositas yang lebih tinggi dari agregat normal. Dengan pertimbangan tersebut dalam penelitian ini barangkal Galunggung difokuskan sebagai agregat kasar untuk bahan dalam pembuatan beton non pasir. Untuk keperluan beton dengan struktur ringan dan beton non struktur beton non pasir dengan agregat barangkal Galunggung diharapkan lebih murah karena menggunakan agregat lokal dan tidak menggunakan pasir.

Ciri dari agregat gunung batu Galunggung juga sama dengan gunung batu cogram berbentuk pipih, kuat dan tajam. Tidak mudah pecah karena cuaca dan tidak mengandung lumpur, zat organik dan sebagainya.



Gambar 2.10 Agregat Kasar Galunggung

2.9 Perancangan Campuran Beton Metode SNI

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Pada dasarnya perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain :

- (1). *Metode American Concrete Institute,*
- (2). *Portland Cement Association,*
- (3). *Road Note No.4,*
- (4). *British Standard, Departement of Engineering,*
- (5). Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03).

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 Mpa sesuai dengan teori perancangan proporsi campuran adukan beton, pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm.

Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga $f'_{c} \leq 20$ Mpa boleh menggunakan penakaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 Mpa harus menggunakan campuran berat.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03).

1. Penetapan kuat Lentur beton yang disyaratkan (f'_{c}) pada umur tertentu.

Kuat lentur beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.

2. Penetapan nilai deviasi standar (s)

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

- a. Jika pelaksanaan mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratan (selain yang tersebut di atas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (Satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka, dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada tabel 2.5. berikut :

Tabel 2.6. Faktor pengali deviasi standar (s)

Jumlah Data	:	30	25	20	15	< 15
Faktor pengali	:	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

*) Untuk nilai antara dipakai interpolasi.

- b. Jika pelaksanaan tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

3. Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat melihat tabel 2.7. berikut :

Tabel 2.7. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Kondisi Pengerjaan	Standar Deviasi (MPa)	
	Lapangan	Laboratorium
Sempurna	< 3	<1,5
Sangat Baik	3 – 3,5	1,5 – 1,75
Baik	3,5 – 4	1,75 – 2
Cukup	4 – 5	2 – 2,5
Kurang Baik	> 5	>2,5

(Sumber : Ir. Iswandi imran; pengenalan rekayasa & bahan kontruksi ; 6-6)

4. Penghitungan nilai tambah “margin”(M),

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa (karena tidak mempunyai data sebelumnya) maka langsung ke langkah (4). Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar s_d maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \times s_d$$

dengan : M : nilai tambah (MPa),

k : 1,64,

s_d : deviasi standar (MPa).

5. Menentukan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

dengan : f'_{cr} : kuat tekan rata-rata (MPa),

f'_c : kuat tekan yang disyaratkan (MPa),

M : nilai tambah (MPa).

6. Menentukan jenis semen portland

Menurut PUBI 1982 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah dipakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

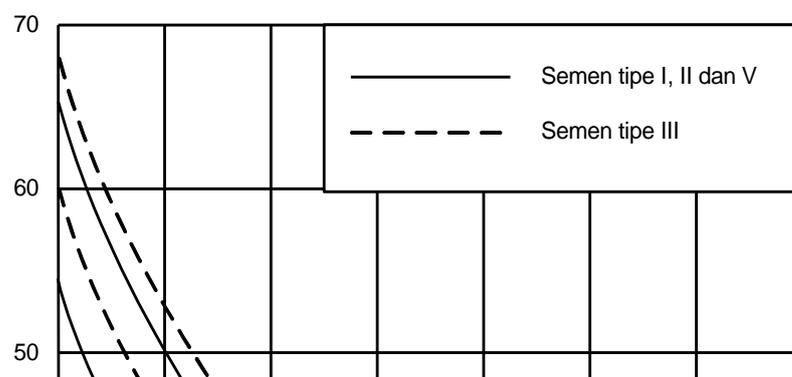
7. Penetapan jenis agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tidak dipecahkan) atau agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*).

8. Tetapkan faktor air semen, dengan salah satu dari kedua cara berikut :

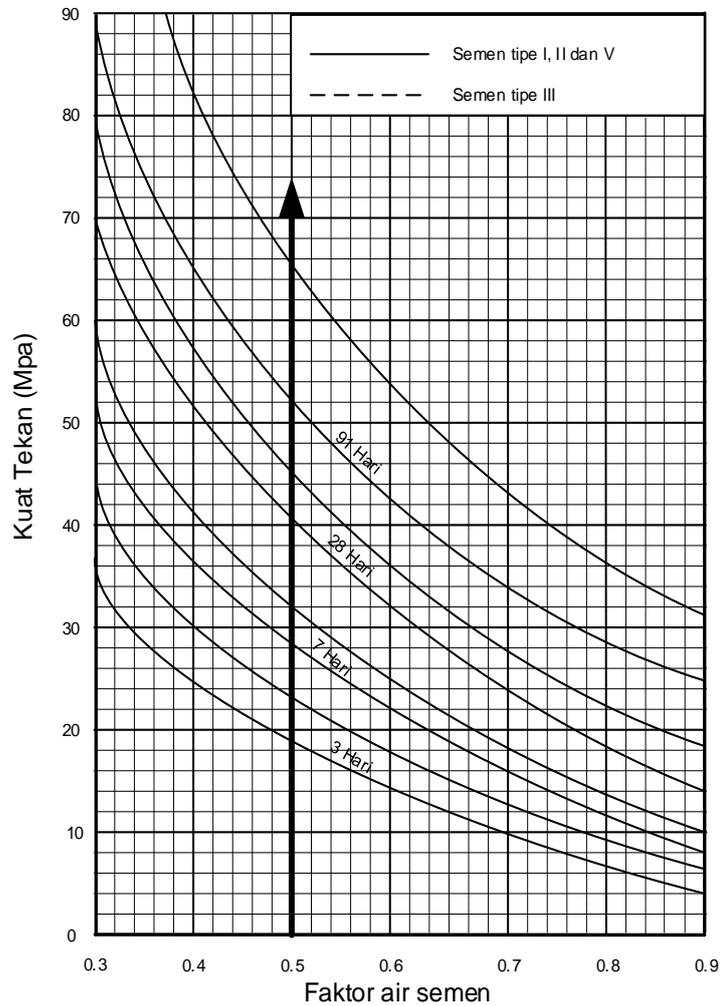
Cara pertama, berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat grafik berikut

Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata kubus yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat grafik berikut :



Grafik 2.1 Hubungan faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton
(sebagai perkiraan nilai fas).

Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata kubus yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat grafik berikut :



Grafik 2.2 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen
(benda uji bentuk kubus)

9. Penetapan faktor air semen maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan nilai faktor air semen maksimum dapat dilakukan dengan melihat tabel 2.5. Jika nilai f_{as} maksimum ini lebih rendah daripada nilai f_{as} dari langkah 7, maka nilai f_{as} maksimum ini yang dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.8 Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.

Jenis pembetonan	Faktor air-semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan	:
a. Keadaan keliling non-korosif	: 0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	: 0,25
Beton di luar ruang bangunan	:
a. Tidak terlindung daru hujan dan terik matahari langsung	: 0,55 : 0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	
	:
Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	: 0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	: Tabel 2.6.a.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar /payu/laut	: Tabel 2.6.b.

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

10. Penentuan berat jenis beton

11. Kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

$$W_{campuran} = W_{beton} - A - S$$

- dengan :
- $W_{campuran}$: kebutuhan agregat campuran (kg),
 - W_{beton} : berat beton (kg/m^3),
 - A : kebutuhan air (litr),
 - S : kebutuhan semen (kg).

12. Kebutuhan agregat halus (pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{pasir} = \left(\frac{P}{100} \right) \times W_{campuran}$$

- dengan :
- W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg),
 - $W_{campuran}$: kebutuahn agregat campuran (kg),
 - P : persentase pasir terhadap campuran.

13. Kebutuhan agregat kasar (kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{krk} = W_{campuran} - W_{pasir}$$

- dengan :
- $W_{kerikil}$: kebutuhan agregat kerikil (kg),

W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg),

W_{campuran} : kebutuahn agregat campuran (kg),

Dalam perhitungan di atas agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering-muka, sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus dilakukan minimum satu kali per hari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$1. \text{ Air} \quad : A - \left[\frac{(A_h - A_1)}{100} \right] \times B - \left[\frac{(A_k - A_2)}{100} \right] \times C$$

$$2. \text{ Agregat halus} \quad : B + \left[\frac{(A_h - A_1)}{100} \right] \times B$$

$$3. \text{ Agregat kasar} \quad : C + \left[\frac{(A_k - A_2)}{100} \right] \times C$$

dengan :

A : jumlah kebutuhan air (liter/m³),

B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³),

C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³),

A_h : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%),

A_k : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%),

A_1 : kadar air pada agregat halus jenuh kering-muka (%),

A_2 : kadar air pada agregat kasar jenuh kering muka (%).

Tabel 2.9 Faktor air-semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat.

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Faktor air-semen maksimum
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (gr/ltr)			
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15 – 40 %)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	0,50
			Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II dan V	0,45

1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland	0,45
			Pozolan	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V	0,45
			Tipe II atau V	
			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air-semen
Air tawar	Semua tipe I s.d V	
	Tipe I + Pozolan (15-40 %)	0,50
Air payau	atau semen portland Pozolan	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

14. Penetapan nilai *slump*

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam 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

15. Penetapan besar butir agregat minimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut :

- a. $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau tendon prategang atau selongsong.
- b. Sepertiga kali tebal plat.
- c. Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.

16. Tetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan *slump* yang diinginkan,

Tabel 2.10 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besar ukuran maks. Kerikil (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180

10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

Dari tabel di atas apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus:

$$A = 0,67A_h + 0,33A_k$$

dengan :

A : Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³),

A_h : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus,

A_k : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar.

17. Hitung berat semen yang diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah 7 dan 8.

18. Kebutuhan semen minimum

Kebutuhan air semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut.

Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan menggunakan tabel di bawah ini.

Tabel 2.11 Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis pembetonan	Semen minimum (kg/m ³ beton)
	:
Beton di dalam ruang bangunan	
a. Keadaan keliling non-korosif	275
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325
	:
Beton di luar ruang bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	: 275
Beton yang masuk ke dalam tanah	

a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325 Tabel 2.9.a.
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar /payau/laut	Tabel 2.9.b.

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

Tabel 2.12 Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)		
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr)		Ukurn maks. agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 :1 (gr/ltr)			40	20	10
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15 – 40 %)	280	300	350
0,2–0,5	1,0–1,9	0,3-1,2	Tipe I tanpa Pozolan	290	330	380
			Tipe I dengan Pozolan (15 – 40 %) atau semen			

0,5– 1,0	1,9– 3,1	1,2-2,5	portland Pozolan			
			Tipe II dan V	250	290	430
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe I denga Pozolan (15 – 40 %) atau semen portland Pozolan	340	380	430
			Tipe II atau V	290	330	380
2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V	330	370	420
> 2,0			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	330	370	420

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

Tabel 2.13 Kandungan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan :	Tipe semen	Kandungan semen min.	
		Ukuran maks. agregat (mm)	
		40	40
Air tawar	Semua tipe I s.d V	280	280
Air payu	Tipe I + Pozolan (15- 40 %) atau semen	340	340

	portland Pozolan		
Air laut	Tipe II atau V	290	290
	Tipe II atau V	330	330

(sumber : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

19. Penyesuaian kebutuhan semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah 12 ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum langkah 13 maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih tinggi).

20. Penyesuaian jumlah air dan faktor air semen

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah (14) maka nilai faktor air semen berubah. Dalam hal ini, dapat dilakukan dengan dua cara berikut :

- a. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

21. Penentuan daerah gradasi agregat halus

Berdasarkan gradasinya (hasil analisis ayakan) agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah (zona), yaitu daerah 1, 2, 3, dan 4.

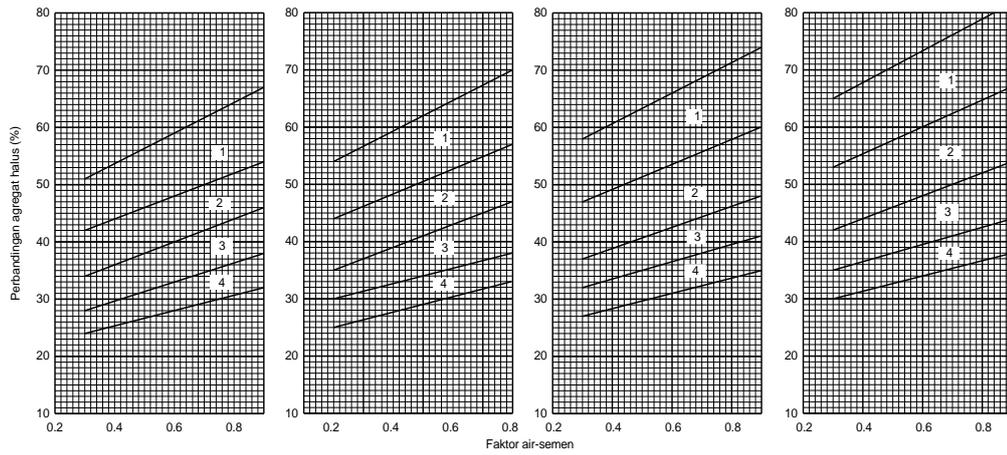
Tabel 2.14 Batas Gradasi Pasir

No Saringan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	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 : SNI 03-2834-1993. Tata cara rencana campuran beton normal)

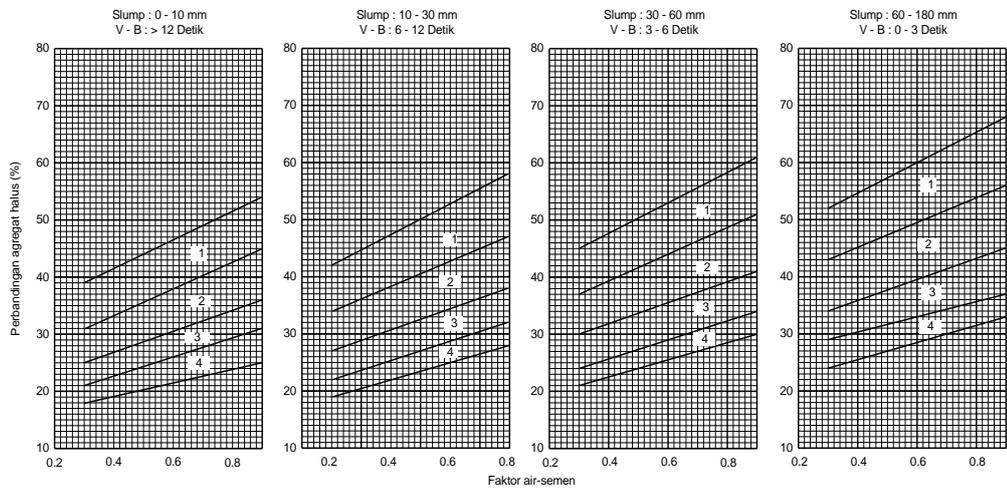
22. Perbandingan agregat halus dengan agregat kasar

Nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Grafik 2.3.a, 2.3.b, 2.3.c. dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



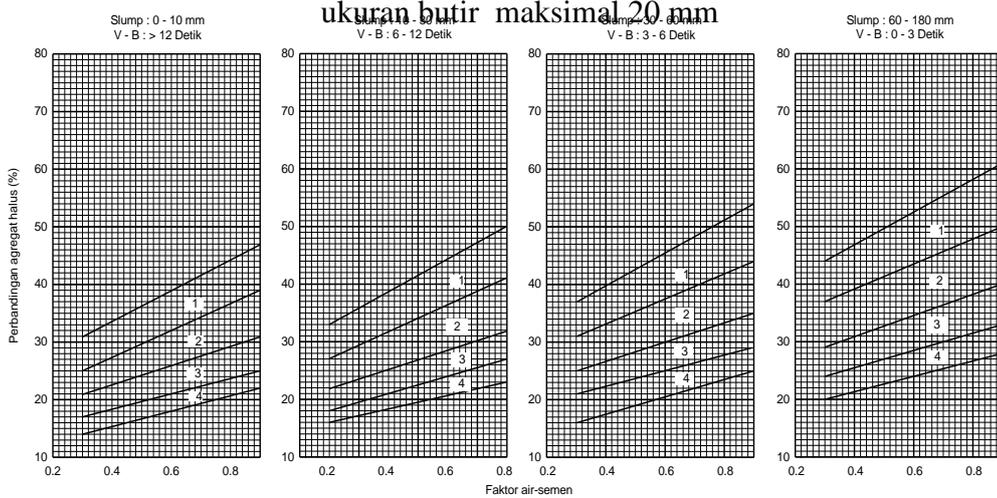
Grafik 2.3 Persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk

ukuran butir maksimal 10 mm



Grafik 2.4 Persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk

ukuran butir maksimal 20 mm



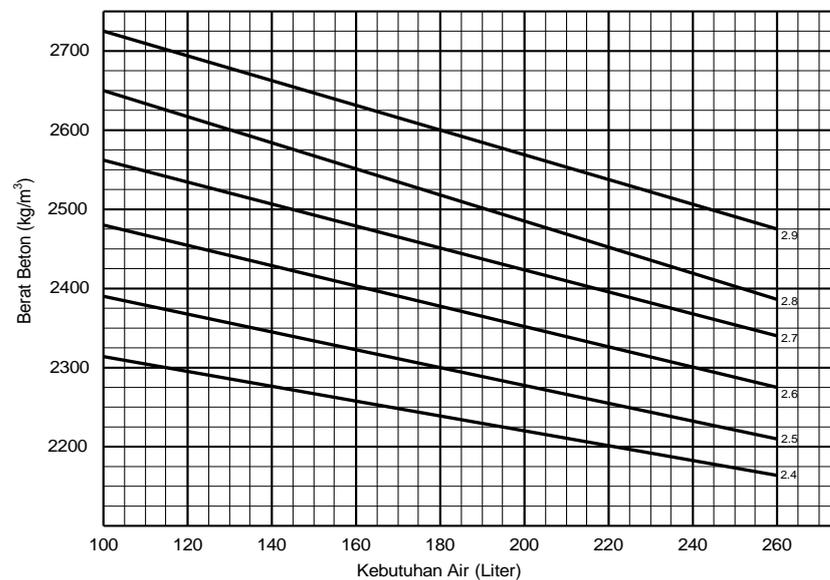
Grafik 2.5 Persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk

ukuran butir maksimal 40 mm

23. Penentuan berat jenis beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah sebelumnya dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dengan grafik 2.4 Dapat diperkirakan berat jenis betonnya. Caranya adalah sebagai berikut :

- Dari berat jenis agregat campuran dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada grafik.
- Kebutuhan air yang diperoleh dimasukkan dalam grafik, kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yang dibuat di atas.
- Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.



Grafik 2.6 Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton

2.10. Pengujian Bahan-bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian bahan ini meliputi pemeriksaan bahan agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah lainnya. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium.

2.10.1. Pemeriksaan Berat Volume Agregat

a. Tujuan

Menentukan pembagian butir gradasi agregat. Data distribusi butiran sangat diperlukan dalam perencanaan adukan beton. Pelaksanaan penentuan gradasi ini dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar. Alat yang digunakan adalah seperangkat saringan dengan ukuran jaring-jaring tertentu.

b. Peralatan

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm yang ujungnya bulat, terbuat dari baja tahan karat.
4. Mistar perata.
5. Skop
6. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder

c. Bahan

1. Agregat Halus (500 gram)
2. Agregat Kasar (5000 gram)

d. Prosedur Pelaksanaan

Agregat dimasukkan ke dalam talam sekurang-kurangnya kapasitas wadah, kemudian dikeringkan dengan suhu 110 °C sampai berat menjadi tetap untuk digunakan sebagai benda uji.

Berat isi padat agregat dengan cara penusukan :

- a. Berat wadah ditimbang dan dicatat, (W_1).
 - b. Wadah diisi dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang ditusukkan sebanyak 25 kali secara merata.
 - c. Permukaan benda uji diratakan dengan menggunakan mistar perata.
 - d. Benda uji ditimbang dan dicatat, (W_2).
 - e. Berat benda uji ditimbang, ($W_3 = W_2 - W_1$).
- e. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = \frac{W_3}{V} [\text{kg/dm}^3]$$

dengan : V adalah isi wadah [dm^3]

2.10.2. Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

a. Tujuan

Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar.

Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik.

b. Peralatan

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
2. Seperangkat saringan untuk analisis agregat halus dengan ukuran : 9,5 mm (3/8"), 4,76 mm (No. 4), 2,38 mm (No. 8), 1,18 mm (No. 16), 0,3 mm (No. 50) dan 0.149 mm (No. 100) dan 0,075mm (No.200)
3. Seperangkat saringan untuk analisis agregat kasar dengan ukuran : 25,4 mm (No.1), 19.10 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2") dan 4.8 mm (3/8"), 4,75 mm (No.4), dan ukuran 2,38 mm (No.8)
4. Oven yang dilengkapi pengaturan suhu untuk pemanasan sampai 110 °C.
5. Alat pemisah contoh (sample splitter).
6. Mesin penggetar saringan.
7. Talam-talam.
8. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat lain-lainnya.

c. Bahan

- a. Agregat Halus
- b. Agregat Kasar

d. Prosedur Pelaksanaan

1. Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu 110⁰C
2. Contoh dicurahkan pada perangkat saringan. Susunan saringan dimulai dari saringan paling besar diatas. Perangkat saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

e. Perhitungan

Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji dihitung.

f. Hasil Pemeriksaan

2.10.3. Pemeriksaan Kadar Lumpur dalam Agregat Halus

a. Tujuan

Menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

b. Peralatan

1. Gelas ukur
2. Alat pengaduk

c. Bahan

Sample pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air biasa.

d. Prosedur Pelaksanaan

1. Sample benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
3. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
4. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur.

e. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$$

2.10.4. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

a. Tujuan

Menentukan kadar agregat dengan proses pengeringan. Agregat yang basah akan mempengaruhi campuran lebih basah dan meningkatkan faktor air semen, dan sebaliknya agregat yang kering akan menyerap air campuran dan menurunkan kelecakan beton. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi takaran air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat lapangan.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh.
2. Oven yang suhunya dapat diatur sampai 110⁰C.
3. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar bagi tempat pengeringan.

c. Bahan

1. Agregat Halus
2. Agregat Kasar

d. Prosedur Pelaksanaan

1. Berat talam ditimbang dan dicatat, (W_1).
2. Benda uji dimasukkan ke dalam talam dan kemudian berat talam + benda uji ditimbang kemudian dicatat, (W_2).
3. Berat benda uji dihitung, ($W_3 = W_2 - W_1$)
4. Contoh benda uji dikeringkan bersama talam dalam oven pada suhu (110 ± 5) ⁰C hingga mencapai bobot tetap.

5. Setelah kering, contoh ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W_4).
 6. Berat benda uji kering dihitung, ($W_5 = W_4 - W_1$)
- e. Perhitungan

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

Dengan : W_3 = berat contoh semula (gram)

W_5 = berat contoh kering (gram)

2.10.5. Analisis Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

a. Tujuan

Tujuan Pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan daripada agregat halus. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besarnya komposisi volume agregat dalam adukan beton.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram yang mempunyai kapasitas minimum sebesar 1000 gram.
2. Piknometer dengan kapasitas 500 gram.
3. Cetakan kerucut pasir
4. Tongkat pemadat dari logam untuk cetakan kerucut pasir

c. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan No. 4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 100 gram. Berat contoh agregat halus disiapkan sesuai kapasitas piknometer.

d. Prosedur Pelaksanaan

1. Agregat halus yang jenuh air dikeringkan sampai diperoleh kondisi dengan indikasi contoh tercurah dengan baik.
2. Sebagian dari contoh dimasukkan pada *metal sand cone mold*. Benda uji dipadatkan dengan tongkat pemadat (tamper). Jumlah tumbukan adalah 25 kali. Jika cetakan diangkat dan butiran-butiran pasir longsor/runtuh, maka contoh benda uji dalam kondisi SSD.
3. Berat piknometer yang berisi air sesuai kapasitas ditimbang dengan ketelitian 0.1 gram.
4. Contoh agregat halus dimasukkan kedalam piknometer sesuai kapasitasnya. Piknometer diisi dengan air sampai 90 % penuh kemudian goyang-goyang untuk membebaskan gelembung-gelembung udara. Timbang piknometer yang berisi contoh dan air, diamkan selama 24 jam.
5. Contoh benda uji dipisahkan dari piknometer dan keringkan pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ selama 24 jam, setelah kering kemudian benda uji ditimbang.

e. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B + B_a - B_t}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_a}{B + B_a - B_t}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_a - B_k}{B_k} \times 100 \%$$

Keterangan :

B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B = berat piknometer berisi air, dalam gram

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram

B_a = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

2.10.6. Analisis Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Tujuan

Tujuan Pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan daripada agregat halus. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besarnya komposisi volume agregat dalam adukan beton.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0.5 gram yang mempunyai kapasitas 5 Kg.
2. Keranjang kawat dengan ukuran 3,35 mm (No. 6) atau 2,36 mm (No.8) dengan kapasitas kira-kira 5 kg;
3. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap;
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai 110°C.
5. Alat pemisah sample.
6. Saringan No. 4 (4,75 mm)

c. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat, kira-kira 5 kg.

d. Prosedur Pelaksanaan

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
2. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 110⁰C 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 pengeringan dengan oven;
3. Keringkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (B_k).
4. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
5. Keluarkan benda uji dari dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
6. Timbang benda uji kering-permukaan jenuh (B_j).
7. Letakkan benda uji didalam keranjang, goncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (B_a).

e. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat jenis kering-permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \end{aligned}$$

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 di dalam air, dalam gram

2.11. Perencanaan Campuran Beton

Campuran beton merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*).

2.12. Penjelasan Bahan Campuran Beton yang dipakai.

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Galunggung.
2. Semen yang digunakan semen type I merk Holcim.
3. Agregat kasar yang digunakan Quarry Cogreg Cikatomas dan Quarry Galunggung.

2.13. Pembuatan Benda Uji

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton.

Tabel 2.15 Variasi Pembuatan dan Jumlah Benda Uji

NO	Variasi Campuran Agregat Kasar	Umur Benda Uji Balok (Hari)			Jumlah Benda Uji (Hari)
		14	21	28	
1	Komposisi I	3bh	3bh	3bh	9 bh
2	Komposisi II	3bh	3bh	3bh	9 bh
3	Komposisi III	3bh	3bh	3bh	9 bh
4	Komposisi IV	3bh	3bh	3bh	9 bh
5	Komposisi V	3bh	3bh	3bh	9 bh
		Total Benda Uji Balok			45 bh

Keterangan :

- a. Komposisi I : 100% Cogreg + 0% Galunggung
- b. Komposisi II : 75% Cogreg + 25% Galunggung
- c. Komposisi III : 50% Cogreg + 50% Galunggung
- d. Komposisi IV : 25% Cogreg + 75% Galunggung
- e. Komposisi V : 0% Cogreg + 100% Galunggung

Adapun tahapan dalam pelaksanaan di lapangan meliputi :

- a. Persiapan

Sebelum pelaksanaan penuangan beton dilaksanakan, hal-hal yang dilakukan adalah membersihkan semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan beton, membersihkan cetakan benda uji dan melapisi cetakan tersebut dengan minyak mineral untuk memudahkan pembukaan benda uji.

- b. Penakaran

Penakaran bahan-bahan penyusun beton dihasilkan dari hasil rancangan yang telah dihitung sebelumnya.

- c. Pengadukan (*Mixing*)

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan, maka proses selanjutnya adalah pencampuran di lapangan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Alat yang digunakan dalam pengadukan adalah *pan mixer* lalu dituang ke dalam *truck mixer*.

d. Pengujian beton segar (*Slump*)

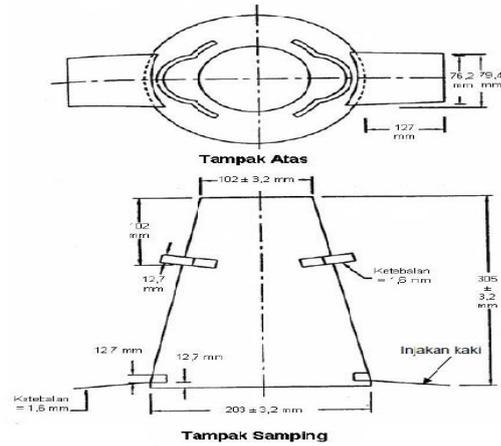
1. Tujuan

Menentukan ukuran derajat kemudahan pengecoran adukan beton segar.

2. Peralatan

Untuk melaksanakan pengujian *slump* beton diperlukan peralatan sebagai berikut :

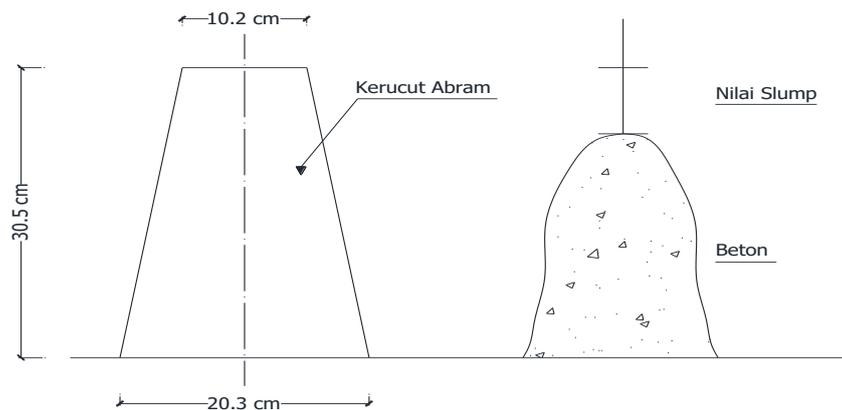
1. Cetakan dari logam tebal minimum 1,2 mm berupa kerucut terpancung (*cone*) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm dan tinggi 305 mm. Bagian atas dan bawah cetakan terbuka.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm. Ujung tongkat bulat dan bahan tongkat dibuat dari baja tahan karat.
3. Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air.
4. Sendok cekung.
5. Mistar cukur.



Gambar 2.11 Cetakan Uji Slump (Kerucut Abram)

3. Prosedur pelaksanaan
 - a. Cetakan dan pelat dibasahi dengan kain basah.
 - b. Cetakan diletakkan di atas pelat.
 - c. Cetakan diisi sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis. Tiap lapis kira-kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Tongkat pemadat harus masuk tepat sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukan bagian tepi dilakukan dengan tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan dinding cetakan.
 - d. Setelah selesai pemadatan, permukaan benda uji diratakan dengan tongkat, tunggu selama 30 detik dan dalam jangka waktu ini semua kelebihan beton segar disekitar cetakan dibersihkan. kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas; seluruh pengujian mulai dari pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit
 - e. Balikkan cetakan dan letakan perlahan-lahan disamping benda uji, ukurlah *slump* yang terjadi dengan menentukan perbandingan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji

- f. Pengukuran slump harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk Plat, balok, kolom, dan dinding mempunyai nilai maksimum sebesar 15 cm dan minimum 7.5 cm



Gambar 2.12 Pengukuran Uji *Slump*

- e. Penuangan atau pengecoran (*Placing*)

Penuangan beton segar kedalam cetakan dilakukan secara manual. Alat yang digunakan adalah sendok dan tongkat pemadat.

1. Tujuan

Membuat benda uji untuk pemeriksaan kekuatan beton.

2. Peralatan

- a. Cetakan balok dengan ukuran 60 x 15 x 15 cm
- b. Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 60 cm, dengan ujung dibulatkan terbuat dari baja tahan karat.
- c. Bak pengaduk beton kedap air atau mesin pengaduk.
- d. Satu set alat pelapis (*capping*).
- e. Peralatan tambahan : ember, skop, sendok perata dan talam.

3. Prosedur Pencetakan

- a. Benda-benda uji (Balok) dibuat dengan cetakan yang sesuai dengan bentuk benda uji. Cetakan disapu sebelumnya dengan vaselin atau minyak agar beton mudah dilepaskan dari cetakan.
- b. Adukan beton diambil langsung dari *truck mixer* adukan beton dengan menggunakan roda pengakut dan ember.
- c. Cetakan diisi dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat tidak boleh mengenai dasar cetakan. Pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga tongkat pemadat boleh masuk antara 25.4 mm ke dalam lapisan di bawahnya. Ketuk-ketuk sisi cetakan agar rongga bekas tusukan tertutup.
- d. Untuk benda uji berbentuk balok ukuran sisi 60 cm x 15 cm x 15 cm cetakan diisi dengan adukan dalam 2 lapis dan tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 32 kali tusukan.
- e. Setelah 24 jam, benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian direndam dalam bak perendam berisi air yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan (*curing*) selama waktu yang dikehendaki.
- f. Perawatan (*Curing*)

Perawatan dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras dan dapat dibuka dari cetakan. Perawatan dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan

dilakukan selama 14, 21 dan 28 hari dengan menaruh benda uji dalam bak penampungan.

2.14. Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian Kuat Lentur Beton

a. Tujuan

Menentukan kekuatan lentur beton berbentuk balok yang dibuat dan dirawat (*cured*) di laboratorium.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh.
2. Mesin Penguji

c. Prosedur Pengujian

1. Benda uji diambil dari tempat perawatan (bak perendam) sesuai dengan umur beton yang dikehendaki, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
2. Benda uji di timbang dengan menggunakan timbangan digital.
3. Benda uji diletakkan pada mesin *hydraulic jack* secara memanjang, setelah itu mesin uji dinyalakan.
4. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan catat beban maksimum hancur yang terjadi selama pengujian.
5. Langkah a), b), c), dan d) diulangi sesuai dengan jumlah benda uji yang akan ditentukan kekuatan lentur karakteristiknya.

d. Perhitungan

Kekuatan lentur beton, $f_r' = \frac{Pl}{bd^2}$

Dimana : P = beban maksimum
 l = panjang (mm)
 b = lebar (mm)
 d = tinggi/tebal (mm)

e. Hasil Pengujian