

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran bahan yang tersusun dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (split), yang mengalami pengikatan secara kimiawi oleh air dan semen yang membentuk pasta semen. (Mac Gregor, 1997). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras, dan akan mencapai kekuatan rencana (f_c') pada usia 28 hari. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan.

Kuat tekan beton diukur dengan cara memberikan gaya aksial (P) yang terdistribusi pada batang penekan *compressive strength machine*. Gaya tersebut diterima oleh luas penampang benda uji silinder, sehingga terjadi tegangan (f_c') yang merata keseluruhan penampang (A). Dengan rumus :

$$f_c' = \frac{P}{A} \text{ (Mpa) (SNI 03-1974-1990)}$$

dimana :

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

P = beban aksial (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Untuk memperoleh kekuatan tekan beton yang diinginkan harus dilakukan beberapa tahapan, yaitu pengujian material, *mix design*, uji *slump* dan *air content* untuk beton segar (*fresh concrete*), selanjutnya pengujian kuat tekan untuk beton keras (*hardened concrete*).

Beton segar yang baik adalah beton segar yang mudah diaduk, mudah diangkut, mudah dituang, mudah dipadatkan dan tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan kerikil dari adukan atau *segregasi* maupun pemisahan air dan semen dari adukan atau *bleeding*. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat,

tahan lama atau awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume atau kembang susutnya kecil.

Secara teknis, sifat beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan yang tinggi. Dengan kata lain secara kasar mutu beton ditinjau dari kuat tekannya saja (Tjokrodinuljo, 1996). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu (1) Proporsi bahan–bahan penyusunnya, (2) Metode perancangan, (3) Perawatan, (4) Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat (Tri Mulyono, 1997). Pada Penelitian ini difokuskan pada pengaruh yang diakibatkan karena faktor variasi kadar lumpur yang terdapat pada agregat terhadap kekuatan tekan beton.

2.1. KOMPOSISI BETON

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1% – 2 %, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% – 75% dari berat campuran beton (Tri Mulyono; 2003). Beton didefinisikan sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya (Nawy; 1985:8). Dengan demikian perlu diketahui masing–masing komponen beton sebelum mempelajari beton secara keseluruhan.

2.2.1. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling *klinker* yang terdiri dari *kalsium silikat hidrolis*, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk *kalsium sulfat* sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM C–150; 1985). Semen berfungsi merekatkan butir–butir agregat agar membentuk suatu massa padat, dan juga untuk mengisi rongga udara di antara butir agregat.

Sifat kimia dari semen *portland* sangat rumit dan belum dimengerti sepenuhnya, selain itu semen juga memiliki sifat fisis dan mekanis (Tjokrodinuljo; 1986). Berikut klasifikasi semen portland, persyaratan kimia dan fisik semen portland.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya (SK SNI S-04-1989-F, "SPESIFIKASI BAHAN BANGUNAN BAGIAN A), semen portland dibagi dalam 5 jenis sebagai berikut :

- Jenis I : Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lainnya.
- Jenis II : Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis IV : Untuk konstruksi dengan persyaratan panas hidrasi rendah.
- Jenis V : untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Semen portland standar harus memenuhi persyaratan kimia sebagaimana tercantum dalam Tabel 1 SK SNI S-04-1989-F hal. 3. Sedangkan sifat fisik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Kehalusan butir

Menurut SK SNI S-04-1989-F Tabel 2 hal. 3, kehalusan butir semen yang sisa diatas ayakan 0,09 mm maksimal sebesar 10% dari berat semen.

b. Kepadatan

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM C.188-95 (2003) sekitar 3,15 t/m³. Pengujian berat jenis ini menggunakan botol *Le Chatelier*.

c. Waktu pengikatan

Waktu pengikatan pada semen *portland* terbagi menjadi waktu ikat awal (*initial setting time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu ikat awal yaitu waktu mulai pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen sampai terjadi kehilangan sifat keplastisannya. Waktu ikat awal sekitar 1-2 jam tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam. Sedangkan waktu ikatan akhir merupakan waktu terjadi pasta semen sampai beton mengeras dengan batas waktu tidak lebih dari 8 jam (SK SNI S-04-1989-F). Untuk mengukur waktu ikat menggunakan alat *vicat*.

d. Kekekalan bentuk

Kekekalan bentuk adalah sifat dari pasta semen yang telah mengeras, dimana bila adukan semen yang masih basah dibuat suatu bentuk tertentu maka bentuk itu tidak berubah.

e. Panas hidrasi

Panas hidrasi merupakan panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air. Panas hidrasi naik sesuai dengan ketinggian temperatur pada saat hidrasi terjadi. Pada beton mutu tinggi, pembentukan panas ini sangat besar sehingga dalam masa pelaksanaan perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*).

2.2.1.1. Berat Jenis

Pengujian berat jenis semen *portland* menggunakan botol *Le Chatelier*. Berat jenis semen yang disyaratkan SK SNI M-106-1990-03 berkisar antara 3,00-3,30 t/m³. Berat jenis semen perlu diketahui karena digunakan dalam perhitungan campuran beton. Rumus perhitungan berat jenis semen sebagai berikut :

$$BJ = \frac{W_{semen}}{V_2 - V_1} \text{ (SK SNI M-106-1990-03)}$$

Dimana : BJ = Berat jenis semen *portland* (t/m³)

W_{semen} = Berat semen (gr)

V_1 = Volume pembacaan pertama pada kondisi I (ml)
(botol *Le Chatelier* berisi kerosin 1 ml pada percobaan I dan 18 ml pada percobaan II)

V_2 = Volume pembacaan kedua pada kondisi II (ml)
(botol *Le Chatelier* berisi semen dan kerosin baik pada percobaan I maupun pada percobaan II)

2.2.1.2. Konsistensi Normal

Konsistensi normal adalah nilai prosentase jumlah air yang dibutuhkan untuk membentuk pasta semen pada kondisi kebasahan standar guna menunjukkan kualitas semen *portland* (*Sandor Popovics*). Metode pengujian konsistensi normal sesuai standar ASTM C.187 (2003) dengan metode coba-coba menggunakan sejumlah pasta semen yang dibuat dari 300 gram semen dengan kadar air yang berbeda-beda.

Konsistensi normal pasta semen didapatkan ketika jarum alat *vicat* berdiameter 10 mm terjadi penurunan 10 mm di bawah permukaan asli pasta pada waktu 30 detik setelah jarum dilepaskan. Dari data yang diperoleh, buat grafik

prosentase air yang diperlukan sebagai absis dan penurunan jarum sebagai ordinat. Berdasarkan grafik dapat diketahui jumlah air untuk mencapai konsistensi normal. Konsistensi normal berkisar 22% – 28% untuk semen *portland* yang diperdagangkan.

2.2.1.3. Pengikatan Awal

Waktu pengikatan awal adalah waktu yang diperlukan semen dari saat mulai bereaksi dengan air menjadi pasta semen sampai terjadi kehilangan sifat keplastisan. Metode pengujian pengikatan awal menggunakan standar SK SNI-03-6827-2002.

Pengujian pengikatan awal menggunakan alat *vicat* dengan jarum berdiameter 1 mm. Waktu pengikatan awal semen diperoleh saat penurunan mencapai 25 mm dan setiap penurunan dicatat suhu kamarnya ($^{\circ}\text{C}$). Waktu pengikatan awal pada semen berkisar antara 45 menit – 120 menit (SK SNI S-04-1989-F).

2.2.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat dapat berasal dari alam ataupun dari agregat buatan. Berdasarkan ukuran bentuknya, agregat dibedakan menjadi agregat halus dan agregat kasar. Standar ASTM menyatakan agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm dan agregat halus lebih kecil dari 4,75 mm. Secara umum agregat halus sering disebut pasir, sedangkan agregat kasar biasa disebut kerikil, kerikak, batu pecah atau *split*.

Penggunaan agregat dalam beton dapat menghemat penggunaan semen *portland*, menghasilkan kekuatan yang besar pada beton, mengurangi susut pengerasan beton dan mengontrol *workability* adukan beton. Sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimulyo; 1986).

2.2.2.1. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F (hal. 28) sebagai berikut :

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir agregat halus

harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.

- b. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian–bagian yang dapat melalui ayakan 0,075 mm. Jika lebih dari 5%, maka agregat harus dicuci.
- c. Tidak boleh mengandung bahan–bahan organis terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams Harder* (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama.
- d. Agregat halus harus terdiri dari butir–butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut–turut 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.25 mm, harus memenuhi syarat–syarat sebagai berikut :
 1. Sisa di atas ayakan 4,75 mm, harus minimum 2% berat.
 2. Sisa di atas ayakan 1,18 mm, harus minimum 10% berat.
 3. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar 80% – 95% berat.
 4. Untuk pasir modulus kehalusan butir antara 1,50 – 3,80.
- e. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

2.2.2.1.1. Gradasi Butiran

Gradasi agregat merupakan distribusi ukuran butiran dari agregat. Pengujian gradasi butiran agregat berdasarkan standar SK SNI T–15–1990–032 (hal. 2) dengan menggunakan susunan saringan berturut–turut 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.25 mm, 0.15 mm, 0.075 mm, 0.00 mm. Berdasarkan analisa saringan, kemudian dicari prosen jumlah sisa kumulatif agregat dengan rumus :

$$W_{rt} = \frac{W_1 + W_2}{2} \text{ (SK SNI T-15-1990-032)}$$

Dimana : W_{rt} = Berat rata–rata agregat yang tertahan diatas saringan (gr)

W_1 = Berat agregat yang tertahan diatas saringan pada percobaan 1 (gr)

W_2 = Berat agregat yang tertahan diatas saringan pada percobaan 2 (gr)

$$S(\%) = \frac{W_{rt}}{\sum W_{rt}} \times 100\% \quad (\text{SK SNI T-15-1990-032})$$

Dimana : $S(\%)$ = Prosen berat rata-rata agregat yang tertahan diatas saringan (%)

W_{rt} = Berat rata-rata agregat yang tertahan diatas saringan (gr)

$\sum W_{rt}$ = Jumlah berat rata-rata agregat pada satu set saringan (gr)

$$S_{kom}(\%) = \sum_{i=1}^n S \quad (\text{SK SNI T-15-1990-032})$$

Dimana : $S_{kom}(\%)$ = Prosen jumlah komulatif agregat yang tertahan diatas saringan.

Modulus halus butir atau *finess modulus* (FM) adalah suatu nilai yang digunakan untuk menunjukkan kekasaran atau kehalusan butir-butir agregat. Pada umumnya pasir mempunyai modulus kehalusan butir antara 1,5 – 3,8 (SK SNI S-04-1989-F hal. 28).

Perhitungan modulus halus butir agregat menggunakan rumus :

$$FM = \frac{\sum S_{kom}(\%)}{100} \quad (\text{SK SNI S-04-1989-F hal. 28})$$

Dimana : FM = Modulus kehalusan butir agregat

$\sum S_{kom}(\%)$ = Jumlah prosen komulatif agregat yang tertahan diatas saringan 0,15 mm

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat – syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat zona (daerah) seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I (Pasir halus)	Daerah II (Agak halus)	Daerah III (Agak kasar)	Daerah IV (Kasar)
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 : "Teknologi Beton" oleh Tri Mulyono)

2.2.2.1.2. Kandungan Lumpur

Pengertian Lumpur adalah bagian-bagian yang berasal dari agregat alam (kerikil dan pasir) yang dapat melalui ayakan 0,075 mm, dengan berat jenis kurang dari 2.0 t/m^3 (SK SNI S-04-1989-F). Bahan-bahan ini adalah bahan yang menyebabkan terganggunya proses pengikatan pada beton serta pengerasan betonnya, selain yang telah kita ketahui, yakni *alkali* dan *sulfat*.

Kadar lumpur yang berlebih pada agregat dapat membuat kekuatan beton menjadi rendah, sehingga mutu beton yang diinginkan tidak tercapai. Untuk itu diperlukan pemeriksaan mutu agregat (kerikil maupun pasir) agar mendapatkan bahan-bahan campuran beton yang memenuhi syarat, sehingga beton yang dihasilkan nantinya sesuai dengan yang diharapkan.

Agregat (kerikil maupun pasir) harus memenuhi syarat mutu sesuai dengan SK SNI S-04-1989-F, "Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A". Salah satu syarat yang harus dipenuhi yaitu kadar lumpur, untuk masing-masing agregat kadar lumpur yang diijinkan berbeda. Kadar lumpur agregat normal menurut SK SNI S-04-1989-F adalah :

- (1). Agregat Halus (Pasir) : kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikro (0,075 mm) maksimum 5%.

- (2). Agregat Kasar (Split) : kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikro (0,075 mm) maksimum 1%.

Kandungan lumpur pada agregat diperiksa dengan menggunakan sistem kocokan. Sistem ini digunakan untuk agregat halus dengan cara mengocok gelas ukur yang berisi pasir sebanyak 130 cc dan air hingga mencapai tinggi 200 cc selama 30 menit. Setelah didiamkan selama \pm 24 jam, kemudian diamati dan dihitung kandungan lumpurnya dengan rumus :

$$h_1 = h_{t2} - h_p$$

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{h_1}{h_{t1}} \times 100\%$$

Dimana : h_1 = Tinggi lumpur (cc)

h_{t1} = Tinggi total pasir + lumpur sebelum kocokan (cc)

h_{t2} = Tinggi total pasir + lumpur setelah kocokan (cc)

h_p = Tinggi pasir (cc)

2.2.2.1.3. Kandungan Zat Organik

Kandungan zat organik adalah bahan–bahan organik di dalam pasir yang menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar atau beton (SK SNI S–04–1989–F). Tujuannya adalah untuk mendapatkan angka dengan petunjuk larutan standar terhadap larutan benda uji pasir. Pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu agregat. Persyaratan pengujian adalah pengujian dilakukan 2 kali atau lebih sebagai pembandingan dan petugas pengujian harus tidak buta warna.

Menurut ASTM 2002, C.40–99, warna larutan standar untuk kandungan zat organik adalah nomor 11 (berwarna coklat muda) dan warna yang dihasilkan pada pengamatan tidak boleh lebih tua atau lebih gelap dari warna larutan standar tersebut. Jika warna benda uji lebih gelap dari warna larutan standar maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran mortar atau beton. Kandungan zat organik yang berlebihan pada agregat juga dapat mengganggu proses hidrasi sehingga dapat menurunkan kekuatan pasta semen.

2.2.2.1.4. Kadar Air Asli dan SSD

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen (SK SNI 03–1971–1990). Kadar air perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton. Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu :

- a. Kering oven, benar-benar tidak berair dan dapat menyerap air secara penuh.
- b. Kering udara, butir-butir agregat kering permukaan tetapi mengandung sedikit air di dalam pori. Agregat dalam tingkat ini masih dapat menghisap air.
- c. Jenuh kering muka, pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butir agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah, pada tingkat ini agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan beton akan memberi air.

Dari keempat kondisi di atas, hanya dua keadaan yang sering dipakai sebagai dasar perhitungan, yaitu kering tungku (kadar air asli) dan jenuh kering permukaan (kadar air SSD) karena konstan untuk agregat tertentu.

Keadaan jenuh kering permukaan SSD (*saturated surface dry*) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a. Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak menambah atau mengurangi air dari pasta.
- b. Kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada kering tungku. Dalam hal ini hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering permukaan.

Perhitungan kadar air dalam agregat menggunakan rumus :

$$W_w = W_{lap} - W_{od}$$

$$Ka = \frac{W_w}{W_{lap}} \times 100\% \text{ (SK SNI 03–1971–1990)}$$

Dimana : W_w = Berat kandungan air (gr)

W_{lap} = Berat agregat asli/SSD (gr)

W_{od} = Berat agregat kondisi kering oven (gr)

K_a = Kadar air agregat (%)

2.2.2.1.5. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus ialah perbandingan berat pasir dengan berat pasir ditambah air. Tujuan pengujian adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis agregat halus baik kondisi asli maupun SSD. Perhitungan berat jenis berdasarkan SK SNI-10-1989-F untuk kondisi asli dan SSD dengan rumus :

$$BJ = \frac{W_{lap}}{W_a - W_{ic}} \times BJ_w \text{ (SK SNI-10-1989-F)}$$

Dimana : BJ = Berat jenis asli agregat (t/m^3)

W_{lap} = Berat agregat kondisi asli/SSD (gr)

BJ_w = Berat jenis air ($1 t/m^3$)

W_a = Berat air 500 ml (gr)

W_{ic} = $W_{ap} - W_{lap}$ (gr)

W_{ap} = Berat pasir + air sampai 500 ml (gr)

2.2.2.1.6. Berat Isi Asli dan SSD

Berat isi agregat ialah berat agregat dalam satu satuan tempat tertentu pada kondisi lepas maupun kondisi padat. Perhitungan berat isi agregat untuk kondisi asli dan SSD dengan rumus :

$$B_{sat} = \frac{W_{lap}}{V_{ag}}$$

Dimana : B_{sat} = Berat isi agregat kondisi asli/SSD (t/m^3)

W_{lap} = Berat agregat kondisi asli/SSD (gr)

V_{ag} = Volume gembur atau padat agregat (cm^3)

2.2.2.1.7. Hidrometer lumpur

Distribusi ukuran butiran agregat halus telah digunakan sebagai dasar untuk menentukan klasifikasi dan memprediksi perilaku agregat halus. Untuk partikel agregat halus yang tertahan saringan No.200 (standard ASTM) umumnya dilakukan

analisis saringan mekanis, sedangkan untuk butiran agregat halus yang lolos saringan No.200 (0.075 mm) tersebut digunakan analisis hidrometer (Jurnal teknik sipil ITB, 2004).

Metode pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan gradasi agregat halus pada klasifikasi agregat halus bagi perencanaan maupun pengawas lapangan. peralatan yang digunakan antara lain : hidrometer dengan skala-skala konsentrasi, termometer, saringan, tabung gelas, oven dan lain-lain. Prosedur pengujian meliputi tahapan sebagai berikut : Campurkan benda uji dan air suling sebanyak 125 cc, aduk dan biarkan selama 24 jam. Kemudian pindahkan campuran ke dalam mangkuk dan tambahkan air suling. Selanjutnya campuran tadi pindahkan ke dalam tabung gelas ukur sambil ditambahkan air suling sehingga volumenya mencapai 1 liter, tutup rapat dan kocok selama 1 menit dalam arah mendatar. Masukkan alat hidrometer, lalu lakukan pembacaan dan pencatatan pada pada saat 0 detik, 30 detik, 1 menit, 5 menit, 15 menit, 30 menit, 1 jam, 4 jam, 8 jam dan 24 jam. Gambar ukuran butir dan persentase lolos saringan pada kertas semi logaritmis. Untuk mendapatkan besar ukuran butir digunakan *nomogram*.

2.2.2.2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan untuk beton harus memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F (hal. 28-29) sebagai berikut :

- a. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian yang melalui ayakan 0.075 mm. Apabila kadar lumpur melebihi 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti

zat–zat yang reaktif alkali.

- e. Kekerasan dari butir–butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudelooff* dengan beban pengujian 20 ton, dan harus memenuhi syarat–syarat sebagai berikut :
1. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9.5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 2. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22%.
- Atau dengan mesin *Los Angeles*, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
- f. Agregat kasar harus terdiri dari butir–butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan secara berturut–turut sebagai berikut 38 mm, 25.4 mm, 19.0 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.25 mm, 0.15 mm, 0.075 mm, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6–7,10 dan harus memenuhi syarat–syarat sebagai berikut :
1. Sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0% berat.
 2. Sisa di atas ayakan 4.75 mm, harus berkisar 90% – 98% berat.
 3. Selisih antara sisa–sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- g. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada seperlima jarak terkecil antara bidang–bidang samping cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tiga perempat dari jarak bersih minimum antara batang–batang atau berkas–berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawas ahli cara–cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang kerikil.

2.2.2.2.1. Gradasi Butiran

Gradasi agregat merupakan distribusi ukuran butiran dari agregat. Pengujian gradasi butiran agregat berdasarkan SK.SNI T–15–1990–032 dengan menggunakan susunan ayakan berturut–turut 25.0 mm, 19.0 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.25 mm, 0.15 mm, 0.075 mm, 0.00 mm. Berdasarkan analisa saringan, kemudian dicari prosen jumlah sisa kumulatif agregat dengan rumus :

$$W_{rt} = \frac{W_1 + W_2}{2} \text{ (SK.SNI T-15-1990-032)}$$

Dimana : W_{rt} = Berat rata-rata agregat yang tertahan diatas saringan (gr)

W_1 = Berat agregat yang tertahan diatas saringan pada percobaan 1 (gr)

W_2 = Berat agregat yang tertahan diatas saringan pada percobaan 2 (gr)

$$S(\%) = \frac{W_{rt}}{\sum W_{rt}} \times 100\% \text{ (SK.SNI T-15-1990-032)}$$

Dimana : $S(\%)$ = Prosen berat rata-rata agregat yang tertahan diatas saringan (%)

W_{rt} = Berat rata-rata agregat yang tertahan diatas saringan (gr)

$\sum W_{rt}$ = Jumlah berat rata-rata agregat pada satu set saringan (gr)

$$S_{kom}(\%) = \sum_{i=1}^n S \text{ (SK.SNI T-15-1990-032)}$$

Dimana : $S_{kom}(\%)$ = Prosen jumlah komulatif agregat yang tertahan diatas saringan.

Modulus halus butir (mhb) atau *finess modulus* (FM) adalah suatu nilai yang digunakan untuk menunjukkan kekasaran atau kehalusan butir-butir agregat. Pada umumnya kerikil mempunyai modulus kehalusan butir antara 6,0 – 7,10 (SK SNI S-04-1989-F hal. 29). Perhitungan modulus halus butir agregat menggunakan rumus :

$$FM = \frac{\sum S_{kom}(\%)}{100} \text{ (SK SNI S-04-1989-F hal. 29)}$$

Dimana : FM = Modulus kehalusan butir agregat

$\sum S_{kom}(\%)$ = Jumlah prosen komulatif agregat yang tertahan diatas saringan
0.15 mm

Menurut peraturan *British Standart*, Gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan besar butiran maksimum seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2.2. Gradasi Agregat Kasar (Split)

Lubang Ayakan (mm)	Besar Butir Maksimum Prosen Butir Lewat Ayakan		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12.5	-	-	100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4.8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : "Teknologi Beton" oleh Tri Mulyono)

2.2.2.2.2. Kandungan Lumpur

Lumpur adalah bagian – bagian yang dapat melalui ayakan 0,075 mm (SK SNI S-04-1989-F hal. 28). Kandungan lumpur yang berlebihan pada agregat akan mengurangi daya lekat agregat dengan pasta semen. Kandungan lumpur pada agregat kasar (split) diperiksa dengan menggunakan sistem pencucian. Sistem ini dilakukan pada agregat kasar (split) dengan cara mengambil sampel agregat dan kemudian mencucinya. Setelah dicuci, split di oven dan setelah kering kemudian ditimbang. Untuk mengetahui kandungan lumpur pada agregat digunakan rumus :

$$W_1 = W_{bf} - W_{af}$$

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1}{W_{bf}} \times 100\% \text{ (SK SNI S-04-1989-F hal. 28)}$$

Dimana : W_1 = Berat lumpur (gr)

W_{bf} = Berat agregat sebelum dicuci (gr)

W_{af} = Berat agregat setelah dicuci (gr)

2.2.2.2.3. Kadar Air Asli dan SSD

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen (SK SNI 03-1971-1990). Kadar air perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton. Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu :

- a. Kering oven, benar-benar tidak berair dan dapat menyerap air secara penuh.

- b. Kering udara, butir-butir agregat pada bagian permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air di dalam pori-porinya. Oleh karena itu Agregat dalam tingkat ini masih dapat menghisap air.
- c. Jenuh kering muka, pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butir agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah, pada tingkat ini agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan beton akan memberi air.

Dari keempat kondisi di atas, hanya dua keadaan yang sering dipakai sebagai dasar perhitungan, yaitu kering tungku (kadar air asli) dan jenuh kering permukaan (kadar air SSD) karena konstan untuk agregat tertentu.

Keadaan jenuh kering permukaan SSD (*saturated surface dry*) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a. Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak menambah atau mengurangi air dari pasta.
- b. Kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada kering tungku. Dalam hal ini hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering permukaan.

Perhitungan kadar air dalam agregat menggunakan rumus :

$$W_w = W_{lap} - W_{od}$$

$$Ka = \frac{W_w}{W_{lap}} \times 100\% \text{ (SK SNI 03-1971-1990)}$$

Dimana : W_w = Berat kandungan air (gr)

W_{lap} = Berat agregat asli/SSD (gr)

W_{od} = Berat agregat kondisi kering oven (gr)

Ka = Kadar air agregat (%)

2.2.2.2.4. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar ialah perbandingan berat kerikil dengan berat kerikil didalam air. Tujuan pengujian adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis

agregat kasar baik kondisi asli maupun SSD. Perhitungan berat jenis berdasarkan SK SNI-09-1989-F untuk kondisi asli dan SSD dengan rumus :

a. Berat Jenis Asli/SSD

$$BJ = \frac{W_{lap}}{W_{lap} - W_{ic}} \times BJ_w \text{ (SK SNI-09-1989-F)}$$

Dimana : BJ = Berat jenis asli/SSD agregat (t/m^3)

BJ_w = Berat jenis air (t/m^3)

W_{lap} = Berat agregat kondisi asli/SSD (gr)

W_{ic} = Berat agregat dalam air (gr)

2.2.2.1.6. Berat Isi Asli dan SSD

Berat isi agregat ialah berat agregat dalam satu satuan tempat tertentu pada kondisi gembur maupun kondisi padat. Perhitungan berat isi agregat untuk kondisi asli dan SSD dengan rumus :

a. Berat Isi Asli

$$B_{sat} = \frac{W_{lap}}{V_{ag}}$$

Dimana : B_{sat} = Berat isi agregat kondisi asli/SSD (t/m^3)

W_{lap} = Berat agregat kondisi asli/SSD (gr)

V_{ag} = Volume gembur atau padat agregat (cm^3)

2.2.3. Air

Air pada campuran beton diperlukan untuk bereaksi dengan semen, juga sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar beton mudah dikerjakan dan dipadatkan. Kelebihan lain dari air yaitu akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) ke dalam cetakan yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang disebut *laitance*. Selaput tipis akan mengurangi lekatan antara lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Tjokrodimulyo; 1986). Persyaratan air yang dipakai untuk adukan beton menurut SK SNI S-04-1989-F adalah :

a. Air harus bersih

- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. Tidak mengandung garam–garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam–asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter, tidak mengandung klorida lebih dari 0.5 gr/liter dan tidak mengandung sulfat lebih dari 1 gr/liter. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
- d. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
- e. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.

2.2. PERENCANAAN CAMPURAN BETON

Campuran beton merupakan suatu perpaduan dari komposisi material penyusunnya. Pada dasarnya perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Kriteria dasar dari perancangan beton adalah kekuatan tekan dan kemudahan pengerjaan.

Data material yang digunakan dalam perencanaan campuran adalah data hasil pengujian material–material di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Langkah–langkah *mix design* metode DOE menurut SK SNI T–15–1990–03, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton yang direncanakan
2. Menetapkan nilai deviasi standar / nilai tambah
 - a. Jika tersedia data benda uji

Nilai deviasi standar didapat dari hasil pengujian yang lalu untuk kondisi pekerjaan dan lingkungan yang sama dengan jumlah lebih dari 30 benda uji.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{PBI 1971 NI-2})$$

Dimana : S = Standar deviasi

X_i = Kuat tekan beton hasil pengujian untuk setiap benda uji

\bar{X} = Kuat tekan rata-rata

n = Jumlah benda uji

Apabila data hasil uji tidak memenuhi syarat, maka nilai deviasi standar dikalikan dengan faktor pengali.

Tabel 2.3. Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar

Jumlah Benda Uji	Faktor Pengali (k)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

(Sumber : "Teknologi Beton" oleh Tri Mulyono)

Catatan : Nilai yang berada di antaranya dilakukan interpolasi

Besarnya nilai margin dihitung menurut rumus :

$$m = k \times s$$

Dimana : m = Nilai margin (Mpa)

k = Faktor pengali

s = Deviasi standar (Mpa)

Apabila data kurang dari 15 benda uji, diambil nilai margin sebesar 12 Mpa.

b. Jika tidak ada sama sekali data benda uji

Nilai deviasi standar tergantung tingkat pengawasan mutu beton.

Tabel 2.4. Nilai Deviasi Standar (Mpa)

Voleme Pekerjaan (m ³)	Mutu Pelaksanaan (Mpa)		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil : < 1000	4.5 < S < 5.5	5.5 < S < 6.5	6.5 < S < 8.5
Sedang : 1000-3000	3.5 < S < 4.5	3.5 < S < 4.5	5.5 < S < 7.5
Besar : > 3000	2.5 < S < 3.5	4.5 < S < 5.5	4.5 < S < 6.5

(Sumber : "Teknologi Beton" oleh Tri Mulyono)

Besarnya nilai margin dihitung menurut rumus :

$$m = 1.64 * s$$

Dimana : m = Nilai margin (Mpa)

s = Deviasi standar (Mpa)

3. Menentukan Kadar Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum

Tabel 2.5. Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum

KONDISI LINGKUNGAN	JUMLAH SEMEN MINIMUM Per m ³ BETON (kg)	NILAI FAKTOR AIR SEMEN MAKSIMUM
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton yang masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan kering dan basah secara bergantian	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		lihat tabel 4 SK SNI T-15-1990-03
Beton yang kontinue berhubungan :		
a. Air tawar		lihat tabel 4
b. Air laut		SK SNI T-15-1990-03

(Sumber : Tabel 3, SK SNI-T-15-1991-03:7)

4. Berat Jenis Semen

Diperoleh dari hasil Pengujian Berat Jenis Semen (Bab II, Sub Bab 2.2.1.1).

5. Menetapkan nilai *slump*

Nilai *slump* dalam SK SNI T-15-1990-03, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, ditetapkan sedemikian rupa sehingga diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan diratakan. Dalam hal ini nilai *slump* ditetapkan sebesar 60 – 180 mm.

6. Agregat

Data dari hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar yaitu :

- BJ SSD Pasir dan Split (Bab II, Sub Bab 2.2).
- Kadar Air SSD Pasir dan Split (Bab II, Sub Bab 2.2).

- Kadar Air Asli Pasir dan Split (Bab II, Sub Bab 2.2).
- Berat Isi Asli Pasir dan Split (Bab II, Sub Bab 2.2).

7. Mencari tegangan tekan beton rata-rata :

$$\text{Tegangan tekan beton rata-rata } (\sigma_{bm}) = \sigma_{bk} + 1,645 * s$$

Dimana : σ_{bk} = kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm^2)

s = Deviasi standar (kg/cm^2)

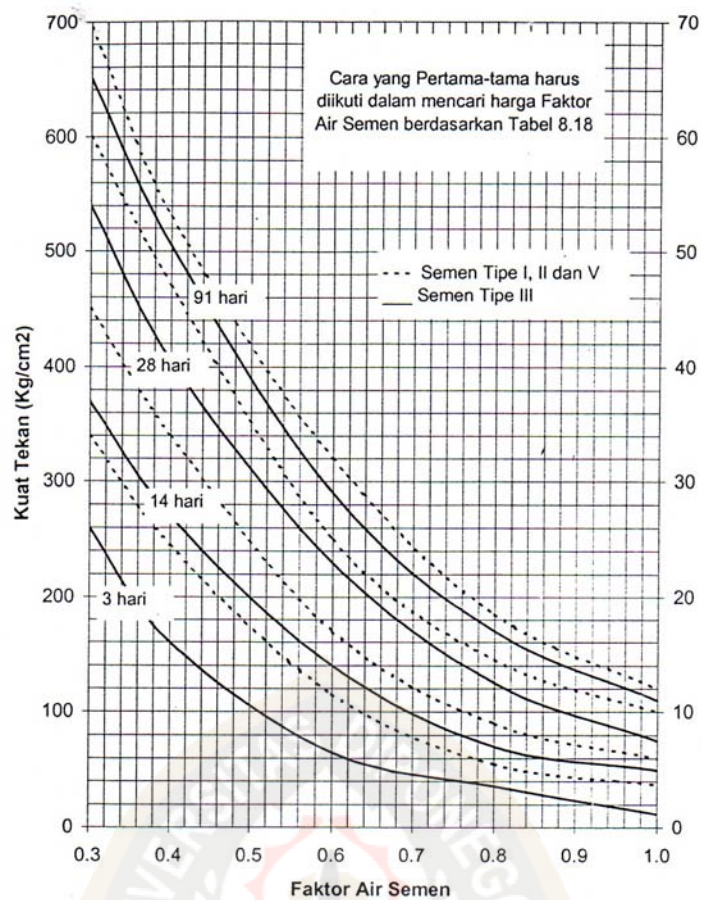
8. Menentukan faktor air semen

Faktor air semen ditentukan dengan Tabel 2.7. dan Grafik 2.1. sebagai berikut :

Tabel 2.6. Perkiraan Kekuatan Tekan Beton Dengan Faktor Air Semen 0.5

Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (N/mm^2)				Bentuk benda uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen tipe I atau semen tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(SK SNI T-15-1990-03 : tabel 2 halaman 6)



Grafik 2.1. Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen Untuk Benda Uji Silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) (SK SNI T-15-1990-03)

9. Menetapkan ukuran besar butir maksimum

Besar butir agregat maksimum ialah 20 mm.

10. Menetapkan kadar air bebas

Kadar air bebas ditetapkan sebagai berikut :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk$$

Dimana : Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Perkiraan jumlah air ini dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7. Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³)

<i>Slump</i> (mm)		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat				
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

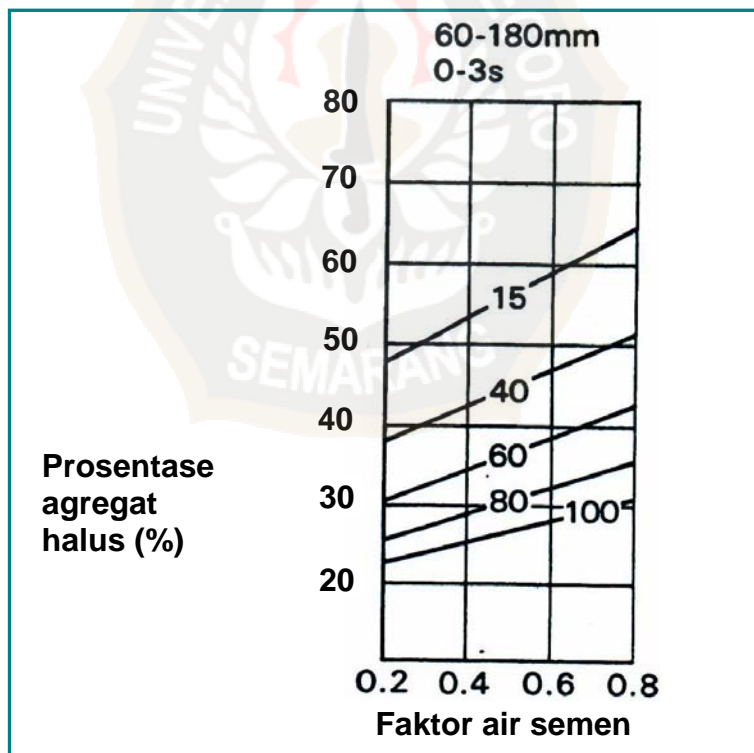
(SK SNI T – 15 – 1990 – 03 : tabel 6 halaman 13)

11. Menghitung kebutuhan semen

Kebutuhan semen = Kadar air bebas / faktor air semen

12. Menentukan persentase agregat halus dan kasar

Berdasarkan data daerah gradasi pasir, faktor air semen, nilai *slump*, ukuran agregat maksimum, maka prosentase agregat halus dapat ditentukan dengan menggunakan Grafik 2.2. sebagai berikut :



Grafik 2.2. Grafik Prosentase Agregat Halus Terhadap Agregat Gabungan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm dan *Slump* 60–180 mm (SK SNI T–15–1990–03)

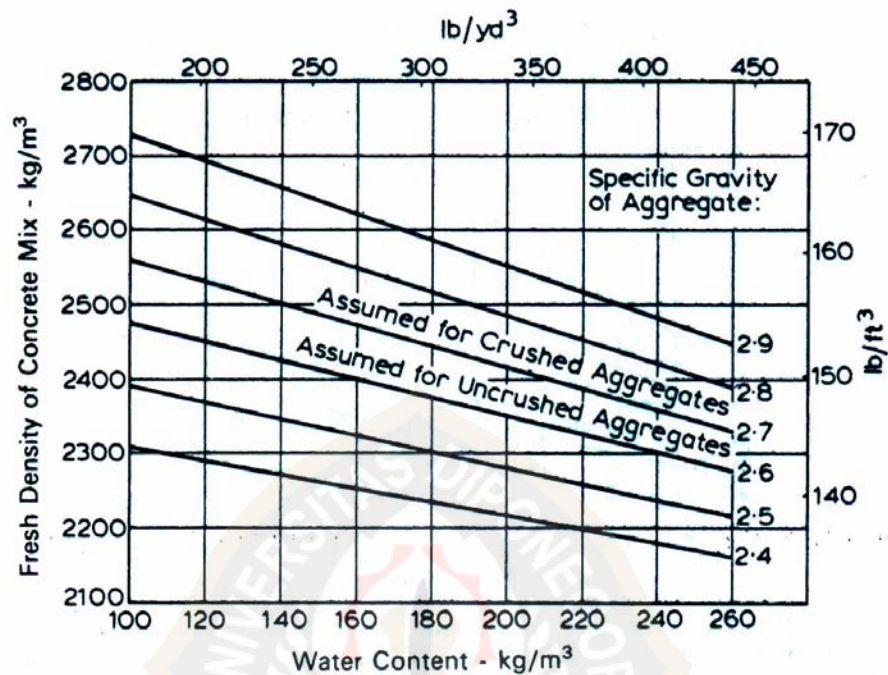
13. Menghitung berat jenis SSD agregat gabungan

Berat jenis SSD agregat gabungan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{BJ gabungan} = (\% \text{ Pasir} \times \text{BJ SSD Pasir}) + (\% \text{ Split} \times \text{BJ SSD Split})$$

14. Menentukan berat jenis beton

Besarnya berat jenis beton diperkirakan dengan menggunakan Grafik 2.3.



Grafik 2.3. Grafik Perkiraan Berat Jenis Beton (SK SNI T-15-1990-03)

15. Menghitung berat masing-masing agregat

$$\text{Berat agregat gabungan} = \text{BJ beton} - \text{Kebutuhan semen} - \text{Kadar air bebas (t/m}^3\text{)}$$

$$\text{Berat agregat halus} = \text{Prosentase agregat halus} \times \text{Berat agregat gabungan (t/m}^3\text{)}$$

$$\text{Berat agregat kasar} = \text{Prosentase agregat kasar} \times \text{Berat agregat gabungan (t/m}^3\text{)}$$

16. Koreksi berat agregat dan berat air

$$\text{Berat pasir terkoreksi} = \text{Berat agregat halus} + [(\text{Kadar air asli} - \text{Kadar air SSD}) \times \text{Berat agregat halus}] \text{ (kg)}$$

$$\text{Berat split terkoreksi} = \text{Berat agregat kasar} + [(\text{Kadar air asli} - \text{Kadar air SSD}) \times \text{Berat agregat kasar}] \text{ (kg)}$$

$$\text{Berat air terkoreksi} = \text{Kadar air bebas} - [[(\text{Kadar air asli} - \text{Kadar air SSD}) \times \text{Berat agregat halus}] - [(\text{Kadar air asli} - \text{Kadar air SSD}) \times \text{Berat agregat kasar}]] \text{ (kg)}$$

17. Kebutuhan bahan (untuk 1 m³ beton)

Air = berat air terkoreksi (kg) (langkah 16)

Semen = jumlah semen minimum (kg) (langkah 3)

Pasir = berat pasir terkoreksi (kg) (langkah 16)

Split = berat split terkoreksi (kg) (langkah 16)

Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dapat ditentukan perbandingan berat dari masing-masing bahan yaitu :

Semen : Pasir : split

18. Kebutuhan jumlah material

Air = Kebutuhan air untuk 1m³ x volume cetakan x jumlah benda uji (kg)

Semen = Kebutuhan semen untuk 1m³ x volume cetakan x jumlah benda uji (kg)

Pasir = Kebutuhan pasir untuk 1m³ x volume cetakan x jumlah benda uji (kg)

Split = Kebutuhan split untuk 1m³ x volume cetakan x jumlah benda uji (kg)

2.3. KUAT TEKAN BETON

Telah diketahui bersama bahwa sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (*Tjokrodimuljo*; 1986).

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan mesin tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji silinder beton berukuran 15 cm x 30 cm. Gaya aksial yang terdistribusi pada batang penekan *compressive strength machine* akan diterima oleh luas penampang silinder (SK SNI 03–1974–1990).

$$f_c' = \frac{P}{A} \text{ (Mpa) (SK SNI 03–1974–1990)}$$

dimana : f_c' = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur silinder beton 28 hari.

2.4. BERAT JENIS BETON

Pengujian berat jenis beton dilakukan pada masing–masing variasi campuran beton. Metode pengujian berat jenis beton dengan menggunakan air raksa, sehingga diharapkan hasil pengujian berat jenis beton lebih teliti.

Perhitungan berat jenis beton menggunakan rumus :

$$BJ_{beton} = \frac{W_{beton}}{W_{raksa}} \times BJ_{raksa}$$

Dimana : BJ_{beton} = Berat jenis beton (t/m^3)

BJ_{raksa} = Berat jenis air raksa ($13.6 t/m^3$)

W_{beton} = Berat sampel beton (gr)

W_{raksa} = Berat air raksa yang tumpah keluar (gr)

