

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

3.1.1 Definisi Beton

Menurut SNI-2847 (2013), beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Menurut Mulyono (2005), dalam melakukan campuran beton, dapat dilakukan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga akan didapatkan beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi. Bahan tambah lain juga sering digunakan dalam campuran beton untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu.

Menurut Wahyudi, dan Rahim, (1999), Keuntungan dalam menggunakan beton adalah dapat dibuat berbagai bentuk, tahan api sekitar 1 hingga 3 jam tanpa bahan kedap api tambahan, rigiditas tinggi, biaya pemeliharaan dan pelaksanaan pembuatan beton cukup rendah, penyediaan materialnya yang cukup mudah. Sedangkan kerugiannya, memiliki kuat tekan yang rendah (sekitar 10% dari kuat tekan), mudah retak, memerlukan biaya bekisting, perancah apabila kapasitas pembuatannya cukup besar, bentuk yang sulit diubah bila beton telah mengeras, daya pantul suara yang dihasilkan cukup besar, beton mengalami rangkai jangka panjang dan susut.

Menurut Murdock, dan Brook (1999), faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton terdiri dari bahan – bahan, cara menakan dan mencampur, dan cara pelaksanaan. Bahan-bahan ini terdiri dari kualitas dan kecepatan pengerasan semen, gradasi, kadar air, dan kebersihan agregat, kadar lumpur agregat halus, kuantitas dari air yang digunakan, dan bahan tambah lain yang digunakan. Cara menakar dan mencampurnya bahan penyusun beton berdasarkan volume, berat,

bahan-bahan yang terbuang ketika pelaksanaan, dan efisiensi dari mesin pencampur yang digunakan. Cara pelaksanaan yang dilakukan ketika pemadatan agar ringa-rongga udara berkurang yang dapat mempengaruhi kekuatan beton, perawatan diperlukan untuk meningkatkan kekuatan dan menjaga sifat-sifat beton, dan keadaan cuaca selama mencetak dan merawat beton.

3.1.2 Klasifikasi Beton

Menurut Mulyono (2005), Klasifikasi beton terdiri dari beberapa jenis, diantaranya yaitu berdasarkan berat volume betonnya, berdasarkan material pembentuknya dan kegunaan dari strukturnya. Pada umumnya bahan agregat yang digunakan dalam campuran beton mempengaruhi beton yang akan dihasilkan. Berikut akan dijelaskan klasifikasi beton menurut berat, yaitu.

1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat ringan. Biasanya beton jenis ini digunakan atas pertimbangan ekonomis dan structural. Berat jenis agregat ringannya sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan struktur yang berkisar antara $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ MPa}$ (ACI-318). SNI memberikan batasan kriteria beton ringan sebesar 1900 kg/m^3 . Agregat yang biasanya digunakan untuk menghasilkan beton ringan yaitu meliputi batu apung, scoriak, vulkanik, cinder, tuff, diatomite, atau hasil pembakaran lempung atau batubara dan hasil residu pembakarannya.

2. Beton normal

Beton normal merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat normal. Beton jenis ini memiliki berat isi sebesar $2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$. Beton normal pada umumnya sering digunakan pada industry konstruksi. Contohnya yaitu dalam pembuatan gedung-gedung, jalan (jenis perkerasan beton), bendungan, saluran air dan lainnya.

Agregat normal dihasilkan dari pemecah batuan di industry *quarry* dengan ukuran butirannya sebesar 5-40 mm atau didapatkan langsung dari sumber alam. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dan

sebagainya. Berat jenis agregat normal ini rata-ratanya adalah sebesar 2.5-2.7 atau tidak boleh kurang dari 1.2 kg/dm³. Beton normal yang dihasilkan mempunyai berat sebesar 2.200-2.500 kg/m³ dan kuat tekan sebesar 15-40 MPa (150-400 kg/cm³).

3. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³. Beton jenis ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya. ASTM C.638 memberikan suatu deskripsi mengenai pertimbangan penggunaan agregat untuk kepentingan beton yang menahan radiasi.

Beton jenis ini digunakan bila masalah ruang tidak menjadi masalah. Agregat yang digunakan biasanya besarnya lebih dari 4 mm. Contohnya seperti barium sulfat, barite, magnetite, limonite, besi atau bijih besi. Adapun penggunaan bijih besi sebagai agregat dapat mencapai 3000-3900 kg/m³.

3.1.3 Bahan Penyusun Beton

Menurut Murdock, dan Brook (1999), bahan-bahan penyusun beton adalah ikatan keras yang ditimbulkan oleh reaksi kimia antara semen dan air, serta agregat (kasar dan buatan) di mana semen yang mengeras itu ber-adhesi dengan baik maupun kurang baik. Agregat boleh berupa kerikil, batu pecah, sisa-sisa bahan mentah tambang, agregat normal buatan, pasir, atau bahan sejenis lainnya.

Menurut Mulyono (2005), beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Penjelasan masing-masing bahan penyusun sebagai berikut.

1. Semen Portland

Menurut Mulyono (2005), semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Menurut Standar Industri Indonesia, SII 0013-1981, definisi semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama

terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Jenis-jenis semen portland sebagai berikut.

- a. Tipe I dikenal pula sebagai *ordinary portland cement* (OPC) adalah semen portland untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.
- b. Tipe II adalah semen portland modifikasi, adalah tipe yang sifatnya setengah tipe IV dan setengah tipe V (moderat). Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti.
- c. Tipe III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
- d. Tipe IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah, yang dipakai untuk kondisi di mana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan massif seperti bendungan gravitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada semen tipe I.
- e. Tipe V adalah semen portland tahan sulfat, yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Semen Portland lainnya adalah semen portland pozzolan yang merupakan campuran semen portland dan bahan-bahan yang bersifat pozzolan seperti terak tanur tinggi dan hasil residu PLTU.

Menurut Mulyono (2005), Semen dapat dibedakan berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60 % - 65 %, silika (SiO₂) sekitar 20 % - 25 %, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7 % - 12 %. Sifat – sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

- a. Sifat fisika semen portland

Sifat-sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, panas hidrasi.

1) Kehalusan butir

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Jika permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air ke permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2) Kepadatan

Kepadatan (*density*) berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah $3,15 \text{ Mg/m}^3$. Pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara $3,05 \text{ Mg/m}^3$ sampai $3,25 \text{ Mg/m}^3$. Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran.

3) Konsistensi

Konsistensi semen portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada rasio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan semen dan agregat pencampurnya.

4) Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua hal, yaitu waktu ikat awal (*initial setting time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting*

time). Waktu ikatan awal adalah waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan. Waktu ikatan akhir adalah waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras.

Waktu ikatan awal sangat penting pada control pekerjaan beton. Proses ikatan ini disertai perubahan temperature yang dimulai sejak terjadi ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan lingkungan sekitarnya.

5) Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaannya, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Maka, perlu dilakukan perawatan (*curing*) pada saat pendinginan.

6) Perubahan volume (Kekekalan)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu tukuran yang menyatakan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. semen yang mengalami perubahan volume disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut.

b. Sifat kimia semen portland

Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak lama dan yang paling utama adalah komposisi syarat yang diberikan.

1) Kesegaran semen

Kehilangan berat karena pembakaran (*loss of ignition*) merupakan ukuran dari kesegaran semen. Kehilangan berat ini terjadi karena kelembaban dan adanya karbon dioksida dalam bentuk

kapur bebas atau magnesium yang menguap. Hidroksida dan karbon dari kapur serta magnesium bukan merupakan unsur perekat, tetapi unsur pengisi yang apabila semakin sedikit kehilangan berat berarti semakin sedikit unsur pengisi. Maka, semen akan menjadi semakin baik.

2) Sisa yang tidak larut

Sisa bahan yang tidak habis bereaksi adalah bagian tidak aktif dari semen. Semakin sedikit sisanya, maka semakin baik semennya.

2. Agregat

Menurut Mulyono (2005), agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan agregat kasar yaitu 5 mm (SNI 03-2847-2013). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 5 mm dan agregat halus adalah batuan yang ukuran butirnya lebih kecil dari 5 mm. Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013, bahwa agregat halus merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5 mm. Adapun syarat-syarat agregat halus untuk campuran beton menurut SII.0052-80 adalah sebagai berikut:

- a. Modulus halus butir berada diantara 1,5 sampai dengan 3,8
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) memiliki jumlah maksimum sebesar 5%
- c. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan cara mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) 3%, jika dibandingkan dengan warna yang telah di campur tidak lebih tua dari warna standar.
- d. Kekerasan butiran tidak lebih dari 2,2.

- e. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika diuji dengan magnesium sulfat, maksimum 15%.

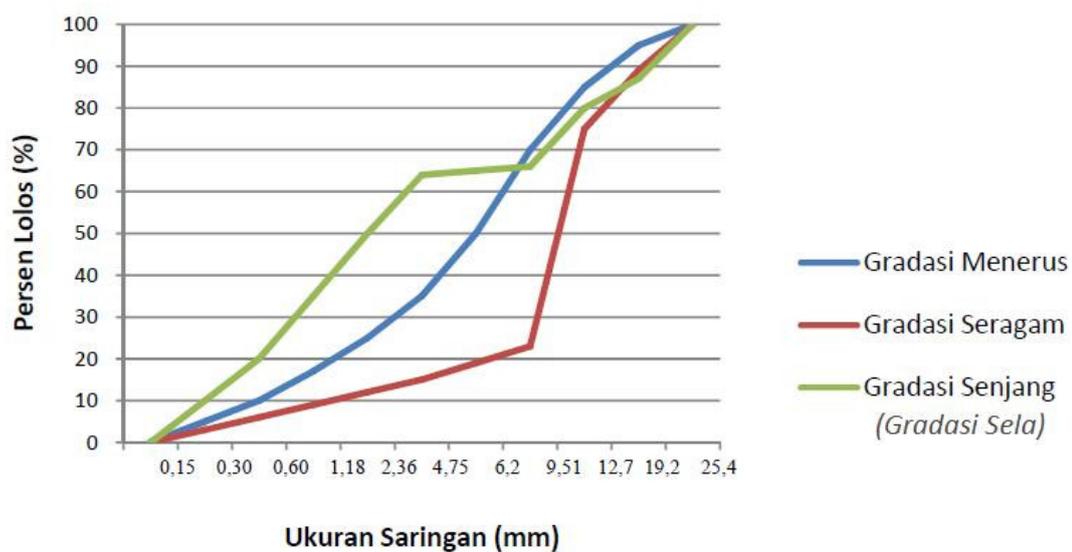
Sesuai dengan SNI 03-2847-2013, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. Agregat kasar (kerikil, batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton menurut SII 0052-80 harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir berada diantara 6 sampai dengan 7,1
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) memiliki jumlah maksimum sebesar 1%
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%
- d. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika diuji dengan magnesium sulfat, maksimum 18%.
- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai Na_2O lebih besar dari 0,6%

Menurut Nugraha (2007), dalam menentukan sifat beton, diperlukan distribusi ukuran agregat (gradasi) agar sifat beton lebih baik. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela, gradasi menerus, dan gradasi seragam. Macam-macam gradasi adalah sebagai berikut.

- a. Gradasi sela jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya. Keistimewaan dari gradasi ini antara lain.
 - 1) Pada nilai faktor air semen tertentu, kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit.
 - 2) Pada kondisi kelecakan yang tinggi, lebih cenderung mengalami segregasi, oleh karena itu gradasi sela disarankan dipakai pada tingkat kemudahan pekerjaan yang rendah, yang pemadatannya dengan penggetaran (*vibrator*).

- 3) Gradasi ini tidak berpengaruh buruk terhadap kekuatan beton.
- b. Gradasi menerus didefinisikan jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton. Dalam mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampuan yang tinggi sehingga terjadi *interlocking* yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butir agregat. Gradasi menerus lebih baik dibandingkan gradasi sela atau gradasi seragam.
- c. Gradasi seragam memiliki ukuran yang sama. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, dalam diagram terlihat garis yang hamper tegak/vertical. Agregat dengan gradasi ini biasanya dipakai untuk beton normal.



Gambar 3.1 Grafik Gradasi Agregat

(sumber : lauwtjunnji.weebly.com)

3. Air

Menurut Mulyono (2005), Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Diperlukan syarat dan ketentuan dalam penggunaan air sebagai campuran beton karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru

perbandingan jumlah air dengan semen atau yang biasa disebut dengan faktor air semen (fas).

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai dan air akan bergerak ke permukaan bersamaan dengan semen ketika beton segar (*bleeding*), sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Pada dasarnya air jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen.

3.1.4 Sifat Fisik

1. Berat volume dan penyerapan air

Berat volume beton adalah berat beton tiap satuan volume pada beton. Apabila beton yang digunakan adalah silinder, volume nya menggunakan volume silinder dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{\frac{1}{4} \pi d^2 t} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan :

W = berat beton

d = diameter rata-rata beton

t = tinggi beton

Penyerapan air beton adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh ruang-ruang kosong pada beton. Dalam memperoleh persentase penyerapan air menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Kadar air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan:

M_b = Massa basah beton silinder setelah direndam

M_k = Massa kering beton silinder setelah direndam

3.1.5 Sifat Mekanik

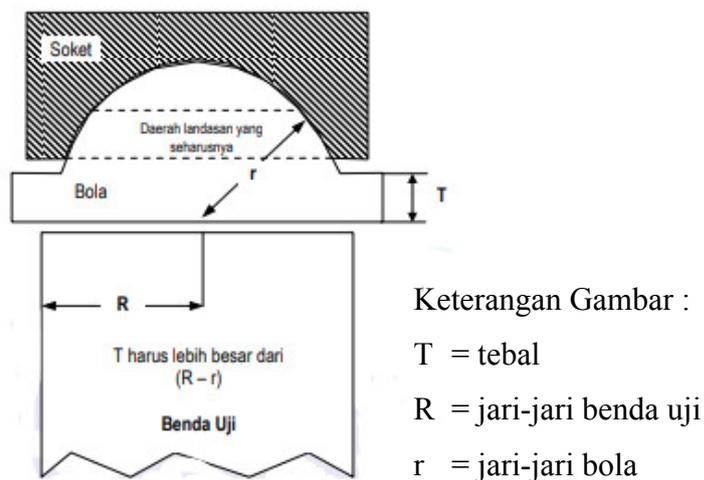
Sifat mekanik adalah respon suatu benda terhadap gangguan berupa gaya dari luar. Sifat mekanika yang umum dan penting dalam tinjauan bidang teknik sipil, dapat dibagi dalam dua kategory, yaitu

tegangan (*stress*) yang merupakan respon dalam bentuk gaya dalam, dan deformasi yang merupakan respon berupa perubahan bentuk.

1. Tegangan

a. Tegangan aksial

Menurut Mulyono (2005) sifat utama beton adalah memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Standar pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder menggunakan SNI 1974:2011, pada standar ini dibatasi beton yang memiliki berat isi lebih besar dari 800 kg/m^3 .



Gambar 3.2 Sketsa Landasan Pada Pengujian Kuat Tekan

sumber : SNI 1974:2011

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani “ σ ” (sigma). Apabila sebuah batang ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*), sedangkan apabila ditekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Tegangan dapat dihitung dengan rumus yang sama untuk mencari kuat tekan (f'_c) sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

σ = Tegangan

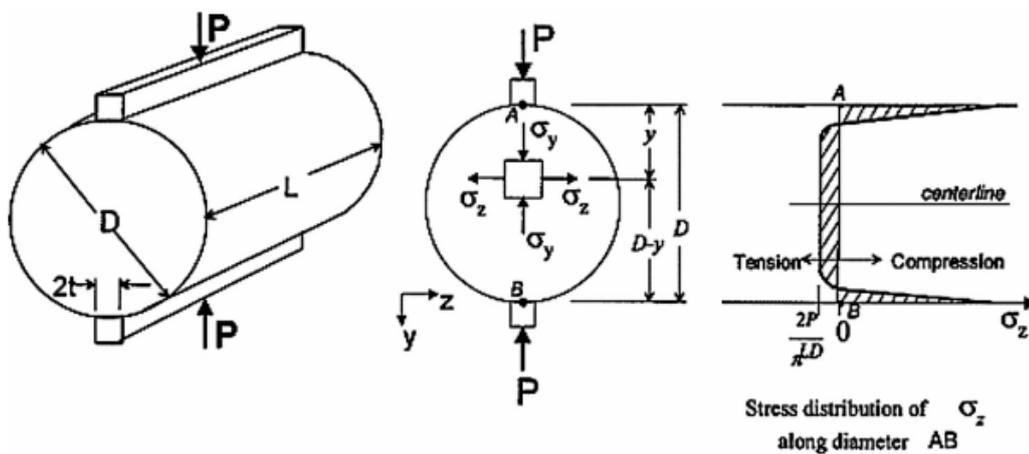
P = Beban tekan maksimum

A = Luas permukaan benda uji

b. Tegangan tarik

Menurut Wahyudi, dan Rahim, (1999), kekuatan tarik beton diukur berdasarkan modulus tarik yaitu tegangan tarik lentur dari beton silinder. Nilai yang didapatkan sedikit lebih besar dibandingkan kuat tarik sesungguhnya, oleh sebab itu kuat tarik belah pada beton disebut juga dengan kuat tarik tidak langsung. kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan dengan kuat tekannya, dimana besarnya berkisar antara 10% - 15% dari kuat tekan.

Menurut SNI 03-2491-2002, kuat tarik diperoleh dari hasil pembebanan benda uji silinder yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja pada mesin uji. Perhitungan kuat tarik belah dari benda uji sebagai berikut.



Gambar 3.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Beton Silinder

(Sumber : ASTM Standard C 496, 2002)

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \dots \dots \dots (3.4)$$

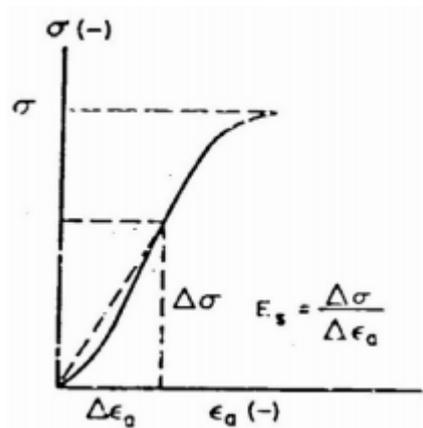
Dimana :

F_{ct} = kuat tarik – belah

- P = beban uji maksimum yang ditunjukkan mesin uji
 L = panjang benda uji
 D = diameter benda uji
 π = 0,314

2. Modulus elastisitas beton

Menurut SNI 2826-2008, Modulus elastisitas atau Modulus Young merupakan perbandingan antar tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis, sehingga modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban. Modulus elastisitas beton menunjukkan kekakuan beton dalam menerima beban. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas beton maka lendutan yang terjadi akan semakin kecil, artinya beton dapat menerima beban yang besar dengan regangan yang kecil.



Gambar 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan

sumber : SNI 2826 -2008

Menurut Nawy (1985), bagian pertama kurva tegangan-regangan ini (sampai sekitar 40% dari f'_c) pada umumnya untuk tujuan praktir dianggap linier. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidak linieran kurva. Pada SNI 2847-2003, mencari modulus elastisitas menggunakan Persamaan 3.5

$$E_c = W_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.5)$$

untuk nilai w_c antara 1440 dan 2560 kg/m³

Dimana :

W_c = berat beton

f'_c = kuat tekan beton

Menurut ASTM C-469 modulus dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,000050} \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum, dalam MPa

S_1 = Kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_1 = 0,000005$

ε_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(3.7)$$

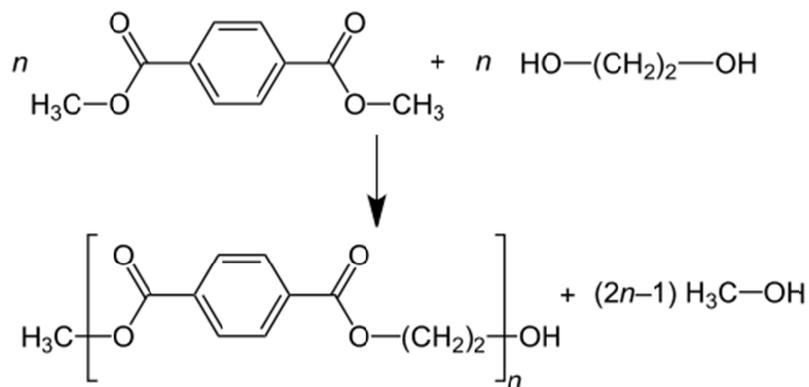
dengan:

ΔL = Deformasi longitudinal (mm)

L_0 = Tinggi efektif pengukuran (mm)

3.2 PET (Polyethylene Terephthalate)

Menurut Surdia, dan Saito (1999), *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan resin polimer termoplastik berantai lurus dengan ikatan ester dalam rantai utama biasanya dikenal dengan polibutilen tereftalat (PBT).



Gambar 3.5 Struktur Kimia Polietilen Tereftalat

Sumber (Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik, 1999)

Sifat-sifat yang dimiliki *Polyethylene Terephthalate* adalah permukaan yang halus mengkilat, memiliki titik leleh yang relatif tinggi, memiliki kestabilan dimensi karena serapan airnya dan koefisien ekspansif termalnya rendah. Bahan mempunyai kekakuan tinggi, kekuatan mekanik yang unggul, tinggi dalam ketahanan *impact*, ketahanan abrasi, koefisien gesek, ketahanan tarik, ketahanan retak, ketahanan cuaca yang baik. Berdasarkan hasil kunjungan Aliyah (2018) ke salah satu pabrik pengolah limbah plastik yaitu *Recycling Business Unit Aqua* di Tangerang Selatan, *PET* bisa didapatkan dari hasil olahan limbah plastik. Pada limbah pabrik tersebut botol *PET* disortir agar dapat diolah kembali. Terdapat 4 jenis *PET* yang dapat diolah, yaitu *PET* bening, *PET* biru muda, *PET* kertas, dan *PET* minyak. <https://langkahkakialiyah.wordpress.com/2018/03/20/6047/>

Penelitian ini bermaksud untuk menggunakan *Polyethylene Terephthalate* (*PET*) dengan meningkatkan kekuatan beton sebagai pengganti sebagian agregat pasir, digunakan gradasi seragam pada bahan pengganti untuk mengetahui ukuran optimum pada penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (*PET*).

3.3 Perencanaan Campuran Beton Normal

Acuan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton normal adalah SNI 03-2834-2000 tentang tata cara rencana pembuatan campuran beton normal. Perencanaan campuran beton (*mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan kuat tekan beton memenuhi kuat tekan yang direncanakan. Adapun tahapan-tahapan dalam perencanaan proporsi campuran beton sebagai berikut.

1. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

Tetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan $f'c$, yaitu kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari ($f'c$) yang dipergunakan dalam perencanaan struktur.

2. Nilai standar deviasi

Nilai standar deviasi yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton normal menurut rumus pada Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9:

$$Sr = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (xi-x)^2}}{n-1} \dots\dots\dots(3.8)$$

Sr = standar deviasi

xi = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

x = kuat tekan beton rata-rata

$$x_{rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n} \dots\dots\dots(3.9)$$

n = jumlah nilai hasil uji harus diambil minimum 30 buah yang setiap nilainya diambil minimum rata-rata dari 2 buah benda uji yang dibuat dari contoh beban yang sama pada umur 28 hari

bila data uji lapangan hanya ada 15 sampai 29, maka deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang Dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasa Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI-03-2834-2000

Bila data uji lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'c + 12 \text{ MPa})$.

3. Nilai tambah

Nilai tambah (margin) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$M = 1,64 x Sr \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan

M = nilai tambah,

1,64 = nilai tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%,

Sr = deviasi standar

4. Kuat tekan rata-rata (f'_{cr}) yang ditargetkan

Kuat tekan rata-rata beton yang ditargetkan dapat digunakan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan :

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa),

f'_c = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa),

M = Nilai tambah/margin (MPa).

5. Pemilihan faktor air semen

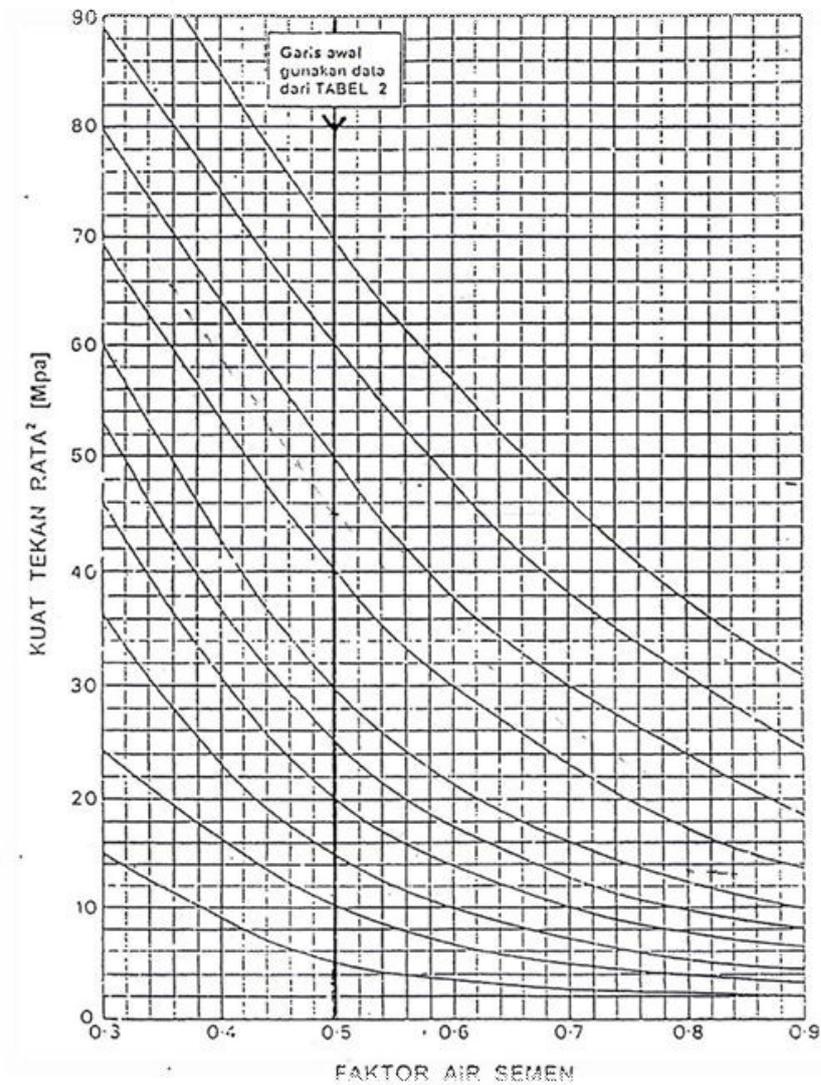
Melakukan pemilihan faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang direncanakan berdasarkan grafik pada Gambar 3.6 tentang hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm) dan menggunakan Tabel 3.2 sebagai perkiraan kekuatan tekan beton dengan faktor air semen, dan agregat kasar sebagai acuan awal dalam menentukan faktor air semen menggunakan grafik pada Gambar 3.6.

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000

Setelah perkiraan kuat tekan beton ditentukan dari tabel di atas, maka dapat dicari nilai faktor air semen menggunakan grafik pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen

Sumber : SNI 03-2834-2000

Setelah diketahui fas menggunakan grafik diatas, maka dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (fas) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 3.3

Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)	Nilai fas maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan 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 masuk ke dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 3.4
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Lihat Tabel 3.5

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3.4 dapat digunakan untuk perencanaan beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat, sedangkan pada Tabel 3.5 dapat digunakan untuk perencanaan beton yang berada di dalam air.

Tabel 3.4 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar gangg uan sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan semen minimum pada ukuran normal agregat maksimum (Kg/m ³)			Faktor air semen
	Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/L)		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (g/L)						
1	<0,2	<1,0	<0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	300	350	0,5
2	0,2-0,5	1,0–1,9	0,4-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	290	330	350	0,5
				Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	270	310	360	0,55
3	0,5-1,0	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	>20	>5,6	>5,0	Tipe II atau Tipe V dan lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Sumber : SNI 03-2834-2000

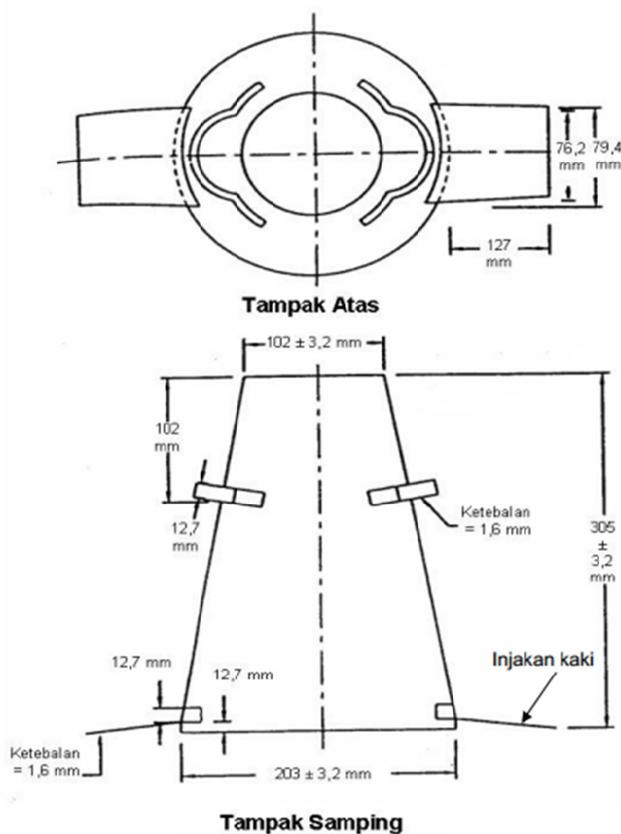
Tabel 3.5 Ketentuan Minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Jenis beton	Kondisi Lingkungan	Faktor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum(kg/m ³)	
				Ukuran nominal maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air Tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380
	Air Laut	0,50	Tipe II atau V	330	370

Sumber : SNI-03-2834-2000

6. Nilai *Slump*

Slump adalah salah satu pengujian untuk mengetahui *workability* beton segar. Cara pengujian *slump* terdapat pada SNI 1972-2008. Pengujian *slump* menggunakan kerucut Abram sebagai cetakan beton segar.

**Gambar 3.7 Cetakan Untuk Uji *Slump* (Kerucut Abram)**

Sumber : SNI 1972-2008

Nilai slump dapat ditentukan berdasarkan kegunaan beton yang dapat dilihat di Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Nilai Slump

No	Elemen Struktur	Slump maks (cm)	Slump (min)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tak bertulang, kaison, dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber : PBI 1971

7. Ukuran butir agregat maksimum

Ukuran agregat dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan (*workability*) dan kekuatan beton. Pada SNI-03-2834-2000 besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari.

- a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
- b. sepertiga dari tebal pelat,
- c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Batas-batas ukuran butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Batas-Batas Ukuran Butir Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat lolos saringan		
	Ukuran maksimum agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
38,1	95-100	100	100
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

Sumber : SNI-03-2834-2000

8. Kadar air bebas

Kadar air bebas adalah kebutuhan air per meter kubik beton yang digunakan dalam perencanaan proporsi campuran beton. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.8 dan setelah itu dihitung menggunakan Persamaan 3.12.

Tabel 3.8 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump

Ukuran maksimum agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 - 30	30 – 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2834-2000

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :

W = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m^3),

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

9. Kebutuhan Semen

Semen akan dapat menjadi perekat hidraulis pada beton bila bercampur dengan air. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan dalam menentukan kebutuhan semen agar menghasilkan kekuatan beton yang diinginkan. Kebutuhan dapat ditentukan menggunakan dua cara berikut.

a. Menghitung kebutuhan semen

Kebutuhan semen didapat dari faktor air semen (fas) sesuai dengan persamaan 3.10.

$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{fas} \dots\dots\dots(3.13)$$

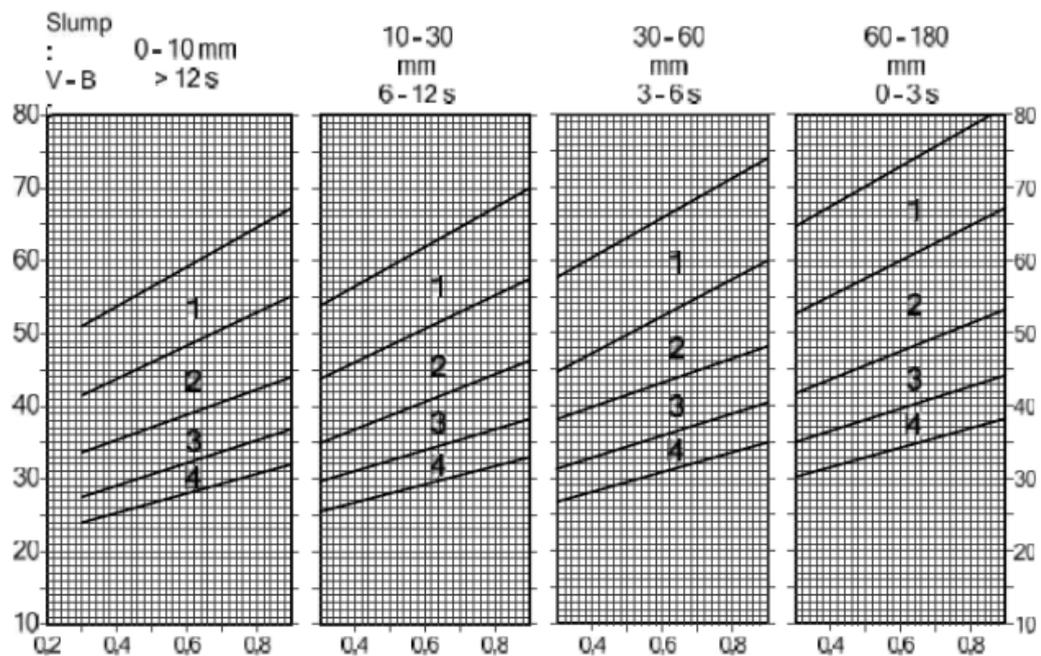
b. Menentukan kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5. Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari cara

pertama lebih sedikit dari kebutuhan semen minimum, maka kebutuhan semen yang digunakan adalah nilai terbesar dari kedua cara tersebut.

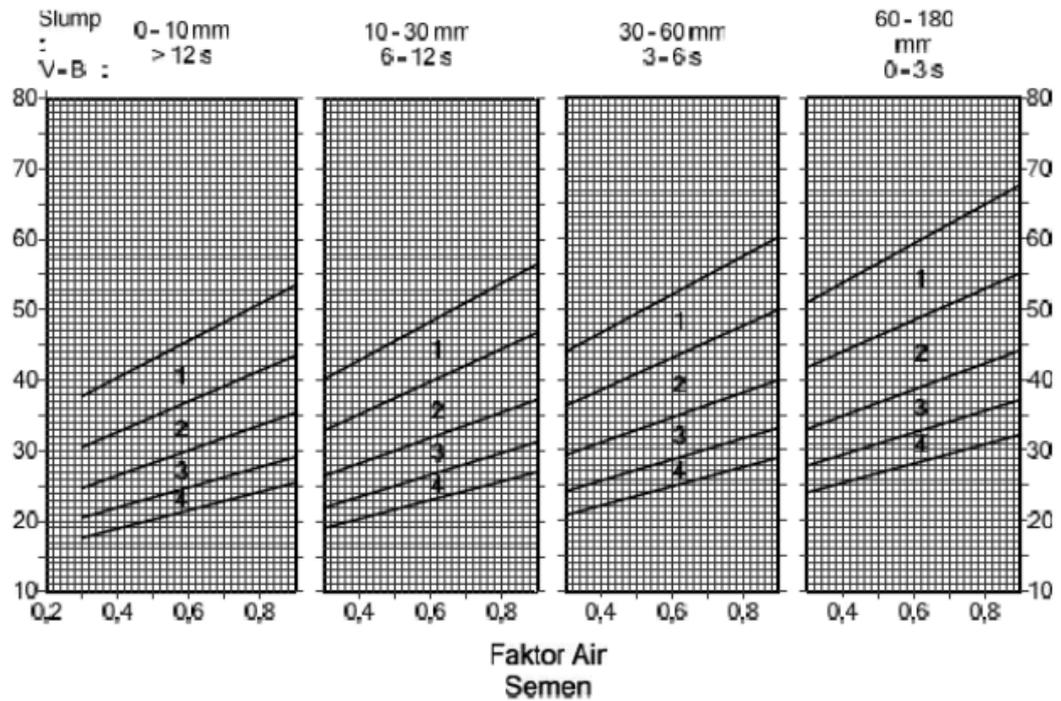
10. Persentase jumlah agregat halus

Persentase jumlah agregat halus ditentukan berdasarkan besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Menentukan persentase jumlah agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.8, Gambar 3.9, Gambar 3.10.



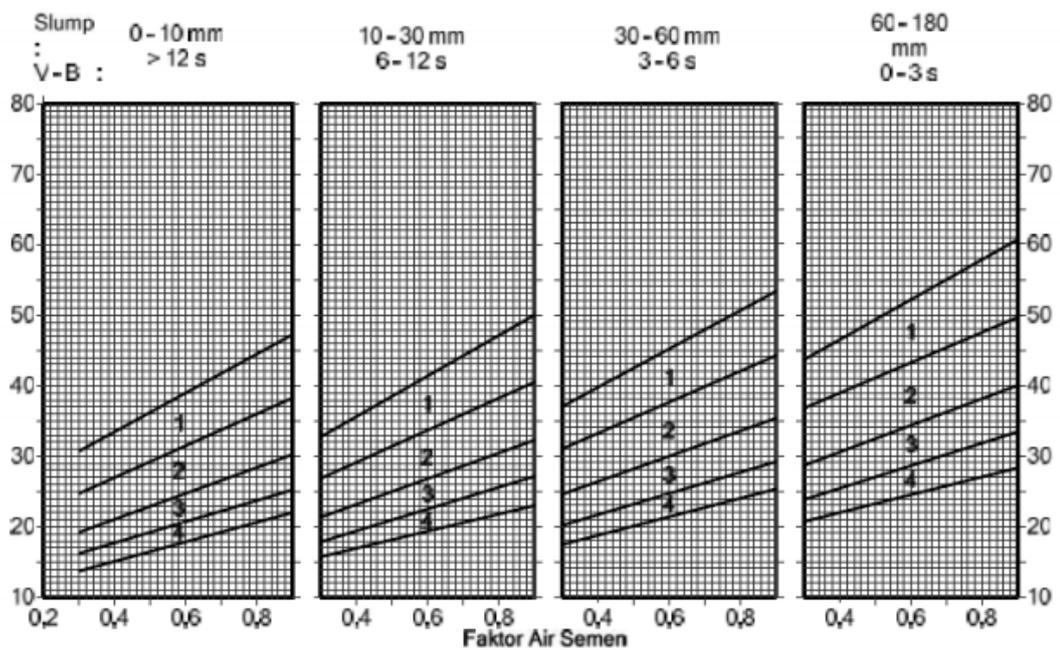
Gambar 3.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

11. Berat jenis relatif gabungan

Berat jenis relative gabungan antara agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14.

$$Bj_{Gabungan} = \%AH \times Bj_{Halus} + \%AK \times Bj_{kasar} \dots \dots \dots (3.14)$$

Keterangan :

$Bj_{Gabungan}$ = berat jenis agregat gabungan,

Bj_{Halus} = berat jenis agregat halus,

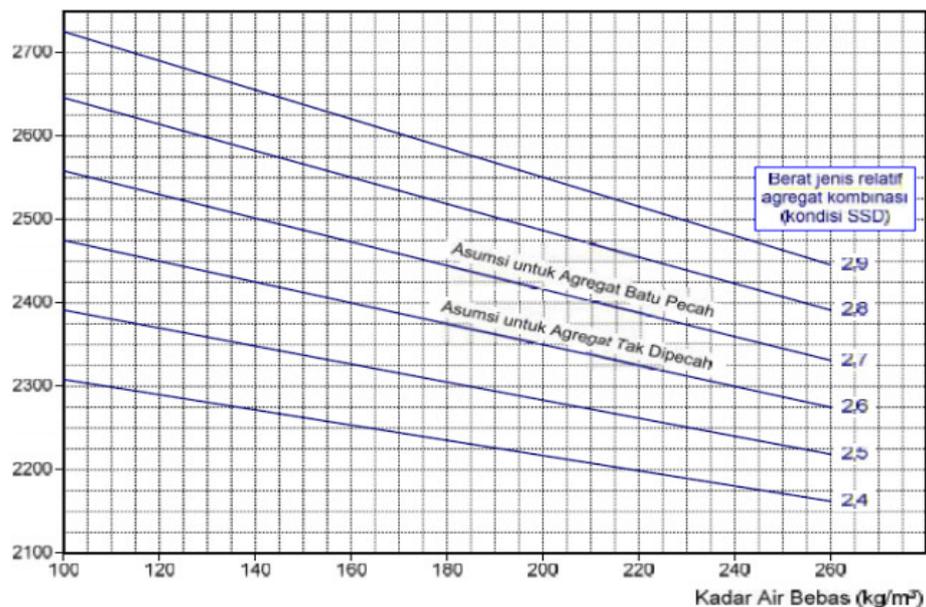
Bj_{Kasar} = berat jenis agregat kasar,

$\%AH$ = persen agregat halus,

$\%AK$ = persen agregat kasar.

12. Berat isi beton

Berat isi beton adalah berat dari seluruh campuran yang terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus salam kilogram per meter kubik. Dalam menentukan berat isi beton dapat digunakan grafik pada Gambar 3.11 dengan memasukkan berat jenis gabungan relatif agregat dan kadar air bebas yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.11 Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

13. Proporsi campuran beton

Campuran beton terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus. Proporsi campuran beton perlu dihitung terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran.

Proporsi campuran dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15 dan 3.16.

$$W_{halus} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AH \dots\dots\dots(3.15)$$

$$W_{kasar} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AK \dots\dots\dots(3.16)$$

Keterangan :

$W_{isi\ beton}$ = berat isi beton,

W_{semen} = berat semen,

W_{air} = berat air,

$\%AH$ = persen agregat halus,

$\%AK$ = persen agregat kasar.