

BAB II

STUDI PUSTAKA

Menurut ACI (*American Concrete Institute*) *Committee 544* beton berserat diartikan sebagai beton yang terbuat dari semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat yang tersebar secara acak, yang mana masih dimungkinkan untuk diberi bahan-bahan *additive*.

Maksud utama penambahan serat dalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton sangat mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi lebih tahan retak. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas. (Tjokrodimulyo, 1996)

2.1 URAIAN UMUM

Mulai tahap perencanaan, pelaksanaan hingga tahap analisa, penelitian yang kami laksanakan berdasarkan sumber – sumber yang berkaitan dengan topik yang kami pilih, yaitu “*Analisis Pengaruh Penambahan Serat Kawat Berkait Pada Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*”. Sumber-sumber yang kami gunakan itu berupa peraturan-peraturan, referensi-referensi dan penelitian-penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya.

Sebagai dasar perencanaan beton, kami menggunakan metode DOE (*Department Of Environment*) yang dimuat dalam SK.SNI. T-15-1990-03 dengan judul “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*” dan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI’71).

Pada bab ini kami membahas mengenai teori – teori yang mendasari penelitian yang kami laksanakan. Materi yang akan dibahas berdasarkan referensi-referensi maupun peraturan-peraturan mengenai beton, antara lain :

- Beton Normal
- Beton Serat
- Serat Kawat
- Material pada Beton

2.2 BETON NORMAL

Dalam teknologi beton, Kardiono Tjokrodimuljo (2004), beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive*.

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971), beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland dan air (aditif).

Sedangkan SK.SNI T-15-1990-03 mendefinisikan beton sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang berbentuk massa padat.

Penggunaan konstruksi beton diminati karena beton memiliki sifat – sifat yang menguntungkan, seperti ketahanannya terhadap api, awet, kuat tekan yang tinggi dan dalam pelaksanaannya mudah untuk dibentuk sesuai dengan bentuk yang dikehendaki. Tetapi konstruksi beton juga mempunyai kelemahan-kelemahan antara lain : kemampuan menahan tarik yang rendah sehingga konstruksinya mudah retak jika mendapatkan tegangan tarik.

Nilai kekuatan tekan dari beton (SK.SNI.M-10-1991-03) diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dibebani dengan gaya tekan sampai benda uji hancur.

Nilai kuat tarik beton sangat kecil, berkisar antara 9% - 15% dari nilai kuat tekannya. Kecilnya nilai kuat tarik dari beton inilah yang merupakan kelemahan terbesar dari beton. Sehingga untuk menambah kuat tarik dari beton dapat dilakukan dengan diberi tulangan yang mampu menahan gaya tarik.

2.3 BETON SERAT

Banyak sifat-sifat beton yang dapat diperbaiki dengan penambahan serat, diantaranya adalah dengan meningkatnya : daktilitas, ketahanan impact, kuat tarik dan lentur, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susutan, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap pecahan atau fragmentasi, ketahanan terhadap pengelupasan.

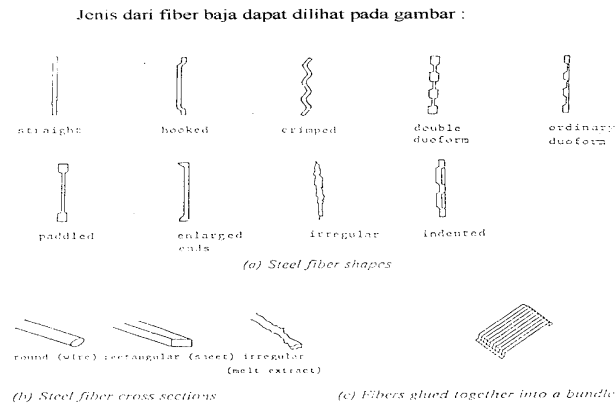
Serat merupakan bahan tambahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik beton antara lain adalah :

2.3.1 Serat Baja

Kelebihan serat ini adalah kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi serat ini juga mempunyai kelemahan yaitu sangat korosif. Hal ini akan sangat terasa bila ada sebagian dari serat yang tidak terlindung / tertutup beton.

Ada beberapa jenis fiber baja yang biasa digunakan (Soroushian dan Bayasi, 1991) :

1. Bentuk fiber baja (*steel fiber shapes*)
 - a. Lurus (Straight)
 - b. Berkait (Hooked)
 - c. Bergelombang (Crimped)
 - d. Double duo Form
 - e. Ordinary duo Form
 - f. Bundel (Paddled)
 - g. Kedua ujung ditekuk (Enlarged Ends)
 - h. Tidak teratur (Irregular)
 - i. Bergerigi (Indented)
2. Penampang fiber baja (*steel fiber cross section*)
 - a. Lingkaran atau kawat (*round* atau *wire*)
 - b. Persegi atau lembaran (*rectangular* atau *sheet*)
 - c. Tidak teratur atau bentuk dilelehkan (*Irregular* atau *Melt extract*)
3. Fiber dilekatkan bersama dalam satu ikatan (fiber glued together into a bundle)



Gambar 2.1 Berbagai Tipe Bentuk Fiber Baja

2.3.2 Serat Polypropelene

Adalah salah satu jenis serat plastik. Sifat serat ini adalah tidak menyerap air semen, modulus elastisitas rendah, mudah terbakar, kurang tahan lama, dan titik lelehnya yang rendah.

2.3.3 Serat Kaca

Sifat serat ini adalah berat jenisnya rendah, modulus elastisitas kecil dan kurang tahan terhadap pengaruh alkali.

2.3.4 Serat Asbestos

Ditinjau dari harganya serat ini relatif murah. Kelebihan lainnya adalah tahan terhadap panas, sehingga sering digunakan untuk membuat asbes lembaran, pipa maupun genteng.

2.3.5 Serat Kevlar

Serat ini mempunyai modulus elastisitas dan kuat tarik yang tinggi, tetapi harganya mahal sehingga jarang digunakan.

2.3.6 Serat Karbon

Serat ini juga relatif mahal. Serat ini sering dipakai untuk beton yang harus mempunyai ketahanan terhadap retak yang tinggi.

2.3.7 Serat Kawat

Serat ini banyak tersedia di Indonesia dan harganya yang murah.

Briggs (1974) meneliti bahwa batas maksimal yang masih memungkinkan untuk dilakukan pengadukan dengan mudah pada adukan beton serat adalah penggunaan serat dengan aspek rasio ($l/d < 100$). Pembatasan nilai l/d tersebut didukung dengan usaha-usaha untuk meningkatkan kuat lekat serat dengan membuat serat dari berbagai macam konfigurasi, seperti bentuk spiral, berkait, bertakik – takik atau bentuk-bentuk yang lain untuk meningkatkan kuat lekat serat.

Penambahan serat pada adukan beton dapat menimbulkan masalah pada *fiber dispersion* dan kelecakan (*workability*) adukan. *Fiber dispersion* dapat diatasi dengan memberikan bahan tambah berupa *superplastisizer* ataupun dengan meminimalkan diameter agregat maksimum, sedangkan pada *workability* adukan beton dapat dilakukan dengan modifikasi terhadap faktor – faktor yang mempengaruhi kelecakan adukan beton yaitu nilai faktor air semen (*fas*), jumlah dan kehalusan butiran semen, gradasi campuran pasir dan kerikil, tipe butiran agregat, diameter agregat maksimum serta bahan tambah.

2.4 Beton Berserat Kawat

Dalam ACI Comitte 544 dikatakan bahwa semua material yang terbuat dari baja / besi yang berbentuk fisik kecil / pipih dan panjang dapat dimanfaatkan sebagai serat pada beton. Dalam ACI Comitte 544 secara umum fiber baja panjangnya antara 0,5 in (12,77 mm) sampai 2,5 in (63,57 mm) dengan diameter antara 0,017 in (0,45 mm) sampai 0,04 in (1,0 mm).

Pada penelitian Suhendro, dipelajari pengaruh penambahan fiber lokal (yang berupa potongan kawat yang murah harganya dan banyak tersedia di Indonesia) ke dalam adukan beton mengenai daktilitas, kuat desak dan impact resistance beton fiber yang dihasilkan. Tiga jenis kawat lokal yaitu kawat baja, kawat bendrat, dan kawat biasa yang berdiameter ± 1 mm dipotong-potong dengan panjang ± 6 cm dan dijadikan sebagai fiber. Konsentrasi fiber yang diteliti adalah 0,5% dan 1,0%. Diameter kerikil maksimal yang dipakai adalah 2 cm karena akan mempermudah penyebaran fiber kawat bendrat secara merata dalam adukan beton. Faktor air semen 0,55. Dari hasil penelitian terhadap benda – benda uji disimpulkan dengan adanya serat pada beton dapat mencegah retak – retak rambut menjadi retakan yang lebih besar. Dengan penambahan serat pada adukan beton

ternyata dapat meningkatkan ketahanan terhadap daktilitas, beban kejut (impact test resistance) dan kuat desak.

Penelitian Leksono, Suhendro dan Sulistyio tentang beton serat yang menggunakan kawat bendrat berbentuk lurus dan berkait ke dalam campuran beton. Kemudian beton diuji kuat desak, kuat lentur, kuat tarik dan pengujian balok beton. Sebagai bahan susun beton dipakai batu pecah dengan ukuran agregat maksimal 20 mm, kawat bendrat diameter ± 1 mm dipotong dengan ujungnya dibuat berkait (*hooked fiber*) dan panjang 60 mm, faktor air semen 0,55 dan volume fiber (V_f) 0,7% volume adukan. Dengan berat jenis kawat bendrat $6,68 \text{ gr/cm}^3$, maka berat yang harus ditambahkan ke dalam 1 m^3 adukan beton (dibulatkan) 50 kg. Untuk balok beton bertulang dengan ukuran $15 \times 25 \times 180$ cm dengan kandungan fiber 0,25% ; 0,5% ; 0,75% dan 1,00%. Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menambahkan fiber sebanyak 0,75% sampai dengan 1,00% dari volume beton dan dengan menggunakan aspek rasio sekitar 60 – 70 akan memberikan hasil yang optimal. Penambahan hooked fiber ke dalam adukan beton dapat menurunkan workability sehingga beton menjadi sulit dikerjakan. Kuat tarik, kuat desak, kuat lentur meningkat setelah diberi hooked fiber untuk kandungan fiber yang optimal 0,75 (Leksono, Suhendro, dan Sulistyio,1995).

Sudarmoko meneliti pengaruh aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter serat) yang dinyatakan panjang serat, terhadap sifat-sifat struktural adukan beton yang mengandung serat yang meliputi kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis. Dengan panjang serat kawat bendrat 60, 80 dan 100 mm dengan konsentrasi serat 1% dari volume adukan disimpulkan hasil terbaik ditunjukkan oleh beton serat dengan panjang serat 80 mm merupakan nilai yang optimal untuk ditambahkan pada adukan beton ditinjau dari sudut peningkatan kuat tarik, dan kuat tekan sedang pada pengujian modulus elastis panjang serat 100 mm memberi hasil yang terkesan tetap dengan nilai yang tidak terlalu menyimpang dari benda uji dengan panjang serat 80 mm sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang 80 mm adalah panjang serat yang optimal. (Sudarmoko,1993)

2.5 Penggunaan Serat Dalam Beton

Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada beton berserat diantaranya sebagai berikut :

Tabel 2.1 Berbagai Penelitian Tentang Beton Serat

No.	Peneliti	Jenis Serat	Kesimpulan
1.	Brigg, Bowen, Kolley (1979)	Serat Karbon	Bila $l/d > 100$, penyebaran serat tidak merata, bila $l/d < ikatan$ beton dan fiber tidak baik
2.	Naanan & Najam (1991)	Serat baja	Sumbangan mekanis pull out serat baja serat baja deform pada mortar besarnya > 100 kali dibanding serat polos
3.	Bayasi & Seng (1993)	Serat Polypropelene	Prosentase volume serat $< 0,5\%$ tidak mempengaruhi <i>workability</i> , $> 0,5\%$ mempengaruhi <i>workability</i>
4.	Suhendro (1997)	Serat baja kawat	Balok beton fiber memiliki kuat lentur dan retak meningkat 20% disbanding non fiber baik sebelum / setelah pembebanan
5.	Sudarmoko (2002)	Serat baja Harex	Nilai slum menurun dari rata-rata 5,75 cm (non serat) menjadi 0,75 cm (serat 0,49%)
6.	Dessy Chrysnawaty & Sylvany (2002)	Serat kain sintetis	Kuat lentur beton mengalami peningkatan sampai konsentrasi serat 1%. Kuat tekan beton meningkat sampai konsentrasi serat 0,5%
7.	Ananta Ariatama (2005)	Serat kawat berkait	Kuat tekan meningkat 14,67% Kuat lentur meningkat 48,06%

2.6 Variabel Beton Berserat

Dalam pembuatan atau perancangan beton berserat ada beberapa variabel yang berpengaruh terhadap beton berserat yang dihasilkan, diantaranya :

a. Fiber Aspect Ratio

Fiber aspect ratio adalah perbandingan antar panjang fiber (l) dan diameter (d). Dari penelitian terdahulu (Sudarmoko) penggunaan aspek rasio serat yang tinggi akan mengakibatkan terjadi *balling effect*, yaitu penggumpalan serat membentuk suatu bola serat dimana serat tidak tersebar merata. Oleh karena itu disarankan penggunaan serat dengan aspek rasio rendah ($l/d < 50$), tetapi bila panjang fiber terlalu pendek pengaruh fiber akan kurang signifikan.

b. Fiber Volume Fraction

Yaitu volume fiber yang ditambahkan pada tiap satuan volume beton. Tiap jenis fiber mempunyai prosentase volume optimal yang dapat memperbaiki sifat-sifat beton berserat.

c. Mutu Beton

Berbeda dengan beton mutu normal, penambahan serat fiber pada beton mutu dimana prosentase airnya lebih sedikit dibandingkan beton mutu normal dimungkinkan terjadinya tingkat *workability* yang rendah. Hal ini akan menyulitkan pengerjaan di lapangan bila tidak diantisipasi. Penambahan *additive* tertentu akan menjadikan beton berserat akan lebih mudah dikerjakan.

d. Bentuk Permukaan fiber

Daya lekat (*bond*) antara fiber dan beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton fiber. Makin besar lekatannya maka sifat-sifat mekanik beton akan semakin baik. Tegangan beton akan ditransfer dari beton ke serat melalui lekatan tersebut sampai beton mengalami retak-retak. Semakin kasar permukaan fiber maka lekatannya akan makin kuat, sehingga pada fiber baja dikembangkan bentuk – bentuk penampang yang bervariasi.

e. Metode / Cara Pencampuran

Penyebaran fiber pada adukan beton tergantung cara / teknik pencampurannya. Ada dua cara pencampuran yaitu pencampuran kering dan pencampuran basah yang

keduanya boleh dilakukan tergantung pada jenis fiber yang digunakan. Pencampuran kering adalah dengan mencampurkan fiber pada beton sebelum dituang air, Sebaliknya pencampuran basah fiber dicampurkan setelah adukan beton dituang air.

2.7 Perilaku Mekanik Beton Berserat

Beton sangat tidak tahan terhadap tarik, sehingga pada perencanaan elemen struktur daerah tarik beton dipasang tulangan. Pada kondisi beban normal dimana keretakan beton belum terjadi maka elemen struktur akan tetap stabil. Tetapi pada beban yang besar kadang-kadang akan terjadi keretakan pada daerah tarik. Bila lebar / dalam retak cukup besar maka tulangan akan menjadi tidak terlindung, sehingga terjadi kontak dengan udara. Akibatnya korosi akan segera terjadi, Yang dalam proses waktu tertentu akan mengurangi kekuatan struktur balok tersebut.

Penambahan fiber pada beton diantaranya adalah untuk mengatasi masalah diatas. Fiber pada beton akan berfungsi sebagai tulangan mikro yang disebarkan secara merata dengan orientasi acak, sehingga dapat mencegah atau mengurangi terjadinya retakan-retakan beton akibat pembebanan maupun panas hidrasi.

Penambahan fiber akan mengakibatkan penambahan kekuatan lentur beton. Bila dibandingkan dengan penambahan kuat tekan dan tarik umumnya penambahan kuat lentur lebih besar prosentasenya (Ananta A,2005). Penambahan kuat lentur tersebut disebabkan karena beton berserat terdapat tulangan mikro berupa serat fiber sehingga beton akan menjadi lebih lentur.

Pada penelitian ini fiber yang akan digunakan adalah fiber kawat galvanis dengan diameter 1 mm panjang kawat 60 mm, 75 mm dan 90 mm. Dengan demikian secara berturut-turut aspek rasio menjadi 60, 75 dan 90. Perbandingan volume fiber diambil 2% berat semen. Fiber kawat ujungnya dibuat berkait dengan cara ditekuk.

Dengan bentuk berkait diharapkan mampu meningkatkan ikatan antar fiber kawat dan mortar.



Gambar 2.2 Bentuk fiber yang digunakan

2.8 Perilaku Regangan – Tegangan Beton Berserat

Hognestad menemukan hubungan antara regangan – tegangan beton tanpa serat pada pembebanan uniaxial dengan rumus :

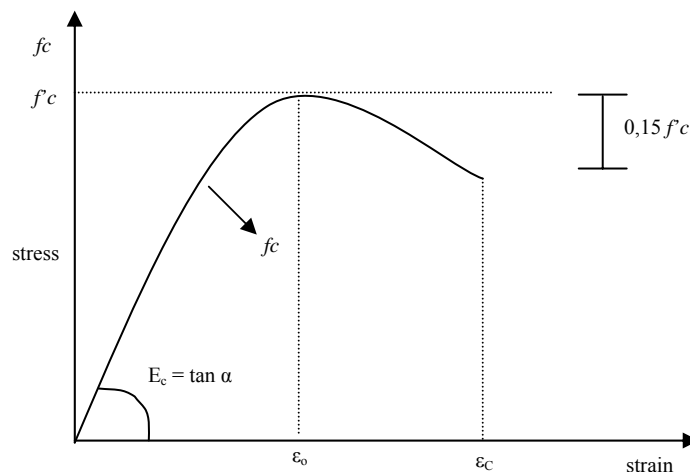
$$\frac{f_c}{f'_c} = \left\{ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_c} - \frac{(\varepsilon_c)^2}{(\varepsilon_0)^2} \right\} \quad (1)$$

dimana f_c = tegangan

f'_c = tegangan maksimum

ε_0 = regangan yang terjadi pada saat tegangan maksimum

ε_c = regangan yang terjadi pada saat tegangan 85% teg. maksimum



Gambar 2.3 Hubungan Regangan-Tegangan Beton Normal

Dari kurva diatas, hubungan tegangan – regangan awalnya bersifat linier. Perilaku ini akan menyimpang dari kondisi linier bersamaan mulai terjadinya retak-retak pada beton yang pada awalnya timbul pada daerah transisi agregat dan pasta. Penjalaran retak ini akan memperlemah resistansi / ketahanan beton terhadap beban sehingga terbentuk kurva tegangan – regangan yang melengkung.

Pada beton mutu tinggi rentang perilaku liniernya lebih panjang / tinggi dibandingkan dengan beton mutu normal disebabkan kapasitas retaknya lebih besar. Tingginya kapasitas retak ini disebabkan kuatnya ikatan antar mortar dan ikatan antara mortar dengan agregat, sehingga untuk memecah ikatan tersebut dibutuhkan beban yang besar pula.

Tetapi apabila pada beton mutu tinggi tersebut sudah terjadi retak maka proses keruntuhannya akan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan beton normal. Menurut Mehta dan Montero hal ini disebabkan oleh tingkat kekuatan ikatan antar mortar dan antara mortar dengan agregat relatif sama jika dibandingkan dengan kekuatan agregatnya sendiri.

Pada beton berserat hubungan tegangan – regangan tidak persis sama dengan beton tanpa serat. Ezeeldin & Balagou mengusulkan persamaan tegangan – regangan beton berserat mutu normal sebagai berikut :

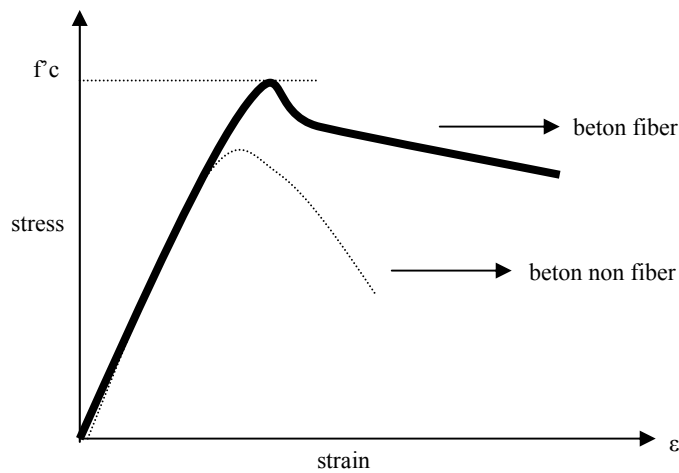
$$\frac{f_c}{f'_c} = \frac{\beta \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right]}{(\beta - 1) + \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right]}$$

dimana :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ \varepsilon_0 &= 0,002 + 0,5 \times 10^{-6} \cdot R \leq 0,003 \\ R &= \frac{V_f \cdot L}{\phi} \\ \beta &= 1,09 + 0,71 (R)^{-0,93} \end{aligned}$$

khusus untuk fiber berbentuk hooked

$$\beta = 1,09 + 7,5 (R)^{-1,39}$$



Gambar 2.4 Hubungan Regangan-Tegangan Beton

Persamaan (3) menunjukkan bahwa beton fiber mempunyai sifat yang lebih duktail. Tetapi untuk beton mutu tinggi, persamaan (2) perlu diverifikasi lagi keakuratannya apakah masih sesuai atau tidak dengan persamaan tersebut.

2.9 Material Penyusun Beton

Semen yang diaduk dengan air kan membentuk pasta semen. Jika pasta semen ditambah dengan pasir akan menjadi mortar semen. Jika ditambah lagi dengan kerikil / batu pecah disebut beton.

Pada umumnya beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari (Tri Mulyono,2003)

2.9.1 Semen Portland

Semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalium sulfat sebagai bahan tambahan, yang digiling bersama-sama bahan utamanya. Bahan utama penyusun semen adalah kapur (CaO), Silica (SiO_3), dan alumina (Al_2O_3). (ASTM C-150)

Fungsi utama semen pada beton adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk massa padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

Tipe semen ditinjau dari penggunaannya, menurut ASTM semen portland dapat dibedakan menjadi lima yaitu :

- Tipe I – Semen Portland jenis umum (*normal portland cement*)
Yaitu jenis semen Portland untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat khusus.
- Tipe II – Semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (*modified portland cement*)
Jenis ini digunakan untuk bangunan-bangunan tebal, seperti pilar dengan ukuran besar, tumpuan dan dinding penahan tanah yang tebal. Jenis ini juga digunakan untuk bangunan-bangunan drainase ditempat yang memiliki konsentrasi sulfat agak tinggi.
- Tipe III – Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi (*high early strength portland cement*)
Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat digunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin.
- Tipe IV – Semen Portland dengan panas hidrasi yang rendah (*low heat portland cement*)
Jenis ini merupakan jenis khusus untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi serendah-rendahnya. Kekuatannya tumbuh lambat. Jenis ini digunakan untuk beton massa seperti bendungan-bendungan gravitasi besar.
- Tipe V – Semen portland tahan sulfat (*sulfate resisting portland cement*)
Jenis ini merupakan jenis khusus yang maksudnya hanya untuk penggunaan pada bangunan-bangunan yang kena sulfat, seperti ditinjau atau air yang tinggi kadar alkalinnya. Pengerasan berjalan lebih lambat daripada semen portland biasa.

2.9.2 Agregat

Dalam SK.SNI T-15-1991-03, agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Kandungan agregat dalam suatu adukan beton biasanya sangat tinggi, komposisinya dapat mencapai 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, maka peran agregat sangat penting. Karena itu karakteristik dari agregat perlu dipelajari dengan baik, sebab agregat dapat menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan. (Tri Mulyono,2001)

Penggunaan agregat dalam beton adalah untuk :

- Menghemat penggunaan semen portland
- Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton
- Mengurangi susut pengerasan pada beton
- Mencapai susunan beton yang padat. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapat beton yang padat
- Mengontrol workability beton. Dengan gradasi agregat yang baik (gradasi menerus), maka akan didapatkan beton yang mudah dikerjakan.

(Wuryanti S. dan Candra R,2001)

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah agregat batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.75 mm dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.75 mm (ASTM C33). Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai, tanah galian atau dari hasil pemecah batu. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut lanau, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung. Ukuran agregat dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Kekuatan tekan beton akan berkurang bila ukuran maksimum agregat bertambah besar. Untuk beton bertulang SK.SNI T-15-1991-03 memberikan batasan untuk ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm. Agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

- Batu, umumnya besar butiran lebih dari 40 mm
- Kerikil, untuk butiran antara 5 sampai 40 mm
- Pasir, untuk butiran antara 0,15 sampai 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

Jika dilihat dari tekstur permukaannya, secara umum susunan permukaan agregat sangat berpengaruh pada kemudahan pekerjaan. Semakin licin permukaan agregat akan semakin mudah beton dikerjakan. Akan tetapi jenis agregat dengan permukaan kasar lebih disukai karena akan menghasilkan ikatan antara agregat dan pasta semen lebih kuat. (Tri Mulyono,2004)

Berat jenis Agregat

Menurut berat jenisnya agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

a. Agregat Normal

Agregat normal memiliki berat jenis antara 2,5 kg/dm³ dan 2,7 kg /dm³. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar 2,3 kg/dm³ dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai dengan 40 Mpa dan dinamakan beton normal (Tjokrodimuljo, 1996)

b. Agregat Berat

Agregat berat memiliki berat jenis 2,8 kg/dm³ ke atas, contohnya magnetit (Fe₃O₄), barytes (BaSO₄), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan cocok untuk dinding pelindung radiasi sinar x.

c. Agregat Ringan

Agregat ringan memiliki berat jenis kurang 2,0 kg/dm³. Agregat ringan misalnya *diatomite*, *pumice*, tanah bakar, abu terbang, busa terak tanur tinggi.

Adapun cara menghitung berat jenis agregat adalah dengan rumus :

$$\text{Berat jenis} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Keterangan :

- A : Berat contoh (berat agregat untuk dalam kondisi asli atau SSD)
B : Berat air 500 ml
C : Berat agregat ketika didalam air

Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila agregat mempunyai butiran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil dapat mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga pori – pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan tinggi.

Menurut peraturan *British Standart* yang diadopsi di Indonesia (SK-SNI-T-15-1990-03) kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (daerah I), agak halus (daerah II), agak kasar (daerah III), dan kasar (daerah IV), seperti tampak pada tabel 2.5.

Tabel 2.2. Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah 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 : *Tjokrodimuljo*, 1996)

Adapun gradasi kerikil yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.6.

Tabel 2.3. Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Yang Lewat Ayakan	
	Besarnya Butir Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4.8	0 - 5	0 – 10

(Sumber : Tjokrodinuljo, 1996)

Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekesaran butir agregat. Modulus halus butir (FM) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal diatas ayakan. Selain itu FM (*fineness modulus*) juga dapat untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dengan kerikil, bila dibuat campuran beton. Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 sampai 6,5.

$$FM = \frac{\text{Jumlah\%butirandiatasayakan}0,15}{100}$$

Kadar Air Agregat

Kadar air pada suatu agregat (dilapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a) Kering oven : benar – benar tidak berair dan ini berarti dapat menyerap air secara penuh.
- b) Kering udara : butiran agregat kering permukaan, tetapi mengandung sedikit air didalam pori. Oleh karena itu agregat dalam kondisi ini masih dapat menyerap air.

- c) Jenuh kering muka : pada kondisi ini tidak ada air dipermukaan. Butiran agregat pada kondisi ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d) Basah : pada kondisi ini agregat mengandung banyak air, baik dipermukaan maupun didalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan beton akan menambah air.

Dari keempat keadaan diatas, hanya dua keadaan yang sering dipakai sebagai dasar hitungan, yaitu kering oven dan jenuh kering muka karena konstan untuk agregat tertentu.

Keadaan jenuh kering muka (*saturated surface dry*, SSD) lebih disukai sebagai standart, 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 dilapangan lebih banyak dalam keadaan SSD dibandingkan kering tungku.

Dalam hal ini hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering muka, sehingga jika keadaan dilapangan kering udara maka dalam adukan beton akan menyerap air, namun jika agregat dalam keadaan basah maka akan menambah air. Penyerapan penambahan air tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$A \text{ tamb} = \frac{K - K_{JKM}}{100} \times W_{ag}$$

Keterangan :

A tamb : air tambahan dari agregat (liter)

K : kadar air di lapangan (%)

K_{JKM} : Kadar air jenuh kering muka (%)

W_{ag} : berat agregat (kg)

Adapun kadar air dalam agregat dapat diukur dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat semula} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\%$$

Persyaratan-persyaratan yang diperlukan agar agregat dapat digunakan sebagai campuran beton terdapat dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971)

Persyaratan Agregat Halus

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
2. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. Jika lebih dari 5% maka agregat harus dicuci.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organis yang terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi persyaratan dari percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak boleh kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan NaOH 3 %, yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
4. Apabila agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut-turut 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2 % berat
 - Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10 % berat
 - Sisa diatas ayakan 0.25 mm, harus minimum 80% - 95% berat
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

Persyaratan Agregat Kasar

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.

2. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20 % dari berat agregat seluruhnya. butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur lebih dari 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat alkali yang reaktif.
5. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan Impact test dengan penumbuk seberat 15 lbs, dimana prosentase kehancuran maksimum adalah 30 %. Selain itu juga dapat digunakan mesin pengaus Los Angeles, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50 %.
6. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan berturut-turut 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Sisa diatas ayakan 31.5 mm, harus 0% berat
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% - 98% berat
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10%
7. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawasan ahli, cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kerikil.

Pengujian Agregat

Pengujian agregat terdiri dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis yang terkandung dalam agregat, analisa saringan, analisa kadar air, berat jenis dan

penyerapan air. Tujuan dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis pada agregat adalah untuk menentukan banyaknya kandungan butiran yang lebih kecil dari 50 mikron (lumpur) yang terdapat dalam agregat dan menentukan prosentase zat organis yang terkandung dalam agregat. Tujuan dari analisa saringan untuk menentukan modulus kehalusan pasir, yaitu harga yang menyatakan tingkat kehalusan agregat.

Pemeriksaan kadar air agregat bertujuan untuk menentukan prosentase air yang terkandung dalam agregat. Sedangkan tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat adalah untuk menentukan berat jenis dan prosentase berat air yang diserap agregat, dihitung terhadap berat kering. Pada pemeriksaan kadar air berat isi dan berat jenis dilakukan dalam kondisi asli dan SSD. Kadar air asli adalah kandungan air pada agregat dalam keadaan normal. Sedangkan kadar air SSD adalah kandungan air pada kondisi agregat jenuh kering permukaan.

2.9.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi beton, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Pemakaian air untuk campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut : (PBI 1971)

- Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lit
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya)
- Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lit
- Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lit

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran beton yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau biasa disebut Faktor Air Semen (*water cement ratio*). Air yang terlalu berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah

proses hidrasi selesai dan hal tersebut akan mengurangi kekuatan beton yang dihasilkan. Sedangkan terlalu sedikit air akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan.

2.10 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

2.10.1 Pengertian Umum

Perencanaan campuran beton dilakukan untuk mengetahui komposisi yang tepat antara berat semen, berat masing-masing agregat dan berat air yang diperlukan untuk mencapai suatu kekuatan yang diinginkan.

Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton adalah : (Tjokrodimuljo, K. 1996)

- Faktor air semen (*water cement ratio*) dan kepadatan
- Umur beton
- Jenis semen
- Jumlah semen
- Sifat agregat

Perencanaan campuran beton dapat dilakukan dengan berbagai macam cara antara lain :

- Perancangan dengan model "*Rote Note No.4*" yang diteliti oleh Glanville dkk.
- Perancangan model Amerika berdasarkan *American Concrete Institute* (ACI)
- Perancangan model Inggris berdasarkan British Standart (BS) dan dikenal dengan metode DOE (*Department of Environment*)

2.10.2 Perencanaan Berdasarkan DOE

Perencanaan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode campuran cara Inggris (British Standart). Di Indonesia cara ini dikenal dengan nama DOE (Department of Environment) yang dimuat dalam buku standar No. SK.SNI.T-15-1990-03 dengan judul buku "*Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*" dan Peraturan Beton

Bertulang Indonesia (PBI 1971). Langkah – langkah pokok dalam perhitungan *mix design* beton cara DOE dijabarkan sebagai berikut :

1. Penentuan kuat tekan beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari. Pada penelitian ini direncanakan beton dengan mutu $f'c$ 50 MPa.

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

Penetapan nilai deviasi standar

Penetapan standar deviasi ditetapkan berdasarkan atas tingkat mutu pengendalian pelaksanaan campuran beton. Semakin kecil nilai deviasi, maka pengendalian pelaksanaan campuran semakin baik. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksanaan waktu yang lalu, untuk pembuatan beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

Tabel 2.4 Deviasi standar (SNI)

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	Sd (Mpa)
Memuaskan	2.8
Sangat Baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7.0
Tanpa Kendali	8.4

Sumber : PBI 1971

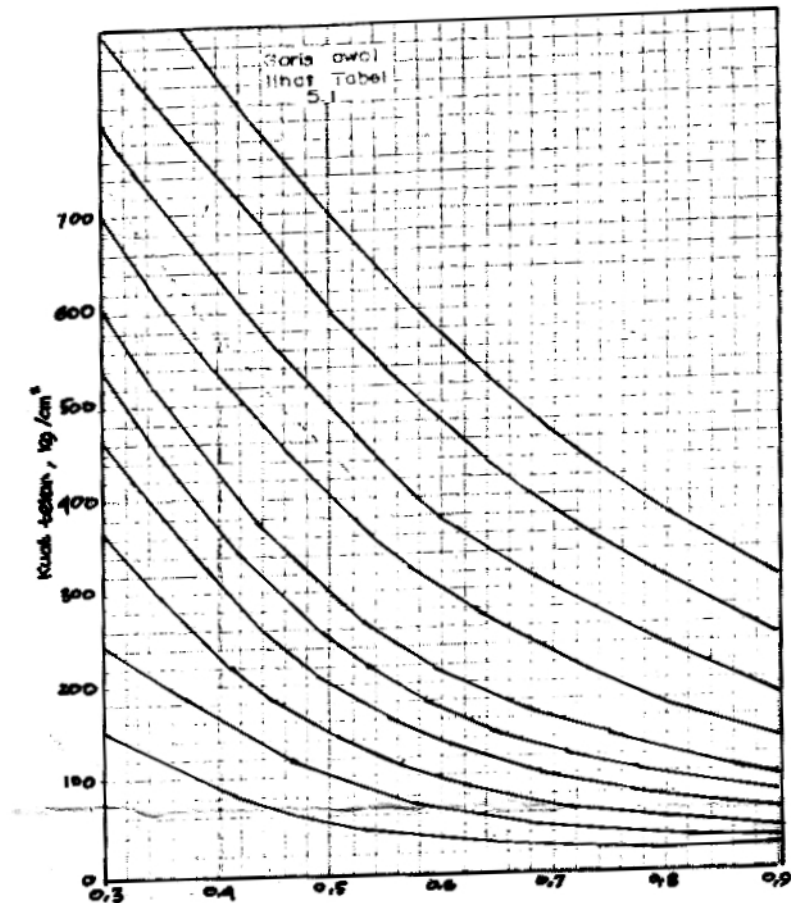
2. Penetapan Faktor Air Semen dan Penentuan Faktor Air Maksimum dan Minimum

Faktor air semen ditentukan dengan menggunakan tabel 2.2 dan grafik 2.1. Caranya adalah sebagai berikut :

- a. Dengan menggunakan tabel 2.2, tentukan kekuatan beton pada umur tertentu
- b. Dengan menggunakan grafik 2.1, lukiskan kurva melalui titik nilai kekuatan tersebut paralel dengan kurva referensi

- c. Tarik garis mendatar dari perpotongan dengan nilai kekuatan tekan rata-rata, sehingga menemukan nilai fas pada absis

Hasil yang didapat dengan menggunakan grafik, bandingkan dengan nilai fas yang didapat pada persyaratan khusus (tabel 2.3) dan gunakan fas terendah



Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Beton (Bina Marga)

Gambar 2.5 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen

Tabel 2.5. Perkiraan Kuat Tekan Beton Normal dengan Semen Type I dan II, nilai fas 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (kg/cm ²)			
		3	7	28	91
Tipe I Biasa	Batu Alam	200	280	400	460
	Batu Pecah	130	190	310	420
Tipe II, setengah tahan sulfat	Batu Alam	250	340	460	530
	Batu Pecah	300	400	530	600

Sumber : PBI 1971

Tabel 2.6. Jumlah Semen Minimum dan Nilai Faktor Air Semen Maksimum Berdasarkan
Jenis Konstruksi dan Kondisi Lingkungan

URAIAN	Jumlah Semen Minimum/m ³ Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0.6
b. keadaan korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap-uap korosif	325	0.52
Beton diluar 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 basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	375	0.52
Beton yang berhubungan dengan air :		
a. Air tawar	275	0.27
b. Air laut	375	0.52

3. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen ditentukan dengan formula sebagai berikut :

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kadarairbebas}}{fas}$$

Hasil yang didapat dari formula tersebut dibandingkan dengan nilai yang diperoleh pada tabel 2.3, kemudian ambil nilai tertinggi

Penentuan Nilai *Slump*

Penentuan nilai berdasarkan pemakaian dari beton untuk jenis konstruksi tertentu (tabel 2.4)

Tabel 2.7. Penentuan nilai *slump*

Kelecekan dengan :		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
Slump dalam mm		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
Ve-Be dalam detik		Lebih 12	6 - 12	3 - 6	0 - 3
Besar Butir Agregat Kasar Maksimum (mm)	Bentuk Agregat				
10	Alami	150	180	205	225
	Bt. Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Bt. Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Bt.Pecah	155	175	190	205

Sumber : PBI 1971 N.1-2

Penentuan nilai kadar air bebas

Tabel 2.8. Perkiraan kebutuhan Air per meter kubik beton

Besarnya Maks Kerikil (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	50	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	35	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	15	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : PBI 1971

4. Penentuan Prosentase Jumlah Agregat Halus dan Kasar

Proporsi agregat halus ditentukan dengan metode penggabungan agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[\frac{100 - xa}{1000} \right] * yb$$

Keterangan :

Y = perkiraan persentase kumulatif lolos saringan diameter 9.6 dan 0.6

Menurut BS (British Standart) – 882, persentase kumulatif lolos saringan diameter 9.6 dan 0.6 bisa menggunakan Spec-Ideal 135-882 dimana :

Perkiraan persentase lolos ayakan saringan diameter 9.6 = 50%

Perkiraan persentase lolos ayakan saringan diameter 0.6 = 18.5%

yb = persentase kumulatif pasir lolos ayakan saringan diameter 9.6 dan 0.6

ya = persentase kumulatif split lolos ayakan saringan diameter 9.6 dan 0.6

xa = konstanta yang dicari dari agregat halus

$$X \text{ rata-rata} = \frac{xa1 + xa2}{2} \rightarrow \text{persentase dari agregat halus}$$

Prosentase dari agregat kasar (Xb) = 100 % - Xa

xa1 = konstanta dari agregat halus lolos saringan diameter 9.6

xa2 = konstanta dari agregat halus lolos saringan diameter 0.6

Penentuan berat jenis gabungan

Berat jenis gabungan adalah gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus :

$$BJ_{gab} = \frac{xa}{100} * BJ_{xa} + \frac{xb}{100} * BJ_{xb}$$

keterangan :

BJ gab = Berat jenis gabungan

xa = prosentase agregat halus

xb = prosentase agregat kasar

BJxa = berat jenis agregat halus

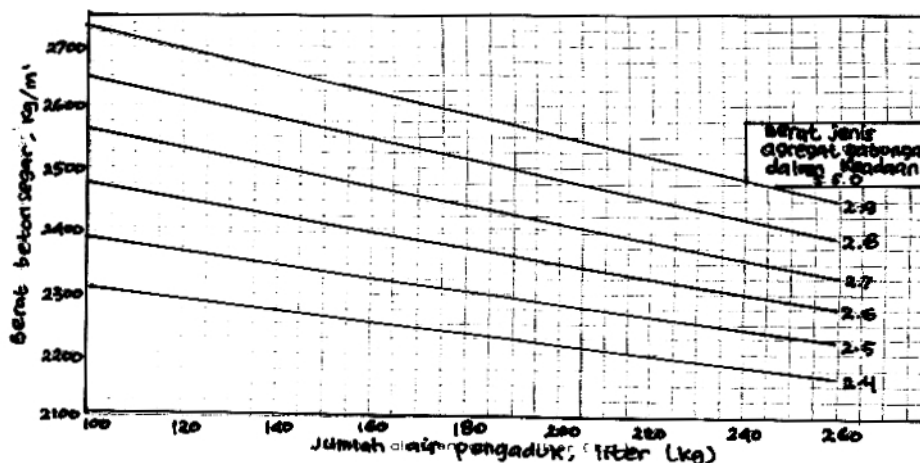
BJxb = berat jenis agregat kasar

5. Mencari berat beton segar

Besarnya berat beton segar dapat diperkirakan dengan menggunakan gambar 2.2 sehingga masing-masing agregat dapat dihitung

6. Koreksi berat terhadap kadar air dan penyerapan

7. Kebutuhan bahan untuk 1 m³ beton (berat)



Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Beton (Direktorat Jenderal Bina Marga)

Gambar 2.6 Grafik Hubungan antara berat volume beton segar, jumlah air pengaduk dan berat jenis agregat gabungan dalam keadaan SSD

