

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 UMUM

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Sifat-sifat yang dimiliki oleh beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, proporsi bahan-bahan penyusun, cara pengadukan, penguangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasannya. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat, para ahli mengupayakan untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain, *workability*, *placeability*, *strength*, *durability*, *permeability*, dan *corrosivity*.

Berbagai cara dapat ditempuh untuk mendapatkan beton dengan mutu tinggi, di antaranya dengan memperbaiki mutu material pembentuk beton yaitu agregat halus (bentuk, tekstur, modulus kehalusan, kebersihan, dan gradasi) dan agregat kasar (bentuk, ukuran maksimum, kebersihan, kuat hancur, dan gradasi), dan semen (kekuatan dan kehalusan butiran). Selain itu produksi beton mutu tinggi biasanya menggunakan bahan tambah untuk mencapai kuat tekan yang diinginkan, sedangkan untuk meningkatkan kemudahan pekerjaan akibat kecilnya rasio air dan bahan ikat maka digunakan bahan tambah berupa *superplasticizer*.

3.2 BAHAN PENYUSUN BETON MUTU TINGGI

Berdasarkan SNI Pd T-04-2004-C tentang tata cara pembuatan dan pelaksanaan beton berkekuatan tinggi, beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan yang disyaratkan dengan kuat tekan antara 40-80 MPa. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Pada dasarnya komponen utama penyusun beton mutu tinggi

sama dengan beton normal, yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah.

3.2.1 Semen

Semen adalah bahan campuran kimiawi yang bereaksi setelah berhubungan dengan air. Semen memiliki sifat adhesi dan kohesi sehingga dapat digunakan sebagai bahan perekat. Jika semen ditambahkan air maka akan menjadi pasta semen. Jika pasta semen ditambahkan agregat halus akan menjadi mortar, yang jika ditambahkan agregat kasar maka mortar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras.

Menurut Mulyono (2003), bahan-bahan utama penyusun semen portland dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bahan-bahan Utama Penyusun Semen Portland

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	20 – 25
Oksida Besi (Fe ₂ O ₃)	7 – 12
Alumina (Al ₂ O ₃)	7 – 12

Sumber: Mulyono (2003)

Ketika unsur-unsur penyusun semen portland tersebut ditambahkan air maka akan bereaksi membentuk senyawa-senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Menurut Murdock (1986), ada 4 senyawa kimia semen portland yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Senyawa Kimia Semen Portland

Senyawa Kimia	Kadar (%)
Trikalsium Silikat (C3S)	40
Dikalsium Silikat (C2S)	30
Trikalsium Aluminate (C3A)	11
Senyawa Besi (C4AF)	11

Sumber: Murdock (1986)

Menurut SNI 15-2049-2004 semen *portland* dibedakan menjadi 5 tipe, yaitu:

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

3.2.2 Air

Air dalam campuran beton diperlukan agar semen dapat bereaksi membentuk senyawa-senyawa kimia dan juga berguna sebagai bahan pelumas antara butiran agregat agar campuran beton mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air juga digunakan pada saat perawatan beton agar beton dapat mengeras dengan sempurna.

Penambahan air yang berlebihan pada campuran beton untuk kemudahan dalam pengerjaan dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton, beton menjadi porus, dan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*. Terjadinya *bleeding* akan membentuk buih yang merupakan lapisan tipis disebut *laitance* (selaput tipis). *Laitance* yang terbentuk menyebabkan berkurangnya lekatan antara lapis-lapis beton sehingga menjadi bidang sambung yang lemah.

Air yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air yang bila digunakan akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling. Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk penggunaan air sebagai bahan campuran beton, sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1992):

1. tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter,
2. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya),
3. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter, dan
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1992). Agregat dalam beton merupakan bahan isian yang memiliki persentase sebesar 70 – 75% dari massa beton, sehingga agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar dan beton. Menurut Antono (1995), maksud dari penggunaan bahan batuan untuk adukan beton adalah sebagai berikut:

1. penghematan penggunaan semen Portland,
2. menghasilkan kekuatan besar pada beton,
3. mengurangi susut-pengerasan beton,
4. mencapai susunan pampat beton dengan gradasi (variasi ukuran butir) yang baik dari bahan batumannya, dan
5. mengontrol “*workability*” adukan beton dengan baik.

Berdasarkan ukuran butir-butirnya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang memiliki butiran yang besar (lebih besar dari 4,8 mm) disebut agregat kasar dan agregat yang memiliki butiran kecil (lebih kecil dari 4,8 mm) disebut agregat halus. Agregat yang digunakan sebagai bahan pengisi beton harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, kuat, keras, ulet, dan gradasinya baik.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton biasanya berupa kerikil dari batuan alam atau dapat berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butiran lebih dari 4,8 mm. Dalam

penggunaannya agregat kasar harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Tjokrodinuljo, 1992):

- a. butir-butir keras agar menghasilkan beton yang bersifat keras;
- b. tidak berpori, karena agregat kasar yang berpori mudah menghasilkan beton yang tidak kedap air;
- c. butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, yang dimaksud kekal adalah tidak mudah pecah atau hancur akibat perubahan cuaca, seperti terik matahari dan hujan;
- d. tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, jika lebih dari 1% maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan;
- e. tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan, seperti zat-zat yang bersifat reaktif terhadap alkali;
- f. agregat kasar dengan bentuk pipih hanya boleh digunakan dengan jumlah yang tidak lebih dari 20% dari berat agregat kasar keseluruhan. Karena butiran yang berbentuk demikian kurang baik untuk mendukung beban, memiliki rongga dan gesekan yang besar sehingga memerlukan pasta semen dalam jumlah yang banyak;
- g. Gradasi agregat kasar harus memenuhi syarat seperti Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan	
	Daerah I	Daerah II
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

Sumber: Tjokrodinulyo (1992)

Ukuran maksimal butir-butir agregat kasar yang digunakan tidak boleh melebihi:

- a. seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari acuan beton,
- b. sepertiga tebal pelat beton,
- c. tiga-perempat dari jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai maupun dari tanah galian, atau pasir yang dihasilkan dari proses pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran lebih kecil dari 4,8 mm. Agregat yang memiliki butiran lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, jika lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan jika lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*. Menurut Tjokrodimulyo (1992), agregat halus harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut ini.

- a. Terdiri dari butir-butir keras agar dapat menghasilkan beton yang keras.
- b. Bentuk tajam dibutuhkan agar agregat dapat saling mengunci dengan baik dalam adukan beton. Namun bentuk tajam dari agregat dapat menimbulkan gesekan yang besar yang akan mengurangi mobilitas atau sifat mudah gerak dari adukan beton.
- c. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, yang dimaksud kekal adalah tidak mudah pecah atau hancur akibat perubahan cuaca, seperti terik matahari dan hujan;
- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Apabila kadar lumpur lebih dari 5%, maka agregat halus perlu dicuci. Karena lumpur pada agregat halus dapat menghalangi terjadinya ikatan dengan pasta semen.
- e. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik, karena bahan tersebut dapat bereaksi dengan senyawa-senyawa semen Portland.
- f. Gradasi agregat halus harus memenuhi syarat seperti Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persentase bahan butiran 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: Tjokrodimulyo (1992)

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

3.2.4 Bahan Tambah

Menurut SNI 03-2495-1991 tentang spesifikasi bahan tambah untuk beton, bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang dibubuhkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya. Bahan tambah yang digunakan dalam beton dibedakan menjadi dua, yaitu bahan tambah yang memiliki sifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang memiliki sifat mineral (*additive*). Bahan tambah yang diberikan pada campuran beton pada umumnya berjumlah relatif kecil. Namun dengan pemberian bahan tambah yang sedikit saja dapat memberikan efek yang besar pada campuran beton, sehingga dalam pelaksanaannya perlu dilakukan kontrol khusus agar efek dari pemberian bahan tambah sesuai yang diinginkan.

1. Bahan Tambah Kimia (*Admixture*)

Menurut Pedoman Beton (SKBI.1.4.53.1989), bahan tambah kimia dapat dibedakan menjadi 7 (tujuh) jenis yaitu:

- a. Bahan tambah kimia untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan tambah ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.
- b. Bahan tambah kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada satu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
- c. Bahan tambah kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, dan jembatan.
- d. Bahan tambah kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
- e. Bahan kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.
- f. Bahan tambah kimia berfungsi mengurangi jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih. Diharapkan dengan penambahan bahan kimia ini kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit namun mudah dalam pengerjaannya.
- g. Bahan tambah kimia dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air pencampur hingga 12% atau lebih dan untuk memperlambat pengikatan beton.

2. *Superplasticizer*

Menurut ASTM C494 dan British Standard 5075, *Superplasticier* adalah bahan kimia tambahan untuk pengurangan air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambah ini, dapat diperoleh adukan dengan faktor air semen yang lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer, dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton menjadi lebih tinggi. Penggunaan *Superplasticier* untuk beton mutu tinggi secara umum sangat berhubungan dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung dari kandungan air yang digunakan, dosis dan tipe *Superplasticizer* yang dipakai (L. J. Parrot, 1998).

Dalam penelitian ini, digunakan *Superplasticizer* Glenium ACE 8595 sebesar 0,8% dari berat semen karena dosis yang dianjurkan antara 0,5 – 2,0. Sedangkan untuk kuat tekan rencana sebesar 50 MPa, PT. BASF Indonesia menganjurkan menggunakan dosis 0,8% dari berat semen. Keuntungan memakai Glenium ACE 8595 adalah:

- a. *High Water Reduction*;
- b. Ketahanan beton yang baik;
- c. Meningkatkan *workability*;
- d. Mempercepat proses pengerasan dengan mempersingkat waktu pengerasan atau mengurangi suhu pengerasan;
- e. Meningkatkan tampilan permukaan dan kualitas beton;
- f. *High Early Strength Concrete*.

Glenium ACE 8595 ini cocok untuk konstruksi yang membutuhkan *workability* yang baik dan juga memiliki kekuatan beton yang tinggi di awal dan di akhir pada umur 28 hari. Contoh aplikasi Glenium ACE 8595 adalah sebagai berikut ini.

- a. Untuk memproduksi beton *precast*,
- b. Untuk membuat beton pada saat cuaca panas,
- c. Untuk *Insitu Casting*,

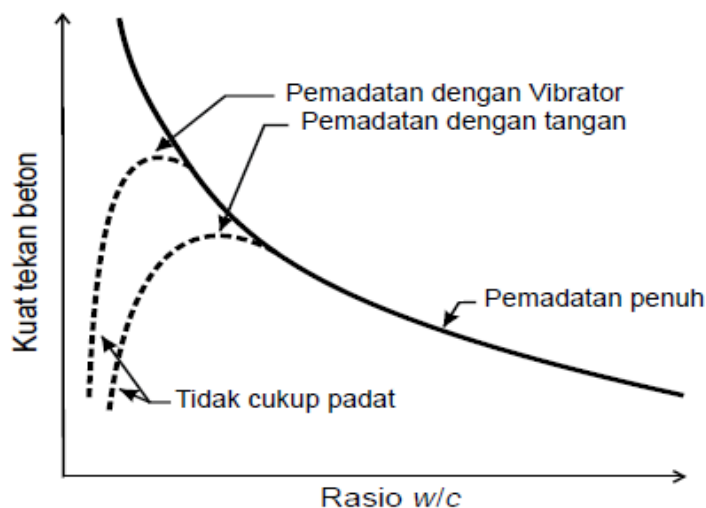
- d. Untuk pengecoran beton dengan beton bekisting yang susah dijangkau oleh vibrator.

3.3 FAKTOR YANG PERLU DIPERHATIKAN

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan berhubungan dengan mutu beton agar sesuai dengan yang diinginkan dan direncanakan. Beberapa faktor yang harus diperhatikan, meliputi faktor air semen (fas), kualitas agregat halus, kualitas agregat kasar, dan penggunaan bahan tambah.

3.3.1 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (fas, w/c) adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen yang digunakan dalam campuran beton (Tjokrodinuljo, 1992). Gambar 3.1 menunjukkan semakin tinggi faktor air semen pada campuran beton, maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan oleh beton tersebut dan semakin rendah faktor air semen maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan oleh beton. Untuk menghasilkan beton mutu tinggi, nilai faktor air semen harus rendah. Namun, semakin rendah faktor air semen pada campuran beton, beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan.



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas (w/c) (Neville, 1981)

Untuk mengatasi kesulitan pemadatan, pemadatan dapat dilakukan menggunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan tambah kimia yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan adukan beton.

3.3.2 Kualitas Agregat Halus

Agregat halus yang baik dinilai dari kemampuannya untuk mengisi ruang kosong antara butir agregat kasar dalam suatu campuran beton. Agregat halus juga merupakan butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi, dipakai bersama sebagai perekat dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu yang disebut beton.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas agregat halus adalah sebagai berikut ini.

1. Tekstur permukaan agregat halus

Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Bersifat kekal, artinya tidak mudah lapuk oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan (SNI PBI 1971).

2. Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus halus butir (MHB) adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Semakin besar nilai MHB pada agregat menunjukkan semakin kasar butiran agregatnya. Nilai MHB $1,5 < \text{MHB} < 3,8$ umumnya menghasilkan beton mutu tinggi dengan faktor air semen yang rendah dan mempunyai kekuatan tekan yang optimal (SNI 03-1750-1990).

3. Gradasi

Gradasi yang baik untuk digunakan adalah gradasi menerus (*continous*), karena gradasi ini memiliki semua ukuran butir agregat halus dan terdistribusi dengan baik. Agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan yang lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya (Mulyono, 2003).

4. Kebersihan agregat

Agregat yang digunakan harus bersih, karena kebersihan dapat mempengaruhi mutu beton, baik pada saat beton segar maupun beton sudah mengeras.

3.3.3 Kualitas Agregat Kasar

Agregat kasar yang baik dinilai dari kemampuannya untuk bisa membentuk ikatan (*interlocking*) yang baik dalam suatu campuran beton. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas agregat kasar adalah sebagai berikut ini.

1. Kekuatan

Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh kekuatan agregat. Agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua hal, yaitu: pertama, terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel yang kuat tetapi tidak baik dalam hal pengikatan (*interlocking*). Kedua, kekuatan agregat berkurang karena porositas yang besar, yang merupakan ketahanan terhadap beban kejut. Kekerasan atau kekuatan dari butiran agregat tergantung dari bahannya, jadi tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan yang lainnya. Agregat yang lebih kuat biasanya memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi (Mulyono, 2003).

2. Bentuk butir agregat

Bentuk butir agregat yang paling baik digunakan untuk beton mutu tinggi adalah agregat bersudut. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 38% - 40%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregatnya kuat (ASTM D-3398).

3. Gradasi

Gradasi yang baik untuk digunakan adalah gradasi menerus (*continuous*), karena gradasi ini memiliki semua ukuran butir agregat dan terdistribusi dengan baik. Untuk mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampuan yang tinggi agar terjadi *interlocking* yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butiran agregat.

4. Kebersihan agregat

Agregat yang digunakan harus bersih, karena kebersihan dapat mempengaruhi mutu beton, baik pada saat beton segar maupun beton sudah mengeras.

3.4 PERENCANAAN CAMPURAN BETON (*MIX DESIGN*)

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi dan proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*). Dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) ada beberapa macam metode yang dapat dilakukan, antara lain:

1. Metode DOE (*Department of Environment*),
2. SNI 03-2834-2000,
3. Metode ACI (*American Concrete Institute*),
4. Metode *British Standard*,
5. Metode *Dreux*.

Penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Adapun tahapan-tahapan dalam perencanaan campuran beton tersebut sebagai berikut ini.

3.4.1 Kuat Tekan Beton yang Direncanakan ($f'c$)

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari ($f'c$) harus sesuai dengan persyaratan perencanaan. Pada penelitian ini, digunakan nilai kuat tekan rencana sebesar 50 MPa.

3.4.2 Nilai Standar Deviasi

Nilai standar deviasi ditentukan dari tingkat mutu pengendalian pelaksanaan campuran beton dan volume adukan beton, semakin baik mutunya semakin kecil nilai standar deviasinya.

1. Berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton dan volume adukan beton, maka dapat digunakan persamaan 3.1 untuk menghitung standar deviasi (SNI 03-2834-2000).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots(3.2)$$

- Keterangan: s = standar deviasi
 x_i = kuat tekan beton
 \bar{x} = kuat tekan beton rerata
n = jumlah data

Dari nilai standar deviasi (s) yang telah didapatkan, kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan, dan Deviasi Standar

Volume Pekerjaan		Deviasi Standar (MPa)		
Sebutan	Volume Beton (m ³)	Mutu Pekerjaan		
		Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
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	4,5 < s ≤ 5,5	5,5 < s ≤ 7,5
Besar	> 3000	2,5 < s ≤ 3,5	3,5 < s ≤ 4,5	4,5 < s ≤ 6,5

Sumber: SNI 03-2834-2000

2. Berdasarkan pengendalian mutu pekerjaan
Jika benda uji kurang dari 15 buah, diambil nilai standar deviasi dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan sesuai pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Nilai Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2

Lanjutan Tabel 3.7 Nilai Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.4.3 Nilai Tambah/Margin

Nilai tambah (margin) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.3 (SNI 03-2834-2000).

$$M = 1,64 \cdot k \cdot Sd \dots \dots \dots (3.3)$$

- Keterangan:
- M = nilai tambah (margin)
 - 1,64 = nilai tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%,
 - Sd = nilai standar deviasi rencana,
 - k = faktor pengali standar deviasi.

Nilai faktor pengali standar deviasi (k) ditentukan dari Tabel 3.7, dimana tabel tersebut dapat digunakan bila jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian adalah 15 sampai 29 buah. Untuk benda uji yang kurang dari 15 buah tidak diketahui faktor pengalinya, maka nilai margin yang diambil tidak kurang dari 12 MPa.

Tabel 3.8 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

Jumlah Data	≥ 30	25	20	15	< 15
Faktor Pengali	1,00	1,03	1,08	1,15	-

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.4.4 Kuat Tekan Rata – Rata (f'_{cr})

Untuk menghitung kuat tekan rata-rata dapat digunakan persamaan 3.4 (SNI 03-2834-2000).

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan: f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa).

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

M = Nilai tambah/margin (MPa).

3.4.5 Tipe Semen

Tipe semen harus ditetapkan agar dapat menentukan nilai faktor air semen. Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I, yaitu semen yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti tipe semen lainnya.

3.4.6 Jenis Agregat (Pasir dan Kerikil)

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok berdasarkan gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Sedangkan agregat kasar dibedakan menjadi dua, yaitu batu tidak dipecahkan (alami) dan batu pecah (buatan).

3.4.7 Nilai Faktor Air Semen (fas)

Untuk menentukan nilai faktor air semen dapat digunakan Tabel 3.8 dan Gambar 3.3. Tabel tersebut menunjukkan hubungan jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji terhadap umur beton, sehingga dapat ditentukan kuat tekan yang dapat dihasilkan.

Tabel 3.9 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

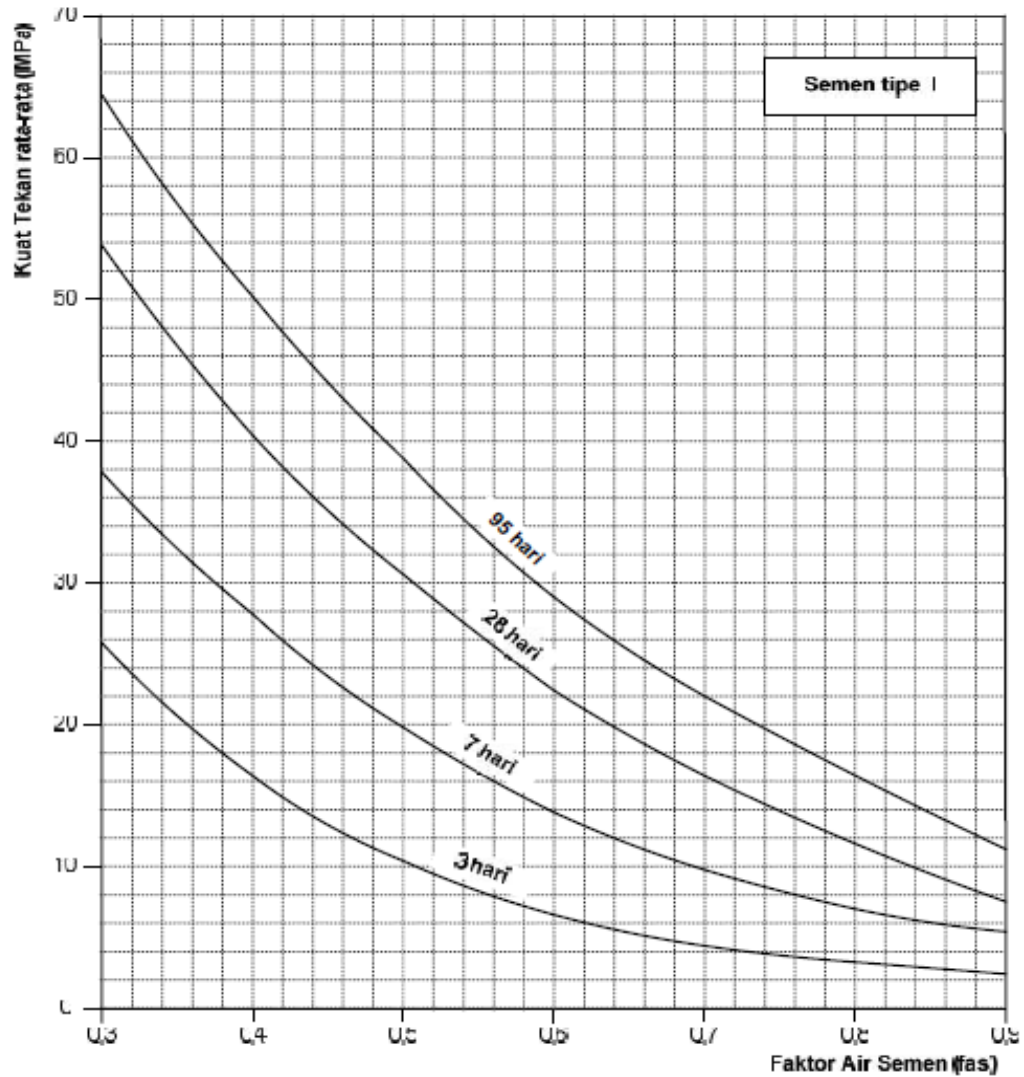
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	

Lanjutan Tabel 3.10 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) 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 Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan Batu pecah	20	28	40	48	Kubus
		23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan Batu pecah	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan Batu pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Setelah kuat tekan beton ditentukan dari tabel di atas, maka dapat dicari nilai faktor air semen menggunakan grafik pada Gambar 3.2. Untuk langkah awal, lukislah titik X pada Gambar 3.3 dengan fas 0,5 sebagai absis dan kuat tekan beton yang diperoleh dari Tabel 3.8 sebagai ordinat. Setelah itu, dari titik X dibuat grafik baru yang bentuknya sama dengan dua grafik yang sudah ada didekatnya. Selanjutnya tarik garis mendatar dari sumbu tegak kiri pada kuat tekan rata-rata yang dikehendaki sampai memotong grafik baru tersebut, kemudian tarik kebawah untuk mendapatkan fas yang dicari.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen
(Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)
Sumber: SNI 03-2834-2000 hal. 6

Setelah menentukan nilai fas dari cara di atas, maka dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (fas) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 3.9.

Tabel 3.11 Persyaratan fas dan Jumlah Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m³ 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		Tabel 3.10
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.11

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 3.10 digunakan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat. Sedangkan Tabel 3.11 dapat digunakan untuk beton yang berada di dalam air.

Tabel 3.12 fas Maksimum Untuk Beton yang Berhubungan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Kadar ganggu-an sulfat	Konsentrasi Sulfat		Sulfat (SO ₃) dalam air tanah	Tipe Semen	Kandungan Semen minimum (kg/m ³)			fas
	Dalam Tanah				Ukuran Agregat maksimum (mm)			
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2,1 (g/L)			40	20	10	
1	<0,2	<1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	30 0	35 0	0,5
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	350	33 0	35 0	0,5
				Tipe I Pozzolan (15 – 40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	31 0	36 0	0,55
				Tipe II atau tipe V	250	29 0	34 0	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	38 0	43 0	0,45
				Tipe II atau tipe V	290	33 0	38 0	0,50
4	1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau tipe V	330	37 0	42 0	0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau tipe V dan lapisan pelindung	330	37 0	42 0	0,45

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 3.13 Ketentuan minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan yang berhubungan dengan	fas maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran maksimum Agregat (mm)	
				40	20
Bertulang atau Prategang	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	0,45	Tipe II atau V	330	370

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dari beberapa tabel di atas, nilai fas yang digunakan adalah nilai fas yang terkecil.

3.4.8 Nilai *Slump*

Nilai *slump* dapat ditentukan berdasarkan pemakaian beton yang dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.14 Penetapan Nilai *Slump* (mm)

Pemakaian Beton	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
	maksimum	minimum
Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak	125	50
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.4.9 Ukuran Butir Agregat Maksimum (Kerikil)

Ukuran agregat dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Ukuran dan bentuknya harus disesuaikan dengan syarat yang diberikan oleh ASTM, BS atau SNI. Pemilihan ukuran maksimum dari agregat ini cenderung tergantung dari jenis cetakan dan tulangan. Untuk struktur beton bertulang SK SNI T-15-1991-03

memberi batasan untuk butir agregat maksimum yang digunakan sebesar 40 mm. Menurut SK SNI S-04-1989-F agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
2. Sepertiga dari tebal plat,
3. Tiga perempat dari jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas-berkas (*bundle bar*) ataupun dari tendon *prestress* atau *ducting*.

3.3.10 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas adalah kebutuhan air per meter kubik beton. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.13, kemudian dihitung menggunakan persamaan 3.5 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 3.15 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik Beton

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

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \dots\dots\dots(3.5)$$

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

3.4.11 Kebutuhan Semen

Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, perekatan terjadi bila bercampur dengan air. Sebagai bahan perekat dalam campuran beton, maka perlu

dihitung kebutuhan semen untuk menghasilkan beton yang baik sesuai yang diinginkan.

Kebutuhan semen dapat ditentukan dengan dua cara berikut ini.

1. Menghitung Kebutuhan Semen

Untuk menghitung jumlah kebutuhan semen, maka digunakan persamaan 3.6.

$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{f_{as}} \dots\dots\dots(3.6)$$

2. Menentukan Kebutuhan Semen Minimum

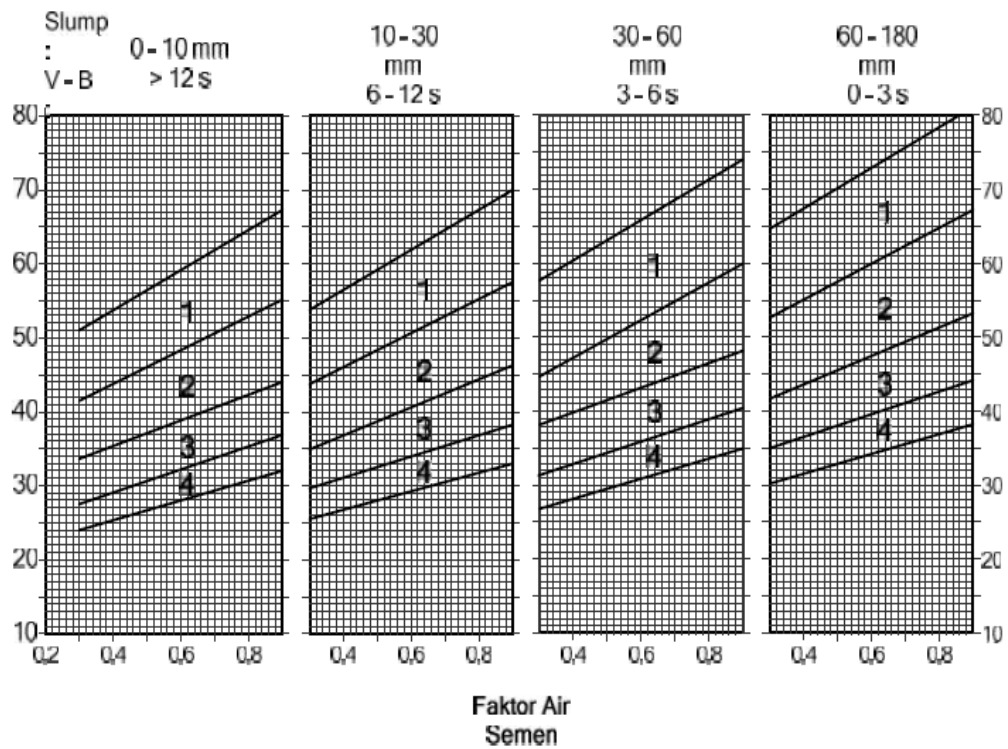
Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.9, Tabel 3.10, atau Tabel 3.11.

Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari cara pertama ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum (cara kedua), maka kebutuhan semen yang diambil adalah yang terbesar dari kedua cara tersebut. Jika kebutuhan semen yang digunakan adalah kebutuhan semen minimum (cara kedua), maka nilai faktor air semen juga akan berubah. Dalam hal ini dapat dilakukan dua cara berikut:

1. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum,
2. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

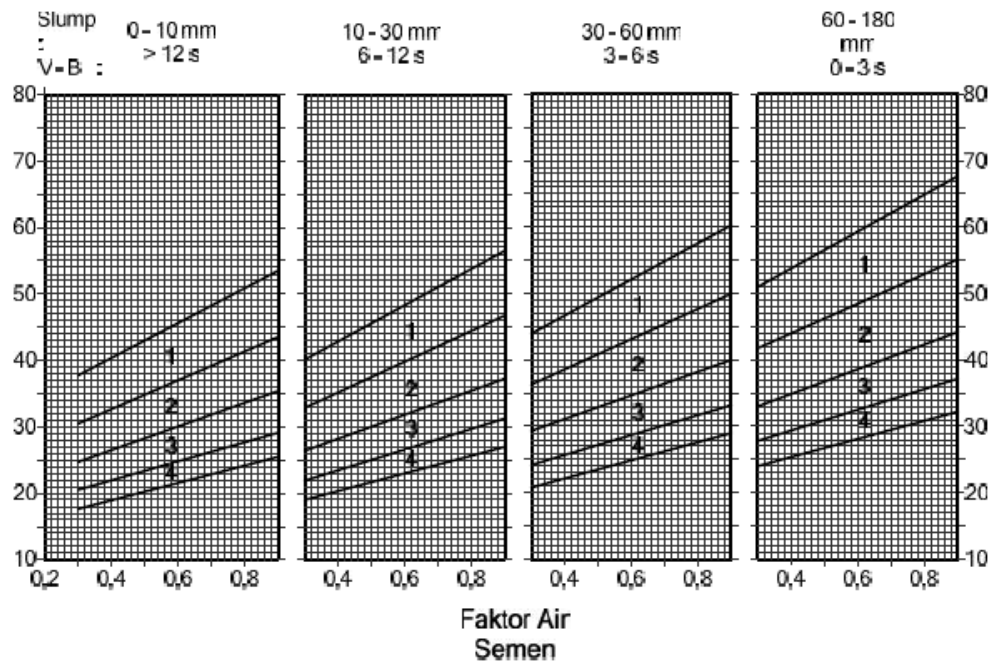
3.4.12 Persentase Jumlah Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,8 mm. Untuk mendapatkan campuran beton yang baik, perlu ditentukan jumlah agregat halus agar membentuk campuran yang baik seperti yang diinginkan serta dapat mengisi kekosongan pada campuran. Persentase jumlah agregat halus ditentukan oleh besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan gradasi agregat halus. Untuk menentukan persentase jumlah agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.



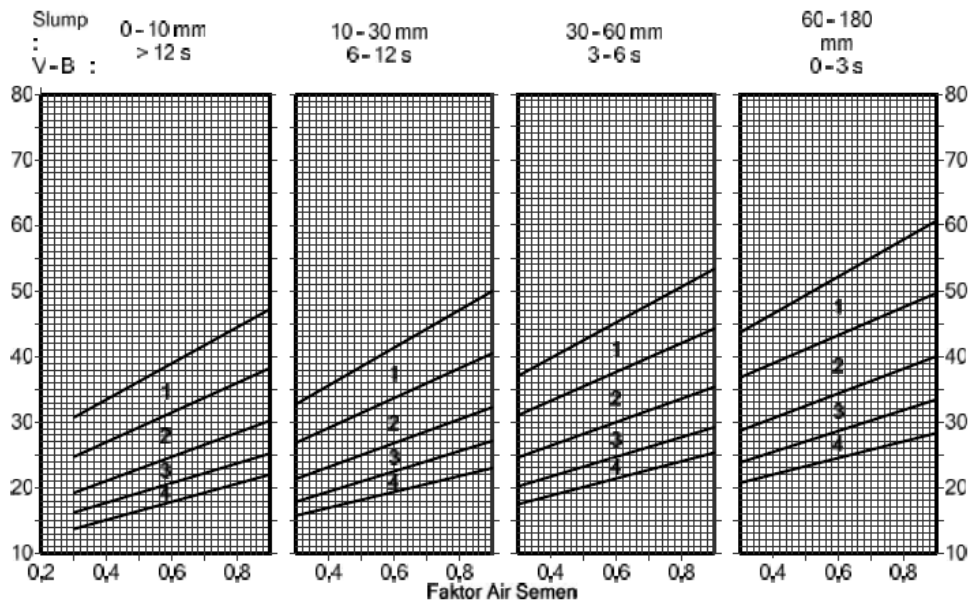
Gambar 3.3 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.5 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.4.13 Berat Jenis Relatif Gabungan

Berat jenis adalah perbandingan antara berat suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama dan pada temperatur yang ditentukan (SNI 03-1970-1990).

Berat jenis relatif gabungan agregat halus dan agregat kasar dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

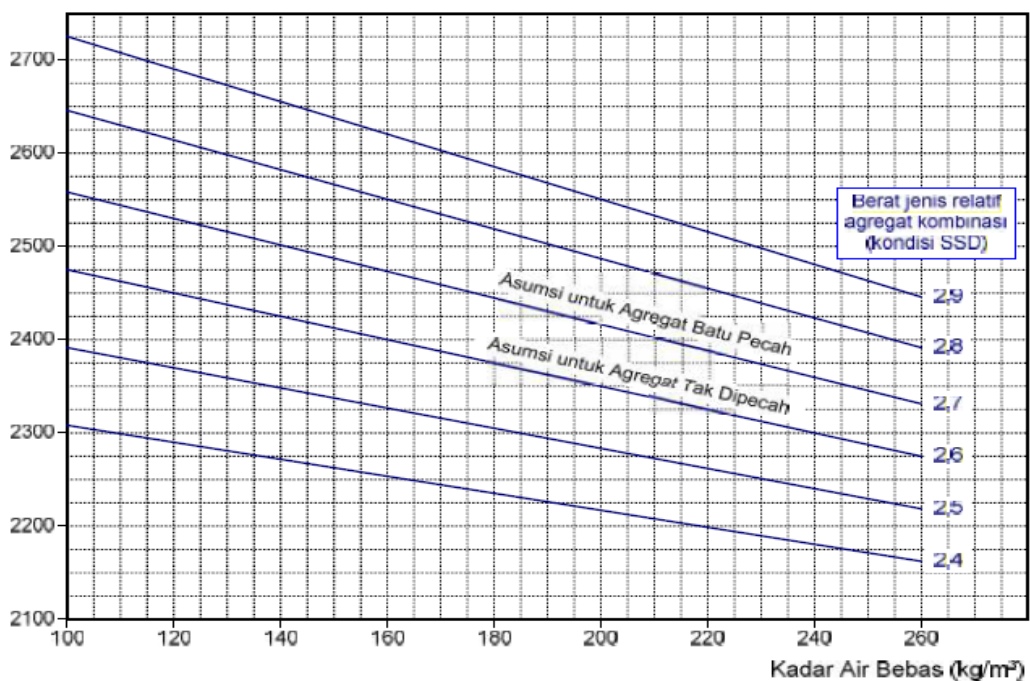
1. Jika tidak tersedia data hasil uji maka dapat dipakai nilai di bawah ini.
 - a. Agregat tidak pecah = 2,5
 - b. Agregat pecah = 2,6 atau 2,7
2. Jika memiliki data, maka dihitung menggunakan persamaan 3.7 (SNI 03-2834-2000).

$$Bj_{gabungan} = \%AH \times Bj_{AH} + \%AK \times Bj_{AK} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan: $Bj_{gabungan}$ = berat jenis agregat gabungan,
 Bj_{AH} = berat jenis agregat halus,
 Bj_{AK} = berat jenis agregat kasar.

3.4.14 Berat Isi Beton Basah

Beton isi basah adalah berat dari campuran beton (agregat kasar, agregat halus, semen, dan air) dalam perbandingan tertentu, yang telah diaduk dan selesai dipadatkan. Untuk menentukan berat isi beton basah dapat digunakan grafik pada Gambar 3.6 dengan memasukkan berat jenis gabungan agregat dan kadar air bebas yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.6 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
 Sumber: SNI 03-2834-2000

3.4.15 Proporsi Campuran Beton

Campuran beton terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Proporsi campuran yang dihitung adalah proporsi kebutuhan material penyusun beton. Untuk mencari proporsi agregat halus dapat digunakan persamaan 3.8. Untuk menghitung proporsi agregat kasar dapat digunakan persamaan 3.9.

$$W_{AH} = (W_{isi beton basah} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AH \dots\dots\dots(3.8)$$

$$W_{AK} = (W_{isi beton basah} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AK \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana, W_{AH} = berat agregat halus
 W_{AK} = berat agregat kasar,
 W_{semen} = berat semen,
 $\%AH$ = persentase berat agregat halus,
 $\%AK$ = persentase berat agregat kasar,
 $W_{isi\ beton\ basah}$ = berat isi beton basah.

3.5 KUAT TEKAN BETON

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting yang harus dimiliki oleh beton dari pada sifat-sifat lain. Perbandingan antara air dan semen merupakan faktor utama dalam menghasilkan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen maka semakin tinggi kekuatannya.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar SNI 03-1974-1990 menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu. Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kemudian benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton dapat dilihat pada persamaan (3.10).

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.10)$$

Keterangan: $f'c$ = kuat tekan beton
 P = beban maksimum
 A = luas penampang benda uji

Tjokrodimulyo (1995) menyebutkan bahwa kekuatan tekan beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. pengaruh mutu semen portland,
2. pengaruh dari perbandingan adukan beton,

3. pengaruh air untuk membuat adukan,
4. pengaruh umur beton,
5. pengaruh waktu pencampuran,
6. pengaruh perawatan, dan
7. pengaruh bahan campuran tambahan.

3.6 KUAT TARIK BELAH BETON

Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton, nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian di laboratorium dengan membebani setiap benda uji secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya. Kuat tarik beton mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Oleh karena itu, sifat ini juga penting dimiliki oleh beton untuk mencegah terjadinya keretakan akibat susut dan perubahan panas. Kekuatan tarik beton ditentukan menggunakan percobaan pembebanan pada silinder menurut SNI 03-2491-2002 dimana silinder yang digunakan memiliki ukuran yang sama seperti yang digunakan pada pengujian kuat tekan beton. Benda uji diletakkan di atas mesin uji kemudian dibebani oleh beban P secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Benda uji akan terbelah menjadi dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.

Nilai kuat tarik beton hanya berkisar antara 8% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton dapat dihitung dengan persamaan 3.11.

$$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi L D} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan: f'_{ct} = kuat tarik beton
 P = beban maksimum
 L = panjang benda uji
 D = diameter benda uji