

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan penyusun beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen Portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah. Setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda dan memiliki persyaratan dalam bahan penyusunnya.

3.1.1 Air

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk bereaksi terhadap semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan, agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap di dalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (Santoso, 2012).

Menurut Tjokrodimuljo (2007), air sebagai bahan bangunan seharusnya memiliki persyaratan sebagai berikut :

1. air harus bersih,
2. tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual, benda benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter,
3. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
4. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter, khusus untuk beton pra - tegang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter, dan
5. tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO₃) lebih dari 1 gram/liter.

3.1.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Berat jenis agregat ormal berkisar antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 2007). Menurut SNI 2847-2013 Pasal 3.3.2 ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:

1. 1/5 dari jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
2. 1/3 ketebalan slab, ataupun
3. 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

Agregat dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat kasar yaitu hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm – 150 mm. Menurut PBI 1971, Pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar adalah sebagai berikut ini.
 - a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
 - b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
 - c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.
 - d. Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana pengujian dari *Rudelof* dengan beban pengujian 20 ton yang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.
 - 1) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat
 - 2) Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22% berat.

Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan alat *Los Angeles*. Dalam hal ini tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.

- e. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat - syarat sebagai berikut ini.
- 1) Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0% berat.
 - 2) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98%.
 - 3) Selisih antara sisa sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60% dan minimum 10% berat.

3.1.3 Semen Portland

Semen Portland dibuat dari semn hidrolis yang dihasilkan secara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (Sagel dkk, 1993). Semen Portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik.

Semen dibagi lagi menjadi dua macam, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen hidraulis yaitu semen yang dapat mengikat dan mengeras di dalam air. Sedangkan semen non-hidraulis yaitu semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) bahwa jenis semen portland yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. Jenis semen I adalah semen yang digunakan untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis jenis lain.
2. Jenis semen II adalah semen yang digunakan untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis semen III adalah semen yang digunakan untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis semen IV adalah semen yang digunakan dalam konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.

5. Jenis semen V adalah semen yang digunakan dalam konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

3.1.4 Bahan tambah (Admixture)

Bahan tambahan atau pembantu untuk beton adalah suatu produksi di samping bahan semen, agregat campuran dan air, juga dicampurakan dalam campuran beton. Tujuan dari penambahan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari campuran beton lunak dan keras (Sagel dkk, 1993). Pada umumnya, bahan tambah yang kerap kali dipakai adalah bahan tambah kimia dan bahan tambah mineral.

1. Bahan tambah kimia.

Menurut Susilorini dan Sambowo (2011) dikutip dalam Santoso (2012), jenis-jenis bahan tambah menurut ASTM C494 digolongkan sebagai berikut.

a. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water – Reducing Admixture adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B “*Retarding Admixture*”

Retarding Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton.

c. Tipe C “*Accelerating Admixture*”

Accelerating Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan

untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

2. Bahan tambah mineral.

Bahan tambah mineral saat ini banyak ditambahkan ke dalam campuran beton dengan berbagai tujuan, antara lain untuk mengurangi pemakaian semen, mengurangi temperature akibat reaksi hidrasi, mengurangi bleeding atau menambah kelecakan beton segar. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti sebagian semen atau tambahan pada campuran untuk mengurangi agregat (Nugraha dan Antoni, 2007). Beberapa jenis bahan tambah mineral yaitu pozzolan, abu terbang, kerak tanur tinggi, uap silika, abu kulit gabah.

3.2 Perencanaan campuran beton (*mix design*)

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI-03-2834-2000. Salah satu tujuan penelitian memakai perencanaan campuran beton dengan standar SNI-03-2834-2000 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Adapun tata cara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-03-2834-2000 adalah sebagai berikut.

1. Nilai deviasi standar (S_d) yang ditetapkan ditentukan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Jika jumlah data hasil uji

kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali (Tabel 3.2) dan bila jumlah data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa. Kemudian nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber: SNI-03-2834-2000

Tabel 3.2 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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: SNI-03-2834-2000

2. Nilai tambah (M) untuk kuat tekan rencana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1).

$$M = 1,64 \times Sd \quad (3.1)$$

dengan:

M = nilai tambah (MPa), dan

Sd = deviasi standar rencana (MPa).

3. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}) ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.2). Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat. Kuat tekan beton yang disyaratkan adalah kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu sebesar 5% saja.

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (3.2)$$

dengan:

f'_{cr} = kuat tekan rata-rata yang direncanakan (MPa),

$f'c$ = kuat tekan yang disyaratkan (MPa), dan

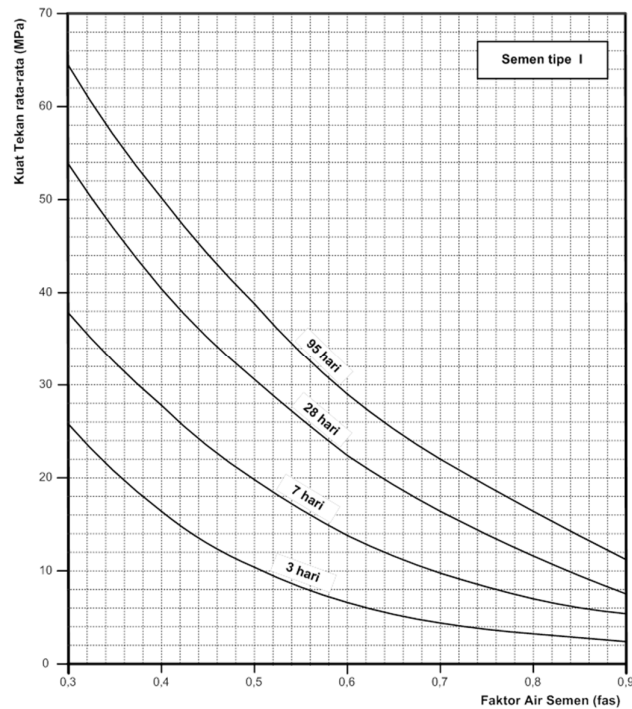
M = nilai tambah (MPa).

4. Jenis semen yang digunakan ditentukan.
5. Jenis agregat yang digunakan ditentukan.
6. Nilai faktor air semen (fas) dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.4 maupun dengan menggunakan grafik (Gambar 3.1).

Tabel 3.3 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	95	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI-03-2834-2000



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen Untuk Benda Uji Silinder

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Tabel 3.4 Persyaratan fas Maksimum dan Jumlah Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan dan 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	0,60
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	0,55
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55

Sumber: SNI-03-2834-2000

7. Nilai *slump* yang merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton ditentukan. Tingkat kelecakan berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*). Penetapan nilai *slump* dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. *Slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan diratakan.
8. Besar butir agregat maksimum dihitung berdasarkan ketentuan yaitu seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan.
9. Kadar air bebas agregat campuran (agregat tak dipecahkan dan agregat dipecahkan) dihitung dengan persamaan (3.3).

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (3.3)$$

dengan:

Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus, dan

Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

Nilai Wh dan Wk diperoleh dari Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-100
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI-03-2834-2000

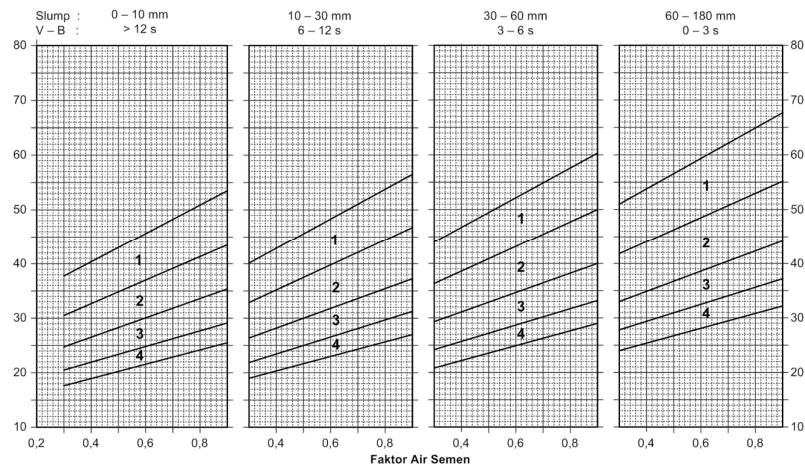
10. Jumlah kadar semen yang dipakai per meter kubik beton dihitung.
 - a. Dengan menggunakan tabel
Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.4 yang telah tertera dalam perhitungan nilai f_{as} dan kondisi lingkungan beton.

b. Dengan menggunakan rumus

Jumlah kadar semen yang dipakai per m^3 beton dapat dihitung dengan persamaan (3.4).

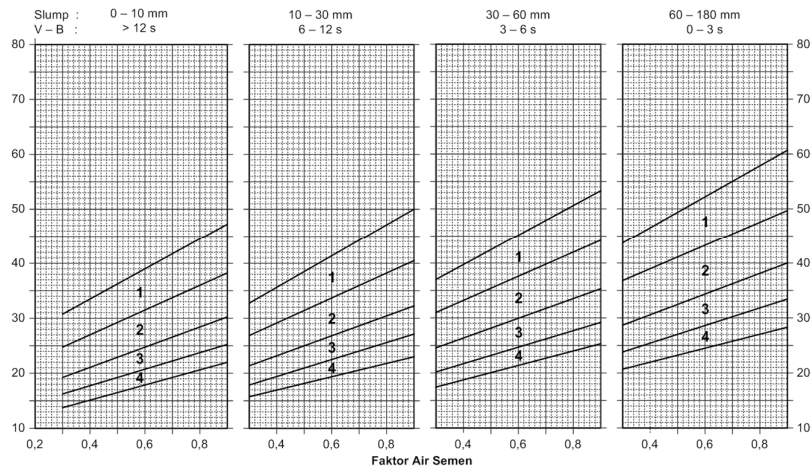
$$\text{Jumlah semen minimum per } \text{m}^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.4)$$

11. Persentase agregat halus dan agregat kasar ditentukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Adapun untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik tersebut adalah sebagai berikut.

- Pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 diatas, grafik yang akan dipakai ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang direncanakan.
- Garis vertikal ke atas ditarik sampai ke kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- Kemudian, garis horizontal ditarik ke kanan, baik kurva batas atas maupun kurva batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilainya.
- Rata-rata dari kedua nilai tersebut diambil.

Untuk nilai persentase agregat kasar dihitung dengan persamaan (3.5).

$$\text{Nilai persentase agregat kasar} = 100\% - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.5)$$

12. Berat jenis relatif agregat yang diambil dihitung berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan persamaan (3.6).

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.6)$$

dengan:

BJ_{AG} = berat jenis agregat gabungan,

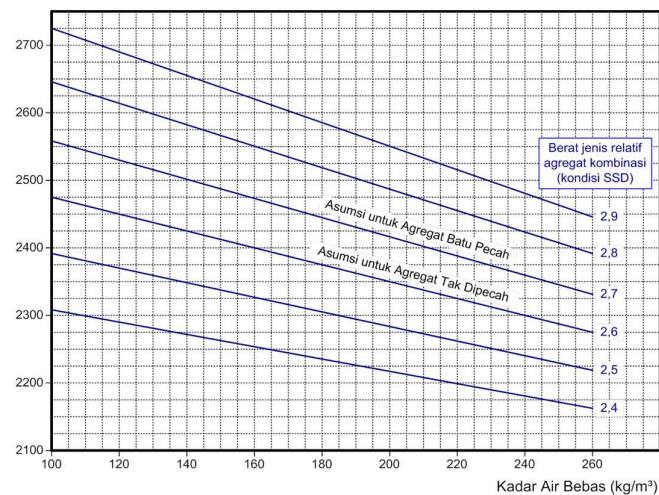
BJ_{AH} = berat jenis agregat halus,

BJ_{AK} = berat jenis agregat kasar,

$\%AH$ = persentase agregat halus, dan

$\%AK$ = persentase agregat kasar.

13. Nilai berat isi beton ditentukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Adapun langkah-langkah untuk mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Pada Gambar 3.3 diatas, garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan ditarik sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik,

b. Garis vertikal ditarik ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat sesuai dengan nilai kadar air bebas kemudian garis horizontal ditarik ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas dan dicatat nilainya.

14. Kadar agregat gabungan dihitung dengan menggunakan persamaan (3.7).

$$\text{Kadar agregat gabungan} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.7)$$

15. Kadar agregat halus dihitung dengan menggunakan persamaan (3.8).

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.8)$$

16. Kadar agregat kasar dihitung dengan menggunakan persamaan (3.9).

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.9)$$

17. Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD) dihitung dan kemudian didapatkan susunan campuran proporsi teoretis untuk setiap 1 m³ beton.

18. Berat masing-masing bahan dihitung setiap variasi campuran.

3.3 Kuat tekan beton (f'_c)

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Tata cara pengujian nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$F'_c = \frac{P}{a} \quad (3.10)$$

Keterangan :

F'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

1 MPa = 1 N/mm²

3.4 Kuat tarik belah beton

Menurut Rahamudin (2016) kekuatan tarik beton relatif rendah, kira-kira 10%-15% dari kekuatan tekan beton, kadang-kadang 20%. Kekuatan ini lebih

sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder-silinder tekan.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tarik belah beton adalah:

$$f_{ct} = \frac{2.P}{\pi.l.d} \quad (3.11)$$

dengan :

f_{ct} = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban hancur (N)

l = Panjang benda uji pada bagian yang tertekan (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

1 MPa = 1 N/mm²

3.5 Umur beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung dalam 28 hari (Mulyono, 2004). Rasio kuat tekan beton dengan beton berbagai umur dapat dilihat pada tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Rasio kuat tekan beton pada berbagai umur beton

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portlad biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber: Tjokrodimulyo (2007)

3.6 Waktu ikat

Pengikatan beton adalah proses ketika air dan semen bereaksi. Pengikatan ini terjadi akibat reaksi hidrasi yang terjadi pada permukaan butir semen, terutama butir trikalsium aluminat. Pengerasan (hardening) adalah pertumbuhan kekuatan dari beton atau mortar setelah bentuknya menjadi padat (Nugraha dan Antoni, 2007).

Menurut Mulyono (2003) waktu ikat beton perlu dilakukan pemantauan dikarenakan berkaitan dengan fase beton yang mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan dari pelaksanaan pengecoran. Secara umum fase ikat beton dibagi menjadi dua, yaitu :

1. *Initial setting* atau waktu ikat awal beton adalah ketika proses pengikatan atau proses hidrasi sudah terjadi dan panas hidrasi muncul, serta *workability* beton segar telah hilang.
2. *Final setting* atau waktu ikat akhir adalah kondisi yang menunjukkan bahwa beton telah mengeras secara sempurna.

Adapun beton tanpa bahan tambah/additive, secara umum disepakati atau dipakai acuan waktu sebagai berikut :

1. Waktu ikat awal beton mulai terjadi pada 45 – 120 menit dari dimulainya pencampuran (*mixing*) beton.
2. Interval waktu ikat awal beton yang ditetapkan sebagai batas kondisi plastis telah hilang pada umumnya adalah 1,5-2,5 jam dari mulainya proses pencampuran (*mixing*).
3. Waktu ikat akhir beton dianggap terpenuhi pada waktu 3 – 4 jam dari mulainya pencampuran.

Dalam SNI 03-2495-1991 tertulis bahwa untuk persyaratan fisis bahan tambah tipe B untuk beton yaitu ;

1. Waktu pengikat awal adalah minimum 60 menit lebih lambat dan maksimum 210 menit lebih lambat.
2. Waktu pengikat akhir adalah maksimum 210 menit lebih lambat.