

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari medium campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lain dengan Perbandingan dingantertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992). Agar dihasilkan kuat desak beton yang sesuai dengan rencana diperlukan *mix design* untuk menentukan jumlah masing-masing bahan susun yang dibutuhkan. Disamping itu, adukan beton harus diusahakan dalam kondisi yang benar-benar homogen dengan kelecakan tertentu agar tidak terjadi *segregasi*. Selain perbandingan bahan susunnya, kekuatan beton ditentukan oleh padat tidaknya campuran bahan penyusun beton tersebut. Semakin kecil rongga yang dihasilkan dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat desak beton yang dihasilkan. Syarat yang terpenting dari pembuatan beton adalah:

1. Beton segar harus dapat dikerjakan atau dituang.
2. Beton yang dikerjakan harus cukup kuat untuk menahan beban dari yang telah direncanakan.
3. Beton tersebut harus dapat dibuat secara ekonomis.

2.1.1. Flowing Concrete (Beton Alir)

Menurut ASTM C 1017, flowing concrete adalah beton yang mempunyai karakteristik slump diatas 190 mm (7-1/2 in). untuk menjaga kohesivitas dari beton secara alami. Flowing Concrete dapat menempatkan dirinya sendiri secara merata sesuai dengan permukaaannya tanpa mengakibatkan bleeding, segregasi dan keteralambatan pengerasan beton yang tidak normal. (ACI 212.3R-04, *Chemical Admixture for Concrete*, 1999). Flowing Concrete harus menggunakan *plastizing admixture*, karena dengan menambahkan air hanya menyebabkan penurunan kualitas beton. Dosis yang untuk meningkatkan nilai slump didasarkan pada semen, slump rencana awal, w/cm, suhu, *time of addition* dan kadar masing-masing agregat dalam campuran. Flowing Concrete umumnya digunakan di lingkungan yang membutuhkan tingkat *placement* yang maksimum, misalnya pada slab, *mats*, dan *pavement* (perkerasan) dan pada lokasi tau area yang ramai atau padat khususnya pada bagian-bagian yang bentuknya tidak biasanya atau tulangnya terlalu rapat. Flowing Concrete dapat juga digunakan dilokasi terbatas, dimana pergerakan

horizontal yang terjadi sangat diperlukan sekali. Flowing Concrete sangat bermanfaat pada proses pemompaan karena mengurangi tekanan pompa dan menambah jumlah dan jarak beton yang mampu dipompa. (*ACI 212.3R-04, Chemical Admixture for Concrete, 1999*).

2.2. Semen Portland (PC)

Semen portland merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan oksid besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Bubuk halus ini bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis.

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi. (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1995**).

Pada umumnya semen berfungsi untuk:

1. Bercampur dengan untuk mengikat pasir dan kerikil agar terbentuk beton.
2. Mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat.

Sedangkan untuk susunan oksida dari semen portland (**Antono, 1995**).

Tabel 2.1 Susunan oksida semen portland

Oksida	% rata-rata
Kapur (CaO)	63
Silika (SiO ²)	22
Alumium (Al ₂ O ₂)	7
Besi (Fe ₂ O ₂)	3
Magnesia (MgO)	2
Sulfur (SO ₃)	2

Sumber:Kardiyono Tjokrodimulyo,1992

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen portland.

Tabel 2.2 Empat senyawa dari semen portland

Nama Senyawa	Rumus Oksida	Notasi	Kadar Rata-Rata
Trikalsium Silikat	3CaOSiO_2	C3S	50
Dikalsium Silikat	2CaOSiO_2	C2S	25
Trikalsium Silikat	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C3A	12
Tetrakalsium Aluminoforit	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{FeO}_3$	C4Af	8

Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

1. *Trikalsium Silikat (C3S) = 3CaO.SiO₂*
Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang menyebabkan pengerasan awal, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat air tanah, oleh perubahan volume kemungkinan mengalami retakretak.
2. *Dikalsium Silikat (C2S) = 2CaO.SiO₂*
Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.
3. *Trikalsium Alumat (C3A) = 3CaO.Al₂O₃*
Formasi senyawa ini berlansung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresivitas kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.
4. *Tetrakalsium Aluminoforit (C4Af) = 4CaO.Al₂O₃ FeO₃*
Adanya senyawa Aluminoforit kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh terhadap kekuatan dan sifat semen.
Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI, 1982) dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut.

Tabel 2.3 Jenis-jenis semen portland menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 Hari (J/g)
		C3S	C2S	C3A	C4Af	
I	Normal	50	24	11	8	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	250
III	Kekuatan Awal Tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas Hidrasi Rendah	26	50	5	12	210
V	Tanah Sulfat	40	40	9	9	250

Sumber:Kardiyono Tjokrodimulyo,1992

Keterangan:

- a. Jenis I adalah semua semen portland untuk tujuan umum, biasa tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya, gedung, trotoar, jembatan, dan lainlain.
- b. Jenis II semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat lebih baik, penggunaannya pada pir (tembok dilaut dermaga), dinding tahan tanah tebal dan lain-lain.
- c. Jenis III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatandicapai umumnya dalam satu minggu. Umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.
- d. Jenis IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan grafitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada kelas I.
- e. Jenis V adalah semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadapi aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1995).

2.3. Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan

menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan yang lemah.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat workability adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton
3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lainlain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**) :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zatorganik) lebih dari 15 gr/ltr.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/.

Tabel 2.4 Batas Maksimum Ion Klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton Pratekan	0,06
Beton bertulang yang selamanya dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering	1
Kontruksi beton berulang lainnya	0,3

Tabel 2.5 Ketentuan Umum untuk Beton Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Kadar Semen Minimum (kg/m ³)	
			40 mm	20 mm
Beton Bertulang	Air Tawar	0,5	260	290
	Air Payu/Air Laut	0,45	320	360
Beton Pra-Tekan	Air Tawar	0,4	300	300
	Air Payu/Air Laut	0,35	320	360

2.4. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu -batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alami. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 70%-75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, (L. J Murdok & Brook, 1999).

2.4.1. Agregat Halus (Pasir)

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar.

Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.

5. Gradasinya harus memenuhi syarat seperti tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2.6 Gradasi pasir

Lubang Ayakan (mm)	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	80-00
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lumajang yang berasal dari daerah Lumajang, Jawa Timur yang termasuk dalam daerah III gradasi pasir agak halus.

2.4.2. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan bahwa agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat di antara batang-batang baja tulangan.

Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**), yaitu:

1. Agregat normal.

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gr/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2,3gr/cm³.

2. Agregat berat.

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 gr/cm³, misalnya magnetik (FeO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai

berat jenis tinggi sampai 5 gr/cm³. Penggunaannya dipakai sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan.

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 gr/cm³ yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga strukturnya ringan dan pondasinya lebih ringan. Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain:

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**):

1. Kerikil harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Kerikil tidak boleh hancur adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.
2. Agregat harus bersih dari unsur organik.
3. Kerikil tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Kerikil mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen maka akan mengikat agregat dengan lebih baik.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirannya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**)

Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus 1,5

sampai 3,8 dan kerikil antara 5 sampai 8. Modulus halus butir campuran, dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Dengan; W : Persentase berat pasir terhadap berat kerikil.

K : Modulus halus butir kerikil.

P : Modulus halus butir pasir.

C : Modulus halus butir campur

Tabel 2.7 Gradasi kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Butiran yang lewat ayakan	
	Berat 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

Tabel 2.8 Fraksi volume agregat kasar yang disarankan

Ukuran (mm)	9,5	12,5	19	25
Fraksi Volume Padat Kering Oven	0,65	0,68	0,72	0,75

2.5. Bahan Tambah (Additive)

Suatu bahan tambah pada umumnya dimasukkan ke dalam campuran beton dengan jumlah sedikit, sehingga tingkat kontrolnya harus lebih besar daripada pekerjaan beton biasa. Oleh sebab itu, kontrol terhadap bahan tambah perlu dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan bahwa pemberian bahan tambah pada beton tidak menimbulkan efek samping seperti kenaikan penyusutan kering, pengurangan elastisitas .

Bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*) ada bermacam-macam. Menurut ASTM, bahan tambah kimia itu terbagi menjadi:

1. Tipe A - *Water-Reducing Admixtures*, adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
2. Tipe B - *Retarding Admixtures*, adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton.

3. Tipe C - *Accelerating Admixtures*, adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
4. Tipe D - *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.
5. Tipe E - *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.
6. Tipe F - *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.
7. Tipe G - *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.

Selain itu ada juga:

1. *Air Entrain*, adalah menambahkan sejumlah buih udara dalam bentuk yang benar ke dalam campuran tanpa secara signifikan mengubah sifat-sifat setting atau kecepatan hardening.
2. *Waterproofing Admixtures*, bahan kimia tambahan yang *waterproofing* berguna mengurangi permeabilitas melalui kapiler dari pasta semen keras, Untuk menghasilkan beton dengan mutu (kuat tekan beton) tinggi dibutuhkan bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*) yaitu *superplasticizer* atau HRWR (*high range water reducer*) dan aditif mineral yang bersifat penyemenan yaitu berupa abu terbang (*fly ash*), *pozzofume* (*super fly ash*), dan *mikrosilika* (*silica fume*) dengan kadar yang tepat. Sebab bahan *admixture* dan aditif jika dicampur dengan kadar yang tidak tepat hasilnya akan sebaliknya, yaitu tidak meningkatkan kuat tekannya akan tetapi dapat menurunkan.

2.5.1. Silica Fume

Silica fume merupakan material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon dan alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*). *Silica fume* merupakan bahan pengisi (*filler*) dalam beton yang mengandung kadar *silica* yang tinggi. Kandungan SiO₂ mencapai lebih dari 90%. Ukuran butir *silica* yang sangat halus berkisar antara 0,1-1 mikron, lebih kecil dibandingkan butiran semen yang berkisar antara 5-50 mikron. Jika ditambahkan pada adukan beton, maka *silica*

akan mengisi rongga-rongga diantara butiran semen sehingga beton akan menjadi lebih kompak dan padat. Selain itu juga *silica* akan bereaksi dengan C3S dan C2S dalam semen dan menghasilkan gel CSH₂ yang akan membentuk suatu ikatan *gel* yang kuat dan padat di dalam beton. Selanjutnya, reduksi *kalsium hidroksida* (CaOH) oleh SiO₂ akan mengurangi unsur pembentuk *ettringite* sehingga mengurangi *sensivitas* beton terhadap serangan *sulfat*. Karenanya beton tidak mudah ditembus air serta tidak mudah mengalami korosi.

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, pre-cast atau beton pra-tegang dan beberapa keperluan lain. Kriteria beton berkinerja tinggisekarang ini sekitar 50-70 MPa untuk umur 28 hari. Karena secara harga *silica fume* masih mahal, maka pada umumnya penggunaan *silica fume* hanya sekitar 3%-10% dari berat semen dalam adukan beton. Menurut standar ACI, penambahan *silica fume* pada campuran beton sebanyak 5%-15% dan berdasarkan buku *Yongedran, et al, 1987:124-129*, penggunaan *silica fume* pada campuran beton berkisar antara 0%-30% untuk memperbaiki karakteristik kekuatan dan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0,34 dan 0,28 dengan atau tanpa bahan *superplasticizer* dan nilai *slump* 50 mm.

2.5.2. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (**ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3**), yaitu:

A. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

1. Kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 50%.
2. Kadar CaO mencapai 10%.

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 0% - 35% dari berat binder.

B. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

1. Kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70%.
2. Kadar CaO < 5%.

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 0% - 25% dari berat binder.

2.5.3. Superplasticizer

Untuk meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan pengecoran (*workability*) beton dengan menggunakan air yang seminimum mungkin, digunakan bahan kimia tambah (*chemical admixture*) seperti *superplasticizer* sehingga dapat dihasilkan beton segar (*flowing concrete*). *Superplasticizer* jenis bahan tambah kimia (*chemical admixture*) Tipe F, yaitu *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. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi. *Superplasticizer* sering disebut juga sebagai “bahan tambahan kimia pengurang air”. Tiga jenis *plasticizer* yang dikenal adalah (1). *kondensi sulfonat melamin formadehid* dengan kandungan klorida sebesar 0,005%, (2). *sulfonat naphthalin formaldehid* dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan dan (3). modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan klorida. Ketiga jenis bahan tambahan tersebut dibuat dari *sulfonat organik* dan disebut *superplasticizer*, karena dapat mengurangi pemakaian air pada campuran beton dan meningkatkan *slump* beton sampai 8 inch (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton. Pada penelitian ini digunakan bahan *superplasticizer* dengan dosis seperti yang telah disarankan 1%-2% dari jumlah berat bahan semen. *Superplasticizer* adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal. Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai *slump* yang tinggi. Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain:

- a. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi.

- b. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
- c. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
- d. Tidak ada udara yang masuk. Penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan pengurangan *strength* rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga "air content" di dalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.
- e. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

2.6. Porositas

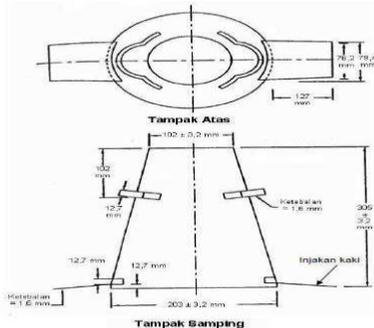
Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat. Ada dua jenis porositas yaitu porositas tertutup dan porositas terbuka. Porositas tertutup pada umumnya sulit untuk ditentukan pori tersebut merupakan rongga yang terjebak didalam padatan dan serta tidak ada akses ke permukaan luar, sedangkan porositas terbuka masih ada akses ke permukaan luar, walaupun rongga tersebut ada ditengah-tengah padatan (**Lawrence H. Van Vlack, 1989**).

2.7. Workability

Workability sulit untuk didefinisikan dengan tepat, namun sering diartikan sebagai tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton untuk diaduk, dituang, diangkut dan dipadatkan. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**):

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. makin banyak air yang dipakai, makin mudah beton segar itu dikerjakan. Tetapi pemakaian air juga tidak boleh terlalu berlebihan.
2. Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan betonnya, karena pasti juga diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai faktor air semen tetap.

3. Gradasi campuran pasir dan kerikil, jika campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butiran yang bulat memudahkan cara pengerjaan.
5. Pemakaian butiran maksimum kerikil yang dipakai berpengaruh terhadap cara pengerjaan.
6. Cara pemadatan beton menentukan sifat pekerjaan yang berbeda.
7. selain itu, beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan adalah jumlah kadar udara yang terdapat di dalam beton dan penggunaan bahan tambah dalam campuran beton.



Gambar 2.1 Kerucut abrams

2.8. Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,3 dan maksimum 0,65 (**Tri Mulyono**, 2003). Pada dasarnya semen membutuhkan air sekitar 30% berat semen untuk bereaksi secara sempurna. Perbandingan faktor air semen dengan kondisi lingkungan dapat dilihat pada

Tabel 2.9 Faktor air semen untuk setiap kondisi lingkungan

	Kondisi Lingkungan		
	Kondisi Normal	Basah Kering berganti-ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Koreksi langsung atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 35 mm	0,53	0,49	0,4
Struktur dinding penahan tanah,pilar,balok, abutmen	-	0,53	0,44
Beton yang tertanam dalam pilar, balok, kolom	-	0,44	0,44
Struktur lantai beton diatas tanah	-	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara, kontruksi, interior bangunan	-	-	-

Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, faktor air semen dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen dan *additif cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi nilai faktor air semen ada dalam rentang 0,2-0,5 (*SNI 03-6468-2000*). Bahan ikat yang digunakan pada penelitian ini adalah semen dan *silica fume, fly ash* (sebagai pengganti sebagian semen). Rumus yang digunakan pada beton mutu tinggi adalah:

$$FAS = W/(c+p) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan: FAS = Faktor Air Semen

W = Rasio total berat air

c = Berat semen

p = Berat bahan tambah pengganti semen

Nilai faktor air semen pada beton mutu tinggi termasuk berat air yang terkandung di dalam agregat. Faktor air semen pada kondisi agregat kering *oven*.

2.9. Slump

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. Slump merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai workability tinggi).

Tabel 2.10 Nilai slump berbagai macam struktur

Uraian	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, Pelat pondasi dan Pondasi bertulang	80	25
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan kontruksi dibawah tanah	80	25
Pelat, balok, kolom dan dinding	100	25
Perkerasan jalan	80	25
Pembetonan missal	50	25

2.10. Berat Jenis Beton (SNI 1973 2008)

Menghitung berat jenis sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{Berat basah beton}}{\text{Volume silinder}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sumber: SNI 1973-2008

Keterangan :

$$\text{Volume silinder} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

Berat basah beton

2.11. Kuat Tekan Beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. (Kardiyono Tjokrodimulyo,1995). Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm² atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm².

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm². Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar *ASTM C 39* atau menurut yang disyaratkan PBI 1989. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Keterangan : f'_c = kuat desak beton

P = beban maksimum

A = luas penampang benda uji

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1995**):

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.
7. Pengaruh bahan campuran tambahan.

Tabel 2.11 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	360
Semen portland (biasa)	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35
Semen Portland kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1	1,15	1,2

Tabel 2.12 Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai benda uji

Benda Uji	Perbandingan Kekuatan Beton
Kubus 15x15x15 cm	1
Kubus 20x20x20 cm	0,95
Silinder Ø 15 cm x 30 cm	0,83

2.11.1 Standar Deviasi (ACI)

Untuk mengetahui kualitas dari beton yang telah dibuat, perlu dilakukan kontrol kualitas beton agar nantinya dapat diketahui kelas dari beton yang telah dibuat, berikut perhitungannya :

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\sigma b' - \sigma bm)^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan :

S = deviasi standar (kg/cm²)

$\sigma b'$ = kuat tekan hancur individu (Mpa)

σbm = kuat tekan hancur rata-rata (Mpa)

n = jumlah benda uji yang diperiksa

Tabel 2.13 Standar kontrol beton f'c (ACI)

Overall Variation					
Class of Operation	Standard deviation for different control standard, psi (Mpa)				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
General Construction Testing	Below 400 (Below 2.8)	400 to 500 (2.8 to 3.4)	500 to 600 (3.4 to 4.1)	600 to 700 (4.1 to 4.8)	Above 700 (Above 4.8)
Laboratoy trial batches	Below 200 (below 1.4)	200 to 250 (1.4 to 1.7)	250 to 300 (1.7 to 2.1)	300 to 350 (2.1 to 2.4)	Above 350 (Above 2.4)
Within-batch variation					
Class of Operation	Coefficat of variation for different control standard, %				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
Field control testing	Below 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	5.0 to 6.0	Above 6.0
Laboratoy trial batches	Below 2.0	2.0 to 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	5.0 to 6.0

2.12. Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi Metode ACI (American Concrete Institute)

Tata cara perencanaan beton kekuatan tinggi dengan Semen, *silica fume*, *fly ash* ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran semen beton kekuatan tinggi dan untuk mengoptimasi proporsi campuran tersebut berdasarkan campuran coba. Tata cara ini hanya berlaku untuk beton berkekuatan tinggi yang diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional.

2.12.1 Persyaratan Kinerja

1. Umur Uji

Kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari atau 56 hari.

2. Kuat Tekan Yang Disyaratkan

Untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan, campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan. Beton boleh menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan pengalaman di lapangan berdasarkan pada kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) yang nilainya lebih besar dari dua persamaan berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + (1,34.s) \dots\dots\dots 2.6$$

$$f'_{cr} = (0,90.f'_c) + (2,33.s) \dots\dots\dots 2.7$$

Dalam hal ini produsen beton menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan campuran coba di laboratorium, kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 9,66) \text{Mpa}}{0,90} \dots\dots\dots 2.8$$

1. Persyaratan Lain

Beberapa persyaratan lain yang dapat mempengaruhi pemilihan bahan dan proporsi campuran beton antara lain.

- a. Modulus Elastisitas.
- b. Kuat Tekan dan Kuat Lentur.
- c. Panas Hidrasi.
- d. Rangkak dan Susut akibat pengeringan.
- e. Permeabilitas.
- f. Waktu Pengikatan.
- g. Metode Pengecoran.
- h. Kelecekan.

2.12.2. Faktor-faktor yang Menentukan

A. Pemilihan Bahan

Proporsi campuran yang optimum harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik semen portland dan *silica fume*, kualitas agregat, proporsi pasta, interaksi agregat pasta, macam dan jumlah bahan campuran tambahan dan pelaksanaan pengadukan. Hasil evaluasi tentang semen portland, *silica fume*, *fly ash*, bahan campuran tambahan, agregat dari berbagai sumber, serta berbagai macam proporsi campuran, dapat digunakan untuk menentukan kombinasi bahan yang optimum.

1. Semen *Portland* (PC)

Semen *portland* harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland. Semen yang dipakai adalah Tipe I Semen Gresik.

2. *Silica Fume*

Silica fume harus memenuhi ASTM.C.1240,1995:637-642 tentang Spesifikasi *Silica fume* Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. *Silica fume* (*Sica fume*) yang diproduksi PT. SIKA Indonesia.

3. Abu terbang (*Fly ash*)

Abu terbang (*Fly Ash*) harus memenuhi SNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. Abu terbang yang disarankan untuk digunakan dalam beton kekuatan tinggi adalah yang mempunyai nilai hilang pijar maksimum 3%, kehalusan butir yang tinggi, dan berasal dari suatu sumber dengan mutu seragam.

4. Air

Air harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan bagian A (Bahan Bangunan bukan Logam).

5. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat normal yang sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton. Ukuran nominal agregat maksimum 20 mm atau 25 mm, jika digunakan untuk membuat beton berkekuatan sampai 62,1 MPa, dan ukuran 10 mm atau 15 mm, jika digunakan untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 62,1 MPa. Secara umum, untuk rasio air bahan bersifat semen $W/(c+p)$ yang sama, agregat yang ukuran maksimumnya lebih kecil akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi.

6. Agregat Halus

Agregat halus harus memenuhi ketentuan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat beton. Beton kekuatan tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus

dengan modulus kehalusan 2,5 sampai dengan 3,2. Bila digunakan pasir buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan adukan yang sama dengan pasir alam.

7. Superplasticizer

Superplasticizer harus memenuhi SNI 03-2495-1991 tentang Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton. Bila *Superplasticizer* yang digunakan berbentuk cair, maka kadarnya dinyatakan dalam satuan ml/kg (c+p), dan bila berbentuk tepung halus jumlahnya dinyatakan dalam berat kering gr/kg (c+p)

B. Rasio Air dengan Bahan Bersifat Semen $W/(c+p)$

Rasio air dengan bahan bersifat semen $W/(c+p)$ harus dihitung berdasarkan perbandingan berat. Berat air yang dikandung oleh *superplasticizer* berbentuk cair harus diperhitungkan dalam $W/(c+p)$. Perbandingan $W/(c+p)$ untuk beton kekuatan tinggi secara tipikal ada dalam rentang nilai 0,20-0,5.

C. Kelecakan

Kelecakan adalah kemudahan pengerjaan yang meliputi pengadukan, pengecoran, pemadatan dan penyelesaian permukaan (finishing) tanpa terjadi segregasi.

D. Slump

beton kekuatan tinggi harus diproduksi dengan slump terkecil yang masih memungkinkan adukan beton di lapangan untuk dicor dan dipadatkan dengan baik. Slump yang digunakan umumnya sebesar 50-100 mm. Bila menggunakan Superplasticizer, nilai slump boleh lebih dari pada 200 mm.

E. Metode Pengujian

Metode pengujian yang digunakan adalah berdasarkan SNI, kecuali jika terdapat indikasi adanya penyimpangan akibat karakteristik beton kekuatan tinggi tersebut. Kekuatan potensial untuk satu set bahan tertentu dapat ditetapkan hanya bila benda uji telah dibuat dan diuji pada kondisi standar. Minimum dua benda uji harus diuji untuk setiap umur dan kondisi uji.

F. Ukuran Benda Uji

Ukuran benda uji silinder yang dapat digunakan adalah 150 x 300 mm atau 100 x 200 mm sebagai benda uji standar untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton kekuatan tinggi. Hasil uji silinder 150 x 300 mm tidak boleh dipertukarkan dengan silinder 100 x 200 mm.

G. Cetakan

Cetakan benda uji dibuat dari baja sesuai dengan SNI 03-2493-1991

.H. Mesin uji

Mesin uji yang digunakan berkapasitas 2000 KN

2.12.3. Prosedur Proporsi Campuran Beton Kekuatan Tinggi

1. Langkah 1 : menentukan slump dan kekuatan beton yang diinginkan

Nilai slump beton yang dianjurkan diberikan pada Tabel 2.14 Slump awal diantara 2,5 sampai 5 cm. sebelum penambahan HRWR dianjurkan. Hal ini akan menjamin jumlah air campuran yang cukup dan menyebabkan *superplasticizer* dapat bekerja efektif.

Tabel 2.14 Slump yang dianjurkan untuk beton dengan atau tanpa HRWR

Beton dengan menggunakan HRWR	
<i>Slump</i> sebelum penambahan HRWR	2,5 - 5 cm
Beton tanpa menggunakan HRWR	
<i>Slump</i>	5 - 10 cm

Untuk beton mutu tinggi yang dibuat tanpa HRWR, slump antara sampai 10 cm dapat dipilih sesuai dengan tipe pekerjaan yang dilakukan. Nilai slump minimum 5 cm dianjurkan untuk beton tanpa HRWR. Beton dengan *slump* kurang dari 5 cm sulit untuk dipadatkan akibat tingginya kadar agregat kasar dan semen dalam campuran.

2. Langkah 2:

Berdasarkan pada persyaratan kekuatan, ukuran maksimum agregat kasar yang dianjurkan diberikan pada Tabel 2.11 ACI 318 menyatakan bahwa ukuran maksimum agregat tidak boleh melebihi $\frac{1}{5}$ dari dimensi terkecil antara sisi bekisting, $\frac{1}{3}$ dari ketinggian *slab*, atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antar batang tulangan, ikatan batang, atau *tendon* atau *selongsong tendon*.

Tabel 2.15 Perkiraan Ukuran maksimum Agregat

Kekuatan beton yang diinginkan (Mpa)	Perkiraan ukuran maksimum agregat kasar(cm)
<62	2 - 2,5
>62	1 - 1,3

3. Langkah 3: Menentukan Kadar Optimum Agregat Kasar

Kadar optimum agregat kasar tergantung pada ukuran maksimumnya. Kadar optimum agregat kasar yang dianjurkan, dinyatakan sebagai fraksi dari berat kering satuan (DRUW = *dry-rodded unit weight*), ditunjukkan pada Tabel 2.12 sebagai fungsi dari ukuran nominal maksimum.

Tabel 2.16 Volume agregat kasar yang dianjurkan per unit volume beton

Kadar agregat kasar optimum ukuran nominal maksimum dari agregat dengan menggunakan pasir dengan nilai modulus 2,5 - 3,2 (ASTM C29)				
Ukuran Nominal Maksimum (cm)	1	1,3	2	2,5
Volume fraksi dari berat kering agregat kasar	0,63	0,68	0,72	0,75

Setelah kadar optimum agregat kasar dipilih dari Tabel 2.16 berat kering (*oven-dry unit weight*) agregat kasar per m³ beton dapat dihitung dengan persamaan (2.8).

$$\text{Berat Kering Agregat (OD)} = (\% \times \text{DRUW}) \times (\text{DRUW}) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dalam perencanaan campuran beton dengan kekuatan normal, kadar optimum agregat kasar diberikan sebagai suatu fungsi dari ukuran maksimum agregat kasar dan modulus kehalusan agregat halus. Akan tetapi, campuran beton mutu tinggi biasanya mempunyai kadar bahan semen yang tinggi, dan dengan demikian tidak tergantung pada kehadiran agregat halus untuk menambah partikel halus demi kelicinan dan kepadatan beton segar. Oleh karena itu, untuk nilai yang diberikan dalam Tabel 2.16 dianjurkan untuk menggunakan pasir dengan nilai modulus kehalusan 2,5 sampai 3,2.

4. Langkah 4: Estimasi Air Campuran dan Kadar Udara

Jumlah air per unit volume beton yang dibutuhkan untuk menghasilkan slump yang disyaratkan tergantung pada ukuran maksimum agregat kasar, bentuk partikel, dan gradasi agregat, jumlah semen, dan tipe *water reducing admixture* yang digunakan. Jika HRWR yang digunakan, kadar air dalam *admixture* biasanya dikalkulasi sebagai bahan dari W/c+p. Tabel 2.17 memberikan estimasi air campuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton mutu tinggi yang dibuat dengan ukuran maksimum agregat 1 cm sampai 2,5 cm sebelum adanya penambahan *admixture* kimia. Juga diberikan korespondensi/hubungan nilai kandungan udara yang terperangkap. Jumlah air campuran tersebut adalah maksimum untuk agregat dengan bentuk yang baik, bersih, agregat kasar bersiku (*angular*), gradasi baik dalam batas ASTM C 33. Karena bentuk partikel dan tekstur permukaan agregat halus dapat mempengaruhi kadar rongga kosongnya (*void content*), persyaratan air campuran mungkin berbeda dengan nilai yang diberikan.

Nilai air campuran yang diberikan pada Tabel 2.17 dapat digunakan jika agregat halus yang digunakan mempunyai *voids content* 35%. *Voids content* agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8).

$$\text{Void Content, } V, \% = (1 - (\text{oven-dry rodded unit weight} / \text{bulk specify gravity (dry)}) \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

Bila agregat halus dengan *void content* tidak sama dengan 35% yang digunakan, penyesuaian harus dibuat terhadap kadar air campuran yang dianjurkan. Penyesuaian air ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10).

$$\text{Koreksi Air Pencampur, kg/m}^3 = (V - 35) \times 4,74 \dots\dots\dots (2.10)$$

Penggunaan persamaan (2.10) menghasilkan koreksi air campuran sebesar 4,74 kg/m³ untuk setiap penyimpangan *void content* dari 35%.

Tabel 2.17 Estimasi campuran air yang dibutuhkan dan kadar udara , beton segar berdasarkan penggunaan void content dari 35%

Slump (cm)	Campuran air (kg/m ³)			
	Ukuran maksimum agregat kasar (cm)			
	1	1,3	2	2,5
2,5 - 5	184	175	170	166
5 - 7,5	190	184	175	172
7,5 - 10	196	190	181	178
Udara yang terperangkap *	3% (2,5%)**	2,5% (2,0%)	2% (1,5%)	1,5% (1,0%)

* Nilai yang diberikan harus disesuaikan untuk pasir dengan voids = 35%

** Untuk campuran yang ditambahkan dengan HRWR

5. Langkah 5: Menentukan W/c+p

Dalam campuran beton mutu tinggi, bahan campuran semen lain, seperti *silica fume*, *fly ash* dapat digunakan, W/c+p dapat dihitung dengan membagi berat air campuran dengan berat campuran semen dan *silica fume*. Dalam Tabel 2.14 dan 2.15, w/c+p maksimum yang dianjurkan diberikan sebagai suatu fungsi dari ukuran maksimum agregat untuk mencapai kekuatan tekan yang berbeda baik pada umur 28 hari maupun 56 hari. Penggunaan HRWR pada umumnya meningkatkan kekuatan tekan beton. Nilai W/c+p yang diberikan dalam Tabel 2.14 berlaku untuk beton yang dibuat tanpa HRWR sedangkan Tabel 2.15 berlaku untuk beton yang dibuat dengan menggunakan HRWR.

Tabel 2.18 W/c+p Maksimum yang dianjurkan untuk Beton Tanpa Menggunakan HRWR

<i>Field Strengt, fcr' (Mpa)</i>		W/c+p			
		Ukuran maksimum agregat kasar (cm)			
		1	1,3	2	2,5
48	28 hari	0,42	0,41	0,4	0,39
	56 hari	0,46	0,44	0,44	0,43
55	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62	28 hari	0,3	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,32	0,3
69	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Tabel 2.19 W/c+p Maksimum yang Dianjurkan untuk Beton dengan Menggunakan HRWR

<i>Field Strengt, fcr' (Mpa)</i>		W/c+p			
		Ukuran maksimum agregat kasar (cm)			
		1	1,3	2	2,5
48	28 hari	0,5	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55	28 hari	0,44	0,42	0,4	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,4
62	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,3
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
76	28 hari	0,3	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
83	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,3	0,28	0,27	0,26

W/c+p selanjutnya dibatasi oleh persyaratan *durabilitas*. Bila kadar bahan semen dari tabel tersebut melebihi 454 kg, percobaan pencampuran dapat dilakukan lagi dengan menggunakan alternatif bahan pengganti semen

6. Langkah 6: Menghitung Kadar Bahan Semen

Berat bahan semen yang dibutuhkan per m³ beton ditentukan dengan membagi jumlah air campuran per m³ beton (langkah 4) dengan W/c+p (langkah 5).

7. Langkah 7: Perhitungan Komposisi Dasar Campuran tanpa Penggunaan Bahan Campuran Semen Lainnya

Untuk menentukan komposisi optimum campuran, perlu dilakukan beberapa campuran *trial* dengan kadar *silica fume* yang berbeda. Pada umumnya, satu *trial mix* dibuat dengan menggunakan hanya semen *portland* sebagai bahan semen. Langkah-langkah berikut ini seharusnya diikuti untuk menyempurnakan komposisi campuran dasar. 1) Kadar semen – Untuk campuran ini, karena tidak ada bahan campuran semen lain yang digunakan, berat semen sama dengan berat bahan dihitung dalam langkah 6.

2) Kadar pasir – Setelah menentukan berat per m³ untuk agregat kasar, semen dan air, dan persentasi kandungan udara, kadar pasir dapat dihitung untuk menghasilkan 1 m³, dengan menggunakan metode *volume absolut*.

8. Langkah 8: Penentuan Komposisi Campuran dengan Menggunakan *Silica Fume* dan *Fly Ash*

Dalam tahap ini menentukan komposisi optimum campuran, perlu dilakukan beberapa campuran *trial* dengan kadar *silica fume* dan *Fly ash* yang berbeda. *Trial mix* dibuat dengan menggunakan semen portland dan *silica fume* dan *Fly Ash* sebagai bahan semen. Langkah-langkah berikut ini seharusnya diikuti untuk menyempurnakan komposisi campuran dasar.

1) Kadar semen – Untuk campuran ini, karena menggunakan bahan campuran semen lain yaitu *silica fume*, maka berat bahan bersifat semen sama dengan berat semen portland yang digunakan ditambah berat *silica fume* sebagai bahan pengganti sebahagian semen.

2) Kadar pasir – Setelah menentukan berat per m³ untuk agregat kasar, bahan semen dan air, dan persentasi kandungan udara, kadar pasir dapat dihitung untuk menghasilkan 1 m³, dengan menggunakan metode *volume absolut*.

9. Langkah 9: Campuran Percobaan (*Trial Mix*)

Untuk setiap campuran yang didapat dari langkah 1 sampai 8, Suatu *trial mix* harus dilakukan untuk menentukan workabilitas dan karakteristik kekuatan campuran. Berat pasir, agregat kasar dan air harus disesuaikan untuk mengkoreksi kondisi kelembaban atau kadar air dan daya serap agregat yang digunakan.

10. Langkah 10: Penyesuaian Komposisi Campuran Percobaan

Bila sifat-sifat beton yang diinginkan tidak tercapai, maka proporsi campuran coba semula harus dikoreksi agar menghasilkan sifat-sifat beton yang diinginkan.

1. *Slump* Awal - Jika *slump* awal campuran coba di luar rentang *slump* yang diinginkan, maka pertama-tama harus dikoreksi adalah kadar air. Kemudian kadar bahan bersifat semen dikoreksi agar rasio (W/c+p) tidak berubah, dan kemudian baru dilakukan koreksi kadar pasir untuk menjamin tercapainya *slump* yang diinginkan.
2. Kadar *Superplasticizer* (HRWR) - Bila digunakan bahan *superplasticizer* maka kadarnya harus divariasikan pada suatu rentang yang cukup besar untuk mengetahui efek yang timbul pada kelecakan dan kekuatan beton.
3. Kadar Agregat Kasar Setelah campuran coba dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan, harus dilihat apakah campuran menjadi terlalu kasar untuk pengecoran atau untuk *difinishing*. Bila perlu, kadar agregat kasar boleh direduksi dan kadar pasir disesuaikan supaya kelecakan yang diinginkan tercapai. Proporsi ini dapat mengakibatkan kebutuhan air bertambah sehingga kebutuhan total bahan bersifat semen juga meningkat agar rasio (W/c+p) terjaga konstan.
4. Kadar Udara - Bila kadar udara hasil pengukuran berbeda jauh dari yang diperkirakan pada langkah (4), jumlah *superplasticizer* harus direduksi
5. atau kadar pasir dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan.
6. Rasio (W/c+p) - Bila kuat tekan yang ditargetkan tidak dapat dicapai dengan menggunakan (W/c+p) yang ditentukan pada tabel 2.14 atau 2.15, campuran coba ekstra dengan perbandingan (W/c+p) yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

11. Langkah 11: Menentukan Komposisi Campuran Optimum

Setelah campuran coba yang dikoreksi menghasilkan kelecakan dan kekuatan yang diinginkan, benda-benda uji harus dibuat dengan proporsi campuran coba tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan. Untuk mempermudah prosedur produksi dan pengontrolan mutu, maka pelaksanaan pembuatan benda uji itu harus dilakukan oleh personil dengan menggunakan peralatan yang akan digunakan di lapangan. Hasil uji kekuatan untuk menentukan proporsi campuran optimum yang akan digunakan berdasarkan dua pertimbangan utama yaitu kekuatan beton dan biaya produksi.

2.13. Penelitian Terdahulu

2.13.1 Menurut Marsianus Danasi dan Ade Lisantono (2015)

Saat ini beton merupakan bahan yang banyak digunakan untuk membuat gedung bertingkat. Dengan demikian untuk memenuhi pembangunan gedung bertingkat akan dituntut beton bermutu tinggi. *Fly ash* dan *silica fume* merupakan bahan pozzolan yang banyak dipakai pada beton mutu tinggi, sedangkan pasir kwarsa oleh karena ukuran partikelnya sangat kecil maka diharapkan dapat mengisi rongga-rongga didalam beton. Pada penelitian ini akan dilakukan studi pengaruh *fly ash* dan *silica fume* pada beton mutu tinggi dengan pasir kwarsa sebagai *filler*. Kadar *silica fume* dan pasir kwarsa yang ditambahkan dibuat konstan sebanyak 10% dari berat semen dan kadar *superplasticizer* yang ditambahkan sebesar 2% dari berat semen. Sedangkan *fly ash* yang digunakan bervariasi yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan benda uji silinder. Dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

2.13.2 Menurut Surya Sebayang (2011)

Beton alir dapat mengalir dan menghasilkan adukan yang homogen ketika mengisi daerah penulangan yang padat. Beton alir digunakan untuk mengurangi bahkan meniadakan kebutuhan pemadatan, mengurangi biaya konstruksi, dan mempercepat waktu konstruksi. Beton alir mutu tinggi pada penelitian ini menggunakan silika fume sebagai bahan tambahan. Pengujian yang dilakukan meliputi kelecakan adukan beton, waktu pengikatan beton, dan kuat tekan beton. Perancangan campuran beton menggunakan metode ACI 211-4R-1993 yang dikombinasikan dengan metode Hashimoto. Adukan beton terdiri dari 5 variasi, yaitu kadar silika fume 0 %, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Dari hasil penelitian diperoleh, secara umum semakin besar kadar silika fume pada adukan beton maka kelecakan beton semakin berkurang. Penggunaan silika fume ternyata dapat membuat adukan menjadi kohesif dan tidak terjadi segregasi pada adukan beton. Penggunaan silika fume pada adukan beton memperlambat waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir beton. Kuat tekan beton alir bersilika fume pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa silika fume dengan umur yang sama. Kuat tekan optimum beton bersilika fume sebesar 51,35 MPa, pada umur 56 hari diperoleh pada kadar silika fume 9 % sebagai bahan tambahan.

2.13.3 Menurut Iin Damayanti (2006),

Kerusakan beton lebih banyak disebabkan oleh kerusakan pasta semen, dan jarang diakibatkan oleh kehancuran agregat, maka untuk meningkatkan kekuatan beton dapat dilakukan dengan cara memperbaiki kekuatan pasta semen. Ada berbagai cara yang dapat dilakukan, antara lain pemakaian faktor air-semen (f.a.s) rendah, dan penambahan zat tambah mineral seperti mikrosilika, silica fume, maupun abu terbang (fly ash). Permasalahan kelecakan (workability) yang diakibatkan pemakaian faktor air-semen yang rendah dapat diatasi dengan menambahkan zat pengencer seperti plasticizer atau super plasticizer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan mikro silika dan fly Ash terhadap kuat tekan beton. Adukan beton dibuat dengan menggunakan f.a.s. 0,30 dan 0,40. Perencanaan campuran menggunakan cara coba-coba berdasarkan formulasi Feret yang telah dimodifikasi oleh de Larrad. Komposisi penambahan mikrosilika dan fly Ash adalah 0%;0%; 0%:10%; 2,5%:7,5%, 5%:5%; 7,5%:2,5%; 10%:0%. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dari hasil penelitian diperoleh, nilai slump akan semakin besar dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya kadar fly Ash.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa nilai slump adukan semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya fly ash. Nilai slump tertinggi adalah 9 cm pada f.a.s 0,30 untuk komposisi mikrosilika:fly ash = 10%:0%. Berat jenis beton semakin menurun dengan meningkatnya kadar mikrosilika yang diikuti dengan pengurangan fly ash, nilai tertinggi diperoleh pada komposisi mikrosilika:fly ash = 0%:10%, yaitu 2,448 gram/cm³. Kuat-tekan beton juga semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya fly ash. Nilai tertinggi adalah 66,736 MPa pada f.a.s 0,30 dan 59,456 MPa untuk f.a.s. 0,40 untuk komposisi mikrosilika:fly ash =10%:0%.