

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Hasil penelitian (Mardiono, 2011), “Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi”. Mutu beton yang direncanakan 40 MPa pada umur 28 hari. Hasil perhitungan diketahui bahwa faktor air semen diperoleh sebesar 0,420 dan kadar *superplasticizer* ditentukan sebesar 1% dari berat semen dan hasil yang didapat yaitu kuat tekan beton yang tertinggi terdapat pada campuran beton penggantian semen dengan *Fly Ash* 10%, yaitu sebesar 41,57 MPa dan kuat tekan beton yang terendah terdapat pada campuran beton dengan *Fly Ash* 40%, yaitu sebesar 33,91 MPa. Disarankan dilakukan penelitian selanjutnya dengan variasi *Fly Ash* yang berbeda lagi (persentase kadar lebih kecil) atau dikombinasikan dengan bahan pozzolan/mineral lain dan penggunaan *superplasticizer* dengan kadar dan jenis lain. Bahwa dengan menggunakan *Fly Ash* sebesar 10% sebagai pengganti sebagian semen akan didapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal.

Hasil penelitian (Marsianus Danasi dan Ade Lisantono, 2015), “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Silica Fume dan Filler Pasir Kwarsa” yaitu untuk memastikan nilai kadar *Fly Ash* yang optimum pada campuran adukan beton mutu tinggi. Nilai kuat tekan beton rerata pada umur 28 hari dengan variasi kadar *Fly Ash* 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% secara berturut-turut 37,69 MPa, 75,06 MPa, 64,30 MPa, 60,92 MPa, 58,32 MPa, 66,11 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi kadar *Fly Ash* 5% sebesar 75,06 MPa yang meningkatkan kuat tekan sebesar 99,15% dari beton tanpa *Fly Ash*. Kombinasi dari bahan tambah yang digunakan mampu meningkatkan kuat tekan beton dengan baik.

Hasil penelitian (Febri Yonnes, Hendri Warman dan Khadavi, 2016), “Pengaruh Pemakaian *Superplasticizer (Sika Viscocrete 1003)* Dalam Rancangan Beton Mutu Tinggi” yaitu untuk menambah nilai kuat tekan beton dari rancangan beton normal pada umur 28 hari. Untuk persentase aditif *Sika Viscocrete 1003* ini

bervariasi antara 0,2 %, 0,4 %, 0,6% diambil dari berat semen, ditambah dengan komposisi campuran beton normal dibuat dalam benda uji silinder ukuran 10 x 30 dengan variasi umur 7, 14, dan 28 hari. Penelitian dengan menggunakan aditif *Sika Viscocrete 1003* ini menghasilkan nilai *slump* yang begitu tinggi semakin besar penambahannya semakin tinggi nilai *slump* yang didapat. Nilai dari kuat tekan yang didapat dari penambahan *superplasticizer* ini pada umur 28 hari semakin besar sejalan dengan semakin besar pula jumlah persentase penambahan yang diberikan. Pada campuran 0,2 % didapat nilai kuat tekan sebesar 44.07 MPa, campuran 0,4 % sebesar 49.84 MPa dan campuran 0.6 % sebesar 51.96 %, dari kuat tekan beton normal dihasilkan sebesar 42.24.MPa.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). (Nawy,1998:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Kualitas semen,
- b. Proporsi terhadap campuran,
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat,
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,
- g. Perawatan beton, dan
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985:24).

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton. (Murdock dan Brook, 1991:6) mengatakan : “Kecakapan tenaga kerja adalah salah satu faktor penting dalam

produksi suatu bangunan yang bermutu, dan kunci keberhasilan untuk mendapatkan tenaga kerja yang cakap adalah untuk pengetahuan dan daya tarik pada pekerjaan yang sedang dikerjakan”.

Menurut Paul Nugraha dan Antoni, keunggulan dari penggunaan beton:

- a. Ketersediaan (*availability*) material dasar:
 - 1) Biaya pembuatan relative lebih murah karena semua bahan mudah didapat. Bahan termahal adalah semen tetapi bisa diproduksi di Indonesia.
 - 2) Pengangkutan/mobilisasi beton bisa dilakukan dengan mudah.
- b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*)
 - 1) Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
 - 2) Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, pondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas. Beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural bisa digunakan untuk keperluan dekoratif.
 - 3) Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat.
- c. Kemampuan beradaptasi
 - 1) Beton bersifat *mololit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
 - 2) Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk kubus 3 dimensi.
 - 3) Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar.
 - 4) Konsumsi energy minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.
- d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal

Secara umum ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

Berikut ini merupakan kelemahan dari penggunaan beton dan cara untuk mengatasi seperti terlihat pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kelemahan Beton Dan Cara Mengatasinya

No.	Kelemahan	Solusi
1.	Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m ³	Untuk elemen struktural: membuat beton mutu tinggi, beton pratekan, atau keduanya, sedangkan unuk elemen non-struktural dapat memakai beton ringan
2.	Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar	Memakai beton bertulang atau pratekan
3.	Kualitasnya sangat bergantung cara pelaksanaan dilapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama	Mempelajari teknologi beton dan melakukan pengawasan dan kontrol kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (<i>ready mix</i>) atau beton pracetak
4.	Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis	Melakukan perawatan (<i>curing</i>) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (<i>expansive admixture</i>)
5.	Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur	Melakukan perawatan (<i>curing</i>) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (<i>expansive admixture</i>)

(Sumber: Paul Nugraha dan Antoni, 2007)

2.2.2 Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-2834-1992 didefinisikan sebagai beton yang

mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 35 Mpa atau K400. Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimalkan 3 aspek yang mempengaruhi kekuatan beton: pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, mix design, penanganan dan penuangan. Kontrol kualitas adalah bagian yang penting dan memerlukan kerja sama penuh antara pemasok, perencana dan kontraktor. (Paul Nugraha & Antoni, 2007).

Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang tinggi diinginkan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi, meliputi faktor air semen (FAS), kualitas agregat kasar, kualitas agregat halus, dan penggunaan bahan tambah baik kimia (*admixture*) maupun mineral (*additive*) (Tri Mulyono, 2005).

2.2.3 Material penyusun beton

a. Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis/tipe, yaitu :

- 1) Semen Portland tipe I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Semen Portland tipe II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- 3) Semen Portland tipe III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Semen Portland tipe IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi rendah.
- 5) Semen Portland tipe V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b. Air

Air adalah bahan untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penguangan beton. Jumlah air yang diperlukan untuk kelecakan tertentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air imbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5 % larutan garam (sekitar 78 % adalah sodium klorida dan 15 % adalah magnesium klorida). Garam-garaman dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20 %. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan (Tri Mulyono, 2005).

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra tekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI 318-89:2-2). Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum

yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen, dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas (Tri Mulyono, 2005).

Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor dibawah ini:

- 1) Ukuran agregat maksimum: diameter membesar → kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
- 2) Bentuk butir: bentuk bulat → kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).
- 3) Gradasi agregat: gradasi baik → kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
- 4) Kotoran dalam agregat: makin banyak silt, tanah liat dan lumpur → kebutuhan air meningkat.
- 5) Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar, atau h/k: Agregat halus lebih sedikit → kebutuhan air menurun. (Paul Nugraha dan Antoni, 2007:74)

c. Agregat

Agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat tekan lama (*durable*), dan ekonomis (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Berdasarkan gradasinya agregat terbagi menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1) Agregat Halus

Agregat halus atau pasir adalah butiran – butiran mineral yang bentuknya mendekati bulat, tajam, dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak antara 0,07 – 5 mm (SNI 03 – 1750 – 1990).

1) Syarat mutu agregat

Syarat mutu menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F a. Agregat halus (pasir):

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.

- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - Jika dipakai natrium sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
 - d. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
 - e. Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
 - f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - sisa di atas ayakan 4,8 mm, mak 2 % dari berat
 - sisa di atas ayakan 1,2 mm, mak 10 % dari berat
 - sisa di atas ayakan 0,30 mm, mak 15 % dari berat
 - g. Tidak boleh mengandung garam
- 2) Syarat mutu agregat menurut SII 0052
- a. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 1,50 – 3,80.
 - b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5 %.
 - c. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 %, jika dibandingkan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
 - d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa bangsa memberikan angka hasil bagi tidak lebih dari 2,20.
 - e. Kekekalan (jika diuji dengan Na-Sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15%)

3) Cara-cara memeriksa sifat-sifat pasir :

- a. Untuk mengetahui kandungan tanah liat/lumpur pada pasir dilakukan dengan cara meremas atau menggenggam pasir dengan tangan. Bila pasir masih terlihat bergumpal dan kotoran tertempel di tangan, berarti pasir banyak mengandung Lumpur.
- b. Kandungan lumpur dapat pula dilakukan dengan mengisi gelas dengan air, kemudian masukkan sedikit pasir ke dalam gelas. Setelah diaduk dan didiamkan beberapa saat maka bila pasir mengandung Lumpur, Lumpur akan terlihat mengendap di atasnya.
- c. Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan cara memasukkan pasir ke dalam larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 3 % . Setelah diaduk dan didiamkan selama 24 jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- d. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Na-Sulfat/Magnesium Sulfat.

Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas mutu beton yang dibuat. Agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33% lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh agregat berbentuk lainnya. Dengan semakin berkurangnya rongga udara yang berbentuk, beton yang dihasilkan akan mempunyai rongga udara yang lebih sedikit.

Gradasi yang baik dan teratur dari agregat halus, besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

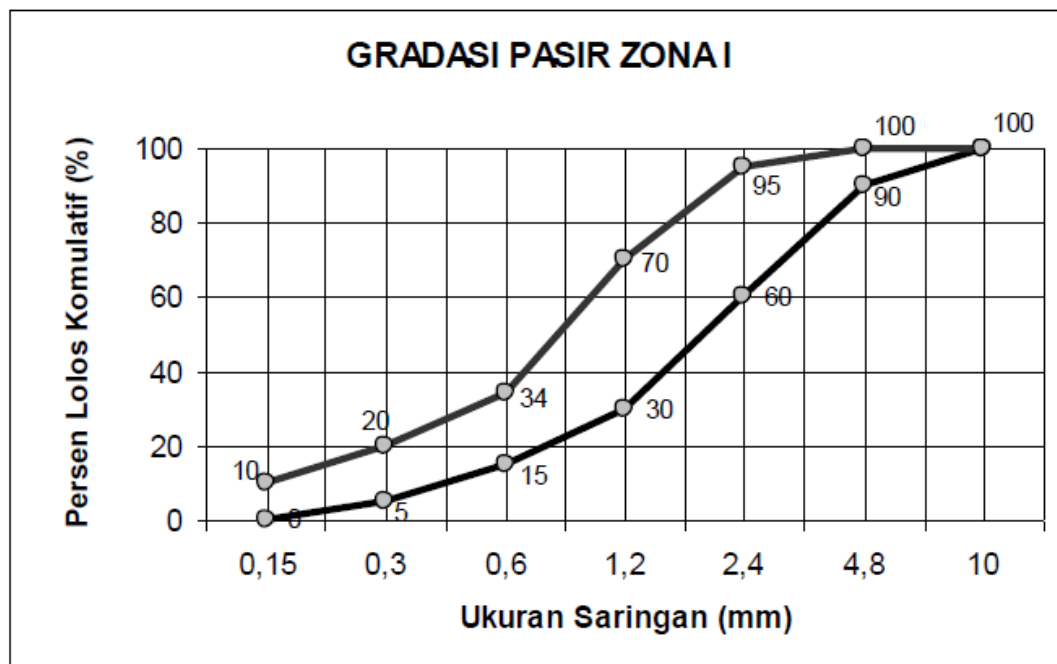
Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. seperti terlihat pada tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Gradasi Agregat Halus Menurut (BS)

Lubang	Persen berat butir yang lewat ayakan
--------	--------------------------------------

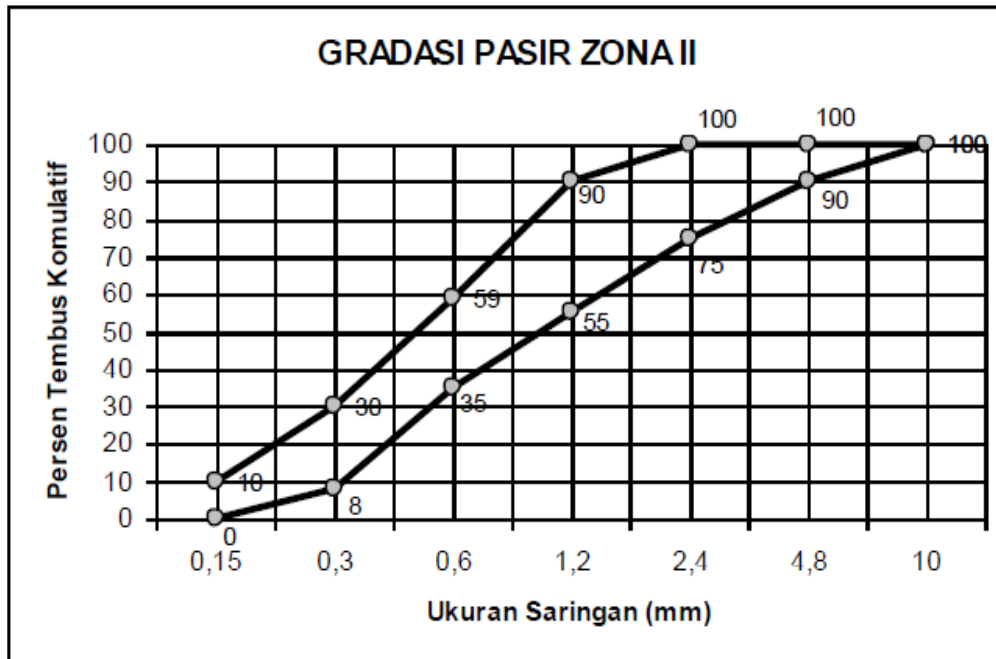
Ayakan (mm)	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber : Tri Mulyono, 2005)



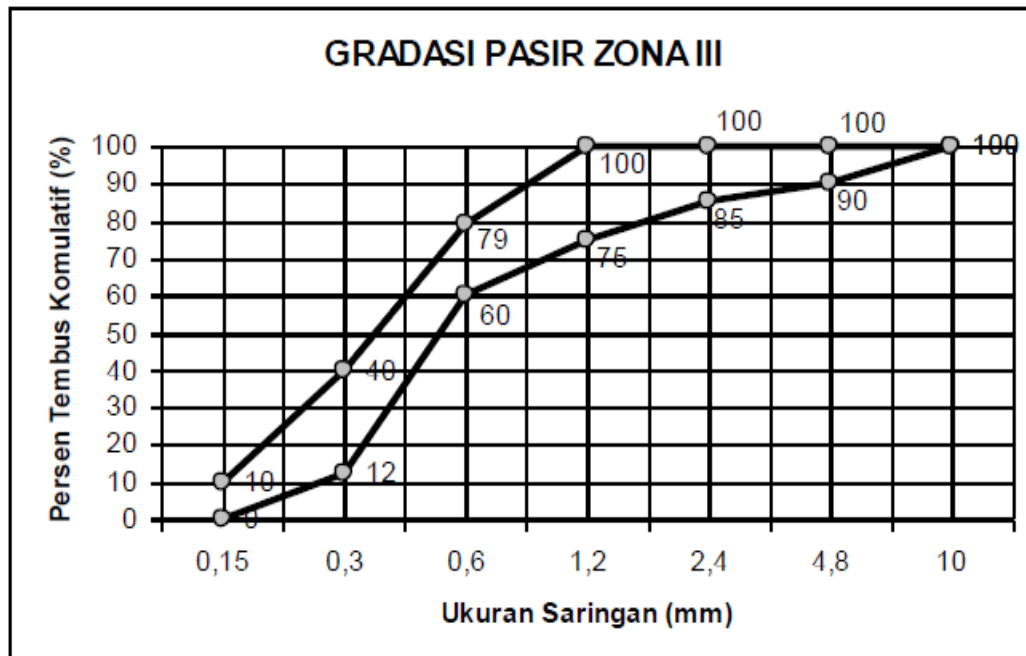
(Sumber : Tri Mulyono, 2005)

Gambar 2.1 Gradasi Pasir Zona I



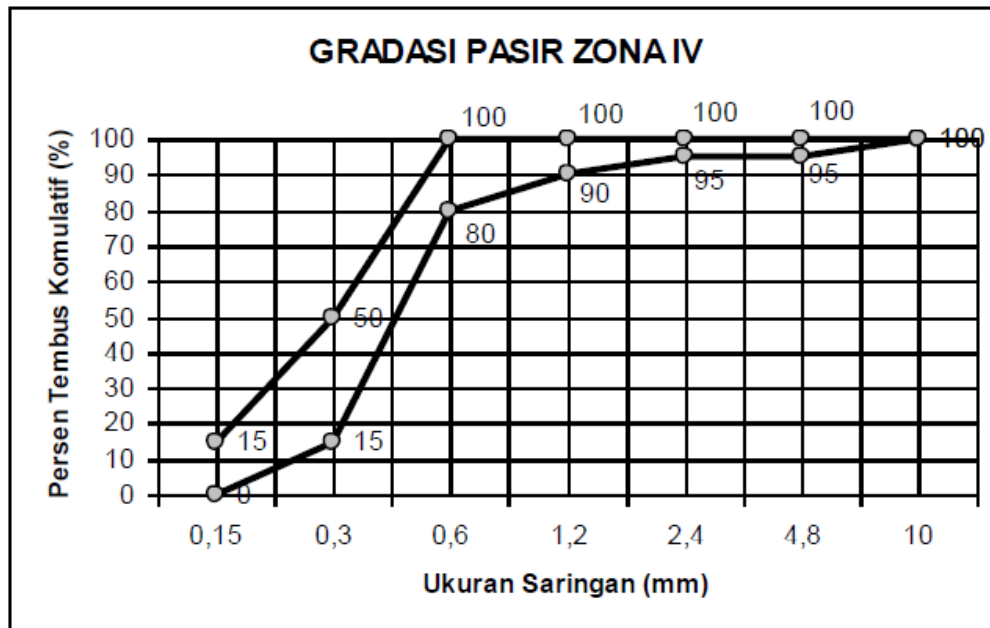
(Sumber : Tri Mulyono, 2005)

Gambar 2.2 Gradasi Pasir Zona II



(Sumber : Tri Mulyono, 2005)

Gambar 2.3 Gradasi Pasir Zona III



(Sumber: Tri Mulyono, 2005)

Gambar 2.4 Gradasi Pasir Zona IV

2). Agregat Kasar

Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976). Bentuk fisik dari agregat kasar yang bersudut. Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas yang berbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38% - 40%, dengan demikian membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan untuk mengurangi rongga ini dikombinasikan dengan butiran agregat halus yang berbentuk bulat.

Beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregat baik dan kuat. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat kasar besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona

tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. Syarat mutu agregat kasar menurut SII.0052 sebagai berikut:

- a. Modulus halus butir 6.0 sampai 7.1.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 1%.
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- d. Kekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12% dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.
- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai Na_2O lebih besar dari 0.6%.
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.
- g. Kekerasan agregat harus memenuhi syarat seperti Tabel 2.3

Kekerasan atau kekuatan dari butir-butir agregat bergantung pada bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan lainnya. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penelitian Larrard (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang Memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. seperti terlihat pada tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Syarat Mutu Kekuatan Agregat Sesuai SII.0052-80

Kelas dan mutu beton	Kekerasan dengan bejana Rudeloff, bagian hancur menembus ayakan 2 mm, persen (%) maksimum		Kekerasan dengan bejana geser Los Angelos, bagian hancur menembus ayakan 1.7 mm, % maks.
	Fraksi butir 9.5 – 19 mm	Fraksi butir 19 – 30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton kelas I dan mutu Bo dan B1	22 – 30	24 – 32	40 – 50
Beton kelas II dan mutu K.125, K.175 dan K.225	14 – 22	16 – 24	27 – 40
Beton kelas III dan mutu >K.225 atau beton pratekan.	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

(Sumber: Tri Mulyono, 2005)

Dalam membentuk suatu beton yang akan mempunyai mutu yang tinggi kualitas kekuatannya perlu menjadi perhatian, dalam hal ini ditentukan dengan suatu pengujian kuat tekan dan ketahanan akan abrasinya.

2.3 Bahan Tambah

Secara umum ada dua jenis bahan tambah yaitu bahan tambah yang berupa mineral (*additive*) dan bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*). *Admixture* adalah bahan / material selain air, semen dan agregat yang ditambahkan ke dalam beton atau mortar sebelum atau selama masa pengadukan. *Admixture* digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. Bahan tambah *admixture* ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pengecoran. Sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat pengadukan. Bahan tambah *admixture* biasanya dimaksudkan untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan atau untuk meningkatkan kinerja beton pada saat pelaksanaan. Untuk bahan tambah

additive lebih banyak bersifat penyemenan sehingga digunakan dengan tujuan perbaikan kinerja kekuatannya.

Menurut ASTM C.494, *admixture* dibedakan menjadi tujuh jenis, yaitu :

a. Tipe A : *Water Reducing Admixture* (WRA)

Bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan air pengaduk untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Dengan menggunakan jenis bahan tambah ini akan dapat dicapai tiga hal, yaitu :

- 1) Hanya menambah/meningkatkan *workability*. Dengan menambahkan WRA ke dalam beton maka dengan fas (kadar air dan semen) yang sama akan didapatkan beton dengan nilai *slump* yang lebih tinggi. Dengan *slump* yang lebih tinggi, maka beton segar akan lebih mudah dituang, diaduk dan dipadatkan. Karena jumlah semen dan air tidak dikurangi dan *workability* meningkat maka akan diperoleh kekuatan tekan beton keras yang lebih besar dibandingkan beton tanpa WRA.
- 2) Menambah kekuatan tekan beton. Dengan mengurangi/memperkecil fas (jumlah air dikurangi, jumlah semen tetap) dan menambahkan WRA pada beton segar akan diperoleh beton dengan kekuatan yang lebih tinggi. Dari beberapa hasil penelitian ternyata dengan fas yang lebih rendah tetapi *workability* tinggi maka kuat tekan beton meningkat.
- 3) Mengurangi biaya (ekonomis). Dengan menambahkan WRA dan mengurangi jumlah semen serta air, maka akan diperoleh beton yang memiliki *workability* sama dengan beton tanpa WRA dan kekuatan tekannya juga sama dengan beton tanpa WRA. Dengan demikian beton lebih ekonomis karena dengan kekuatan yang sama dibutuhkan jumlah semen yang lebih sedikit.

b. Tipe B : *Retarding Admixture*

Bahan tambah yang berfungsi untuk memperlambat proses waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan pada saat kondisi cuaca panas, memperpanjang waktu untuk pematatan, pengangkutan dan pengecoran.

c. Tipe C : *Accelerating Admixtures*

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk memperpendek waktu pengikatan semen sehingga mempercepat pencapaian kekuatan beton. Yang termasuk jenis *accelerator* adalah : kalsium klorida, bromide, karbonat dan silikat. Pada daerah-daerah yang menyebabkan korosi tinggi tidak dianjurkan menggunakan *accelerator* jenis kalsium klorida. Dosis maksimum yang dapat ditambahkan pada beton adalah sebesar 2 % dari berat semen.

d. Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus memperlambat proses pengikatan awal dan pengerasan beton.

Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, maka jumlah semen dapat dikurangi sebanding dengan jumlah air yang dikurangi. Bahan ini berbentuk cair sehingga dalam perencanaan jumlah air pengaduk beton, maka berat *admixture* ini harus ditambahkan sebagai berat air total pada beton.

e. Tipe E : *Water Reducing and Accelerating Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus mempercepat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Beton yang ditambah dengan bahan tambah jenis ini akan dihasilkan beton dengan waktu pengikatan yang cepat serta kadar air yang rendah tetapi tetap workable. Dengan menggunakan bahan ini diinginkan beton yang mempunyai kuat tekan tinggi dengan waktu pengikatan yang lebih cepat (beton mempunyai kekuatan awal yang tinggi).

f. Tipe F : *Water Reducing, High Range Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih. Dengan menambahkan bahan ini ke dalam

beton untuk mengurangi jumlah air pengaduk dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan tinggi dengan jumlah air sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan (*workability beton*) juga lebih tinggi.

Bahan tambah jenis ini berupa *superplasticizer*. Yang termasuk jenis *superplasticizer* adalah *kondensi sulfonat melamine formaldehyde* dengan kandungan *klorida* sebesar 0,005%, *sulfonat nafthalin formaldehyde*, modifikasi lignosulphonat tanpa kandungan klorida. Jenis bahan ini dapat mengurangi jumlah air pada campuran beton dan meningkatkan *slump* beton sampai 208 mm. Dosis yang dianjurkan adalah 1 % - 2 % dari berat semen.

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

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih sekaligus menghambat pengikatan dan pengerasan beton. Bahan ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan memperlambat waktu ikat beton. Digunakan apabila pekerjaan sempit karena keterbatasan sumberdaya dan ruang kerja.

Jenis bahan tambah mineral (*additive*) yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton dan lebih bersifat penyemenan. Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah *bleeding*. Untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan tambah *additive* yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan *additive* biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh. Yang termasuk jenis *additive* adalah : *pozzollan, fly ash, slag* dan *silica fume*.

2.3.1 Fly Ash

Abu terbang (*Fly Ash*) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai. Pembakaran batu bara kebanyakan digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Produk limbah dari PLTU tersebut mencapai 1 juta ton per tahun. Abu terbang juga dihasilkan oleh pabrik kertas maupun pabrik kimia. Sekitar 75% - 90% abu yang keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh sistem elektrostatis precipitator. Sisa lain didapat di dasar tungku (*bottom ash*). Mutu *Fly Ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya.

Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik. Kandungan *Fly Ash* sebagian besar dari *silikat dioksida* (SiO_2), *aluminium* (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta *magnesium*, *potasium*, *sodium*, *titanium*, dan *sulfur* dalam jumlah yang lebih sedikit.

Sebagian besar komposisi kimia dari abu terbang tergantung tipe batu bara. Menurut ASTM C618-86, terdapat dua jenis abu terbang, kelas F dan kelas C. kelas F dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit dan bituminous, sedangkan kelas C dari batu bara jenis lignite dan subbituminous. Kelas C memiliki kadar kapur tinggi. *Fly Ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3*), yaitu:

a. Kelas C

Fly Ash yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda).

1). Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%

2). Kadar CaO mencapai 10%

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

b. Kelas F

Fly Ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara.

1). Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%

2). Kadar CaO < 5%

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales, tuff* dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *Fly Ash* seperti terlihat pada tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Kandungan Kimia *Fly Ash*

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70.0	50.0
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	5.0	5.0
Kadar Air, maksimum %	3.0	3.0
Kehilangan Panas, maksimum %	6.0 ^A	6.0

^A Penggunaan sampai dengan 12% masih diizinkan jika ada perbaikan kinerja atau hasil test laboratorium menunjukkan demikian
(Sumber: ASTM C.618-95:305)

Penggunaan *Fly Ash* dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan, yaitu:

a. Pada beton segar

- 1) Kehalusan dan bentuk partikel *Fly Ash* yang bulat dapat meningkatkan *workability*,
- 2) Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.

b. Pada beton keras

- 1) Kontribusi peningkatan kuat tekan beton pada umur setelah 52 hari,
- 2) Meningkatkan durabilitas beton,
- 3) Meningkatkan kepadatan (*density*) beton,
- 4) Mengurangi terjadinya penyusutan beton.

2.4 Kuat Tekan Beton

Kekuatan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Tri Mulyono, 2005). Kekuatan tekan beton dapat mencapai 1000 kg/cm² atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200kg/cm² sampai 500kg/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 15cm x 30 cm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan (*compression testing machine*) sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm².

Menurut SNI 03-6468-2000 untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 28 hari atau 56 hari. Campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan f_c' .

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan

σ = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

2.5 Workability

Workability adalah tingkat kemudahan dilaksanakan atau dikerjakan, yang meliputi bagaimana beton itu mudah untuk dibawa dan ditempatkan di mana-mana, mudah dikerjakan, mudah dipadatkan, dan mudah untuk dilakukan finishing.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan

tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya, unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain:

- a. Jumlah air pencampur: semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
- b. Kandungan semen: jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya pun akan lebih tinggi.
- c. Gradasi campuran pasir-kerikil: Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.
- d. Bentuk butiran agregat kasar: Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- e. Butir maksimum.
- f. Cara pemadatan dan alat pemadat.

Untuk meningkatkan *workability*, dapat dilakukan dengan :

- 1) Menambah pasta semen (air + semen)
- 2) Menggunakan *well-graded* agregat.
- 3) Menggunakan *admixture*.

2.6 Faktor Air Semen

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. FAS yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah FAS kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2005).

Tujuan pengurangan FAS ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, FAS dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap beton total semen dan aditif

cementious yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998). 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 *Fly Ash* (sebagai pengganti semen). Rumus yang digunakan pada beton mutu tinggi adalah:

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

dengan

FAS	=	Faktor air semen
W	=	Rasio total berat air
c	=	Berat semen
p	=	Berat bahan tambah pengganti semen

2.7 *Slump*

Menurut SNI 03-1972-1990 *Slump* beton ialah besaran kekentalan (*viscosity*) / plastisitas dan kohesif dari beton segar. *Workability* beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan :

- a. Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*)
- b. Kelekatan adukan pasta semen (*cohesiveness*)
- c. Kemampuan alir beton segar (*Flowability*)
- d. Kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobilty*)
- e. Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*)

Slump beton segar harus dilakukan sebelum beton dituangkan dan jika terlihat indikasi plastisitas beton segar telah menurun cukup banyak, untuk melihat apakah beton segar masih layak dipakai atau tidak. Pengukuran *slump* dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam 2 peraturan standar yaitu PBI 1971 NI 2 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia) dan SNI 1972-2008 (Cara Uji *Slump* Beton).

- 1) Berdasarkan PBI 1971 N.I-2

Pengukuran *slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

- a. Kerucut Abrams : Kerucut terpancung dengan bagian atas dan bawah terbuka
 1. Diameter atas 10 cm
 2. Diameter bawah 20 cm
 3. Tinggi 30 cm
- b. Batang besi penusuk :
 1. Diameter 16 mm
 2. Panjang 60 cm
 3. Ujung dibulatkan
- c. Alas : rata, tidak menyerap air

2) SNI 1972-2008

Pengukuran *slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

- a. Kerucut Abrams :
 1. Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan bawah terbuka
 2. Diameter atas 102 mm
 3. Diameter bawah 203 mm
 4. Tinggi 305 mm
 5. Tebal plat min 1,5 mm
- b. Batang besi penusuk :
 - a) Diameter 16 mm
 - b) Panjang 60 cm
 - c) Memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16 mm
- c. Alas : datar , dalam kondisi lembab, tidak menyerap air dan kaku.



Gambar 2.5 Alat *Slump* Beton

2.8 Jumlah dan Identitas Benda Uji

Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah berbentuk silinder 15 cm x 30 cm. Sampel diuji pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari. Jumlah sampel sebanyak 48 buah seperti terlihat pada tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Rencana Campuran Beton Dengan Bahan Tambah
Fly ash

No	Kode benda uji	Umur pengujian (hari)				Jumlah sampel (buah)
		7	14	21	28	
1	BN	3	3	3	3	12
2	BF 6%	3	3	3	3	12
3	BF 8%	3	3	3	3	12
4	BF 10%	3	3	3	3	12
Total						48

dengan

- BN : Beton normal
- BF 6% : Beton dengan kadar *Fly Ash* 6% dari berat semen yang digunakan.
- BF 8% : Beton dengan kadar *Fly Ash* 8% dari berat semen yang digunakan.
- BF 10% : Beton dengan kadar *Fly Ash* 10% dari berat semen yang digunakan.

2.9 Perawatan (*Curing*)

Curing secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses finishing beton selesai dan waktu total setting tercapai. Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat (PB, 1989:29).

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Perawatan beton ini dapat dilakukan dengan pembasahan atau penguapan (*steam*) serta dengan menggunakan membran. Pemilihan cara mana yang digunakan semata-mata mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan.

2.9.1 Perawatan yang di percepat

Perawatan dengan uap bertekanan tinggi, uap bertekanan atmosferik, pemanasan dan pelembaban atau proses lain yang dapat diterima, boleh digunakan untuk mencapai kekuatan tekan dan mengurangi waktu perawatan. Perawatan ini harus mampu menghasilkan kekuatan tekan sesuai dengan rencana, dan prosesnya harus mampu menghasilkan beton yang tegar.

Untuk cuaca yang panas perlu diperhatikan bahan-bahan penyusunnya, cara produksi, penanganan dan pengangkutan, penuangan, perlindungan dan perawatan untuk mencegah suhu beton atau penguapan air yang berlebihan sehingga dapat mengurangi kekuatannya dan mempengaruhi kekuatan struktur.

2.9.2 Perawatan dengan pembasahan

Pembasahan dilakukan di laboratorium ataupun dilapangan. Pekerjaan perawatan dengan pembasahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

- a. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab
- b. Menaruh beton segar dalam genangan air
- c. Menaruh beton segar dalam air
- d. Menyelimuti permukaan beton dengan air
- e. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
- f. Menyirami permukaan beton dengan kontinyu
- g. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*

Cara a, b, dan c dilakukan untuk contoh uji. Cara d, e, dan f digunakan untuk beton dilapangan yang permukaannya mendatar, sedangkan cara f dan g dilakukan untuk yang permukaannya vertikal. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari:

- a. Kehilangan air-semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- b. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama
- c. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

2.9.3 Perawatan dengan penguapan

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan tekanan rendah berlangsung selama 10-12 jam pada suhu 40°-55° C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10-16 jam pada suhu 65°-95° C, dengan suhu akhir 40°-55° C. Sebelum perawatan dengan penguapan dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10°-30° C selama beberapa jam.

Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembasahan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

2.9.4 Perawatan dengan membran

Membran yang digunakan untuk perawatan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Bahan yang digunakan harus kering dalam waktu 4 jam (sesuai *final setting time*), dan membentuk selembar film yang kontinyu, melekat dan tidak bergabung, tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan beton.

Lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air dapat digunakan dengan sangat efisien. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*). Cara ini harus dilaksanakan sesegera mungkin setelah waktu pengikatan beton. Perawatan dengan cara ini dapat juga dilakukan setelah atau sebelum perawatan dengan pembasahan.

2.9.5 Perawatan lainnya

Perawatan pada beton lainnya yang dapat dilakukan adalah perawatan dengan menggunakan sinar inframerah, yaitu dengan melakukan penyinaran selama 2-4 jam pada suhu 90° C. Hal tersebut dilakukan untuk mempercepat penguapan air pada beton mutu tinggi. Selain itu ada pula perawatan hidrotermal (dengan memanaskan cetakan untuk beton-beton pracetak selama 4 jam pada suhu 65° C) dan perawatan dengan karbonasi.

Metode yang digunakan yaitu *water curing* (perawatan basah): direndam dalam bak perendaman berdasarkan SNI 03-2493-1991, Metoda Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium.

2.10 Perencanaan Campuran Beton

Tata cara perencanaan beton kekuatan tinggi dengan semen dan abu terbang 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. Metode perhitungan yang digunakan adalah SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03).

2.10.1 Persyaratan kinerja

a. Umur Uji

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

b. 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 (f_c').

Produsen 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 hubungan berikut:

$$f_{cr}' = f_c' + (1,34.s) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$f_{cr}' = (0,90.f_c') + (2,33.s) \dots \dots \dots (2.4)$$

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:

$$f_{cr}' = \frac{(f_c' + 9,66) \text{ Mpa}}{0,90} \dots \dots \dots (2.5)$$

c. Persyaratan Lain

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

1. Modulus Elastisitas.
2. Kuat Tekan dan Kuat Lentur.
3. Panas Hidrasi.
4. Rangkak dan Susut akibat pengeringan.
5. Permeabilitas.
6. Waktu Pengikatan.
7. Metode Pengecoran.
8. Kelecekan.

2.10.2 Faktor-faktor yang menentukan

a. Pemilihan Bahan

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

b. 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 (PC) Gresik.

c. Abu Terbang

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.

d. Air

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

e. 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.

f. 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.

g. 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.

h. Kelecakan

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

i. *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.

j. 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.

k. 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.

l. Cetakan

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

m. Mesin uji

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Kekakuan Lateral Minimum 17874 kg/cm.
- 2) Kekakuan Longitudinal Minimum 178740 kg/cm.

2.10.3 Prosedur proporsi campuran beton kekuatan tinggi

Perancangan proporsi campuran harus mengikuti prosedur sebagai berikut:

a. Tentukan *slump* dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan.

Slump untuk beton kekuatan tinggi tanpa *superplasticizer* dapat diambil sebesar 50-100 mm disesuaikan dengan kondisi pembetonan. *Slump* awal untuk beton kekuatan tinggi dengan *superplasticizer* dapat diambil sebesar 25-50 mm, kemudian sebelum dilaksanakan pengecoran di lapangan ditambah dengan *superplasticizer* sampai *slump* yang disyaratkan tercapai. Kuat tekan rata yang ditargetkan untuk proporsi campuran yang dirancang berdasarkan pengalaman di lapangan, diambil yang lebih besar dari pada persamaan (2.3) atau (2.4), sedangkan untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba laboratorium diambil sesuai persamaan (2.5) pada butir 3.11.1.2

b. Ukuran agregat kasar

Untuk agregat tekan rata-rata <62,1 MPa digunakan ukuran agregat maksimum 20-25 mm. Untuk kuat tekan rata-rata >62,1 MPa digunakan ukuran agregat maksimum 10-15 mm. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai SNI 03-2947-1992, yaitu:

- 1) 1/5 lebar minimum acuan.
- 2) 1/3 tebal pelat beton.
- 3) 3/4 jarak bersih minimum antar batang tulangan, kabel prategang.

c. Kadar agregat kasar optimum

Kadar agregat kasar optimum digunakan bersama-sama dengan agregat halus yang mempunyai nilai modulus kehalusan antara 2,5-3,2. Berat agregat kasar padat kering oven per m³ beton adalah besarnya fraksi volume padat kering oven dikalikan dengan berat isi padat kering oven (kg/m³).

Besarnya fraksi volume agregat padat kering oven yang disarankan berdasarkan besarnya ukuran agregat maksimum, seperti terlihat pada tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2.6 Fraksi Volume Agregat Kasar Yang Disarankan

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi Volume Padat Kering Oven	0,65	0,68	0,72	0,75

(Sumber: SNI 03-6468-2000)

d. Estimasi kadar air dan kadar udara

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar diberikan pada Tabel 2.7. Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus berpengaruh pada kadar rongga udara pasir, karena itu kadar rongga udara yang aktual dan kadar air harus dikoreksi dengan hubungan (2.5) dan (2.6).

$$\text{Kadar Rongga Udara (V)} = \left(1 - \left(\frac{X}{Y}\right)\right) \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan

X = Berat isi padat kering oven

Y = Berat jenis relatif kering

$$\text{Koreksi Kadar Air, liter/m}^3 = (V-35) \times 4,75 \dots \dots \dots (2.7)$$

Penggunaan persamaan (2.7) mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m³ untuk setiap persen (%) penyimpangan kadar udara dari 35%.

Tabel 2.7 Estimasi Pertama Kebutuhan Air Pencampuran Dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir Dengan 35% Rongga Udara

Air Pencampur (Liter/m ³)					Keterangan
Slump (mm)	Ukuran agregat kasar maksimum (mm)				
	10	15	20	25	
25-50	184	175	169	166	
50-75	190	184	175	172	
75-100	196	190	181	178	
Kadar Udara	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa <i>Superplasticizer</i>

(Sumber: SNI 03-6468-2000)

Catatan:

- 1) Kebutuhan air pencampuran pada tabel di atas adalah untuk beton kekuatan tinggi sebelum diberi *superplasticizer*.
- 2) Nilai kebutuhan air di atas merupakan nilai-nilai maksimum jika agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan bentuk butiran yang baik, permukaannya bersih, dan bergradasi baik sesuai ASTM C 33.
- 3) Nilai-nilai harus dikoreksi jika rongga udara pasir bukan 35%, dengan menggunakan persamaan (2.7).

e. Tentukan rasio air dengan bahan bersifat semen ($W/(c + p)$)

Rasio ($W/(c + p)$) seperti terlihat pada tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.8 Rasio ($W/(c + p)$) Maksimum Yang Disarankan

Kekuatan Lapangan f_{cr} (MPa)		$(W/(c + p))$			
		Ukuran agregat kasar maksimum (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55,2	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62,1	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,32	0,30
69,0	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Catatan : $f_{cr}' = f_c' + 9,66$ (MPa)

f. Tentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen per m^3 beton dapat ditentukan dengan membagi kadar air dengan $(c + p)$. Bila kadar bahan bersifat semen yang dibutuhkan lebih dari $594 \text{ kg}/m^3$, proporsi campuran beton disarankan dibuat dengan menggunakan bahan bersifat semen alternatif atau metode perancangan proporsi beton lain.

g. Proporsi campuran dasar tanpa bahan bersifat semen lainnya

Salah satu campuran harus dibuat hanya dengan semen portland saja sebagai campuran dasar.

Penentuan proporsi campuran dasar harus menggunakan persyaratan berikut:

- 1) Kadar Semen untuk campuran dasar, karena semen portland merupakan satu-satunya bahan bersifat semen yang digunakan, maka kadar semen portland sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).
- 2) Kadar Pasir, sesudah ditentukan kadar agregat kasar, kadar air, kadar udara dan kadar semen, maka pasir untuk membuat 1 m^3 campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan Metode Volume Absolut.

h. Proporsi varian campuran dengan abu terbang

Penentuan proporsi varian campuran harus mengikuti persyaratan berikut:

- 1) Tipe Abu terbang (*Fly Ash*) harus sesuai dengan Pd M-09-1997-03.
- 2) Kadar Abu Terbang sebagai pengganti sebagian semen portland.
 - Abu terbang kelas F 15-25% berat semen portland.
 - Abu terbang kelas C 20-35% berat semen portland.
- 3) Berat Abu Terbang, setelah persentase penggantian semen portland ditentukan, berat abu terbang yang akan digunakan untuk setiap varian campuran coba dapat dihitung dengan mengalikan berat bahan semen total dari prosedur (6) dengan persentase penggantian yang telah ditentukan. Karena itu untuk setiap varian campuran berat abu terbang ditambah berat semen tetap sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).

- 4) Volume abu terbang, adalah volume total bahan bersifat semen dikurangi volume semen portland.
- 5) Kadar pasir, ditentukan dengan metode volume absolut adalah 1 m^3 dikurangi volume per m^3 beton dari semen portland, abu terbang, agregat kasar, air dan rongga udara.

i. Campuran coba

Dari setiap proporsi campuran harus dibuat campuran coba untuk pemeriksaan karakteristik kelecakan dan kekuatan beton dari proporsi tersebut. Berat pasir, berat agregat kasar dan volume air harus dikoreksi sesuai kondisi kebasahan agregat saat itu. Setelah pengadukan, setiap adukan harus menghasilkan campuran yang merata dalam volume yang cukup untuk pembuatan sejumlah benda uji.

j. Penyesuaian proporsi campuran coba

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 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.

3) Kadar udara

Bila kadar udara hasil pengukuran berbeda jauh dari yang diperkirakan pada prosedur (4), jumlah *superplasticizer* harus direduksi atau kadar pasir dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan.

4) Rasio $(W/(c+p))$

Bila kuat tekan yang ditargetkan tidak dapat dicapai dengan menggunakan $(W/(c+p))$ yang ditentukan pada tabel 2.6 atau 2.7, campuran coba ekstra dengan perbandingan $(W/(c+p))$ yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

k. Penentuan proporsi campuran yang 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.