

4-156  
173

SNI 03-6468-2000

**SNI**

Standar Nasional Indonesia

---

**TATA CARA**

**PERENCANAAN CAMPURAN TINGGI DENGAN  
SEMEN PORTLAND DENGAN ABUTERBANG**

ICS.

Badan Standardisasi Nasional

***BSN***

## DAFTAR ISI

Daftar Isi .....	i
1. Ruang Lingkup .....	1
2. Acuan .....	1
3. Persyaratan Kinerja .....	1
4. Faktor-faktor yang Menentukan .....	2
5. Proporsi Campuran Beton Kekuatan Tinggi .....	4
Lampiran A : Lain-Lain .....	8
Lampiran B : Daftar Nama Dan Lembaga .....	16

## 1 Ruang Lingkup

Tata cara perencanaan campuran beton kekuatan tinggi dengan semen portland dan abu terbang ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dan untuk mengoptimasi proporsi campuran tersebut berdasarkan campuran coba.

Tata cara ini hanya berlaku untuk beton kekuatan tinggi yang diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional. Penggunaan *silica fume* dan terak logam (besi, baja, nikel) halus tidak termasuk dalam lingkup standar ini.

Beton kekuatan tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan :  $f_c' \geq 41,4$  MPa

## 2. Acuan

ACI : 211.4R-93 : Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete With Portland Cement and Fly Ash.

## 3. Persyaratan Kinerja

### 3.1 Umur Uji

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

### 3.2 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  $f_c'$ .

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 pada dua persamaan berikut :

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

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

keterangan :

$f_{cr}'$  adalah kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

$f_c'$  adalah kuat tekan rata-rata yang disyaratkan

s adalah deviasi standar

Dalam hal 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 :

$$f_{cr}' = \frac{f_c' + 9,66 \text{ MPa}}{0,90} \dots\dots\dots 3)$$

### 3.3 Persyaratan lain

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

1) Modulus Elastisitas.

2) Kuat Tarik dan Kuat Lentur.

- 3) Panas Hidrasi.
- 4) Rangkak dan Susut akibat pengeringan.
- 5) Keawetan Beton.
- 6) Permeabilitas.
- 7) Waktu Pengikatan.
- 8) Metode Pengecoran.
- 9) Kelecekan.

#### 4. **Faktor-Faktor Yang Menentukan**

##### 4.1 **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.

Pemasok beton kekuatan tinggi harus menerapkan program keseragaman mutu dan uji penerimaan bahan yang digunakan untuk memproduksi beton kekuatan tinggi.

##### 4.1.1 **Semen Portland**

Semen portland harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland.

##### 4.1.2 **Abu Terbang**

Abu terbang 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.

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

##### 4.1.4 **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.

##### 4.1.5 **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.

#### 4.1.6 *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).

#### 4.2 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 ~ 0,50.

#### 4.3 Keleccakan

##### 4.3.1 Pendahuluan

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

##### 4.3.2 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.

#### 4.4 Pengukuran Kekuatan

##### 4.4.1 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.

##### 4.4.2 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 (150x300) mm tidak boleh dipertukarkan dengan silinder (100x200) mm.

##### 4.4.3 Cetakan

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

##### 4.4.4 Kaping Benda Uji

Benda uji harus dikaping dengan bahan kaping sesuai dengan kekuatan beton yang diuji. Tebal lapisan kaping harus setipis mungkin yaitu 1,5 ~ 3 mm.

Untuk beton dengan kekuatan > 69 MPa lebih baik jika permukaan beton diratakan dengan cara digerinda.

##### 4.4.5 Mesin Uji

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Kekakuan Lateral Minimum 17874 kg/cm.

b. Kekakuan Longitudinal Minimum 178740 kg/cm

## 5. Proporsi Campuran Beton Kekuatan Tinggi

### 5.1 Prosedur Perancangan Proporsi Campuran

Perancangan proporsi campuran harus mengikuti prosedur sebagai berikut :

1) Tentukan slump dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan

Slump untuk beton kekuatan tinggi tanpa *superplasticizer* dapat diambil sebesar 50 ~ 100 mm disesuaikan dengan kondisi pembebanan.

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-rata yang ditargetkan untuk proporsi campuran yang dirancang berdasarkan pengalaman di lapangan, diambil yang lebih besar dari pada persamaan (1) atau (2), sedangkan untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba di laboratorium diambil sesuai persamaan (3) pada butir 3.2.

2) Ukuran Agregat kasar

Untuk kuat 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 :

a. 1/5 lebar minimum acuan ;

b. 1/3 tebal pelat beton ; atau

c. 3/4 jarak bersih minimum antar batang tulangan, bundel tulangan, atau kabel prategang.

3) 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 m<sup>3</sup> beton adalah besarnya fraksi volume padat kering oven dikalikan dengan berat isi padat kering oven (kg/m<sup>3</sup>).

Besarnya fraksi volume agregat padat kering oven yang disarankan berdasarkan besarnya ukuran agregat maksimum, tercantum dalam tabel 1.

**Tabel 1 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

4) Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar diberikan pada Tabel 2.

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 persamaan (4) dan (5)

$$\text{Kadar Rongga Udara, } V = \frac{[ 1 - \text{Berat isi padat kering oven} ]}{\text{Berat jenis relatif (kering)}} \times 100 \dots 4)$$

$$\text{Koreksi Kadar Air, liter/m}^3 = [ V - 35 ] \times 4,75 \dots\dots\dots 5)$$

Penggunaan pers. (5) mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m<sup>3</sup> untuk setiap % penyimpangan kadar udara dari 35%.

**Tabel 2. Estimasi Pertama Kebutuhan Air Pencampuran dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan pasir dengan 35% Rongga Udara**

Air Pencampur (Liter/m <sup>3</sup> )					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>
	2,5	2,0	1,5	1,0	Dengan <i>Superplasticizer</i>

Catatan :

- Kebutuhan air pencampuran pada tabel di atas adalah untuk beton kekuatan tinggi sebelum diberi *superplasticizer*.
- 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.
- Nilai-nilai harus dikoreksi jika rongga udara pasir bukan 35%, dengan menggunakan persamaan (5).

5) Tentukan Rasio Air dengan Bahan bersifat Semen  $W/(c + p)$   
Rasio  $W/(c + p)$  untuk beton tanpa *superplasticizer* dihitung dengan Tabel 3 dan untuk beton dengan *superplasticizer* dihitung dengan Tabel 4.

**Tabel 3 Rasio  $W/(c + p)$  Maksimum yang disarankan ( tanpa SUPERPLASTICIZER )**

Kkekuatan Lapangan $f_{cr}'$ (MPa)		$W/(c + p)$			
		Ukuran Agregat 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

$$f_{cr}' = f_c' + 9,66 \text{ (MPa)}$$

**Tabel 4 Rasio W/( c + p ) Maksimum yang disarankan  
( dengan SUPERPLASTICIZER )**

Kekuatan Lapangan $f_{cr}'$ (MPa)		W/( c + p )			
		Ukuran Agregat Maksimum ( mm )			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69,0	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,8	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

$$f_{cr}' = f_c' + 9,66 \text{ (MPa)}$$

6) 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 yang lain.

7) 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 :

- a. **Kadar Semen** untuk campuran dasar; karena semen portland merupakan satu-satunya bahan bersifat semen yang digunakan, maka kadar sermen portland sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).
- b. **Kadar Pasir**; sesudah ditentukan Kadar Agregat Kasar, Kadar Air, Kadar Udara, dan Kadar Semen, maka Kadar Pasir untuk membuat  $1 \text{ m}^3$  campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan Metode Volume Absolut.

8) Proporsi Varian Campuran dengan Abu Terbang

Penentuan proporsi varian campuran harus mengikuti persyaratan berikut :

- a. **Tipe Abu Terbang** harus sesuai dengan Pd M-09-1997-03
- b. **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.
- c. **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 portland tetap sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur 6).

- d. **Volume Abu Terbang.** Volume Abu Terbang adalah volume total bahan bersifat semen dikurangi volume semen portland.
- e. **Kadar Pasir.** Kadar pasir ditentukan dengan metode volume absolut adalah 1 m<sup>3</sup> dikurangi volume per m<sup>3</sup> beton dari semen portland, abu terbang, agregat kasar, air dan rongga udara.

9) 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.

10) 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.

a. **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.

b. **Kadar Superplasticizer**

Bila digunakan bahan *superplasticizer* maka kadarnya harus divariasikan pada suatu rentang yang cukup besar untuk mengetahui efek yang timbul pada kelecakan dan kekuatan beton.

c. **Kadar Agregat Kasar**

Setelah campuran coba dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan, harus dilihat apakah campuran menjadi terlalu kasar untuk pengecoran atau untuk di "*finishing*".

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.

d. **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.

e. **Rasio  $W/(c + p)$**

Bila kuat tekan yang ditargetkan tidak dapat dicapai dengan menggunakan  $W/(c + p)$  yang ditentukan pada tabel 3 atau 4, campuran coba ekstra dengan perbandingan  $W/(c + p)$  yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

Bila Kuat Tekan beton tetap tidak meningkat, maka bahan yang digunakan harus ditinjau kembali mutunya.

#### 11) Penentuan Proporsi Campuran yang Optimum

Setelah campuran coba yang dikoreksi menghasilkan kelecakan dan kekuatan yang diinginkan, benda-henda 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 dievaluasi untuk menentukan proporsi campuran optimum yang akan digunakan berdasarkan dua pertimbangan utama yaitu kekuatan beton dan biaya produksi.

### Lampiran A

#### A.1 Pendahuluan

Beton kekuatan tinggi akan digunakan. untuk kolom tingkat 1, 2, dan 3 dari suatu bangunan bertingkat banyak. Kuat Tekan yang disyaratkan  $f_c'$  62,1 MPa pada umur 28 hari, ukuran maksimum agregat dibatasi 20 mm.

Pasir yang digunakan pasir alam, dengan karakteristik sebagai berikut : modulus kehalusan 2,90 ; berat jenis relatif (kering oven) 2,59 ; kapasitas absorpsi 1,1% ; berat isi padat kering oven 1651 kg/m<sup>3</sup>.

Bahan tambahan pelambat pengikatan dan *superplasticizer*. Semen portland Tipe 1 dengan berat jenis relatif 3,15.

Abu Terbang kelas C dengan berat jenis relatif 2,64.

#### A.2 Perhitungan Proporsi Campuran

##### 1) Menentukan slump dan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

Slump awal sesudah penambahan pelambat pengikatan dan sebelum *superplasticizer*, direncanakan sebesar 25 ~ 50 mm. Proporsi campuran akan dibuat berdasarkan campuran coba di laboratorium. Persamaan (3) digunakan untuk menentukan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f_{cr}'$  :

$$f_{cr}' = \frac{(62,1 + 9,66)}{0,90} = 79,73 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

##### 2) Menentukan ukuran Agregat Kasar Maksimum

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan 79,73 MPa > 62,1 MPa, maka digunakan agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 15 mm.

Sifat-sifat batu pecah yang digunakan sebagai berikut :

Berat jenis relatif (kering oven) = 2,76 ; kapasitas absorpsi = 0,7%, berat isi padat kering oven = 1619 kg/m<sup>3</sup> . Agregat kasar memenuhi daerah gradasi No. 7 pada ASTM C 33.

**3) Menentukan Kadar Agregat Kasar Optimum**

Karena ukuran agregat kasar maksimum 15 mm, maka dari Tabel 1., fraksi volume agregat kasar optimum = 0,68.

Kadar agregat kasar padat kering oven =  $0,68 \times 1619 = 1101 \text{ kg/m}^3$ .

**4) Estimasi Kadar Air Pencampur dan Kadar Udara**

Berdasarkan slump awal sebesar 25 ~ 50 mm dan ukuran agregat kasar maksimum 15 mm, dari Tabel 2. didapat estimasi pertama kebutuhan air =  $175 \text{ liter/m}^3$  dan kadar udara untuk beton kekuatan tinggi dengan *superplasticizer* = 2,0 %.

Kadar Rongga Udara dihitung dengan persamaan (4) :

$$V = \left( 1 - \frac{1651}{2,59 \times 1000} \right) \times 100 \% = 36,25 \%$$

Koreksi kadar air dihitung dengan persamaan (5) :  
 $( 36,25 - 35 ) \times 4,75 = 5,94 \text{ liter/m}^3$

Maka kebutuhan air total =  $175 + 5,94 = 180,94 \text{ liter/m}^3$ .

Di dalam nilai ini sudah termasuk air yang terkandung di dalam bahan pelambat pengikatan, tetapi belum termasuk air yang terkandung di dalam *superplasticizer* cair.

**5) Penentuan Rasio W/(c + p)**

Lihat Tabel 4. untuk beton kekuatan tinggi dengan *superplasticizer* dan ukuran agregat maksimum 15 mm. Lihat penjelasan persamaan (3). Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan untuk kondisi laboratorium pada umur 28 hari :

$f_{cr}' = 79,73 \text{ MPa}$ , maka kekuatan lapangan  $f_{cr}' = 0,90 \times 79,73 = 71,76 \text{ MPa}$ .

Setelah diinterpolasi, maka nilai Rasio  $W/(c + p) = 0,308$ .

**6) Menghitung Kadar Bahan bersifat Semen**

Kadar bahan bersifat semen :  $( c + p ) = 180,94 : 0,308 = 587,47 \approx 587,5 \text{ kg/m}^3$  beton. Pada ketentuan tidak dipersyaratkan nilai kadar minimum bahan bersifat semen, maka kadar bahan bersifat semen yang digunakan  $587,5 \text{ kg/m}^3$  beton.

**7) Proporsi Campuran Dasar dengan semen portland saja**

Volume semua bahan kecuali pasir per m<sup>3</sup> campuran beton adalah sebagai berikut:

Semen portland	=	587,5	:	3,15	=	186,51	liter
Agregat Kasar	=	1101	:	2,76	=	398,91	liter
Air (+ pelambat)	=	180,94			=	180,94	liter
Kadar Udara	=	0,02	x	1000,00	=	20,00	liter
Sub Total					=	786,36	liter

Maka kebutuhan volume pasir per m<sup>3</sup> beton = 1000 – 786,36 = 213,64 liter.  
 Dikonversi menjadi berat pasir kering oven = 0,21364 x 2,59 x 1000 = 553,3 kg  
 Proporsi Campuran Dasar : (berat kering)

Air ( + pelambat )	=	181 kg
Semen portland	=	588 kg
Agregat Kasar	=	1101 kg (kering oven)
Pasir	=	553 kg (kering oven)

**8) Proporsi Varian Campuran dengan Abu Terbang**

1. Abu terbang yang digunakan sesuai dengan Pd M-09-1997-03 yang terkait, termasuk Kelas C dengan berat jenis relatif 2,64.
2. Persentase penggantian kadar semen portland dengan abu terbang kelas C yang disarankan adalah 20 ~ 35%. Karena itu dapat dibuat 4 (empat) varian campuran coba dengan kadar abu terbang 20%, 25%, 30% dan 35% dari kadar semen portland pada campuran dasar.
3. Bahan bersifat semen untuk keempat macam varian campuran :

Campuran # 1	:	470,40	kg p.c	+	117,60	kg abu terbang	=	588 kg
Campuran # 2	:	441,00	kg p.c	+	147,00	kg abu terbang	=	588 kg
Campuran # 3	:	411,60	kg p.c	+	176,40	kg abu terbang	=	588 kg
Campuran # 4	:	382,20	kg p.c	+	205,80	kg abu terbang	=	588 kg

4. Volume bahan bersifat semen untuk keempat macam varian campuran :

Campuran # 1	:	149,33	l p.c	+	44,55	l abu terbang	=	193,88 l
Campuran # 2	:	140,00	l p.c	+	55,68	l abu terbang	=	195,68 l
Campuran # 3	:	130,67	l p.c	+	66,82	l abu terbang	=	197,49 l
Campuran # 4	:	121,33	l p.c	+	77,95	l abu terbang	=	199,28 l

5. Untuk semua varian campuran per m<sup>3</sup>, volume air, agregat kasar, dan udara, tetap sama dengan campuran dasar. Yang berubah adalah volume total bahan bersifat semen. Karena itu, volume pasir untuk campuran # 1 sampai dengan # 4 perlu dikoreksi.

**Untuk campuran # 1 :**

Air ( + pelambat )	=	181,00 liter
Bahan semen	=	193,88 liter
Agregat Kasar	=	398,91 liter
Kadar Udara	=	20,00 liter
Sub Total	=	<u>793,79 liter</u>

Maka kebutuhan volume pasir per m<sup>3</sup> beton = 1000 – 793,79 = 206,21 liter  
 Berat pasir kering oven = 0,20621 x 2,59 x 1000 kg = 534,08 kg ≈ 534 kg.  
 Dengan cara yang sama, ditentukan proporsi campuran # 2, # 3, dan # 4 (dalam berat).

Maka :

**Proporsi campuran # 1 : ( berat kering )**

Air ( + pelambat )	=	181,00	kg
Semen portland	=	470,40	kg
Abu Terbang	=	117,60	kg
Agregat Kasar	=	1101,00	kg ( kering oven )
Pasir	=	534,00	kg ( kering oven )

Varian campuran # 2, # 3, dan # 4 dihitung dengan cara yang sama.

**Proporsi per m<sup>3</sup> campuran ( berat kering ) :**

Tipe Campuran	Dasar	# 1	# 2	# 3	# 4
Air ( + pelambat ) [kg]	181,00	181,00	181,00	181,00	181,00
Semen [kg]	588,00	470,40	441,00	411,60	382,20
Abu Terbang [kg]	-	117,60	147,00	176,40	205,80
Agregat Kasar [kg]	1101,00	1101,00	1101,00	1101,00	1101,00
Pasir [kg]	553,00	534,00	529,00	525,00	520,00

Banyaknya pengalaman dalam menggunakan bahan campuran tambahan akan membantu koreksi jumlah bahan tambahan yang dapat digunakan agar biaya produksi beton lebih ekonomis.

**9) Campuran Coba**

Dibuat lima macam campuran coba sesuai proporsi campuran dasar dan empat varian campuran, yang harus disesuaikan dengan kondisi kebasahan agregat yang aktual. Kadar air pasir 6,4% dan kadar air agregat kasar. 0,5%, diukur terhadap berat kering oven. Penimbangan bahan, berat agregat kasar, pasir dan air harus dikoreksi.

**Untuk Campuran Dasar :**

Agregat Kasar (basah)	=	1101 x ( 1 + 0,005)	=	1106,5 kg
Pasir (basah)	=	553 x ( 1 + 0,064 )	=	588,4 kg
Air	=	181,0 - 0,005 x 1101 - 0,064 x 553	=	140,1 kg

**Proporsi Campuran Dasar :**

Air ( + pelambat )	=	140,1	kg
Semen portland	=	588,4	kg
Agregat Kasar	=	1106,5	kg (Kadar Air 0,5 %)
Pasir	=	588,4	kg (Kadar Air 6,4 %)

Dengan cara sama, proporsi varian campuran # 1, # 2, # 3, dan # 4 dikoreksi. Maka,

**Proporsi per m<sup>3</sup> campuran (sesuai Kondisi Kebasahan Agregat) :**

Tipe Campuran	Dasar	# 1	# 2	# 3	# 4
Air ( + pelambat ) [kg]	140,10	141,30	141,60	141,90	142,20
Semen [kg]	588,00	470,40	441,00	411,60	382,20
Abu Terbang [kg]	-	117,60	147,00	176,40	205,80
Agregat Kasar [kg]	1106,50	1106,50	1106,50	1106,50	1106,50
Pasir [kg]	588,40	568,20	562,90	558,60	553,30

**Proporsi untuk per Campuran Coba (0,085 m<sup>3</sup>) :**

Tipe Campuran	Dasar	# 1	# 2	# 3	# 4
Air ( + pelambat ) [kg]	11,91	12,01	12,04	12,06	12,09
Semen [kg]	49,98	39,98	37,49	34,99	32,49
Abu Terbang [kg]	-	10,00	12,50	14,99	17,49
Agregat Kasar [kg]	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05
Pasir [kg]	50,01	48,30	47,85	47,48	47,03

**10) Penyesuaian Proporsi Campuran Coba**

Untuk setiap campuran coba, proporsi jika perlu masih harus dikoreksi lagi untuk mendapatkan slump dan kelecakan yang direncanakan, baik sebelum maupun sesudah penambahan *superplasticizer*.

Untuk varian campuran # 1, # 2, dan #3 dianggap tidak perlu dikoreksi, sedangkan untuk campuran dasar dan varian campuran # 4 dilakukan koreksi secara rinci.

**1. Campuran dasar**

- a) Kadar Air yang dibutuhkan untuk menghasilkan slump 25 ~ 50 mm adalah 12,46 liter (termasuk bahan pelambat pengikatan). Karena itu, proporsi menjadi :

Air ( + pelambat )	=	12,46	kg
Semen portland	=	49,98	kg
Abu Terbang	=	0	kg
Agregat Kasar	=	94,05	kg (Kadar Air 0,5 %)
Pasir	=	50,01	kg (Kadar Air 6,4 %)

Total volume yang direncanakan 0,085 m<sup>3</sup>, tetapi yang terjadi :  
 $0,085 + (12,46 - 11,91)/1000 = 0,08555 \text{ m}^3$

Karena proporsi untuk 0,08555 m<sup>3</sup> (kondisi aktual) telah diketahui, maka proporsi untuk 1 m<sup>3</sup> (kondisi aktual) dapat dihitung.

Setelah dikonversikan menjadi proporsi untuk 1 m<sup>3</sup> (berat kering), didapat :

Air ( + pelambat )	=	186,3	kg
Semen portland	=	584,2	kg
Abu Terbang	=	0	kg
Agregat Kasar	=	1093,9	kg
Pasir	=	549,4	kg

Rasio W/(c + p) baru =  $186,3 : 584,2 = 0,319 > 0,308$  (dari nomor 5)

Karena rasio W/(c + p) harus dijaga konstan sebesar 0.308, maka kadar total semen portland harus ditambah, menjadi :

Semen Portland =  $186,3 : 0,308 = 604,9 \text{ kg/m}^3 \approx 192,03 \text{ liter/m}^3$ .

Penambahan volume semen portland =  $192,03 - 186,67 = 5,36 \text{ liter}$ .

Penambahan volume semen portland harus diimbangi dengan pengurangan volume pasir, juga sebesar 5,36 liter/m<sup>3</sup>, yaitu sebesar :  $0,00536 \times 2,59 \times 1000 = 13,88 \approx 13,9 \text{ kg/m}^3$  (berat kering). Maka, proporsi untuk 1 m<sup>3</sup> campuran dasar setelah dikoreksi (berat kering) :

Air ( + pelambat )	=	186,3	Kg
Semen portland	=	604,9	Kg
Abu Terbang	=	0	Kg
Agregat Kasar	=	1093,9	Kg
Pasir	=	535,5	Kg

- b) Untuk pengecoran kolom yang tulangnya rapat, diinginkan beton alir dengan slump minimal 225 mm. Jumlah *superplasticizer* cair dengan berat jenis 1,20 yang dianjurkan oleh pabrik pembuatnya antara 0,8 ~ 2,0 % berat bahan semen. Di laboratorium yang suhunya  $\pm 20$  °C, ternyata penambahan *superplasticizer* pada campuran di atas dengan kadar 1,0 cc/kg portland semen menghasilkan slump 150 mm, 1,5 cc/kg portland semen menghasilkan slump 250 mm, dan 2,0 cc/kg portland semen menyebabkan terjadinya segregasi pada beton segar. Maka, ditentukan kadar *superplasticizer* 1,5 cc/kg portland semen dan penambahan ke dalam campuran adalah 15 menit setelah awal pengadukan.
- c) Campuran beton dengan slump 250 mm dinilai kelecakannya baik untuk dicorkan, karena itu kadar agregat kasar tidak perlu dikoreksi.
- d) Kadar udara berdasarkan hasil pengukuran pada campuran dengan bahan *superplasticizer* adalah 1,8 %, karena itu tidak diperlukan koreksi lagi karena perbedaannya dengan nilai yang diestimasi (2,0 %) dapat diabaikan.
- e) Perhatikan bahwa penambahan *superplasticizer* dapat mengakibatkan volume air bertambah dan perbandingan W/(c + p) meningkat, sehingga kadar semen perlu dikoreksi lagi. Demikian juga akibat penambahan volume bahan *superplasticizer*. Tetapi, pada penggunaan *superplasticizer* dengan kadar normal koreksi ini kecil pengaruhnya sehingga pada contoh ini diabaikan.
- f) Kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari yang diperoleh dari benda-benda uji yang dibuat dengan campuran dasar  $\approx 85$  MPa  $> 79,73$  MPa (memenuhi syarat)

## 2. Varian Campuran # 4

- a) Kadar air yang dibutuhkan untuk menghasilkan slump 25 ~ 50 mm adalah 11,46 liter (termasuk pelambat pengikatan). Karena itu, proporsi (aktual) menjadi :

Air ( + pelambat )	=	11,46	Kg
Semen Portland	=	32,49	Kg
Abu Terbang	=	17,49	Kg
Agregat Kasar	=	94,05	kg (Kadar Air 0,5 %)
Pasir	=	47,03	kg (Kadar Air 6,4 %)

Total volume yang direncanakan  $0,085$  m<sup>3</sup>, tetapi yang terjadi :

$$0,085 + (11,46 - 12,09)/1000 = 0,08437 \text{ m}^3$$

Hitung proporsi untuk 1 m<sup>3</sup> (kondisi aktual), kemudian konversikan menjadi proporsi untuk 1 m<sup>3</sup> (berat kering), didapat :

Air ( + pelambat )	=	174,91	kg
Semen Portland	=	385,09	kg
Abu Terbang	=	207,30	kg
Agregat Kasar	=	1109,18	kg
Pasir	=	523,90	kg

Rasio  $W/(c + p)$  baru =  $174,91 : 592,39 = 0,295 < 0,308$  (dari nomor 5)  
 Karena rasio  $W/(c + p)$  harus dijaga konstan sebesar 0,308, maka kadar total bahan bersifat semen harus dikurangi, menjadi :

bahan semen =  $174,91 : 0,308 = 567,89 \text{ kg/m}^3$ .

Karena bahan bersifat semen terdiri dari semen portland 65% dan abu terbang 35 %, maka :

Semen Portland	=	$0,65 \times 567,89$	=	369,13 kg	$\approx$	117,84 liter
Abu Terbang	=	$0,35 \times 567,89$	=	198,76 kg	$\approx$	75,29 liter

Volume total bahan bersifat semen = 193,13 liter.

Pengurangan volume bahan bersifat semen :  $199,28 - 193,13 = 6,15$  liter.

Harus diimbangi dengan penambahan volume pasir, juga sebesar 6,15 liter/ $\text{m}^3$ , yaitu seberat :

$0,00615 \times 2,59 \times 1000 = 15,93 \text{ kg/m}^3$  (berat kering)

Maka, proporsi untuk 1  $\text{m}^3$  campuran dasar setelah dikoreksi : (berat kering)

Air ( + pelambat )	=	174,91	kg
Semen Portland	=	369,13	kg
Abu Terbang	=	198,76	kg
Agregat Kasar	=	1109,18	kg
Pasir	=	539,83	kg

- b) Pada penambahan *superplasticizer* ke dalam campuran 15 menit setelah awal pengadukan, dengan kadar 1,1 mL/kg bahan semen ternyata menghasilkan slump 240 mm (pada kondisi laboratorium).  
Maka, ditentukan kadar *superplasticizer* 1, 1 mL/kg bahan semen.
- c) Campuran beton dengan slump 240 mm dinilai memiliki kelecakan yang baik untuk dicorkan, karena itu kadar agregat kasar tak perlu dikoreksi.
- d) Kadar udara berdasarkan hasil pengukuran pada campuran dengan *superplasticizer* 2,1 %, karena itu tidak diperlukan koreksi karena perbedaannya dengan nilai yang diperkirakan ( 2,0 % ) dapat diabaikan.
- e) Kuat Tekan rata-rata pada umur 28 hari dari benda uji yang dibuat dengan varian campuran # 4  $\approx 75,5 \text{ MPa} < 79,73 \text{ MPa}$  (tidak memenuhi syarat).

### 3. Ringkasan Hasil

Sesuai Langkah 10), maka pada contoh ini dimana varian campuran # 1, # 2, dan # 3 dianggap tidak perlu dikoreksi.

Proporsi campuran (berat kering) per  $\text{m}^3$  beton :



Tipe Campuran	Dasar	# 1	# 2	# 3	# 4
Air ( + pelambat ) [kg]	186,3	181,0	181,0	181,0	174,9
Semen Portland [kg]	604,9	470,4	441,0	411,6	369,1
Abu Terbang [kg]	0	117,6	147,0	176,4	198,8
Agregat Kasar [kg]	1093,9	1101,0	1101,0	1101,0	1109,2
Pasir [kg]	535,5	534,0	529,0	525,0	539,8
Slump (awal) [mm]	25	30	35	40	50
<i>Superplasticizer</i> [cc]	907	823	764	706	625
Slump (akhir) [mm]	250	240	250	260	240
Kadar Udara [%]	1,8	2,0	1,9	2,0	2,1
Kuat Tekan 28 hr [MPa]	85,0	82,0	84,0	83,2	75,5
Kuat Lapangan [MPa]	76,5	73,8	75,6	74,9	68,0
Suhu Beton [°C]	34,5	33,5	31,5	29,0	28,0
Kesimpulan	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	not o.k.

Catatan :

Tabel ringkasan hasil tersebut sengaja mengabaikan pengaruh air yang terkandung di dalam *superplasticizer* agar contoh ini tidak menjadi terlalu rumit.

Meskipun demikian, sesuai butir 3.2. tetap disarankan agar proporsi campuran dikoreksi sekali lagi untuk menghasilkan nilai  $W/(c + p)$  yang konstan.

Koreksi ini juga penting jika diinginkan proporsi campuran yang paling ekonomis.

Kuat Lapangan pada Tabel Ringkasan Hasil di atas adalah Kuat Tekan rata-rata dari benda uji yang dibuat dari campuran coba di laboratorium x 90 %.

Untuk campuran yang akan digunakan di lapangan, proporsi campuran jika perlu harus dikoreksi lagi agar tercapai slump yang direncanakan, baik sebelum maupun sesudah penambahan *superplasticizer*, dan kemudian digunakan untuk pembuatan benda-benda uji tekan di lapangan.

Suhu beton segar juga harus dicatat.

### 11) Penentuan Proporsi Campuran yang Optimum

Campuran dasar serta varian campuran # 1, # 2, dan # 3 memenuhi syarat kelecakan dan kekuatan. Meskipun demikian, varian campuran # 3 adalah campuran dengan proporsi yang optimum, karena persentase Abu Terbang paling besar ( 30 % ), sehingga kadar Semen Portland minimum (ekonomis).

Suhu beton juga paling rendah, sehingga lebih menguntungkan karena kemungkinan timbulnya retak-retak akibat penyusutan menjadi minimal.

Jika suhu beton di lapangan cukup besar perbedaannya sehingga melampaui suhu maksimum yang diijinkan, maka proporsi campuran perlu dikoreksi lagi.

## Lampiran B

### Daftar Nama dan Lembaga

1. **Pemrakarsa** : Pusat Litbang Teknologi Permukiman

2. **Penyusun** :

NO.	N A M A	LEMBAGA
1.	Ir. Cecilia Lauw, MSc.	Universitas Katholik Parahyangan
2.	Ir. Bambang Guritno, Msc.	Pusat Litbang Teknologi Permukiman
3.	Ir. Felisia Simarmata	Pusat Litbang teknologi Permukiman
4.	Ir. Murdiati Munandar	Pusat Litbang teknologi Permukiman

3. **Panitia Tetap Standardisasi**

JABATAN	EX – OFFICIO	NAMA
Ketua	Kepala Badan Litbang PU	Ir. Joelianto Hendro Moelyono
Sekretaris	Sekretaris Badan Litbang PU	Ir. Supardijono Sobirin
Anggota	Dir.Bintek Ditjen Pengairan	Ir. Napitupulu, Dipl. HE.
Anggota	Dir.Bintek Ditjen Bina Marga	Ir. Gandhi Harahap, M.Eng
Anggota	Dir.Bintek Ditjen Cipta Karya	Ir. Aim Abdurachim Idris, MSc.
Anggota	Kepala Pusat Litbang Pengairan	Dr. Ir. Badruddin Machbub
Anggota	Kepala Pusat Litbang Jalan	Dr. Ir. Patana Rante Toding, M.Sc
Anggota	Kepala Pusat Litbang Permukiman	Ir. Sutikni Utoro
Anggota	Kepala Biro Hukum Dep. PU	Wibisono Setiowibowo, MSc.
Anggota	Kepala Biro Bina Sarana Perusahaan	Drs. Mochamad Charis