

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan salah satu gabungan dari suatu material-material diantaranya semen *portland* atau semen *hidrolik* yang lainnya, agregat kasar (kerikil atau batu pecah), agregat halus (pasir), dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan untuk membentuk massa padat. Dimana semen *portland* merupakan zat atau bahan pengikat, untuk agregat halus dapat berupa pasir alam dan agregat kasar dapat berupa batu dengan ukuran yang bervariasi atau berupa batu pecah (*split*) serta air yang jika dicampur dengan semen akan mengalami ikatan dan pengerasan yang disertai reaksi pelepasan panas atau hidrasi.

Secara umum, keunggulan dari beton yaitu memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah dan merupakan bahan getas. Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya nilai banding dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya, sedangkan nilai kuat tariknya kisaran antara 9%-15% dari kuat tekannya. Pada pengaplikasian komponen struktur bangunan terutama pada bagian yang bekerja menahan tarik beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya. (Dipohusodo, 1994).

Selain tahan terhadap kuat tekan seperti yang telah disebutkan di atas, beton juga memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu:

1. Kelebihan beton menurut (Mulyono, 2005):
 - a. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang sesuai dengan kebutuhan konstruksi,
 - b. Termasuk bahan awet, tahan kebakaran, tahan aus, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh lingkungan, sehingga biaya perawatannya murah,

- c. Kuat tekan tinggi sehingga mampu memikul beban yang berat, umumnya dikombinasikan dengan baja tulangan (kuat tarik tinggi),
 - d. Tahan terhadap temperatur yang tinggi,
 - e. Biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan beton menurut (Mulyono, 2005):
- a. Kuat tarik yang kecil sehingga mudah retak,
 - b. Berat,
 - c. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah,
 - d. Daya pantul suara yang beras,
 - e. Pelaksanaan pekerjaan membentuk ketelitian yang tinggi,
 - f. Mengalami kembang susut akibat perubahan suhu.

3.2 Semen *Portland*

Semen berdasarkan Standar Nasional Indonesia nomor 15-2049-2004 adalah bubuk halus yang memiliki sifat *adhesif* maupun *kohesif*, yaitu bahan pengikat. Arti dari bahan pengikat adalah suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

Definisi semen *portland* (*portland cement*) merupakan bahan perekat *hidrolis* yang sangat penting dalam konstruksi beton. Bahan perekat *hidrolis* yaitu dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker*, terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat *hidrolis* dengan *gips* sebagai bahan pembantu untuk membentuk pasta semen atau *grout* bila bersenyawa dengan air dapat mengeras dan jika bereaksi dengan agregat halus biasa disebut dengan mortar (Tjokrodinuljo, 2007).

Selain itu juga semen *portland* mempunyai sifat-sifat kimia yang mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen *portland*. Perbandingan susunan oksida dan senyawa semen *portland* (*portland cement*) akan ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Kandungan Oksidasi Pada Semen *Portland*

Oksida	Kandungan %
Kapur (CaO)	60 – 70
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3,0 – 8,0
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6,0
Magnesia (MgO)	0,1 – 5,5
Sulfur (SO ₃)	1,0 – 3,0
Soda/potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1,3

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

Unsur-unsur oksida pada Tabel 3.1 bila direaksikan akan menghasilkan senyawa-senyawa utama yang terdapat di dalam semen *portland* antara lain: C₃S (*tricalcium silicate* – 3CaO.SiO₂), C₂S (*dicalcium silicate* – 2CaO.SiO₂), C₃A (*tricalcium aluminate* – 2CaO.SiO₂), dan C₄AF (*tetracalcium aluminoferrite* – 4CaO.Al₂O₃. Fe₂O₃). Komposisi senyawa-senyawa ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2 Komposisi Senyawa Semen *Portland*

Senyawa	Kandungan %
C ₃ S	45 – 65
C ₂ S	10 – 25
C ₃ A	7 – 12
C ₄ AF	5 – 11

Sumber: P.T. Tiga Roda Indocement

Ketika dicampur dengan air, senyawa-senyawa kimia di atas tersebut akan mengalami reaksi hidrasi. Demikian untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen tentunya berbeda-beda, oleh karena itu sifat-sifat hidrasi masing-masing komponen perlu dipelajari. Berikut ini adalah beberapa karakteristik dasar senyawa-senyawa penyusun semen yang akan ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Karakteristik Dasar Senyawa Penyusun Semen

Senyawa	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Kecepatan reaksi dengan air	Sedang	Lambat	Cepat	Sedang
Kontribusi terhadap kekuatan awal	Baik	Buruk	Baik	Baik
Kontribusi terhadap kekuatan akhir	Baik	Sangat baik	Sedang	Sedang

Penggolongan komposisi kimia (*manufacturing*) semen dilakukan dengan cara mengubah presentase 4 komponen utama semen agar menghasilkan 5 semen tipe umum (PUBI, 1982). Dimana penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen sesuai dengan tujuan pemakaian dan spesifik, penggolongan ini mengacu pada ASTM C.150 (*American Society for Testing and Material*) yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jenis Semen *Portland* Menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 Hari (J/g)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	Normal	50	24	11	8	330
II	Modifikasi Kekuatan Awal Tinggi	42	33	5	13	250
II	Kekuatan Awal Tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas Hidrasi Rendah	26	50	5	12	210
V	Tahan Sulfat	40	40	9	9	250

Sumber: P.T. Tiga Roda Indocement

Penjabaran klasifikasi semen *portland* menurut ASTM (*American Society for Testing and Material*) sebagai berikut:

1. Semen *portland* tipe I, semen *portland* mungkin yang paling familiar digunakan oleh masyarakat luas dan banyak beredar di pasaran. Karena jenis ini dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, misalnya diterapkan pada bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat, perkerasan jalan, jembatan, trotoar, struktur rel dan lain-lain,
2. Semen *portland* tipe II, semen *portland* jenis ini biasa memiliki ketahanan terhadap serangan sulfat yang cukup baik yaitu antara 0,10 hingga 0,20 persen dan panas hidrasi yang bersifat sedang. Pada umumnya sebagai material

bangunan yang letaknya di pinggir laut, tanah rawa, saluran irigasi, bendungan, bangunan *Pir* (tembok di laut dermaga), dan landasan jembatan,

3. Semen *portland* tipe III, semen *portland* yang dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan laju pengerasan tekan awal yang tinggi (perkerasan cepat) kurang lebih kisaran satu minggu. Contoh penerapannya pada bangunan jalan raya bebas hambatan, hingga badara udara dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat,
4. Semen *portland* tipe IV, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Oleh karena itu semen jenis ini memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang *portland* tipe I serta digunakan dalam kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Salah satunya diaplikasikan pada struktur beton masif seperti *dam* grafitasi besar dimana kenaikan temperature akibat panas yang dihasilkan pada proses curing merupakan faktor kritis,
5. Semen *portland* tipe V, adalah semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat biasanya terletak pada bangunan-bangunan tanah atau air yang mengandung sulfat melebihi 0,20% dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, jembatan, terowongan, pelabuhan dan konstruksi dalam air.

3.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton untuk menjadikan satu komponen menjadi kompak. *Elastisitas* dan kekuatan agregat tergantung dari jenis batuan yang digunakan. Susunan agregat dapat diperiksa menggunakan analisa saringan (*sieve analysis*), dengan analisis saringan maka didapatkan kurva susunan butir dari agregat yang dipakai. Untuk kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 70%-75% dari volume beton, sehingga pemilihan agregat dan gradasi pada agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Dalam teknologi beton, agregat dalam campuran mortar atau beton dibagi dalam 2 bagian susunan, antara lain:

3.3.1 Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang identik dengan sebutan kerikil ataupun batu pecah dimana butirannya memiliki ukuran lebih besar dari 4,80 (4,75 mm), sedangkan untuk syarat-syarat yang harus dipenuhi adalah berbutir keras, tidak berpori agar dapat menghasilkan beton yang keras dan sifat tembus air, bersifat kekal (tidak mudah hancur atau pecah), tidak mengandung lumpur lebih dari 1 persen dan tidak mengandung zat organik serta zat reaktif terhadap alkali. Penggunaan agregat kasar atau bahan batuan dalam adukan beton berfungsi:

1. Menghemat penggunaan semen *portland*,
2. Mengurangi susut pengerasan,
3. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton,
4. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik,
5. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik

(A. Antono, 1995).

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik, dimana ukuran maksimal agregat kasar dikelompokkan menjadi 3 golongan yang dapat diketahui melalui uji gradasi yang akan ditunjukkan pada Tabel 3.5 di bawah ini:

Tabel 3.5 Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95 – 100	100	-
19	35 – 70	95 – 100	100
9,6	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah batuan yang butirannya mempunyai ukuran antara 0,15 mm sampai 5 mm atau analisa saringannya lolos ayakan 4,75 mm. Agregat halus ini dapat diperoleh dari dalam tanah ataupun dasar sungai dan tepi laut. Oleh karena itu pasir digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian, pasir sungai, dan pasir laut. Sedangkan ukuran agregat halus (pasir) dibagi menjadi 4 zona yang diketahui dari uji gradasi ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Batas Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Keterangan:

- Daerah agregat halus I : Pasir kasar
 Daerah agregat halus II : Pasir agak kasar
 Daerah agregat halus III : Pasir agak halus
 Daerah agregat halus IV : Pasir halus

Seperti halnya dengan agregat kasar, menurut (PBI, 1971) agregat halus (pasir) juga memiliki syarat-syarat tertentu agar dapat digunakan dalam campuran mortal atau beton sebagaimana dijelaskan di bawah ini:

1. Agregat halus berbentuk butiran-butiran yang kuat serta tajam, bersifat tidak mudah hancur karena cuaca,
2. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak,

3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat agregat kering). Apabila mengandung lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu agar hasilnya lebih maksimal,
4. Agregat halus berupa pasir alam yang berasal dari sungai atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat pecah batu,
5. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila disaring dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1 (PBI, 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut.
 - a. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat,
 - b. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat,
 - c. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% - 90% berat.

3.4 Air

Fungsi air disini merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan beton, dimana air sebagai bahan pencampuran, pengaduk, dan pemicu reaksi hidrasi antara semen dan agregat, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Reaksi hidrasi yaitu suatu proses kimia antara senyawa semen dengan molekul air membentuk hidrat atau produk hidrasi sehingga campuran menjadi mengeras.

Selain fungsi di atas kelebihan air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton yang menyebabkan penurunan kekuatan beton dan akan terjadi *bleeding*, yaitu reaksi air bersama semen bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang kemudian menjadi buih dan merupakan lapisan tipis yang dikenal dengan *laitance* (selaput tipis). Selaput tipis ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapisan-lapisan beton serta merupakan bidang sambung yang sangat lemah.

Pengaruh air pada campuran beton:

1. Besar kecilnya nilai susut beton, biasa dikenal dengan sebutan rasio air semen (*water cement ratio*),
2. Sifat *workability* adukan beton,
3. Kelangsungan reaksi terhadap semen *portland*, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu,
4. Perawatan keras adukan beton agar menjamin pengerasan yang baik.

Syarat penggunaan air untuk campuran beton adalah sebagai berikut (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992):

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) > 2 gram/liter,
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dsb) > 15 gram/liter,
3. Tidak mengandung klorida (Cl) > 0,5 gram/liter,
4. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.

3.5 Bahan Tambah

3.5.1 Bahan Tambah

Berdasarkan ASTM C 125, bahan tambah (*admixture*) didefinisikan sebagai material selain air, agregat, semen dan serat yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton selama proses pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan beton diantaranya, memperlambat waktu pengikatan, menambah kelecekan adukan, mengurangi sifat getas, mempercepat proses pengerasan, mengurangi retakkan pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan dan menambah tingkat keawetan. Secara umum bahan tambah ada yang berupa *additive* dan *admixture*. *Admixture* adalah bahan tambah yang ditambahkan saat pencampuran beton atau pada saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan *additive* merupakan bahan tambah yang ditambahkan pada semen saat pengadukan dilaksanakan.

Admixture dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bersifat mineral (*mineral admixture*). *Chemical admixture* merupakan bahan tambah campuran beton yang dapat larut di dalam air, beberapa contoh *chemical admixture* antara lain:

1. Water Reducer

Suatu *admixture* yang digunakan untuk mengurangi proporsi air dalam adukan beton sehingga menghasilkan rasio air semen yang rendah tapi tetap menjaga konsistensi beton.

2. Retarder

Bahan *admixture* yang dapat berfungsi memperlambat waktu *setting* beton.

3. *Accelerator*

Bahan *admixture* yang berfungsi untuk memperlambat waktu *setting* beton, sebaiknya mineral *admixture* adalah bahan-bahan tambah yang tidak dapat larut dalam air.

4. *Silica fume*

Produk sampingan dari pembuatan paduan besi dengan *silica*, dimana komposisi *silica* lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi *silicon* atau *alloy* besi *silicon* (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*).

5. *Slag*

Merupakan limbah produk non-metal hasil produksi baja berbentuk halus.

6. *Fly Ash* (abu terbang batu bara)

Didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara (ASTM C 618).

7. *Rice husk ash* (abu sekam padi)

Didefinisikan sebagai hasil pembakaran sekam padi yang merupakan lapisan keras yang membungkus butir beras.

8. Terak tungku

Zat padat berupa Abu *Bottom Ash* yang berasal dari sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan dan lebih berat dari *fly ash*.

3.5.2 Terak Tungku Pabrik Gula Madukismo

Terak tungku Pabrik Gula Madukismo yaitu limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan tebu, dimana abu ampas sebagai sisa pembakaran ampas tebu dan kayu di ketel uap serta blotong yang merupakan sisa dari tebu basah yang diperas untuk diambil sarinya. Terak tungku Pabrik Gula Madukismo yang dipakai dalam penelitian ini berupa *bottom ash* dengan pengidentifikasian abu yang banyak berwarna putih. *Bottom ash* (abu dasar) adalah abu yang dihasilkan pada proses pembakaran yang berbentuk partikel halus dan tidak termasuk dalam karakteristik *pozzolan* walaupun memiliki kandungan *senyawa silica* dan *Alumina*, sedangkan *pozzolan* merupakan bahan yang mengandung *senyawa silica*, *alumina* dan

mempunyai sifat mengikat seperti semen yang dijelaskan pada *Standart ASTM C618-686* tentang Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Pozzolan.

Terak tungku Pabrik Gula Madukismo yang digunakan pada penelitian ini adalah abu yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) dan memiliki senyawa *silica*, sekitar 29,11%, sedangkan abu dengan warna hitam mengandung arang yang tidak ada manfaatnya. Untuk melihat morfologi dari terak tungku Pabrik Gula Madukismo ini dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dan pengujian *X-ray Fluorescence* (XRF) dimana pengujian XRD bertujuan untuk menentukan struktur kristal pada abu, sedangkan pengujian XRF bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur oksida yang terkandung dalam material terak tungku tersebut. Terak tungku ini diharapkan bereaksi secara *pozzolanik* dengan kalsium hidroksida dari hasil reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat yang berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tekan beton. Terak tungku ini apabila digunakan sebagai *pozzolan* dapat dibedakan menjadi 2 kelas, yaitu kelas C dan kelas F yang tertera dalam Tabel 3.8 di bawah ini:

Tabel 3.7 Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Pozzolan

Komposisi Kimia	Kelas C (%)	Kelas F (%)
Total SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Minimal 50	Minimal 70
Sulfur Trioksida (SO ₃)	Maxsimal 5	Maxsimal 5
Kalsium Oksida (CaO)	Minimal 10	Maksimal 10
Kadar air	Minimal 3	Minimal 3

Sumber: (*Standart ASTM C618-686*)

3.5.3 Superplasticizer (*Sika ViscoCrete 1003*)

Superplasticizer (sika viscocrete 1003) merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) generasi terbaru dari *superplasticizer* untuk beton dan mortal. Secara khusus cocok digunakan sebagai campuran yang membutuhkan waktu *transportasi* lama dan kelecekan (*workability*) lama, kebutuhan pengurang air yang sangat tinggi dan kemudahan mengalir (*flowability*) yang sangat baik.

Karakteristik dan kelebihan penggunaan *sika viscocrete 1003* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Efek *plasticizing* (pengurangan air) yang baik dalam jumlah besar, menghasilkan kepadatan yang tinggi, menghasilkan beton mutu tinggi dan mengurangi *permabilitas*,
2. Menghasilkan kelecikan yang lebih baik dari beton tanpa *sika viscocrete 1003*, kemudahan pengerjaan pengecoran dan pemadatan. Sehingga rekomendasi digunakan untuk beton yang memadat dengan sendirinya (*self compacting concrete*),
3. Mengurangi penyusutan dan keretakan pada beton,
4. Mengurangi karbonasi dan meningkatkan sifat kedap air (*watertight*),
5. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheksi satu dengan lainnya dan partikel semen menjadi menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer (sika viscocrete 1003)*, partikel semen ini saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer (sika viscocrete 1003)* mempunyai dua fungsi antara lain, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer (sika viscocrete 1003)* dapat menurunkan *viskositas* pasta semen, sehingga menghasilkan pasta semen lebih *fluid* atau *alir*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air dalam campuran beton dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer (sika viscocrete 1003)*. Sedangkan jumlah *superplasticizer (sika viscocrete 1003)* cair dengan berat jenis 1,065 yang dianjurkan oleh pabrik pembuatannya antara 0,6-2,0% dari berat semen yang terpapar dalam SNI 03-6468-2000 beton mutu tinggi.

3.6 Workability

Workability sulit untuk didefinisikan dengan tepat, namun sering diartikan sebagai tingkat kemudahan proses pengerjaan beton baik dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa *homogenitas* beton berkurang dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan. Karena *workability* sulit untuk didefinisikan maka lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat-sifat berikut ini:

1. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan,
2. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap *homogen*, selalu mengikat (*koheren*), dan tidak mengalami pemisahan butiran (*segregasi* dan *bleeding*),
3. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang,
4. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain sebagai berikut ini (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992):

1. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton semakin mudah dikerjakan. Tetapi pemakaian air juga harus dikontrol agar tidak berlebihan,
2. Penambahan semen dalam campuran juga memudahkan pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai FAS tetap,
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil, dimana bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton mudah dikerjakan,
4. Pemakaian butiran batuan yang bulat mempermudah proses pengerjaan beton,
5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap proses kemudahan dikerjakan,
6. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Jika pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda-beda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan menggunakan tangan (sistem manual),
7. Selain itu, aspek yang perlu dipertimbangkan juga adalah jumlah udara di dalam beton dan penggunaan bahan tambah dalam campuran beton.

3.7 Slump

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. *Slump* merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakaan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai *workability* tinggi). Nilai *slump* berbagai macam struktur diperlihatkan pada Tabel 3.8 berikut:

Tabel 3.8 Nilai *Slump* Untuk Berbagai Macam Struktur

Jenis Konstruksi	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding pelat dan pondasi	75	25
Balok dan dinding beton	100	25
Kolom	100	25
Perkerasan jalan dan lantai beton	75	25
Beton massa	50	25

Sumber: (SNI 7656:2012)

3.8 Faktor Air Semen (FAS)

Campuran air dan semen atau faktor air semen (disingkat FAS) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Semakin tinggi perbandingan campuran air dan semen maka beton malah semakin jelek, sebaliknya untuk meningkatkan mutu beton maka harus mengurangi perbandingan air dan semen agar menghasilkan kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti nilai kuat tekan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah sangat mempengaruhi dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada faktor air semen optimum untuk menghasilkan kuat tekan maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2003). Perbandingan FAS dengan kondisi lingkungan terdapat pada Tabel 3.9 di bawah ini:

Tabel 3.9 Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan

	Kondisi Lingkungan		
	Kondisi Normal	Basah Kering Berganti-ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Koreksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm.	0,53	0,49	0,40
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 di atas Tanah	*	–	–
Beton yang terlindung dari perubahan udara (konstruksi interior bangunan).	*	–	–

*Rasio air semen ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana.

Sumber: (Tim Penyusun Struktur Beton, 1999)

Pada beton mutu 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 *additive comentionous* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998). Pada beton mutu tinggi nilai faktor air semen (FAS) ada dalam rentang 0,2 sampai 0,5 (SNI 03-6468-2000). Bahan ikat yang digunakan pada penelitian ini adalah semen dan terak tungku Pabrik Gula Madukismo (sebagai bahan tambah semen), dimana rumus 3.1 yang digunakan pada beton mutu tinggi adalah:

$$Fas = W / (c + p) \dots\dots\dots(3.1)$$

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.

3.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya desak persatuan luas. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm² bahkan lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200-500 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 kubus 150 x 300 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum sampai benda uji pecah dibagi dengan luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm². Tahap pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM C.39 atau menurut yang disyaratkan (PBI, 1989).

Rumus yang digunakan pada persamaan (3.2) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut (Antono, 1995):

$$f'c = P/A \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana: $f'c$ = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

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

1. Pengaruh mutu semen *portland*,
2. Pengaruh agregat yang digunakan,
3. Pengaruh dari perbandingan adukan beton,
4. Pengaruh air untuk membuat adukan,
5. Pengaruh umur beton,
6. Pengaruh waktu pencampuran,

7. Pengaruh perawatan,
8. Pengaruh campuran bahan tambah.

3.10 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton adalah suatu sifat yang mempengaruhi peramabatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan utama dari kuat tarik yang kecil ini adalah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Retak-retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerima beban tekan dimana beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekanan. Jelas ini tidak terjadi bila balok menerima beban tarik.

Untuk pengujian kuat tarik belah silinder (*tensile splitting cylinder test*). Benda uji silinder diletakkan pada alat uji dalam posisi rebah. Beban vertikal diberikan sepanjang selimut silinder berangsur-angsur dinaikan pembebanannya dengan kecepatan 265 kN/menit hingga dicapai nilai maksimum dan terbelah karena beban tarik horizontal. Kuat tarik dihitung berdasarkan pada (SNI 03-2491-2002) sebagaimana terlihat dalam rumus 3.3 di bawah ini:

$$f_{ir} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan: f_{ir} = Kuat tarik belah

P = Baban pada waktu belah

L = Panjang benda uji silinder

D = Diameter benda uji silinder

3.11 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Desain*)

Tahap perencanaan beton mutu tinggi dengan semen dan abu terak tungku Pabrik Gula Madukismo ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi dan untuk mengoptimasi proporsi campuran tersebut berdasarkan campuran coba-coba. Tahap ini hanya berlaku untuk beton mutu tinggi yang

diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional. Metode perhitungan yang digunakan adalah SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03).

3.11.1 Persyaratan Kinerja

1. Umur uji

Kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi dapat dipilih untuk umur 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 ($f'c$). Produsen beton boleh menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi berdasarkan pengalaman di lapangan berdasarkan pada kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) yang nilainya lebih besar dari dua persamaan berikut:

$$f'_{cr} = f'c + (1,34.s) \dots\dots\dots(3.4)$$

$$f'_{cr} = (0,90.f'c) + (2,33.s) \dots\dots\dots(3.5)$$

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

$$f'_{cr} = \frac{(f'c + 9,66)MPa}{0,90} \dots\dots\dots(3.6)$$

3. Persyaratan Lain

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

- a. *modulus elastisitas*,
- b. kuat tekan dan kuat tarik,
- c. panas *hidrasi*,
- d. rangkai dan susut akibat pengeringan,
- e. *permeabilitas*,

- f. waktu pengikatan,
- g. metode pengecoran,
- h. kelecekan.

3.11.2 Faktor – faktor Yang Menentukan

1. Pemilihan Bahan

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

2. Semen *Portland*

Semen *Portland* harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen *Portland*. Semen yang dipakai adalah semen (PCC) Tiga Roda karena mempunyai kekuatan yang sama dengan *Portland Cement Tipe 1*.

3. Terak Tungku Pabrik Gula Madukismo

Abu bottom ash (terak tungku harus memenuhi SNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi Terak Tungku Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. terak tungku yang disarankan untuk digunakan dalam beton mutu tinggi adalah yang mempunyai nilai hilang pijar maksimum 3%, kehalusan butir yang tinggi, dan berasal dari suatu sumber dengan mutu tidak 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 42 MPa, dan ukuran 10 mm atau 15 mm, jika digunakan

untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 42 MPa. Secara umum untuk rasio air bahan bersifat semen $W/(c + p)$ yang setara, 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).

8. Rasio Air W/c

Rasio air dengan bahan bersifat semen W/c harus dihitung berdasarkan perbandingan berat. Berat air yang dikandung oleh *superplasticizer* berbentuk cair harus diperhitungkan dalam W/c . Perbandingan W/c untuk beton kekuatan tinggi secara tipikal ada dalam rentang nilai 0,2-0,5.

9. Kelecakan

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

10. *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.

11. Metode Pengujian

Metode pengujian yang digunakan adalah berdasarkan SNI, kecuali jika terdapat indikasi adanya penyimpangan akibat karakteristik beton mutu tinggi tersebut. Kekuatan potensial untuk satu set bahan tertentu dapat ditetapkan hanya bila benda uji telah dibuat dan diuji pada kondisi standar. Minimum 3 benda uji harus diuji untuk setiap umur dan kondisi uji.

12. 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 mutu tinggi. Hasil uji silinder 150 x 300 mm tidak boleh dipertukarkan dengan silinder 100 x 200 mm.

13. Mesin Uji Beton

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Kekakuan Lateral Minimum 17874 kg/cm.
- b. Kekakuan Longitudinal Minimum 178740 kg/cm.

3.11.3 Prosedur Proporsi Campuran Beton Kekuatan Tinggi

Perancangan proporsi campuran harus mengikut prosedur sebagai berikut:

1. Tentukan *Slump* dan Kekuatan Rata-Rata yang Ditargetkan

Slump untuk beton mutu tinggi tanpa *superplasticizer* dapat diambil sebesar 20-50 mm disesuaikan dengan kondisi pembetonan. *Slump* awal untuk beton mutu tinggi dengan *superplasticizer* dapat diambil sebesar 25-100 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 (3.4) atau (3.5), sedangkan untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba laboratorium diambil sesuai persamaan (3.6) pada butir 3.11.1.

2. Ukuran Agregat Kasar

Untuk agregat tekan rata-rata < 42 MPa digunakan ukuran agregat maksimum 20-25 mm. Untuk kuat tekan rata-rata > 42 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,
 - c. 3/4 jarak bersih minimum antar batang tulangan, kabel pra tegang.
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 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, tercantum dalam Tabel 3.10 di bawah ini:

Tabel 3.10 Fraksi Volume Agregat Kasar

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

Sumber: SNI 03-6468-2000

4. Estimasi Kadar Air dan Kadar Udara

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar diberikan pada Tabel 3.11. 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 (3.7) dan (3.8).

$$\text{Kadar Rongga Udara (V)} = \left(1 - \left(\frac{x}{y \cdot 1000} \right) \right) \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan: X = Berat isi padat kering oven
 Y = Berat jenis relatif kering

$$\text{Koreksi Kadar Air, liter/m}^3 = (V/35) \times 4,75 \dots\dots\dots(3.8)$$

Penggunaan persamaan (3.8) mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m³ untuk setiap persen (%) penyimpangan kadar udara dari 35%.

Tabel 3.11 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>Viscocrete 1003</i>
(%)	2,5	2,0	1,5	1,0	Dengan <i>Viscocrete 1003</i>

Sumber: SNI 03-6468-2000

Catatan:

- Kebutuhan air pencampuran pada tabel di atas adalah untuk beton mutu tinggi sebelum diberi *sika viscocrete 1003*,
- 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 (3.10),

5. Rasio Air

Rasio W/c beton tanpa *superplasticizer* dihitung dengan Tabel 3.12 dan untuk beton dengan *superplasticizer* dihitung dengan Tabel 3.13.

Tabel 3.12 Rasio W/c Maksimum yang disarankan (Tanpa *Superplasticizer*)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / c			
		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

Sumber: SNI 03-6468-2000

Catatan: $f'_{cr} = f'_c + 9,66$ (MPa)

Lanjutan Tabel 3.12 Rasio W/c Maksimum yang disarankan
(Tanpa *Superplasticizer*)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / c			
		Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)			
		10	15	20	25
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

Sumber: SNI 03-6468-2000

Catatan: $f'_{cr} = f'_c + 9,66$ (MPa)

Tabel 3.13 Rasio $W/(c + p)$ Maksimum yang disarankan
(Dengan *Superplasticizer*)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / (c + p)			
		Ukuran Agregat Kasar 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

Sumber: SNI 03-6468-2000

Catatan: $f'_{cr} = f'_c + 9,66$ (MPa)

6. Proporsi Campuran Dasar Tanpa Bahan Tambah 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 semen *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 pasir untuk membuat 1 m³ campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan Metode Volume *Absolut*.

7. 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.

8. 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 *difinishing*. Bila perlu, kadar agregat kasar boleh direduksi dan kadar pasir disesuaikan supaya kelecakan yang diinginkan tercapai.

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 3.12 atau 3.13, campuran coba ekstra dengan perbandingan $W/(c + p)$ yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

9. 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.