

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Beton

Beton memiliki peranan penting dalam menentukan umur dan kekuatan suatu bangunan, hal itu terjadi karena beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari beton menurut Kardiyono (2007) adalah:

1. Harganya relatif murah karena bahan-bahannya tersedia di alam bebas kecuali semen.
2. Biaya perawatannya murah karena beton adalah elemen yang awet, tahan aus, dan tahan api.
3. Kuat tekan beton sangat tinggi.
4. Beton segar sangat mudah untuk dipindahkan, dicetak dan dibentuk.

Menurut (Tri Mulyono, 2005) selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan yaitu:

1. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah.
2. Berat sendiri beton yang sangat besar yaitu kisaran antara 1800 kg/m³. sampai 2400 kg/m³.
3. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
4. Daya pantul suara yang besar.
5. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun memiliki kuat tarik yang rendah, untuk menahan gaya tarik beton perlu ditambah tulangan.

Bahan penyusun beton meliputi air, semen Portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, dimana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton (Kardiyono, 2007).

1. Umur Beton.

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (*linier*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Tri Mulyono, 2005).

2. Kekuatan Tekan Beton.

Kuat tekan mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton didapatkan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang yang menerima beban. Kekuatan tekan beton dinotasikan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan;

f'_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa).

P = Beban maksimum (N).

A = Luas penampang benda uji (mm²).

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari f'_c seperti yang telah disyaratkan. Kriteria penerimaan beton tersebut harus pula sesuai dengan standar yang berlaku.

Menurut standar Nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi $0,85 f'_c$ untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi $f'_c + 0,82$ (s) untuk rata-rata empat buah benda uji yang berpasangan. Jika tidak memenuhi, maka diuji mengikuti ketentuan selanjutnya (Tri Mulyono, 2005).

3. Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton.

Menurut (Tri Mulyono, 2005) faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton ada beberapa, untuk faktor paling utama yaitu:

- a. Proporsi bahan-bahan penyusunnya.
- b. Metode pencampuran.
- c. Perawatan.
- d. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

4. Faktor Air Semen (FAS).

Menurut SNI 03-2834-2000, faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam beton. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi, ada batas batas dalam hal ini. Nilai FAS rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65.

B. Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari campuran antara air, semen, pasir dan kerikil yang memiliki perbandingan tertentu yang disesuaikan dengan fungsi dan tujuan pembuatan beton tersebut.

1. Agregat

Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik (SNI 03-2847-2002).

a. Agregat halus

Agregat halus dibedakan menjadi 3 jenis, antara lain:

- 1) Pasir galian, yaitu merupakan pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali dari dalam tanah yang mana pada umumnya berbentuk tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam yang membahayakan.
- 2) Pasir sungai, yaitu pasir yang langsung diperoleh dari sungai. Pasir ini biasanya berbentuk bulat dan berbutir halus, hal ini disebabkan karena terjadinya proses gesekan. Karena agregat ini bulat maka daya lekat antara butirnya pun agak berkurang.
- 3) Pasir laut, yaitu pasir yang diambil dari pantai. Pasir jenis ini mempunyai bentuk yang hampir sama dengan pasir sungai akan tetapi pasir jenis ini mengandung banyak garam, sehingga tidak dianjurkan untuk memakai pasir jenis ini dalam membuat bangunan.

Kualitas pasir yang digunakan untuk campuran adukan beton harus memenuhi syarat-syarat yang ditentukan dalam PBI-1971/NI-2, diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Pasir harus terdiri dari butir-butir yang bersih dari bahan-bahan organik, rumput, dan bahan kimia lainnya.
- 2) Harus terdiri dari butiran yang tajam, keras dan bersifat kekal, artinya tidak dapat dihancurkan dengan jari dan pengaruh cuaca. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (berdasarkan berat kering).
- 3) Tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
- 4) Pasir laut tidak boleh digunakan dalam sebuah konstruksi karena mengandung kadar garam terlalu tinggi.
- 5) Harus terdiri dari butiran yang bervariasi dan bila diayak dengan ayakan 150 maka harus memenuhi syarat:
 - a) Sisa butiran diatas ayakan 4 mm, minimal 2% dari berat.
 - b) Sisa butiran diatas ayakan 1 mm, minimal 10% dari berat.
 - c) Sisa butiran diatas ayakan 0,25 mm berkisar antara 80% sampai 90% dari berat.

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari gunung Merapi, yang diambil dari sungai Krasak, Yogyakarta.

b. Agregat kasar

Menurut Sukirman (2003) agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat. Ditinjau dari asal kejadiannya agregat kasar dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1) Batuan Beku (*igneous rock*).

Batuan beku berbentuk Kristal dan terbentuk dari proses pembekuan magma.

2) Batuan Sedimen (*sedimentary*)

Batuan yang berbentuk baik dari perbandingan bahan atau material yang tidak larut dari pecahan batuan yang ada atau sisa anorganik dari binatang laut.

3) Batuan *Metamorf*

Batuan yang berasal dari batuan sedimen atau batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan pengolahannya agregat dibedakan atas :

a) Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang dapat dipakai langsung sebagai bahan perkerasan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi (Degradasi adalah perubahan gradasi karena adanya penghancuran). Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat di bukit-bukit membentuk partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah pasir dan kerikil.

b) Agregat yang mengalami proses pengolahan

Proses pengolahan diperlukan karena agregat yang berasal dari gunung atau bukit, sungai masih banyak dalam bentuk bongkahan besar sehingga belum dapat langsung digunakan sebagai agregat konstruksi. Tujuan dari pengolahan ini adalah:

- 1) Bentuk partikel bersudut, di usahakan berbentuk kubus.
- 2) Partikel kasar sehingga memiliki gaya gesekan yang baik.
- 3) Gradasi sesuai dengan yang diinginkan.

Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*crusher stone*) sehingga ukuran-ukuran partikel dapat dikontrol.

c) Agregat Buatan.

Agregat ini dibuat dengan alasan khusus, yaitu agar mempunyai daya tahan tinggi dan ringan untuk digunakan konstruksi.

Syarat-syarat untuk agregat kasar yang dipakai sebagai bahan campuran adukan beton sesuai standar PBI 1971/NI-2 Pasal 3.4 adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori.
- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan dari berat kering).
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat reaktif alkali.
- 4) Keausan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan mesin *Los Angeles* dengan syarat-syarat tertentu.
- 5) Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan tidak melewati saringan 5 mm.
- 6) Besar butiran agregat maksimal tidak boleh lebih dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, $\frac{1}{3}$ dari tebal plat, atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimal antara batang-batang atas berkas tulangan.

c. Gradasi Agregat

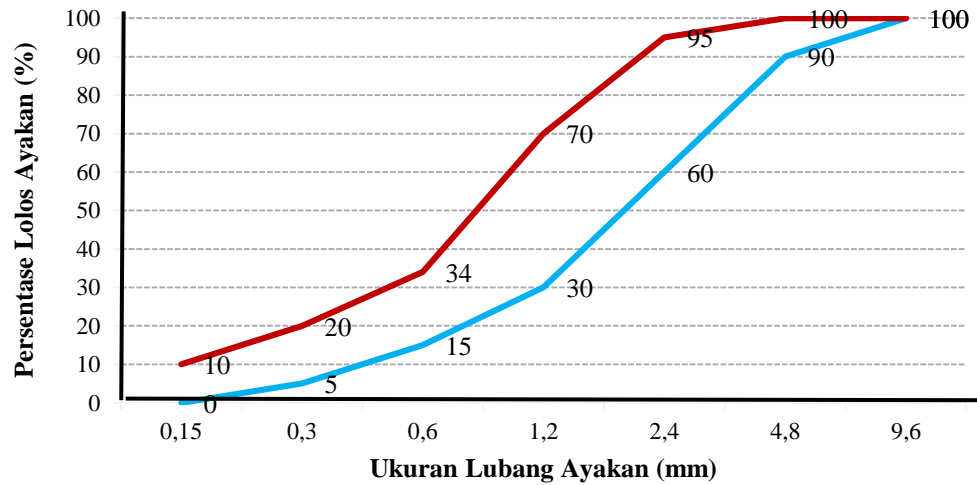
SNI 03-2834-1992 mengklarifikasikan distribusi ukuran butir agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu: *zone* 1 (kasar), *zone* 2 (agak kasar), *zone* 3 (agak halus), dan *zone* 4 (halus) sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Batas-batas gradasi Agregat halus

Ukuran Saringan (mm)	Presentase berat yang lolos saringan (%)			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
9,60	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

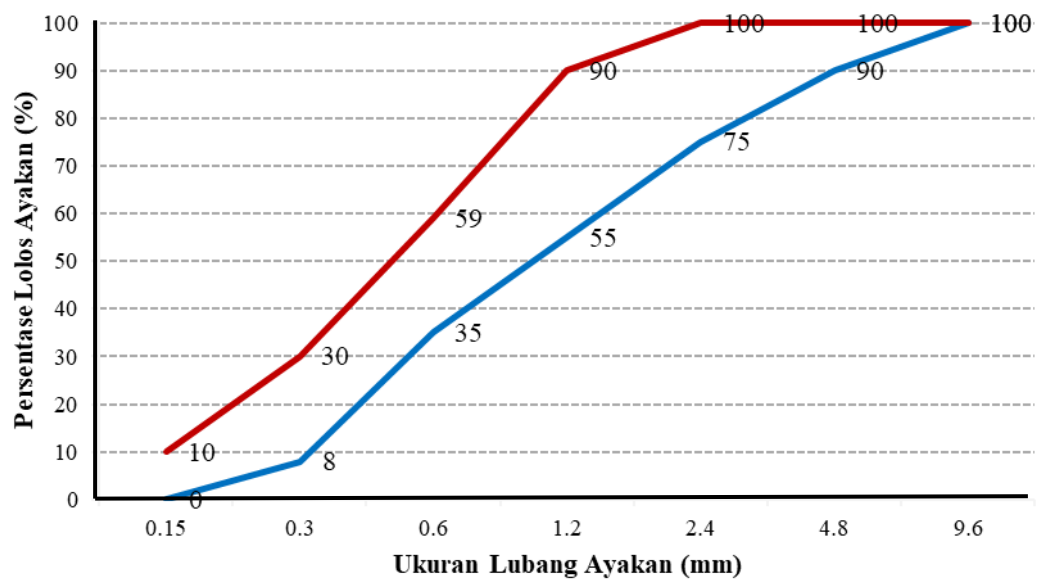
(Sumber : SNI 03-2843-2000)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus *zone I*



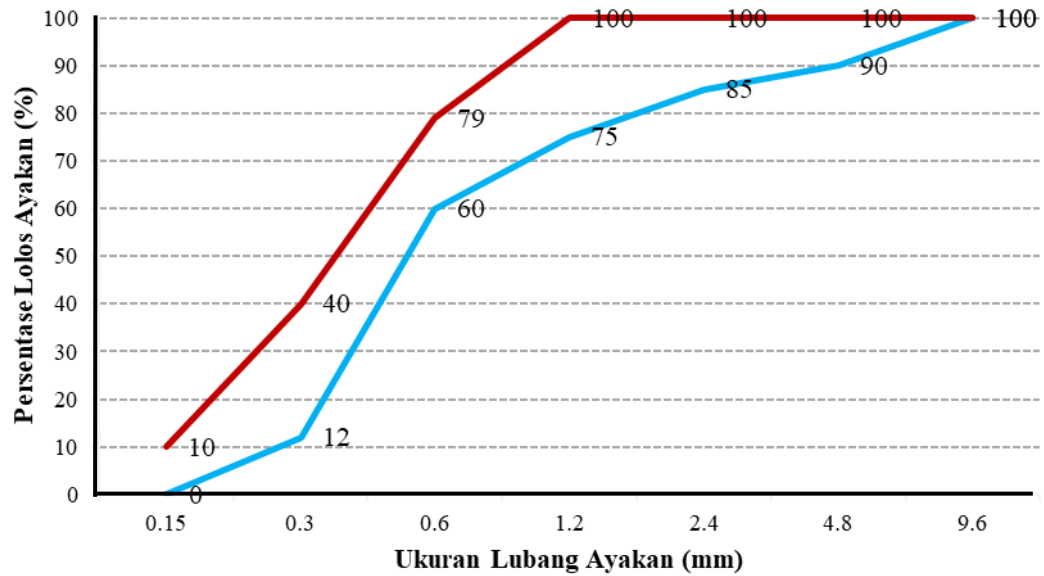
Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Halus *Zone I* (Kasar)
(Sumber : SNI 03-2843-2000)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus *zone II*



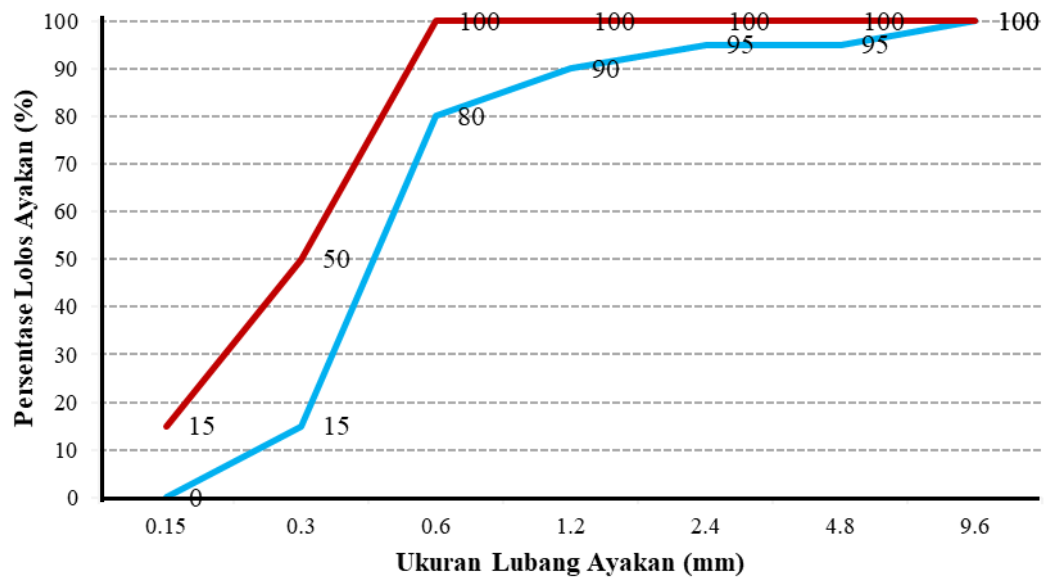
Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Halus *Zone II* (Agak Kasar)
(Sumber : SNI 03-2843-2000)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus zone III



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Halus *Zone* III (Halus)
(Sumber : SNI 03-2843-2000)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus *zone* IV



Gambar 4. Grafik Gradasi Agregat Halus *Zone* IV (Agak Halus)
(Sumber : SNI 03-2843-2000)

Menurut *British Standard* (BS), gradasi agregat kasar (kerikil/batu) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2. Syarat Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)	Presentase berat yang lolos saringan		
	40,0 mm	20,0 mm	12,5 mm
40,0	95-100	100	100
20,0	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10,0	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

(Sumber : *British Standard*)

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu:

- Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
- Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
- Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm dinamakan *silt* atau tanah (Kardiyono, 2007).

d. Modulus Halus Butir

Makin besar nilai MHB suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai MHB sekitar 1,50-3,80 dan kerikil mempunyai nilai MHB 5-8. Nilai ini juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mencari perbandingan dari campuran agregat. Untuk agregat campuran nilai MHB yang biasa dipakai sekitar 5,0-6,0. Hubungan ketiga nilai MHB tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

W = Presentase berat agregat halus terhadap berat agregat kasar.

K = Modulus halus butir agregat kasar.

P = Modulus halus butir agregat halus.

C = Modulus halus butir agregat campuran.

2. Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memerlukan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Jika bahan semen diuraikan susunan senyawanya secara kimia, akan terlihat jumlah oksida yang membentuk bahan semen itu. Unsur-unsur tersebut kurang lebih seperti berikut:

Tabel 3. Komponen Mayor Semen

Jenis Bahan	Nama Kimia	Persen (%)
Batu Kapur (CaO)	<i>Kalsium dioksida</i>	60 - 65
Pasir Silikat (SiO ₂)	<i>Silikon dioksida</i>	17 - 25
Tanah Liat (Al ₂ O ₃)	<i>Aluminium dioksida</i>	3-8
Bijih Besi (Fe ₂ O ₃)	<i>Besi (III) oksida</i>	0,5 - 6
Magnesia (MgO)	<i>Magnesium oksida</i>	0,5 - 4
Sulfur (SO ₃)	<i>Sulfur trioksida</i>	1-2

(Sumber : SNI 15-2049-2004)

Di dalam semen, oksida-oksida tersebut tidak terpisah satu dari yang lainnya melainkan merupakan senyawa-senyawa yang disebut senyawa semen. Unsur utama senyawa semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu:

- 1) *Trikalsium silikat (C_3S)*.
- 2) *Dikalsium silikat (C_2S)*.
- 3) *Trikalsium Aluminat (C_3A)*.
- 4) *Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF)*.

Selain itu terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil.

1) Semen Pozzollan

Semen pozzollan adalah sejenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium, yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai sifat semen (Tri Mulyono, 2005).

Semen pozzollan adalah bahan ikat yang mengandung silika *amorf*, yang apabila dicampur dengan kapur akan membentuk benda padat yang keras. Bahan yang mengandung pozzollan adalah adalah teras, semen merah, abu terbang, dan bubukkan terak tanur tinggi (SNI T-15-1990-03: 2).

Pozzollan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawa alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (SNI 15-0302-2004).

2) Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen Portland dihasilkan dengan cara menggiling terak semen terutama yang terdiri atas kalsium silikat 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 (SNI 15-2049-2004).

3) Semen Portland Pozzollan

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogenya antara semen Portland dengan pozzollan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen Portland dan pozzollan bersama-sama atau mencampur secara merata bubuk semen Portland dengan bubuk pozzollan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzollan 6% sampai dengan 40% massa semen Portland pozzolan (SNI 15-0302-2004).

Semen Portland pozzollan adalah campuran semen Portland dan bahan-bahan yang bersifat pozzollan seperti terak tanur tinggi dan hasil residu PLTU. Semen jenis ini biasanya digunakan untuk beton yang diekspos terhadap sulfat. Menurut (SK.SNI T-15-1990-03), semen Portland-pozzolan dihasilkan dengan mencampurkan bahan semen Portland dan pozzolan (15-40% dari berat total campuran), dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam pozzollan minimum 70% (SK.SNI T-1991-03).

4) Penyimpanan Semen

Agar semen tetap memenuhi syarat meskipun disimpan dalam waktu lama, cara penyimpanan semen perlu diperhatikan (PBI, 1989). Semen harus terbebas dari bahan kotoran dari luar. Semen dalam kantong harus disimpan dalam gudang tertutup, terhindar dari basah dan lembab, dan tidak tercampur dengan bahan lain. Urutan penyimpanan harus diatur sehingga semen yang lebih dahulu masuk gudang terpakai lebih dahulu.

Semen curah harus disimpan di dalam silo yang terbuat dari baja atau beton dan harus terhindar dari kemungkinan teracampur dengan bahan lainnya. Untuk menghindari pecahnya kantong semen, tinggi maksimum timbunan zak semen adalah 2 meter atau sekitar 10 zak. Jarak bebas antara bidang dinding dan semen sekitar 50 cm, sedangkan jarak bebas antara lantai dan semen semen sekitar 30 cm (Tri Mulyono, 2005).

3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen. Air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai campuran beton, dapat juga berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ dan lainnya), air laut maupun air limbah asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20% (Tri Mulyono, 2005).

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35% beton segar tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras (Slamet, 2008).

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lit, kandungan garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lit, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gr/lit serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lit. Secara umum air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Kardiyono, 2007).

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo (1996) untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen, namun

dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Karena beton yang mempunyai proporsi air sangat kecil menjadi kering dan sangat sukar dipadatkan, maka dibutuhkan tambahan air untuk menjadi pelumas. Dengan catatan bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan menjadi rendah serta betonnya menjadi porous.

Syarat-syarat air untuk campuran beton sesuai standar PBI 1971/NI-2 Pasal 3.6, yaitu:

- a) Tidak mengandung organik (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.
- c) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

4. Bahan Tambah

Bahan tambah didefinisikan sebagai material selain air, agregat, dan semen yang dicampurkan ke dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton atau mortar misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain (ASTM C.125-1995).

Secara umum bahan tambah dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah kimia (*chemical admixture*) dan bahan tambah mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan atau pada saat dilakukan pengecoran. Bahan ini biasanya dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton atau mortar saat pelaksanaan pekerjaan. Sedangkan bahan tambah *additive* yaitu yang bersifat lebih mineral yang juga ditambahkan pada saat pengadukan. Contoh bahan tambah pada beton yaitu *accelerator* yang berfungsi untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton maupun mortar. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan pada

beton maupun mortar. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.

a. Jenis Bahan Tambah

Secara umum bahan tambah yang digunakan beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*).

1. Bahan Tambah Kimia

Menurut standar ASTM. C.494 (1995:254) dan Pedoman Beton 1989 SKBI.1.4.53.1989 (Ulasan Pedoman Beton 1989:29), jenis bahan tambah dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah.

1) Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

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

Water-Reducing Admixtures digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar air semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen (*wer*) yang rendah.

Bahan tambah pengurang air dapat berasal dari bahan organik ataupun campuran anorganik untuk beton tanpa udara (*non-air-entrained*) atau dengan udara dalam hal mengurangi kandungan air campuran. Selain itu bahan tambah ini dapat digunakan untuk memodifikasi waktu pengikatan beton atau mortar sebagai dampak perubahan faktor air semen. Komposisi dari campuran bahan tambah ini diklasifikasikan secara umum menjadi 5 kelas:

- a) Asam *lignosulfonic* dan kandungan garam-garam.
- b) Modifikasi dan turunan asam *lignosulfonic* dan kandungan garam-garam.
- c) *Hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garamnya.

d) Modifikasi *hydroxylated carboxylic acids* dan kandungan garam-garamnya.

e) Material lain

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan bahan tambah ini adalah air yang dibutuhkan, kandungan air, konsistensi, *bleeding*, dan kehilangan air pada saat beton segar, laju pengerasan, kekuatan tekan, dan lentur, ketahanan terhadap perubahan volume, susut pada saat pengeringan. Berdasarkan hal tersebut, menjadi hal penting untuk melakukan pengujian sebelum pelaksanaan pencampuran terhadap bahan tambah tersebut.

2) Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk menghindari *cold joints* dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan.

3) Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi), dan mempercepat pencapaian kekuatan beton.

Secara umum, kelompok bahan tambah ini dibagi menjadi tiga:

- a) Larutan garam organik
- b) Larutan campuran organik
- c) Material *miscellaneous*

4) Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air

pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

5) Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

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

6) Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

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

7) Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

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

2. Bahan Tambah Mineral (*additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah pozzolan, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*. Menurut (Cain, 1994: 500- 508) dalam (Tri Mulyono, 2005), beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral ini antara lain:

- 1) Memperbaiki kinerja *workability*
- 2) Mengurangi panas hidrasi
- 3) Mengurangi biaya pekerjaan beton
- 4) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- 5) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika
- 6) Mempertinggi usia beton

- 7) Mempertinggi kekuatan tekan beton
- 8) Mempertinggi keawetan beton
- 9) Mengurangi penyusutan
- 10) Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

Yang termasuk dalam bahan tambahan mineral adalah :

1) *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika *alumina* dan *alumina* yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium *hidroksida* pada suhu normal membentuk senyawa senyawa kalsium *silikat hidrat* dan kalsium yang bersifat hidrolis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Menurut ASTM C618-86 mutu pozzolan dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap- tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, tinggi dan reaktifnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas pozzolan diatas adalah :

- a) Kelas N : Pozzolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan alam yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah diatomik, *oparine cherts* dan *shales, tuff* dan abu vulkanik atau *pumicite*, dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.
 - b) Kelas C: *Fly ash* yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara.
 - c) Kelas F: *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.
- Sedangkan menurut proses pembentukannya, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

a) Pozzolan alam

Pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi mengandung silika aktif yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi.

Sifat pozzolan alam terhadap beton pada dasarnya mirip dengan pola lainnya, yaitu memperlambat waktu setting sehingga kekuatan awal beton rendah, bereaksinya dengan Ca(OH)_2 membentuk senyawa *kalsium silikat hidrat* (CSH) sehingga mengurangi kandungan Ca(OH)_2 dalam beton, membuat beton tahan terhadap air laut dan sulfat.

b) Pozzolan buatan

Pozzolan buatan sebenarnya banyak macamnya, baik merupakan sisa pembakaran dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*), *silika fume* dan lain-lain.

2) Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash adalah hasil pemisahan sisa pembakaran yang halus dari pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang dikenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. *Fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus dan berwarna abu-abu kehitaman.

3) Abu Sekam

Abu sekam adalah limbah dari tanaman padi dimana didalamnya terdapat unsur SiO_2 , yang dengan mengatur pembakaran tertentu akan diperoleh *silica* yang reaktif. Pembakaran sekam pada proses pembuatan batu bata mencapai suhu $600^\circ - 700^\circ$.

Pada suhu tersebut akan dihasilkan SiO_2 yang reaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan buatan.

4) Bahan tambah lainnya

a) *Air entraining*

Bahan tambah ini membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil didalam beton atau mortar selama pencampuran, dengan maksud mempermudah pengerjaan beton pada saat pengecoran dan menambahkan ketahanan awal beton

b) Beton tanpa slump

Beton tanpa slump didefinisikan sebagai beton yang mempunyai slump sebesar 1 inch (25,4 mm) atau kurang, sesaat setelah pencampuran. Pemilihan bahan tambah ini tergantung pada sifat-sifat beton yang diinginkan terjadi, seperti sifat plastisnya, waktu pengikatan dan pencapaian kekuatan, efek beku-cair, kekuatan dan harga dari beton tersebut.

b. Bahan Tambahan Kimia Yang Umum Dipakai

1. *Super Plasticizer*

Tujuannya: mempertinggi kelecakan (zona konsistensi dipertinggi).
Mengurangi jumlah air pencampur. Pembentuk Gelembung Udara.
Tujuannya: meninggikan sifat kedap air, meninggikan kelecakan.

2. *Retarder*

Tujuannya: memperlambat awal pengikatan/pengerasan, memperpanjang waktu pengerjaan/digunakan pada saat cor, mernbatasi panas hidrasi.

3. Bahan Warna

Tujuannya: memberi warna permukaan.
Selain bahan-bahan tersebut di atas digunakan juga bahan-bahan (yang mempengaruhi kekuatan tekan) sebagai berikut:

1) *Water Reducer* kegunaannya:

- a) Meningkatkan workability tanpa menambah air, dengan menghasilkan kekuatan yang sama.
- b) Pemakaian semen lebih sedikit untuk kekuatan dan workability yang sama.

2) *Water Reducer* kegunaannya:

- a) Mengurangi kecepatan evaluasi panas, dipakai didaerah yang pengecorannya luas dalam cuaca yang panas
- b) Menghindari terjadinya sambungan dingin pada pengecoran lapisan demi lapisan yang memakan waktu lama
- c) Menunda waktu pengikatan awal dengan tetap menjaga *workability*. Biasanya dipakai apabila jarak antara tempat pengadukan dengan tempat yang dibangun jauh
- d) Memperlambat waktu pengikatan dan pengerasan untuk kondisi penuangan yang sulit misalnya: pengerjaan penyemenan pondasi pada sumur minyak.

3) *Accelerator* kegunaannya:

Untuk mempercepat reaksi pada pengerjaan jalan beton yang berfungsi lalu lintas yang padat atau untuk menambal kebocoran air yang mempunyai tekanan merata semua.

4) *Air Entrain* kegunaannya:

- a) Mencegah kerusakan beton pada musim dingin karena air dalam beton membeku.
- b) Memperbaiki ketahanan terhadap pembekuan dimusim dingin terutama digunakan pada perkerasan beton untuk jalan dan landasan pesawat terbang.

5) *Water Proofing* kegunaannya:

- a) Mengurangi kadar air dalam workability yang sama.
- b) Memasukkan sejumlah udara kedalam beton, dipakai dimusim dingin supaya air didalam beton tidak membeku.

c) Mengandung mineral filter untuk menghentikan adanya pori-pori udara.

c. Cara Pakai Bahan Tambahan (*Zat Additive*)

Biasanya penggunaan zat aditive hanya 10 - 20% berat jenis semen. Sebelum dicampurkan dengan semen, zat aditive dicampur terlebih dahulu dengan air secukupnya. Lalu dituangkan ke dalam adonan semen yang sudah bercampur dengan pasir dan koral. *Aditive* tidak boleh dicampur pada semen yang sudah mulai membatu atau mengeras.

Hal-hal yang harus dihindari dalam penggunaan bahan tambahan untuk mengurangi dan mencegah sesuatu hal yang tidak terduga dalam penggunaan *admixture*, maka perlu pertimbangan mengenai hal-hal seperti dibawah ini:

1) Gunakan bahan tambahan (*admixture*) sesuai dengan spesifikasi dan ASTM (*American Society for Testing and Material*).

Sebuah pabrik yang mempunyai reputasi baik akan memberikan data-data teknik dari hasil produksinya. Data-data tersebut antara lain :

- a) Pengaruh pentingnya bahan tambahan pada penampilan beton
- b) Pengaruh sampingan yang diakibatkan oleh *admixture* baik yang positif maupun yang negative
- c) Sifat-sifat fisik *admixture*
- d) Konsentrasi dari komposisi bahan yang aktif
- e) Adanya bahan kimia yang berpotensi merusak seperti *klorida*, *sulfat*, *sulfida*, *posfat*, juga *nitrat* dan amoniak
- f) Nilai pH (derajat keasaman)
- g) Bahaya yang terjadi terhadap pemakai *admixture*
- h) Kondisi penyimpanan dan batas umur kelayakan
- i) Persiapan bahan tambahan dan prosedur pencampuran pada beton
- j) Dosis yang dianjurkan pada kondisi tertentu dan akibatnya bila dosisnya berlebihan

2) Mengikuti petunjuk yang berhubungan dengan dosis, dan melakukan pengetesan untuk mengontrol pengaruh yang telah didapat.

- 3) Yakinkan ketelitian prosedur yang ditetapkan untuk ketelitian pencampuran admixture. Khususnya penting untuk *Air Entraining Admixture* (AEA).
- 4) *Admixture* kimia, dimana dosisnya dibawah 0.1% dari berat semen. Dalam kasus seperti ini over dosis dapat dengan mudah terjadi dan akan mengakibatkan kerusakan beton.

C. Sifat-Sifat Beton

Sifat-sifat beton meliputi sifat fisik, kimia, mekanik baik yang dapat dilihat atau yang hanya dengan bantuan mikroskop. Tetapi dalam segi kondisi beton dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Sifat-sifat beton sebelum mengeras (*fresh concrete*)

Hal penting yang perlu diketahui pada sifat-sifat beton segar adalah Workabilitas atau kemudahan pengerjaan. Workabilitas adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak mengalami bleeding (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Untuk lebih jelasnya pengertian workabilitas dapat didefinisikan dengan istilah-istilah sebagai berikut :

- a) Mobilitas adalah kemudahan adukan beton untuk dapat mengalir dalam cetakan dan dituang kembali.
- b) *Stabilitas* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu bersifat homogen, selalu mengikat (koheren) dan stabil baik selama dikerjakan maupun digetarkan tanpa mengalami pemisahan butiran (segregasi dan bleeding).
- c) *Kompaktibilitas* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan, sehingga mengurangi rongga-rongga udara dalam adukan.
- d) *Finishibilitas* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1996), unsur-unsur yang mempengaruhi sifat workability antara lain adalah berikut ini :

- a) Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton, semakin banyak air yang dipakai semakin mudah beton segar ini dikerjakan.
- b) Penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai *fas* tetap.
- c) Gradasi campuran pasir dan kerikil, bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d) Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e) Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan.
- f) Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit jika dipadatkan dengan tangan.

Tingkat kemudahan pekerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (*keenceran*) adukan beton. Semakin encer adukan, makin mudah pekerjaan. Untuk mengetahui tingkat keenceran adukan beton biasanya dilakukan percobaan slump atau slump test. Semakin besar nilai slump test berarti adukan beton semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 50-125 mm.

2. Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras

a) Kekuatan (*Strength*)

Sifat dari beton setelah mengeras antara lain adalah mempunyai kekuatan dan ketahanan. Kekuatan (*strength*) adalah sifat dari beton yang berkaitan dengan mutu dari beton tersebut untuk menerima beban dari luar. Kekuatan beton antara lain adalah kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan kekuatan geser.

b) Ketahanan (*Durability*)

Ketahanan (*durability*) adalah gaya tahan beton terhadap suatu kondisi atau gangguan yang berupa gangguan dari dalam atau dari luar tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Gangguan dari luar dapat berupa cuaca, suhu, korosi dan bahan kimia lainnya. Sedangkan gangguan dari dalam berupa reaksi kimia antara semen dengan alkali atau sering disebut ASR (*Alkali Silica Reaction*) yang jika terlalu banyak dapat menyebabkan beton retak.

c) Rangkak dan Susut

Rangkak (*creep*) merupakan deformasi yang berjalan lambat akibat pembebanan dalam jangka waktu yang panjang dengan tegangan konstan. Rangkak disini dipengaruhi oleh umur beton, besar regangan, faktor air semen dan kekuatan beton. Proses susut (*shrinkage*) merupakan perubahan bentuk volume yang terjadi bila terjadi perubahan suhu. Hal yang mempengaruhi susut antara lain mutu agregat dan faktor air semen. Proses *creep* dan *shrinkage* saling berkaitan karena berjalan bersamaan dan sering memberikan pengaruh yang sama yaitu deformasi yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu.

D. Sistem Sambungan Pada Beton

1. Sistem Sambungan

Sendi diperlukan dalam struktur beton untuk berbagai macam alasan. Tidak semua beton dalam struktur tertentu bisa diletakkan secara terus menerus, jadi memungkinkan ada sendi sambungan konstruksi. Pekerjaan akan dilanjutkan setelah jangka waktu tertentu. Karena beton mengalami perubahan volume terutama terkait dengan susut dan perubahan suhu, bisa jadi terjadinya untuk menyediakan persendian sambungan dan dengan demikian mengurangi tegangan tarik atau tekan yang akan terjadi diinduksi dalam struktur (ACI 224.3R-95).

Sistem pabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. SNI 03-2847-2002 mendefinisikan beton pracetak

sebagai komponen beton yang dicor ditempat yang bukan merupakan posisi akhir didalam struktur. Pada dasarnya beton pracetak meliputi 3 (tiga) tahapan pekerjaan:

- 1) Pembuatan (pabrikasi)
- 2) Pengangkutan
- 3) Pemasangan (perakitan)

Keuntungan utama yang diperoleh pada penggunaan pracetak adalah penghematan dalam acuan dan penopangnya. Manfaat yang diperoleh bergantung pada jumlah pengulangan pekerjaan, dimana sebagai patokan penggunaan 50 kali atau lebih cetakan unit beton pracetak akan memberikan nilai ekonomis (Murdock dan Brook, 1991, h.383).

Struktur beton bertulang yang dicor ditempat cenderung bersifat monolit dan menerus. Sebaliknya, struktur pracetak terdiri dari sejumlah komponen yang dibuat di pabrik, kemudian disambung di lokasi bangunan sampai akhirnya membentuk struktur utuh. Pada struktur pracetak, hubungan yang menghasilkan kontinuitas dengan memakai bantuan perangkat keras khusus, batang tulangan dan beton untuk menyalurkan semua tegangan tarik, tekan dan geser disebut sambungan keras (Winter dan Wilson, 1993, h.519).

Sambungan yang hanya berdasarkan gaya friksi yang ditimbulkan oleh beban gravitasi tidak dapat digunakan (BSN, 2002, h.167). Perencanaan komponen struktur beton pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekangan deformasi mulai dari saat fabrikasi awal hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpangan, pengangkutan dan pemasangan. Apabila elemen pracetak membentuk diafragma atap dan lantai, maka sambungan antara diafragma dengan komponen-komponen struktur yang ditopang secara lateral oleh diafragma tersebut harus mempunyai kekuatan tarik nominal yang mampu menahan sedikitnya 4,5 kN/m (BSN, 2002, h.166).

Prinsip perencanaan sambungan pada elemen pracetak dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu:

- 1) Sambungan kuat (*strong connection*), bila sambungan antar elemen pracetak tetap berperilaku elastis pada saat gempa kuat, sistem sambungan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur sambungan beton monolit yang setara.
- 2) Sambungan daktil (*ductile connection*), bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelastis, sistem sambungan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa (Tjahjono dan Heru Purnomo, 2004).

Bagian yang rawan dari struktur pracetak adalah pada bagian sambungan (joint) yang menghubungkan elemen pracetak yang satu dengan elemen pracetak lainnya. Dalam sistem beton pracetak dikenal dua jenis sambungan, yaitu sambungan basah (*wet-joint*) dan sambungan kering (*dry-joint*). Untuk *wet-joint* (*in-situ concrete joint*), struktur yang terbentuk lebih monolit, toleransi dimensi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dryjoint*, tetapi membutuhkan setting-time beton cukup lama yang berpengaruh pada waktupelaksanaan konstruksi. Pada *dry-joint*, struktur yang terbentuk kurang monolit, setelah proses instalasi sambungan segera dapat berfungsi sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, toleransi dimensi rendah sehingga membutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan.

Menurut St. Djoko Subari (2003) dalam merencana sambungan antara beton lama yang telah mengeras atau dalam proses mengeras, dengan acuan beton baru yang mana sambungan ini tak akan menyatu maka diusahakan suatu sambungan yang oleh perencana dipandang cukup dapat mengatasi terjadinya retakan Sambungan beton dapat dikelompokkan dalam dua tipe yaitu:

- 1) Tidak mengijinkan adanya gerakan beton pada sisi lainnya.
- 2) Mengijinkan adanya gerakan beton pada sisi lainnya.

Tipe sambungan beton (*joint*) yang disebut terdahulu bertujuan menyatukan beton baru terhadap beton lama yang telah mengalami proses mengeras, sehingga keseragaman penampakan beton menjadi kelihatan menyatu dan seragam sepanjang sambungan. Pada prakteknya hal ini sangat sukar mendapatkan penyatuan 100%. Dengan hasil selalu ada perlemahan yang merata pada konstruksi sambungan. Maka dari itu, perlemahan ini sedapat mungkin harus dihindari. Penghentian pengecoran beton dilaksanakan pada tempat-tempat yang sesuai untuk membuat suatu konstruksi atau *tipe joint*, supaya dapat dikehendaki suatu perlemahan yang merata. Beberapa macam tipe dari sambungan beton :

1) Sambungan kontraksi (*Contraction joints*).

Memberikan kemungkinan adanya penyusutan beton pada permukaan sambungan yang membatasi pergerakan relatif dapat sisi permukaan yang lain.

2) Sambungan pengontrol (*Dummy Con-traction atau Control Joint*).

Bekerjanya sama dengan sambungan kontraksi dan dibentuk dengan maksud memperlemah tampang beton pada sambungan yang berarti dibuat sebagai celah.

3) Sambungan ekspansi (*Expansion Joint*)

Pertemuan kedua permukaan beton cukup memberikan perluasan ke arah permukaan sambungan. Tipe joint ini memungkinkan adanya pengerutan beton, akan tetapi dapat menahan gerakan relatif ke arah lain.

4) Sambungan isolasi (*Isolation Joint*).

Secara total memisahkan dua permukaan beton yang bertemu dan memungkinkan kebebasan penuh pergerakan relatif.

Pandangan yang hati-hati perlu diberikan terhadap kebutuhan konstruksi sambungan untuk semua tipe struktur beton tersebut diatas. Penempatan dan tipe sambungan kemungkinan suatu saat dipengaruhi oleh segi arsitektural dengan struktural yang diinginkan dan kadang-kadang dibuat dengan maksud untuk penghadang air (*watertight joint*). Untuk menjamin konstruksi sambungan bekerja dengan baik perlu cara yang baik

dan perhatian yang cukup hati-hati yang harus dilakukan untuk detail desain dan pelaksanaannya.

2. Sambungan Konstruksi

Konstruksi sambungan adalah suatu cara untuk menghubungkan permukaan beton lama dengan permukaan beton baru sehingga dapat melekat dengan baik dan dapat menahan gerakan yang berkaitan dengan adanya gaya melintang pada konstruksi sambungan. Suatu perhentian yang tak terencana pada saat pengecoran acuan beton membutuhkan konstruksi sambungan (*construction joint*). Beberapa perhentian pada saat pengecoran beton yang menerus dapat dilihat lebih dulu sewaktu perencanaan atau diutamakan segera sewaktu permulaan pelaksanaan pengecoran, sehinggamemungkinkan penempatan beberapa sistim sambungan yang mana dapat direncanakan lebih dulu.

Perencanaan yang baik akan menghasilkan perhentian pembetonan pada tempat-tempat yang tepat untuk mengatasi menyusutnya beton dan kemungkinan mengadakan pemilihan penggunaan tipe sambungan yang lain, sehingga dapat menghindari pembuatan konstruksi sambungan yang sukar. Bilamana tipe sambungan ini sukar dilaksanakan, maka konstruksi sambungan harus direncanakan untuk posisi pada struktur dimana keberadaan perlemahan dapat merata yang mana akan memberikan efek struktural yang kecil. Kesalahan pembuatan sambungan akan memperlemah struktur dan mengakibatkan perkolasi air yang akan memperburuk beton dengan penampakan berlumut yang disebabkan karena lembab.

1) Lokasi Sambungan

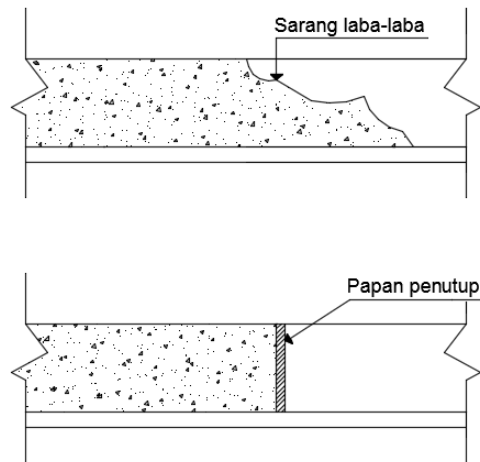
Konstruksi sambungan yang dibuat pada struktur harus diletakkan pada posisi dimana gaya geser adalah minimum. Sambungan harus mempunyai sudut yang baik terhadap sumbu sehingga gaya tekan aksial yang bekerja tegak lurus sambungan tidak cenderung menyebabkan pergeseran (*sliding*) sepanjang bidang yang lemah. Penyambungan beton untuk kolom harus diletakkan menerus

dengan balok langsung diatas permukaan beton yang masih lunak atau sedang dalam proses pengerasan.

Pada permukaan yang akan disambung, setelah dua jam pengecoran harus diberi suatu takikan sekeliling kolom sehingga ada sambungan kolom beton yang sempurna. Sambungan arah horizontal tidak dilaku-kan pada plat lantai sedangkan berbagai joint vertikal diletakkan dekat pada pertengahan slab. Pada pekerjaan beton yang besar seperti dam tidak dilakukan pengecoran secara menerus dari bawah sampai ke atas. Maka untuk alasan inilah pengecoran dilakukan perbagian atau perblok (luas tiap blok tidak lebih dari 50 ft persegi). Pengecoran tiap blok tidak lebih tinggi dari 5 ft. Setiap kenaikan dilakukan tiap lapis (tiap pengecoran adalah 4 lapis dengan tiap lapis adalah 15 inch).

2) Membuat Sambungan Vertikal

Bilamana konstruksi sambungan dibuat pada balok atau slab, maka akhir acuan beton akan membentuk suatu lerengan secara alami, dan akan terbentuk suatu permukaan lunak dan terjadi sarang tawon pada permukaan lerengan. Pemberhentian pembetonan yang secara vertikal dilakukan dengan papan atau balok sehingga terbentuk sambungan vertikal. Untuk membantu pemindahan gaya lintang pada sambungan yang terjadi pada arah vertikal dipilih salah satu yaitu berupa pasak kayu atau penutup yang mana membantu kontak mekanis dapat diletakkan kira-kira ditengah celah slab. Sebagai ketentuan dianjurkan pada potongan sekilar kedalaman 6 inches. Tulangan baja tak boleh terpotong pada tempat konstruksi sambungan, juga papan penutup pemberhentian harus dibangun pada suatu segmen atau disisipkan pada tulangan yang sempit tetapi masih ada mortalnya. Perancah penutup dapat dibongkar setelah tiga hari pembetonan untuk memperlihatkan permukaan sambungannya.



Gambar 5. Konstruksi Sambungan Arah Vertikal
(Sumber : St. Djoko Subari, 2003)

Setelah papan perancah penutup joint dibongkar maka dalam waktu empat jam permukaan beton harus dibersihkan dan material yang lepas dan dibuat kasar untuk meng-hilangkan permukaan yang halus. Bilamana umur permukaan beton sudah lebih dari empat jam dapat dipergunakan penghancur pasir sebagai pengganti sikat kawat untuk memper-lihatkan agregat kasarnya. Semua material yang lepas harus dicuci secepatnya sebelum pengecoran beton baru, suatu lapisan tipis dari mortal disiramkan pada permukaan bidang yang akan disambung. Mortal harus mempunyai komposisi yang sama dengan kandungan betonnya yaitu pasir dan semen dengan ratio yang sama tetapi tidak memakai agregat kasar. Beton baru harus dipadatkan dengan alat vibrasi sehingga mortal dapat melekat.

c. Membuat Sambungan Horizontal

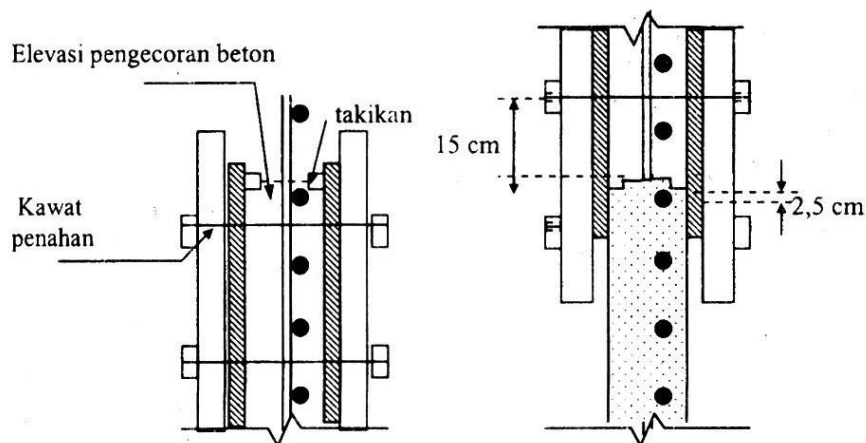
Setelah pengecoran acuan beton baru yang dipadatkan pada bagian atas arah horizontal pada permukaan beton terjadi suatu film dan suatu lapis porous. Material yang terdapat pada permukaan lunak ini harus segera dibuang sebelum suatu tipe sambungan dibuat. Bilamana permukaan yang akan disambung umurnya kurang dari empat jam saat pembuatan joint maka material lepas harus dibuang

terlebih dahulu sesudah itu pengecoran beton baru dapat dilaksanakan.

Campuran beton supaya dapat mengisi bagian-bagian permukaan beton lama harus dipadatkan dengan memakai vibrator. Bilamana adonan beton baru terlalu kental maka tidak akan terjadi suatu penyatuan yang sempurna, sebaliknya bilamana terlalu cair akan terjadi pemisahan material dan membentuk suatu lapisan film yang tebal. Bilamana sambungan dibuat pada beton yang umumnya lebih dari 4 jam, permukaannya harus dibersihkan terlebih dahulu.

Bilamana umur beton kurang dari tiga hari pada umumnya relatif masih mudah dikerjakan, yaitu dengan disikat pakai sikat kawat. Dengan memakai *hammer* atau pemecah pasir dipakai untuk memperlihatkan material beton tanpa memotong beton.

Sebelum pengecoran, permukaan beton dibersihkan dengan air untuk menghilangkan material lepas atau material yang menempel pada permukaan. *Mortal-plastic* setebal 1/2" yang terdiri dari semen dan pasir dengan ukuran yang sesuai dengan mutu betonnya harus dilapiskan, kemudian diadakan pengecoran sambil dipadatkan.

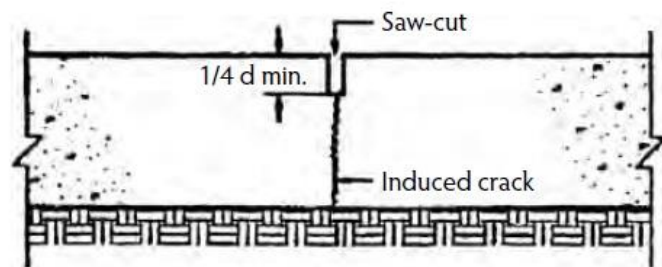


Gambar 6. Konstruksi Sambungan Arah Horisontal
(Sumber : St. Djoko Subari, 2003)

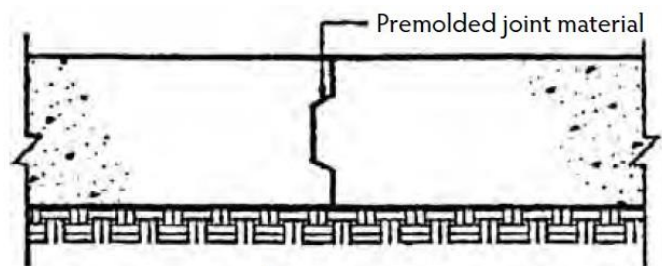
Untuk pekerjaan pengecoran beton dalam kapasitas besar sering terjadi pembuatan joint lebih dari tiga hari. Maka dalam kasus

ini perlu memakai alat betel tangan atau mesin hidrolis untuk membuat kasar permukaannya. Pada permukaan yang sangat luas maka perlu dipakai alat semprot air yang mempunyai semburan cukup tinggi untuk membersihkan permukaan yang akan dibuat sambungan. Kemudian segera diadakan pengecoran. Bilamana waktu pengecoran masih lama sejak pembersihan permukaan maka akan terjadi kontaminasi pada permukaan oleh kotoran-kotoran, misalnya debu, yang tak dapat dibersihkan dengan semburan air. Maka perlu penutupan permukaan dan dapat dibersihkan dengan semburan air.

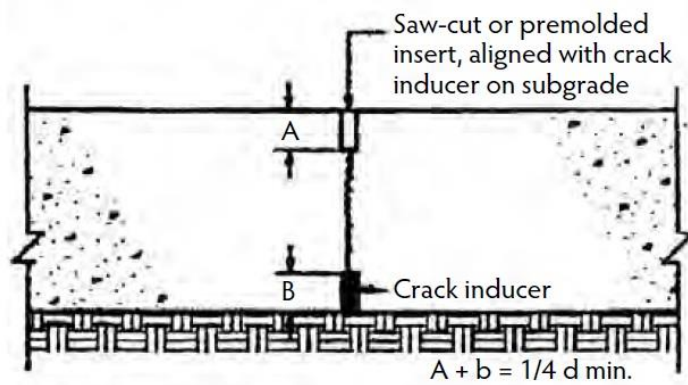
Sebelum diadakan pengecoran beton baru perlu permukaan disiram mortal dengan mutu sesuai dengan komposisi beton baru, dan segera pula diadakan pengecoran beton baru dengan disertai pemadatan. Dimana mendekati *construction joint* dibuat sukar oleh perancah yang dalam atau kerapatan tulangan beton kedalaman maka perlu persiapan yang memadai untuk membentuk sambungan yang baik hanya dapat dicapai dengan cara yang baik dan peralatan tambahan seperti tekanan air atau air bertekanan tinggi.



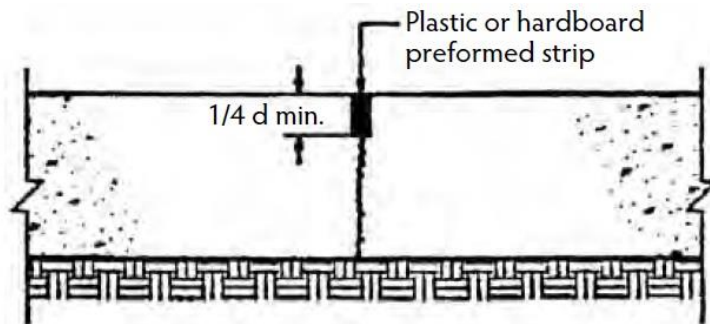
Gambar 7. *Sawed Contraction Joint*
(Sumber : ACI 224.3R, 1995)



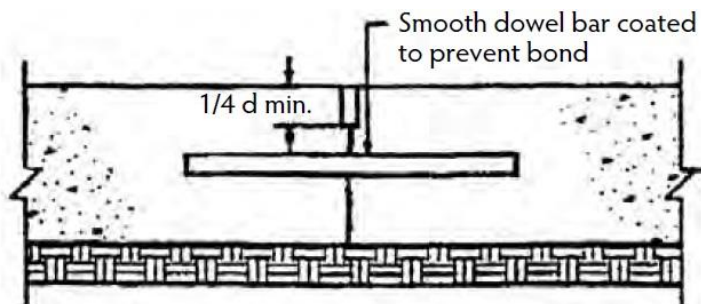
Gambar 8. *Tongue-And-Groove Contraction Joint*
(Sumber : ACI 224.3R, 1995)



Gambar 9. *Contraction Joint In Thick Floor Slabs*
(Sumber : ACI 224.3R, 1995)



Gambar 10. *Premolded Insert Contraction Joint*
(Sumber : ACI 224.3R, 1995)



Gambar 11. *Contraction Joint With Dowels*
(Sumber : ACI 224.3R, 1995)

E. Perancangan Campuran

Perencanaan komposisi campuran adukan beton normal metode mix desain lama menggunakan SNI 03-2834-2000 yaitu:

a. Langkah penentuan kuat tekan diisyaratkan

Penentuan kuat tekan beton yang diisyartkan (f_c') pada umur 28 hari, penentuan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data-data sifat bahan yang akan dipergunakan dan susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan yang diisyaratkan.

b. Langkah penentuan deviasi standart (sd)

Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji.

c. Langkah perhitungan margin

Margin adalah nilai tambah yang dihitung berdasarkan nilai standar deviasi (sd), maka dilakukan dengan rumus :

$$M = 1,64 \times (sd) \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

M = Nilai tambah (MPa).

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung pada presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

(sd) = Deviasi standar rencana.

d. Langkah menetapkan kuat tekan beton rerata

Kuat tekan beton rerata yang direncanakan dengan rumus sebagai berikut :

$$f_{cr} = f_c + M \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

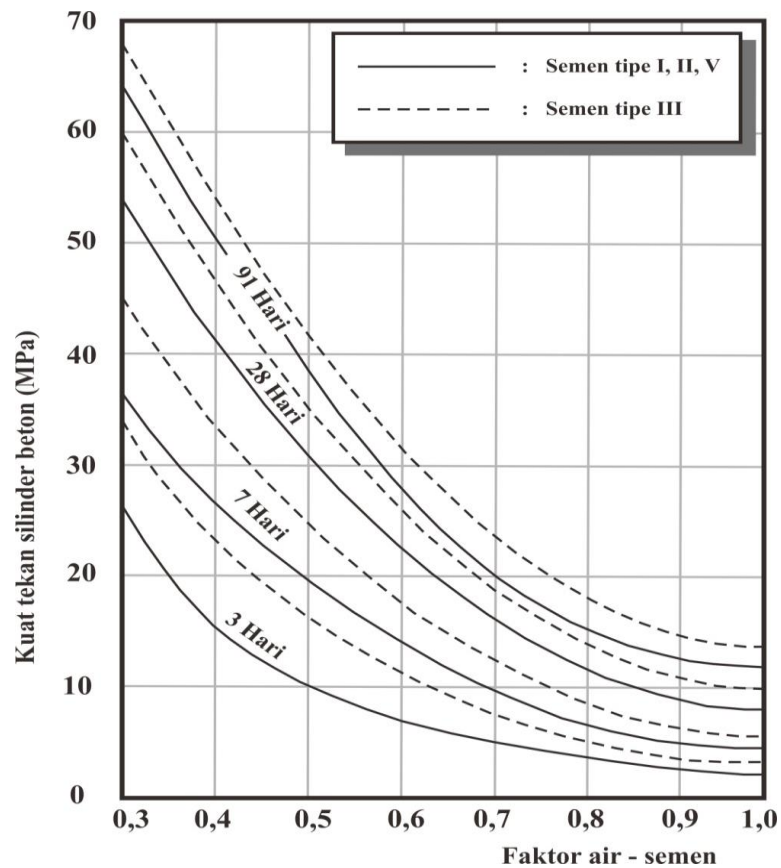
f_{cr} = Kuat tekan rerata (MPa).

f_c = Kuat tekan yang diisyaratkan (MPa).

M = Nilai tambah (MPa).

e. Langkah pemilihan faktor air semen (fas)

Menetapkan nilai faktor air semen (fas) dapat dilakukan dengan menentukan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu.



Gambar 12. Grafik hubungan FAS dengan Kuat Tekan Rata-rata
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

f. Langkah penetapan fas maksimum

Agar beton yang diperoleh awet maupun bertahan terhadap pengaruh kondisi lingkungan perlu ditetapkan nilai fas maksimum. Apabila nilai fas maksimum ini lebih rendah daripada nilai fas yang diperoleh dari langkah e, maka nilai fas maksimum ini digunakan untuk langkah selanjutnya.

Tabel 4. Persyaratan Nilai fas Maksimum

Jenis Pembetonan	FAS Maksimum	Semen Minimum (kg/m ³)
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan sekeliling non-korosif	0,60	275
b. Keadaan sekeliling korosif akibat kondensasi atau uap korosi	0,52	325
Beton di luar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60	275
Beton di luar ruang bangunan :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55	325

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

g. Langkah penetapan nilai *slump*

Menetapkan nilai slump dengan memperhatikan jenis pekerjaan atau jenis strukturnya supaya proses pembuatan, pangangkutan, penuangan, pemadatan mudah dilaksanakan.

Tabel 5. Penetapan Nilai *slump*

Pemakaian beton	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom, dan Dinding	15,0	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

(Sumber : Pd T-07-2005-B)

h. Langkah penetapan besar butir agregat maksimum

Menentukan ukuran agregat maksimum berkaitan dengan jenis pekerjaan konstruksi beton, ukuran maksimum agregat kasar tidak melebihi diantara berikut:

- a) 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan.
 - b) 1/3 ketebalan pelat lantai.
 - c) 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundle tulangan, atau tendon-tendon pratekan atau selongsong-selongsong.
- i. Langkah penetapan kadar air bebas

Kadar air bebas yang dibutuhkan tiap m³ adukan beton berdasarkan dari ukuran agregat maksimum, jenis agregat, dan nilai slump. Berikut tabel perkiraan kebutuhan air:

Tabel 6. Perkiraan Kebutuhan Air Tiap m³ Beton (liter)

Ukuran agregat maksimum (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Apabila digunakan jenis agregat halus dan agregat kasar yang berbeda (alami dan pecah), maka perkiraan kebutuhan jumlah air tiap m³ beton harus disesuaikan menggunakan persamaan berikut;

$$A = 0,67 \times A_h + 0,33 \times A_k \dots\dots\dots (5)$$

Dengan;

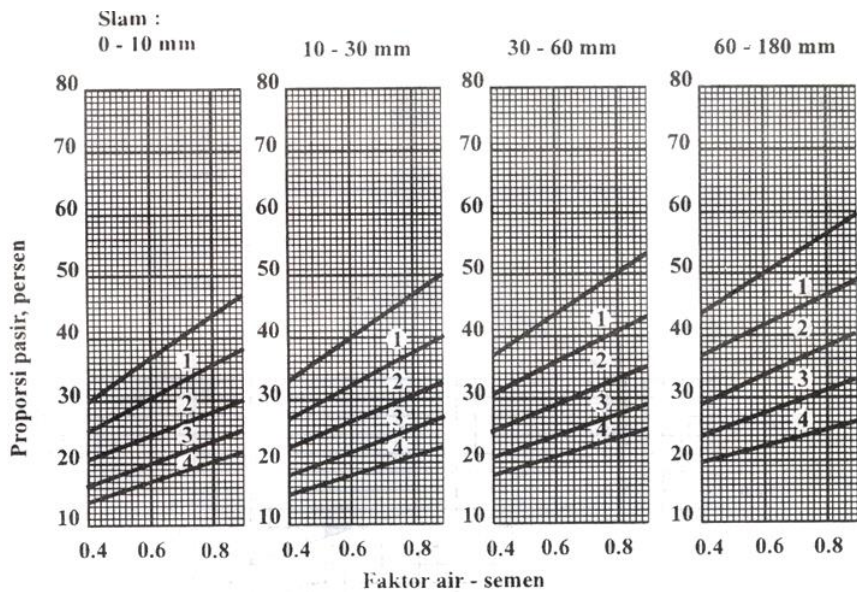
A = Perkiraan kebutuhan air tiap m³ beton

A_h = Kebutuhan air berdasarkan jenis agregat halus

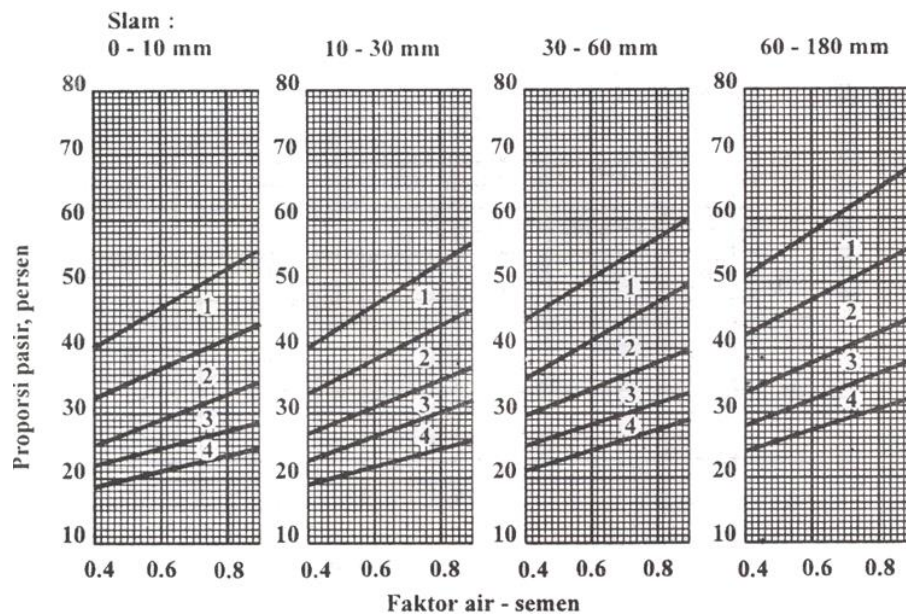
A_k = Kebutuhan air berdasarkan jenis agregat kasar

- j. Langkah perhitungan perbandingan agregat

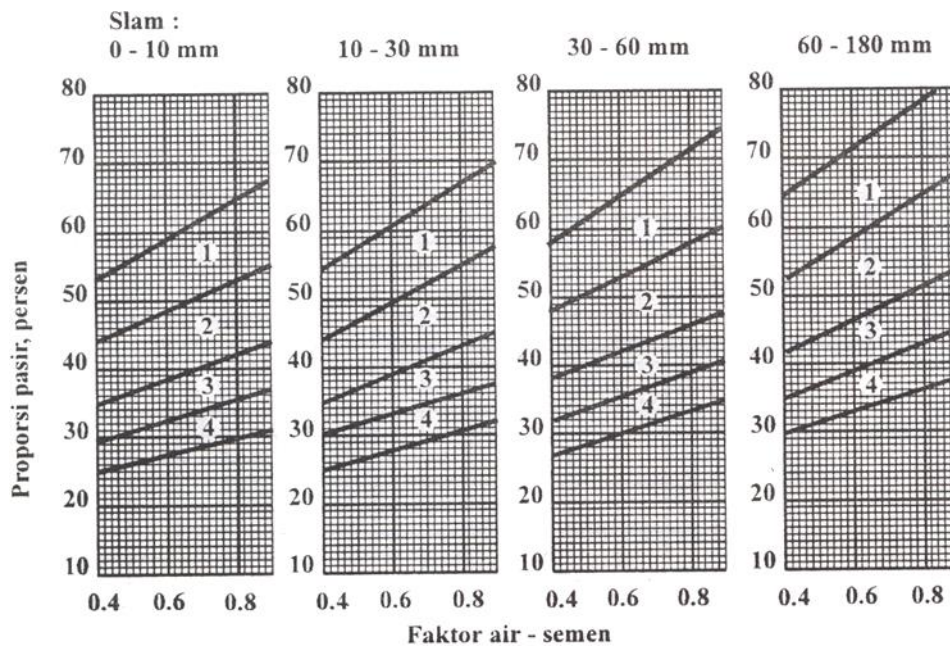
Menentukan perbandingan antara agregat halus dengan agregat campuran berdasarkan ukuran butiran maksimum agregat kasar, nilai slump, fas dan daerah gradasi agregat halus dengan menggunakan gambar berikut:



Gambar 13. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Masimum 40 mm
(Sumber : SNI 03-2834-2000)



Gambar 14. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber : SNI 03-2834-2000)



Gambar 15. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Maksimum 10 mm
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

k. Langkah perhitungan berat jenis agregat gabungan

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$B_{jc} = \frac{P}{100} \times B_{jh} + \frac{K}{100} \times B_{jk} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan;

B_{jc} = Berat jenis agregat campuran

P = Presentase agregat halus terhadap agregat campuran

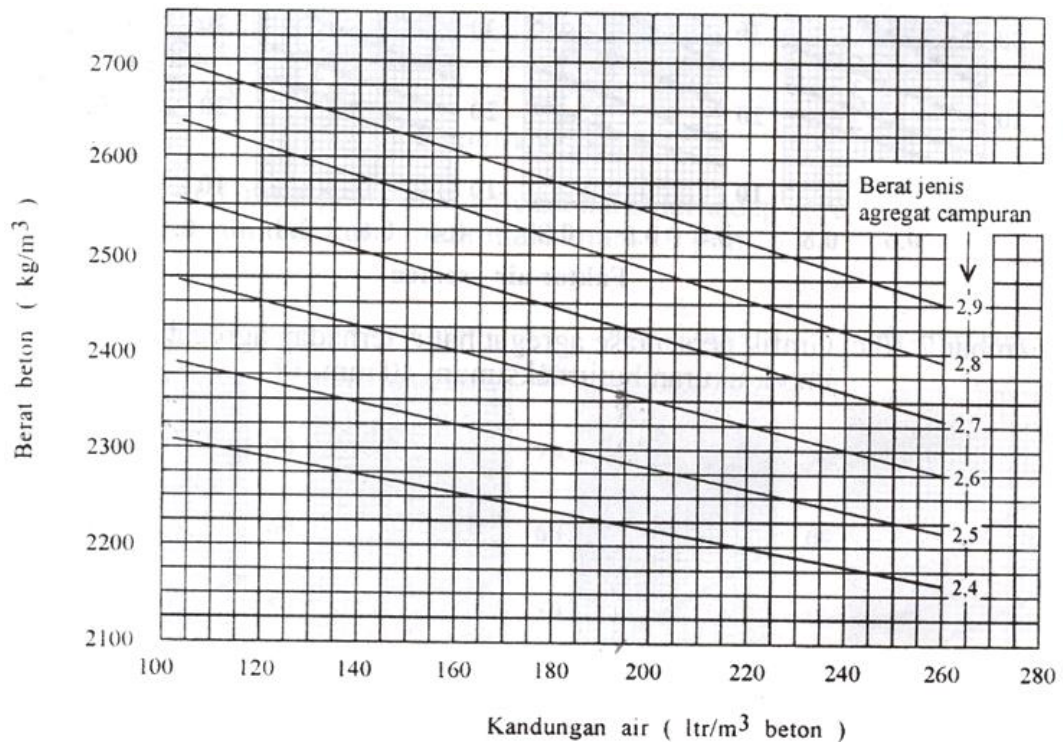
B_{jh} = Berat jenis agregat halus

K = Presentase agregat kasar terhadap agregat campuran

B_{jk} = Berat jenis agregat kasar

l. Langkah perhitungan berat jenis beton

Menentukan berat jenis beton berdasarkan hasil hitungan berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap m^3 beton dengan gambar berikut:



Gambar 16. Grafik Hubungan Kandungan air, Berat Jenis Campuran dan Berat Beton.
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

F. Pengerjaan Beton

Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkan beton tidak sesuai dengan rencana akan semakin besar. Cara pengerjaan ini akan menentukan kualitas beton yang akan dibuat.

1. Persiapan

Sebelum penuangan beton dilaksanakan, hal-hal berikut harus terlebih dahulu diperhatikan (SNI 2847-2013).

- Semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan beton harus bersih.
- Ruang yang akan diisi beton harus bebas dari kotoran-kotoran yang mengganggu.
- Untuk memudahkan pembukaan acuan, permukaan dalam acuan boleh dilapisi dengan bahan khusus, antara lain lapisan minyak mineral, lapisan bahan kimia.

- d. Pasangan dinding bata yang berhubungan langsung dengan beton harus dibasahi air sampai jenuh.
- e. Tulangan harus dalam keadaan bersih dan bebas dari segala lapisan penutup yang dapat merusak beton atau mengurangi lekatan antara beton dan tulangan.
- f. Air yang terdapat pada ruang yang akan diisi oleh harus dibuang, kecuali apabila penuangan dilakukan dengan tremi atau telah seijin pengawas ahli.
- g. Semua kotoran, serpihan beton dan material lain menempel pada permukaan beton yang telah mengeras harus dibuang sebelum beton yang baru dituangkan pada permukaan beton yang telah mengeras tersebut.

Pada kasus-kasus tertentu, persiapan lebih detail harus juga dilakukan. Untuk pengerjaan beton *pre-stressing* misalnya, persiapan akan bahan-bahan kimia seperti bonding *agent* untuk perekat antara lapisan beton yang baru dengan beton lama, ataupun *cement grouting* untuk memperbaiki bagian-bagian yang keropos akibat kurangnya pemadatan karena terjadinya segregasi harus dilakukan (Tri Mulyono, 2005).

2. Penakaran

Penakaran bahan-bahan penyusun beton dihasilkan dari hasil rancangan harus mengikuti ketentuan-ketentuan SNI 03-3976-1995 tentang Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton dan ASTM C.685 *Standard Made By Volumetric and Continuous Mixing* sebagai berikut:

- a. Beton yang mempunyai kekuatan tekan (F_c') lebih besar atau sama dengan 20 MPa proporsi penakarannya harus didasarkan atas penakaran berat.
- b. Beton yang mempunyai kekuatan tekan (F_c') lebih kecil dari 20 MPa proporsi penakarannya boleh menggunakan teknik penakaran volume. Tekniknya harus didasarkan atas penakaran berat yang dikonversikan kedalam penakaran volume untuk setiap campuran bahan penyusunnya.

3. Pengadukan

Semua jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan beton harus dilengkapi dengan:

- a. Sertifikasi mutu dari produsen.
- b. Jika tidak terdapat sertifikasi mutu, harus tersedia data uji dari laboratorium yang diakui.
- c. Jika tidak dilengkapi dengan sertifikasi mutu atau data hasiluji, harus berdasarkan bukti dari hasil pengujian khusus atau pemakaian nyata yang dapat menghasilkan beton pengujian khusus atau pemakaiannya nyata yang dapat menghasilkan beton kekuatan, ketahanan, dan keawetannya memenuhi syarat.

Selain hal-hal di atas, bahan-bahan yang digunakan harus memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SK.SNI S-04-1989-F tentang Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).. peralatan yang dipakai untuk mengaduk harus pula memenuhi syarat standar. standar pelaksanaan harus mengikuti ketentuan, syarat administrasi yang dinyatakan dalam rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) dan harus tersedia rencana campuran beton serta rencana pelaksanaan pengecoran. Ketentuan lain mengenai peralatan adalah alat harus dalam keadaan bersih dan baik, putarannya sesuai dengan rekomendasi, peralatan angkut dan pengecoran dalam kondisi baik dan lancar (Tri Mulyono, 2005).

4. Pengangkutan

Berdasarkan PBI 1989 dalam Tri Mulyono (2005) alat angkut yang digunakan harus mampu menyediakan beton di tempat penyimpanan akhir dengan lancar tanpa mengakibatkan pemisahan dan bahan yang telah dicampur dan tanpa hambatan yang dapat mengakibatkan hilangnya plastisitas beton antara pengangkutan yang berurutan.

Alat angkut pun dibedakan menjadi dua, yakni alat angkut manual dan mesin. Alat angkut manual menggunakan tenaga manusia, dengan alat bantu sederhana (ember, dolak, gerobak dorong, talang) dan biasanya mempunyai kapasitas kecil. Alat angkut mesin biasanya dibutuhkan untuk

pengerjaan yang kapasitasnya besar dan jarak antara tempat pengolahan beton dan tempat pengerjaan struktur jauh. Contoh alat angkut ini adalah *truck mixer*, *belt conveyor*, dan *tower crane*.

5. Penuangan

Berdasarkan PBI (1989) dalam Mulyono (2005) hal yang perlu diperhatikan adalah: (1). Tinggi jatuh tidak boleh lebih dari 1,50 meter. Jika terjadi jarak yang lebih besar maka perlu ditambahkan alat bantu seperti tremi atau pipa. (2). Tidak dilakukan penuangan selama terjadi hujan agar kadar air tetap terjaga, kecuali jika pengecoran dilakukan di bawah atap. (3). Setiap kali penuangan, tebal lapisan maksimum 30-45 cm, agar pematatannya dapat dilaksanakan dengan mudah. (4). Penuangan hanya terhenti dititik momen sama dengan nol.

6. Pemadatan

Pemadatan dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapt dalm beton segar. Pada pengerjaan beton dengan kapasitas kecil, alat pemadat dapat berupa kayu atau besi tulangan. Untuk pengecoran dengan kapasitas lebih besar dari 10 m³, alat pemadat mesin harus digubakan. Alat pemadat ini lebih dikenal dengan nama *vibrator* (Tri Mulyono, 2005).

7. Perawatan

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Berdasarkan SNI 2847-2013 perawatan beton antara lain yaitu :

- a. Beton (selain beton kekuatan awal tinggi) harus dirawat pada suhu diatas 10 °C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya 7 hari setelah pengecoran, kecuali jika dirawat sesuai dengan perawatandiperkuat.
- b. Beton kekuatan awal tinggi harus dirawat pada suhu 10 °C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 3 hari pertama kecuali jika dirawat dengan perawatan dipercepat.

Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. Perawatan tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur (Tri Mulyono, 2005).

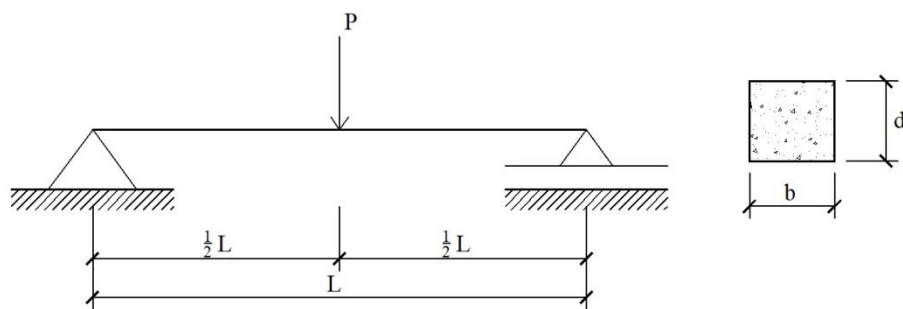
G. Pengujian Balok Beton

Pengujian balok dengan cara ditekan dengan alat uji bending. Alat uji bending adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian, kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji bending. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Point bending berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan point bending berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 point *bending* dan 4 point *bending*.

Secara umum proses pengujian *bending* memiliki 2 cara pengujian, yaitu: *Three point bending* dan *Four point bending*. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda.

1. *Three Point Bending*

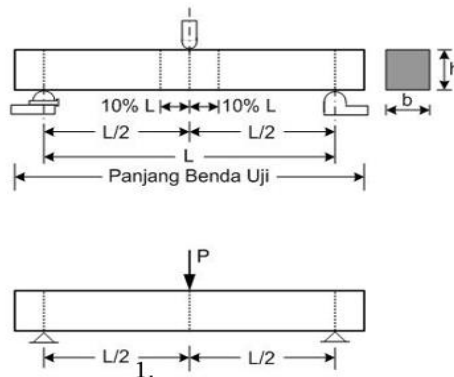
Three point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



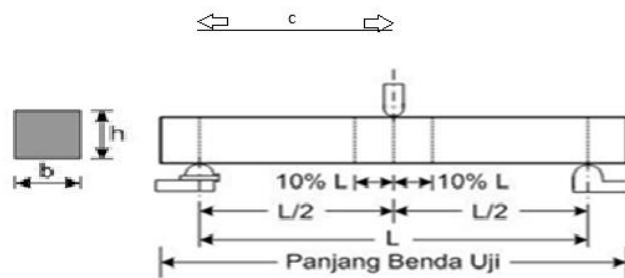
Gambar 17. *Three Point Bending*
(Sumber : Khamid, 2011)

Cara pengujian menurut SNI 03-2823-1992 adalah sebagai berikut :

Pengujian kuat lentur, letakkan benda uji pada kedua tumpuan di bawah mesin pembeban. Ukur jarak bentang kedua tumpuan kemudian pasang penekan beban pada bagian atas mesin penekan. Unit tumpuan diatur supaya penekan terletak ditengah bentang, beri beban awal 50% dari perkiraan beban maksimum. Pembebanan diatur antara 300-500 N/menit. Catat besar beban (P) pada saat benda uji pecah. Ukur jarak (c) bidang pecah pada beberapa posisi dan ambil rata-rata serta buat pola keruntuhan. Hitung kuat lentur benda uji dengan rumus (1),(2),(3) dan (4) tergantung bentuk benda uji dan posisi keruntuhan, hiking rata-rata kuat lentur benda uji.



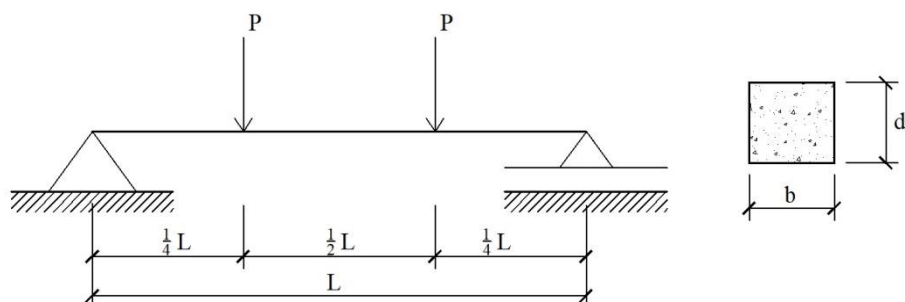
Gambar 18. Sistem Satu Beban Titik
(Sumber : SNI 03-4154-1996)



Gambar 19. Sistem Satu Beban Titik
(Sumber : SNI 03-4154-1996)

2. Four Point Bending

Four point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekan.



Gambar 20. *Four Point Bending*
(Sumber : Khamid, 2011)

H. Perhitungan Balok Beton

Cara perhitungan menurut SNI 03-2823-1992 menggunakan rumus :

Untuk benda uji dengan bidang pecah di tengah

$$\sigma_s = \frac{8PL}{nD_s} \text{ (kPa)(1)}$$

$$\sigma_s = \frac{3PL}{2bd_2} \text{ (kPa)(2)}$$

a. Untuk benda uji dengan bidang pecah tidak di tengah

$$\sigma_s = \frac{16Pc}{nD_s} \text{ (kPa)(3)}$$

$$\sigma_p = \frac{3Pc}{bd_2} \text{ (kPa)(4)}$$

a. Dimana:

σ_s = kuat lentur benda uji berbentuk silinder (kPa)

σ_p = kuat lentur benda uji berbentuk balok (kPa)

P = besar beban saat pecah (kN)

D = diameter benda uji berbentuk silinder (m)

d = tebal rata-rata balok (m)

b = lebar rata-rata balok (m)

L = jarak antara kedua tumpuan (m)

C = jarak rata-rata bidang pecah ke tumpuan terdekat, tidak lebih dari 10% bentang tumpuan terhadap titik tengah