

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Pengujian Bahan Material Penyusun Beton

2.1.1 Pengujian Kadar Air Agregat

Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian kadar air adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh;
2. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
3. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.

Urutan proses pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut :

1. Timbang dan catatlah berat talam (W_r);
2. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2);
3. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$);
4. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap;
5. Setelah kering, timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4);

6. Hitunglah berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

Keterangan :

W_3 = Berat benda uji semula (gram)

W_5 = Berat benda uji kering (gram)

Tabel 2.1 Contoh Isian Formulir Pengujian Kadar Air Agregat

Nomor Contoh dan Kedalaman	No. 01		No. 01		No. 01	
	A	B	A	B	A	B
Nomor Talam yang dipakai						
1. Berat Talam + Contoh basah (gram)	395	397	0	0	0	0
2. Berat Talam + Contoh kering (gram)	386	389	0	0	0	0
3. Berat Air = 1 – 2 (gram)	9	8	0	0	0	0
4. Berat Talam (gram)	145	160	0	0	0	0
5. Berat contoh Kering = 2 – 4 (gram)	241	229	0	0	0	0
6. Kadar Air = 3 : 5 (%)	3,73	3,49	0	0	0	0

(Sumber : SNI-03-1971-1990)

2.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

2.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan.

Dalam pelaksanaannya berat jenis curah adalah suatu sifat yang pada umumnya digunakan dalam menghitung volume yang ditempati oleh agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat termasuk beton semen, beton aspal dan campuran lain yang diproporsikan atau dianalisis berdasarkan volume absolut. Angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat

akibat air yang menyerap kedalam pori di antara partikel utama dibandingkan dengan pada saat kondisi kering, ketika agregat tersebut di anggap lebih cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap penuh.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yaitu :

1. Timbangan

Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI 03 – 6414 – 2002 yang dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menggantung wadah contoh uji didalam air pada bagian tengah-tengah alat penimbang.

2. Wadah contoh uji

Suatu keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No. 6) atau yang lebih halus, atau ember dengan tinggi dan lebar yang sama dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm (Saringan No.1 ½ inci) atau lebih kecil, dan wadah yang lebih besar jika dibutuhkan untuk menguji ukuran maksimum agregat yang lebih besar. Wadah harus dibuat agar dapat mencegah terperangkapnya udara ketika wadah ditenggelamkan.

3. Tangki Air

Sebuah tangki air yang kedap dimana contoh uji dan wadahnya akan ditempatkan dengan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan, dilengkapi dengan suatu saluran pengeluaran untuk menjaga agar ketinggian air tetap.

4. Alat penggantung (kawat)

Kawat untuk menggantung wadah haruslah kawat dengan ukuran praktis terkecil untuk memperkecil seluruh kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.

5. Saringan 4,75 mm (No. 4)

Saringan atau ukuran yang lain jika dibutuhkan (Pasal 5).

Langkah-langkah pengambilan dan persiapan contoh uji sebagai berikut :

1. Pengambilan dan persiapan contoh uji harus disesuaikan dengan SNI 03 – 6889 – 2002.
2. Campur agregat secara menyeluruh dan kurangi sampai mendekati jumlah yang diperlukan dengan menggunakan prosedur yang sesuai dengan SNI 13 – 6717 – 2002. Pisahkan semua material yang lolos saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dengan penyaringan kering, kemudian cuci secara menyeluruh untuk menghilangkan debu atau material lain dari permukaan agregat. Jika agregat kasar mengandung sejumlah bahan yang lebih halus dari saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dalam jumlah yang substansial, seperti agregat ukuran 2,36 mm (No. 8) dan Saringan ukuran No. 9 (dalam AASHTO M 43), gunakan saringan ukuran 2,36 mm (No. 8) sebagai pengganti saringan ukuran 4,75 mm (No.4). Sebagai pilihan, pisahkan material yang lebih halus dari saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dan ujilah material tersebut menurut SNI 03 - 1970 - 1990.
3. Berat contoh uji minimum untuk digunakan disajikan di bawah ini. Di dalam banyak kejadian mungkin saja diinginkan untuk menguji suatu agregat kasar dalam beberapa ukuran terpisah per fraksi; dan jika contoh uji mengandung lebih dari 15 persen yang tertahan di atas saringan ukuran 37,5 mm (No. 1½ inci), maka ujilah material yang lebih besar dari 37,5 mm di dalam satu atau lebih

ukuran fraksi secara terpisah dari ukuran yang lebih kecil. Apabila suatu agregat diuji dalam ukuran fraksi yang terpisah, berat contoh uji minimum untuk masing-masing fraksi harus merupakan perbedaan antara berat yang telah ditentukan untuk ukuran minimum dan maksimum dari fraksi tersebut.

Tabel 2.2 Berat Contoh Uji Minimum untuk Tiap Ukuran Nominal Maksimum Agregat

Ukuran Nominal Maksimum		Berat Minimum Contoh Uji (kg)
mm	inci	
150	(6)	125
125	(5)	75
112	(4 ½)	50
100	(4)	40
90	(3 ½)	25
75	(3)	18
63	(2 ½)	12
50	(2)	8
37,5	(1 ½)	5
25,0	(1)	4
19,0	(¾)	3
12,5 atau kurang	(½) atau kurang	2

(Sumber : SNI-1969-2008)

4. Jika contoh diuji dalam dua fraksi atau lebih, tentukanlah susunan butiran (gradasi) contoh sesuai dengan SNI 03 1974 – 1990, termasuk saringan yang dipergunakan untuk memisahkan fraksi di dalam cara uji ini. Dalam menghitung

persentase material dalam setiap ukuran, abaikanlah jumlah material yang lebih halus dari pada saringan ukuran 4,75 mm (No.4) atau saringan ukuran 2,36 mm (No. 8) apabila digunakan seperti yang dijelaskan pada pasal 5, butir b.

Urutan proses pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, dinginkan pada temperatur kamar selama satu sampai tiga jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (Saringan No. 1 ½ in.) atau lebih untuk ukuran yang lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira 50°C). Sesudah itu rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Pada saat menguji agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar, akan memerlukan contoh uji yang lebih besar, dan akan lebih mudah di uji dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil, kemudian nilai-nilai yang diperoleh digabungkan dengan perhitungan-perhitungan pada pasal 7.
2. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis akan dipergunakan dalam menentukan proporsi campuran beton yang agregatnya akan berada pada kondisi alaminya, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dapat dihilangkan, dan jika permukaan partikel butir contoh terjaga secara terus-menerus dalam kondisi basah, perendaman sampai (24 ± 4) jam juga dapat dihilangkan. Sebagai catatan nilai-nilai untuk penyerapan dan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) mungkin lebih tinggi untuk agregat yang tidak kering oven sebelum direndam dibandingkan dengan agregat yang sama tetapi diperlakukan seperti pada pasal 6 butir a. Hal ini jelas, khususnya untuk partikel

butiran yang lebih besar dari 75 mm (3 inci) karena air tidak mungkin mampu masuk sampai pusat butiran dalam waktu perendaman seperti yang disyaratkan.

3. Pindahkan contoh uji dari dalam air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air yang terlihat hilang. Keringkan air dari butiran yang besar secara tersendiri. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Kerjakan secara hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang sampai nilai 1,0 gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar.
4. Setelah ditentukan beratnya, segera tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air, yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$. Hati-hatilah sewaktu berusaha menghilangkan udara yang terperangkap sebelum menentukan berat tersebut, menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup contoh uji selama penentuan berat. Kawat yang menggantungkan kontainer tersebut harus memiliki ukuran praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.
5. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap pada temperatur $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$, dinginkan pada temperatur-kamar selama satu sampai tiga jam, atau sampai agregat telah dingin pada suatu temperatur yang dapat dikerjakan pada

temperatur (kira-kira 50°C), kemudian tentukan beratnya. Gunakan berat ini dalam proses perhitungan pada pasal 7.

Langkah-langkah perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar :

1. Berat jenis curah kering

Lakukanlah perhitungan berat jenis curah kering (S_d), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{B-C}$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram);

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram);

2. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)

Lakukanlah perhitungan berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dalam basis jenuh kering permukaan dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{B}{B-C}$$

Keterangan :

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram).

3. Berat jenis semu

Lakukanlah perhitungan berat jenis semu (S_a), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan cara berikut ini

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{A-C}$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram).

4. Penyerapan air

Hitunglah persentase penyerapan air (Sw) seperti dengan cara:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B-A}{B} \times 100\%$$

Keterangan :

B = berat benda uji kering oven (gram);

A = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

Tabel 2.3 Contoh Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	1215,25	1195,10	gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	1232,10	1211,20	gram
Berat benda uji dalam air	C	749,86	740,69	gram

(Sumber : SNI-1969-2008)

Tabel 2.4 Contoh Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{B - C}$	2,52	2,54	2,53
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{B - C}$	2,55	2,54	2,54
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{A - C}$	2,61	2,63	2,62
Penyerapan air (S_w)	$\frac{B - A}{B} \times 100\%$	1,39	1,35	1,37

(Sumber : SNI-1969-2008)

2.1.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam bagai para pelaksana di laboratorium dalam melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Cara uji ini digunakan untuk menentukan setelah (24 ± 4) jam di dalam air berat jenis curah kering dan berat jenis semu, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan, serta penyerapan air.

Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian berat jenis agregat halus yaitu :

1. Timbangan

Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI 03 – 6414 – 2002.

2. Piknometer

Labu atau wadah lain yang cocok untuk benda uji agar dapat dengan mudah dimasukkan volume agregat halus sebanyak $\pm 100 \text{ mm}^3$ secara berulang. Volume wadah akan diisi sampai bagian yang ditandai, paling tidak harus 50% lebih besar dari ruang yang diperlukan untuk benda uji. Suatu labu dengan kapasitas 500 mL cukup untuk 500gram rata-rata benda uji agregat halus. Sebuah labu Le Chatelier yang digambarkan pada AASHTO T 133 dapat digunakan untuk 55gram benda uji.

3. Cetakan

Suatu cetakan yang terbuat dari baja yang tebalnya 0,8 mm berbentuk frustum kerucut (kerucut terpancung) dengan ukuran sebagai berikut : Diameter dalam bagian atas (40 ± 3) mm, diameter dalam bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi kerucut terpancung (75 ± 3) mm.

4. Batang penumbuk

Suatu batang pematat dengan berat (340 ± 15) gram dan permukaan pematat berbentuk lingkaran yang rata dengan diameter (25 ± 3) mm.

5. Oven

Oven yang dapat dipergunakan harus memiliki kapasitas yang sesuai, dilengkapi pengatur temperatur dan mampu memanaskan sampai temperatur (110 ± 5) °C.

6. Alat pengukur temperatur

Alat pengukur temperatur seperti thermometer baik analog maupun elektronik dengan rentang temperatur yang sesuai dan ketelitian pembacaan 1°C.

7. Alat bantu lain

- a) Pompa vakum atau alat pemanas (tungku) untuk mengeluarkan gelembung.
- b) Saringan dengan ukuran bukaan 4,75 mm (No.4).

- c) Talam
- d) Bejana tempat air.

Langkah-langkah pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yaitu :

1. Perhatikan bahwa seluruh penentuan berat harus sampai ketelitian 0,1 gram.
2. Isi piknometer dengan air sebagian saja. Segera setelah itu masukkan ke dalam piknometer (500 ± 10) gram agregat halus dalam kondisi jenuh kering permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Tambahkan kembali air sampai kira-kira 90 % kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer dengan tangan untuk menghilangkan gelembung udara yang terdapat di dalam air. Cara uji lain yang dapat digunakan untuk mempercepat pengeluaran gelembung udara dari dalam air diperbolehkan asalkan tidak menimbulkan pemisahan dan merusak butiran agregat. Sesuaikan temperatur piknometer, air dan agregat pada $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, apabila diperlukan rendam dalam air yang bersirkulasi. Penuhi piknometer sampai batas pembacaan pengukuran. Timbang berat total dari piknometer, benda uji dan air. Pada umumnya dibutuhkan waktu 15 sampai 20 menit untuk menghilangkan gelembung udara dari dalam air bila menggunakan cara manual. Menyentuh ujung dari handuk kertas ke dalam piknometer cukup efektif untuk menghilangkan buih yang timbul saat menggetarkan atau memutar untuk menghilangkan gelembung, atau dengan cara menambahkan beberapa tetes *isopropyl alcohol* segera setelah gelembung udara dihilangkan dan menambahkan air sampai batas pengukuran juga cukup efektif untuk menghilangkan buih yang terbentuk.

- a) Cara alternatif menentukan berat dapat dilakukan dengan menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi piknometer pada temperatur yang ditentukan secara volumetrik dengan menggunakan buret yang ketelitiannya 0,15 mL.
 - b) Langkah alternatif lainnya menggunakan labu Le Chatelier adalah dengan mengisi labu tersebut dengan air sampai pada posisi garis yang berada di antara 0 dan 1 mL. Catat pembacaan ini pada temperatur $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Masukkan 55 gram agregat halus kondisi jenuh kering permukaan ke dalam labu. Setelah semua agregat halus dimasukkan, pasang tutup labu dan putar labu dengan sedikit dimiringkan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terjebak, lanjutkan hingga tidak ada lagi gelembung yang naik ke permukaan. Baca posisi akhir pada labu ukur. Jika menggunakan alkohol untuk menghilangkan buih di permukaan air, volume alkohol yang dipergunakan (tidak lebih dari 1 mL) harus dikurangi pada pembacaan terakhir (R2).
3. Keluarkan agregat halus dari dalam piknometer, keringkan sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, dinginkan pada temperatur ruang selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam dan timbang beratnya. Pada saat mengeringkan dan menimbang berat benda uji dari dalam piknometer, sisa dari contoh uji dalam kondisi jenuh kering permukaan boleh digunakan untuk menimbang berat kering ovennya. Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dan selisih beratnya hanya 0,2 gram. Jika labu Le Chatelier digunakan, akandiperlukan benda uji yang terpisah untuk menentukan penyerapan air. Timbanglah (500 ± 10) gram benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan yang terpisah, keringkan sampai berat tetap kemudian timbanglah kembali Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dengan yang dimasukkan ke dalam labu Le Chatelier.

4. Timbanglah berat piknometer pada saat terisi air saja sampai batas pembacaan yang ditentukan pada $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

2.1.3 Pengujian Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Analisis saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji;
1. Satu set saringan; 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4.75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30(0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm);
2. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
3. Alat pemisah contoh;
4. Mesin pengguncang saringan;
5. Talam-talam;
6. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(10 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap;
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

Tabel 2.5 Contoh Tabel Analisis Saringan

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3")				
63,5 (2 ¹ / ₉ ")				
50,8 (2")				
36,1 (1 ¹ / ₂ ")				
25,4 (1")				
19,1 (1 ¹ / ₄ ")	9.97	9.97	40	96.00
12,7 (1 ¹ / ₂ ")				
9,52 (3 ⁷ / ₈ ")	22.95	32.92	43.20	86.80
No. 4	43.54	76.46	30.60	69.40
No. 8	49.58	126.04	50.40	49.60
No. 20	33.07	159.11	63.60	36.40
No. 30	-	-	-	-
No. 40	18.43	177.54	71.00	29.00
No. 50	-	-	-	-
No. 80	17.19	194.73	77.90	22.10
No. 100	2.76	197.49	79.00	21.00
No. 200	3.31	200.80	80.30	19.70

(Sumber : SNI-03-1968-1990)

2.1.4 Pengujian Berat Isi Agregat

Cara uji ini meliputi penentuan berat isi dari campuran beton segar dan beberapa formula untuk menghitung volume produksi campuran, kadar semen, dan kadar udara dalam beton.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian berat isi agregat yaitu :

1. Timbangan

Timbangan dengan ketelitian 45 g atau 0.3% dari berat benda uji, atau lebih besar berdasarkan rentang yang digunakan. Rentang yang digunakan berdasarkan timbangan yang dapat digunakan untuk menimbang wadah ukur kosong sampai wadah ukur yang telah terisi beton sekitar 2600 kg/m³.

2. Batang penusuk

Batang penusuk terbuat dari baja yang lurus dengan diameter 16 mm dan 21 vertikal 600 mm, dengan bagian ujungnya dibulatkan setengah bola dengan diameter 16 mm.

3. Penggetar internal

Penggetar internal harus memiliki permukaan yang halus dan rapat pada bagian penggetarnya serta digerakkan dengan motor listrik. Frekuensi getaran harus 7000 getaran per menit atau lebih. Diameter terluar dari bagian penggetar tidak kurang dari 19 mm dan tidak lebih dari 38 mm. Panjang bagian penggetar tidak kurang dari 600 mm.

4. Wadah ukur

Wadah ukur berbentuk silinder, dapat terbuat dari baja atau logam lainnya. Kapasitas minimum dari wadah silinder harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum yang berdasarkan pada ukuran agregat dalam beton yang akan diuji. Semua wadah ukur, kecuali wadah ukur pada pengukur kadar udara, harus

sesuai dengan persyaratan.

5. Alat perata

Pelat logam persegi empat dengan ketebalan 6 mm atau pelat *acrylic* atau kaca dengan ketebalan 12 mm, lebar 50 mm dan 22ertica yang disesuaikan dengan wadah silinder yang digunakan. Permukaan pelat harus rata dan mulus dengan toleransi penyimpangan 2 mm.

6. Palu karet

Untuk wadah ukur dengan volume tidak lebih dari 14 liter, gunakan palu karet dengan berat (600 ± 200) g, sedangkan untuk wadah ukur dengan volume lebih dari 14 liter, gunakan palu karet dengan berat (1000 ± 200) .

Prosedur pelaksanaan pengujian berat isi agregat yaitu :

1. Pemilihan metode pemadatan

Pemilihan metode pemadatan berdasarkan nilai *slump* dilakukan jika tidak ditentukan dalam spesifikasi. Metode pemadatan dilakukan dengan cara penusukan dan getaran internal. Untuk nilai *slump* yang lebih besar dari 75 mm pemadatan dilakukan dengan cara penusukan. Untuk nilai *slump* yang terletak di antara 25 mm sampai 75 mm pemadatan dapat dilakukan dengan cara penusukan atau penggetaran internal. Apabila nilai *slump* lebih kecil dari 25 mm maka pemadatan hanya boleh dilakukan dengan cara penggetaran.

2. Pemadatan

Beton ditempatkan dalam tiga lapis dengan volume yang sama pada setiap lapis. Untuk wadah ukur yang digunakan dengan volume 14 liter atau lebih kecil, tusuk-tusuk setiap lapis dengan 25 tusukan batang penusuk, 50 tusukan bila volume wadah ukur yang digunakan 28 liter, dan satu tusukan untuk setiap 20 cm² dari permukaan untuk wadah ukur yang lebih besar. Tusukan lapisan bawah

tidak menyentuh wadah ukur bagian bawah. Penusukan dilakukan secara merata di atas penampang melintang wadah ukur dan untuk dua lapis di atasnya, tusukan menembus lapisan di bawahnya sedalam 25 mm. Setelah setiap lapis ditusuk, pukul-pukul setiap sisi sebanyak 10 sampai 15 kali dengan menggunakan palu (sesuai 4.6) untuk mengurangi jumlah pori dalam beton.

3. Penggetaran internal

Isi dan getarkan wadah ukur dalam dua lapis yang sama. Tempatkan semua beton dalam setiap lapis dalam wadah ukur sebelum penggetaran dimulai pada lapis tersebut. Masukkan alat penggetar pada tiga tempat yang berbeda di setiap lapis. Untuk pemadatan lapis bawah, alat penggetar diusahakan tidak mengenai bagian bawah wadah ukur. Dalam pemadatan lapis terakhir, alat penggetar harus menembus setiap lapis yang di bawahnya kira-kira 25 mm. Alat penggetar harus ditarik secara hati-hati agar tidak ada udara yang terperangkap dalam beton. Waktu penggetaran yang diperlukan akan tergantung dari tingkat kemudahan pekerjaan beton dan efektifitas penggetar (*Vibrator*) (sesuai SNI 1973-2008). Penggetaran menerus hanya boleh dilakukan untuk mendapatkan beton yang padat (sesuai SNI 1973-2008). Amati lamanya waktu penggetaran yang diperlukan untuk berbagai jenis beton, penggetar dan alat ukur yang digunakan. Biasanya, penggunaan penggetar dilakukan sampai permukaan beton menjadi vertical mulus. Penggetaran berlebih mungkin menyebabkan segregasi dan kehilangan kuantitas udara yang terperangkap.

4. Penyelesaian pemadatan

Pada penyelesaian pemadatan, wadah ukur tidak boleh dalam keadaan kekurangan atau kelebihan beton. Jumlah maksimum kelebihan beton kira-kira

3 mm di atas wadah ukur. Beton dapat ditambahkan dalam jumlah yang sedikit untuk menutupi kekurangan. Jika dalam wadah ukur terdapat kelebihan beton pada saat penyelesaian pemadatan, maka pindahkan kelebihan beton tersebut dengan menggunakan sendok semen atau sekop secepatnya seiring penyelesaian pemadatan dan sebelum wadah ukur diratakan.

5. Perataan

Setelah pemadatan, ratakan permukaan atas beton sampai batas atas wadah ukur dengan alat perata hingga permukaan beton benar-benar rata. Perataan sebaiknya dilakukan dengan menekan alat perata pada permukaan atas wadah ukur untuk menutupi sekitar $2/3$ dari permukaan dan gerakkan pelat perata dengan gerakan menyapu sampai benar-benar tertutup. Kemudian letakkan pelat perata pada permukaan atas wadah ukur untuk menutupi $2/3$ permukaan lainnya dan lakukan dengan tekanan 24 ertical dan gerakan menyapu untuk menutupi semua permukaan wadah ukur dan lanjutkan sampai permukaan wadah ukur benar-benar rata. Lakukan tusukan akhir dengan menggunakan pelat perata sampai permukaan mulus.

6. Pembersihan dan penimbangan

Setelah diratakan, bersihkan semua kelebihan beton yang terdapat pada bagian luar wadah ukur, lalu tentukan berat beton dan wadah ukur dengan timbangan sesuai dengan persyaratan pada 4.1 untuk hasil yang akurat

2.1.5 Pengujian Kadar Lumpur

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana pembangunan jalan. Metode pengujian ini

meliputi persyaratan, ketentuan-ketentuan, cara pengujian agregat untuk menentukan persen bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Bahan pembersih adalah suatu bahan pembersih seperti detergent, atau sabun yang digunakan untuk mempermudah pemisahan bahan halus yang melekat pada agregat. Suspensi adalah bahan halus lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) yang melayang di dalam larutan air pencuci.

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Saringan, terdiri dari dua ukuran yang bagian bawah dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) dan di atasnya, saringan Nomor 16 (1,18 mm);
2. Wadah, untuk mencuci mempunyai kapasitas yang dapat menampung benda uji sehingga pada waktu pengadukan (pelaksanaan pencucian) benda uji dan air pencuci tidak mudah tumpah;
3. Timbangan, dengan ketelitian maksimum 0,1 % dari berat benda uji;
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;

Bahan Pembersih:

1. Bahan yang digunakan adalah bahan pembersih seperti detergent atau sabun untuk mempermudah pemisahan bahan halus yang melekat pada agregat.

Benda uji adalah agregat dalam kondisi kering oven dengan berat tergantung pada ukuran maksimum agregat sesuai dengan Tabel.

Tabel 2.6 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji

Ukuran Maksimum Agregat		Berat Kering Benda Uji
Ukuran Saringan	MM	Gram
No.8	2,36	100
No.4	4,75	500
3/g	9,50	1000
³ / ₄	19.00	2500
± 1 1/2	± 38.10	5000

(Sumber : SNI-03-4142-1996)

Perhitungan:

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots(1)$$

berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots(2)$$

bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

W_1 = berat kering benda uji + wadah (gram); W_2 = berat wadah (gram);

W_3 = berat kering benda uji awal (gram);

W_4 = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram);

W_5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram);

W_6 = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

Pelaksanaan Pengujian

Lakukan pelaksanaan pengujian sebagai berikut :

1. Timbang wadah tanpa benda uji;
2. Timbang benda uji dan masukan ke dalam wadah;
3. Masukan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam;
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah memisahkannya.
5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang;
6. Ulangi pekerjaan butir (3), (4) dan (5), sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih;
7. Kembalikan semua benda Uji yang tertahan saringan Nomor 16 (1.18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh;
8. Hitung persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dengan rumus-rumus perhitungan seperti yang diuraikan pada Bab III, butir 3.4.

2.1.6 Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles

Mesin Los Angeles merupakan salah satu mesin untuk pengujian keausan / abrasi agregat kasar, fungsinya adalah kemampuan agregat untuk menahan

gesekan, dihitung berdasarkan kehancuran agregat tersebut yang bergesekan dengan bola baja di dalam mesin. Besi bulat dan masif dengan ukuran dan berat tertentu yang digunakan sebagai beban untuk menggerus agregat pada mesin abrasi. Keausan merupakan perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Beberapa gradasi agregat yang dapat di kelompokkan sebagai berikut :

a) Gradasi A

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci).

b) Gradasi B

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci).

c) Gradasi C

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 4,75 mm (saringan No. 4).

d) Gradasi D

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 4,75 mm (saringan No.4) sampai dengan agregat ukuran butir 2,36 mm (saringan No.8).

e) Gradasi E

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 75 mm (3 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ inci).

f) Gradasi F

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 50 mm (2,0 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 25,0 mm (1,0 inci)

g) Gradasi G

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ inci).

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mesin abrasi Los Angeles (Lampiran A);

Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28 inci) panjang dalam 508 mm (20 inci); silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar; silinder berlubang untuk memasukkan benda uji; penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu; di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5 inci);

2. Saringan No.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya;

3. Timbangan, dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram;

4. Bola-bola baja, dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1\frac{27}{32}$ inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram;5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan $110C \pm 5C$;

6. alat bantu pan dan kuas.

Benda uji dipersiapkan dengan cara sebagai berikut:

1. Gradasi dan berat benda uji sesuai Tabel ;

2. Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada temperatur $110C \pm 5C$ sampai berat tetap.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut:

Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salahsatu dari 7 (tujuh) cara dalam berikut:

Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles;

1. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm; jumlah putaran gradasi A, gradasi B, gradasi C dan gradasi D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, gradasi F dan gradasi G adalah 1000 putaran;
2. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No.12 (1,70 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap;
3. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No.12 (1,70 mm) tanpa pencucian.

Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan rumus berikut:

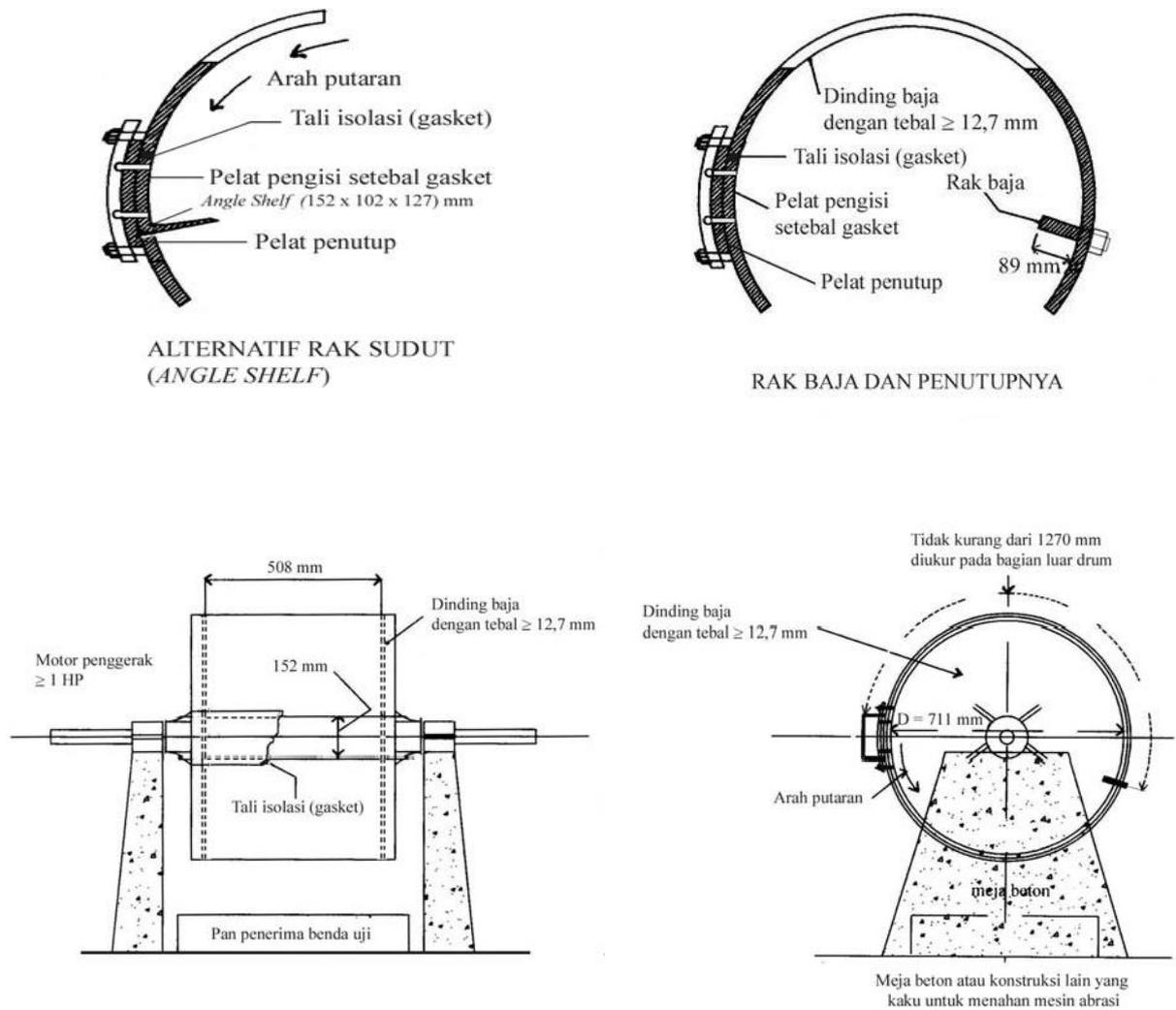
$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

dengan pengertian:

a adalah berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram;

b adalah berat benda uji tertahan saringan No.12 (1,70 mm), dinyatakan dalam gram.

Gambar 2.1 Peralatan Mesin Abrasi Los Angeles



(Sumber: SNI-2417-2008)

2.2 Analisis Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (*Mix Design Campuran Beton*)

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500) kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah. Agregat halus

adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

Bahan-bahan yang digunakan dalam perencanaan harus mengikuti persyaratan berikut:

1. Bila pada bagian pekerjaan konstruksi yang berbeda akan digunakan bahan yang berbeda, maka setiap proporsi campuran yang akan digunakan harus direncanakan secara terpisah;
2. Bahan untuk campuran coba harus mewakili bahan yang akan digunakan dalam pekerjaan yang diusulkan.

Perencanaan campuran beton harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Perhitungan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton;
2. Susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan beton yang disyaratkan.

Bahan-bahan penyusun campuran beton adalah sebagai berikut :

a) Air

Air harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

b) Semen

Semen harus memenuhi SNI-15-2049-1994 tentang semen Portland.

c) Agregat

Agregat harus memenuhi SNI-03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton.

Langkah-langkah perhitungan proporsi campuran beton sebagai berikut:

1. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung dari:
 - a. Deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut rumus:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

dengan:

s adalah deviasi standar

x_i adalah kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji.

\bar{x} adalah kuat tekan beton rata-rata menurut rumus :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Gambar 2.2 Rumus Deviasi Standar

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Keterangan :

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai ujrata-rata dari 2 buah benda uji).

Dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut:

- 1) Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupadengan pekerjaan yang diusulkan;
- 2) Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f' yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan;
- 3) Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua

kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari;

- 4) Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi pasal 4.2.3.1 butir 1), tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan factor pengali dari Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

- 5) Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan butir 1) di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f_c + 12 \text{ MPa})$;

Nilai tambah dihitung menurut rumus:

$$M = 1,64 \times s_r ;$$

Keterangan:

M = Nilai tambah

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

$S_r =$ Deviasi standar rencana

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut rumus berikut:

$$F_{cr} = f'_c + M$$

$$F_{cr} = f'_c + 1,64S_r$$

1. Pemilihan faktor air semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

- a. Hubungan kuat tekan dan factor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 2 dan Grafik 1 atau 2;
- b. Lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air, (Tabel 4,5,6).

2. *Slump*

Slump ditetapkan sesuai dengan kondisipelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, didapatkan dan diratakan.

3. Besar butir agregat maksimum

Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan;
- 2) Sepertiga dari tebal pelat;
- 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

4. Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

- 1) Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada tabel 2 dan grafik 1 atau 2;
- 2) Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut:

$$\frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$$

Keterangan:

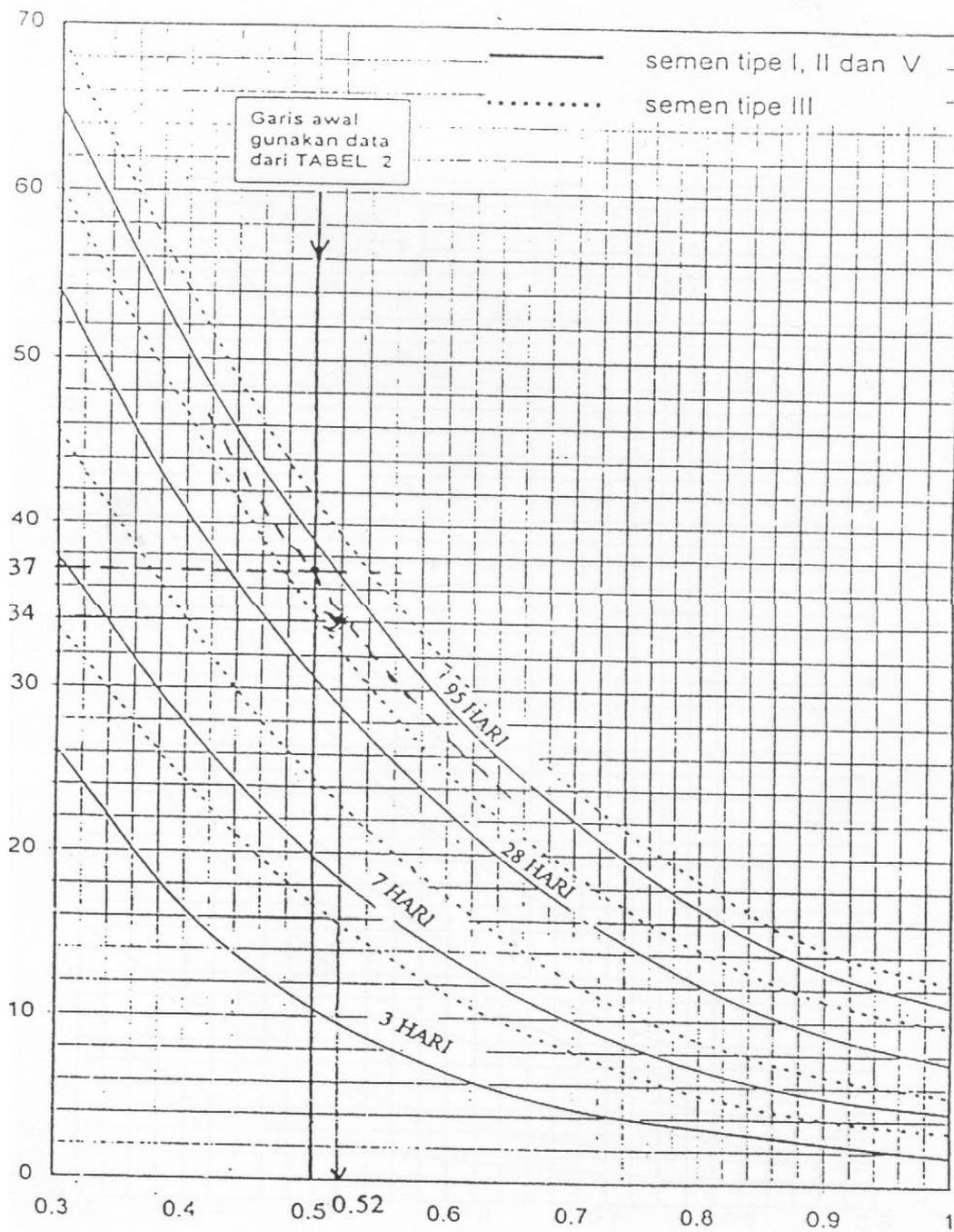
W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar pada Tabel

Tabel 2.8 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

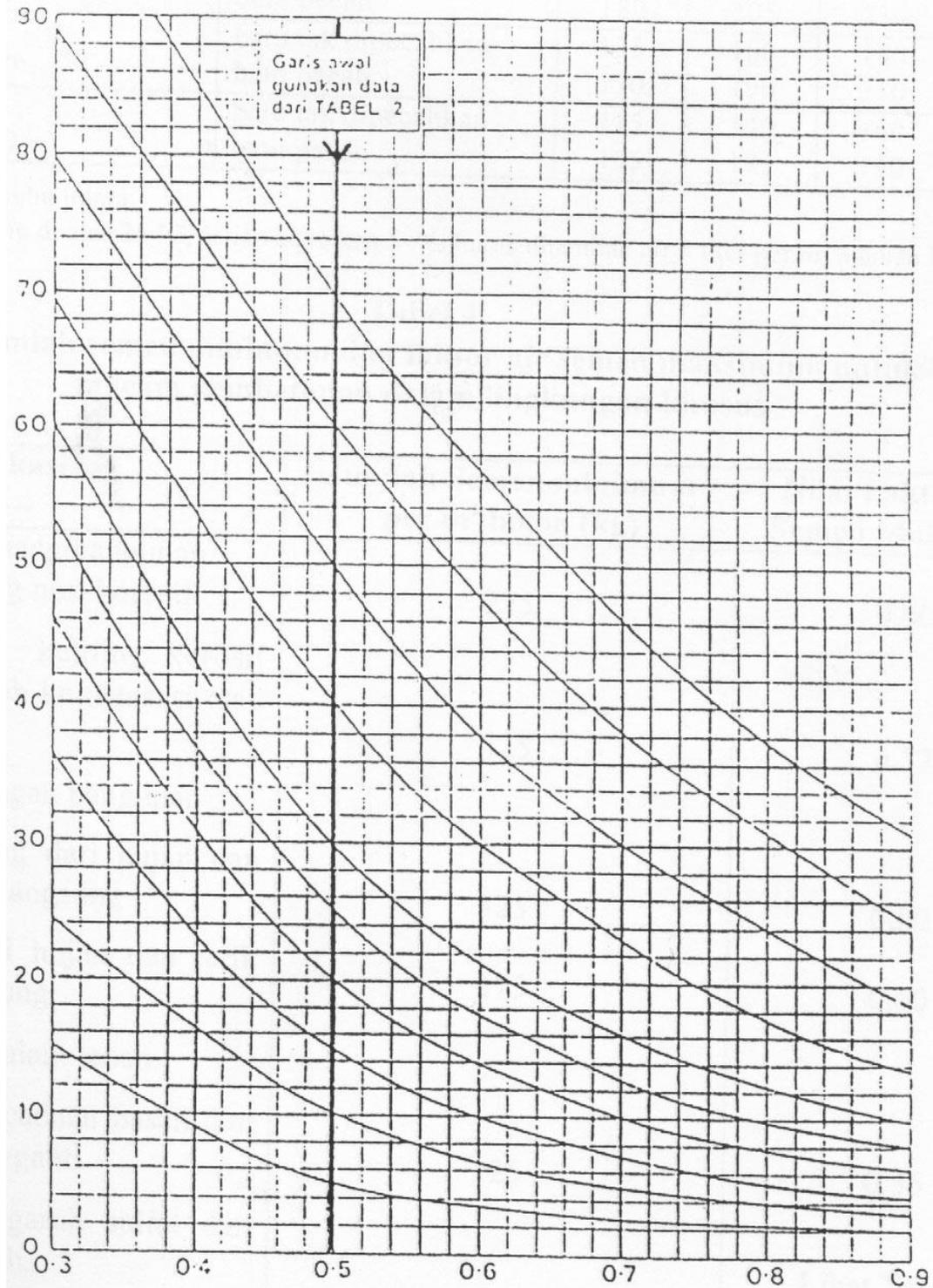
Jenis semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk
		Pada umur (hari)				Bentuk uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 2.3 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Kubus 150 x 150 x 150 mm)

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Tabel 2.9 Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Catatan : Untuk suhu di atas $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, setiap kenaikan $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ harus ditambah air 5 liter per m^2 adukan beton.

Tabel 2.10 Persyaratan jumlah semen minimum dan factor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m^3 beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		Lihat Tabel 6
b. air laut		

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Tabel 2.11 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (Kg/M ³)			Factor air semen
	Dalam tanah		Sulfat(SO ₃) Dalam air Tanah g/l		40 mm	20 mm	10 mm	
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2:1 g/l							
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tip ell atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tip ell atau Tipe V Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

(Sumber : SNI-2834-2000)

Tabel 2.12 Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Factor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran nominal Maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Prategang	Air tawar	0,50	Tipe – V Tipe I + Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozalen	280	300
	Air payau	0,45			
	Air laut	0,50	Tipe II atau Tipe V	340	380
		0,45			

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Tabel 2.13 Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar
(Kerikil Atau Korral)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber : 03-2834-2000)

1. Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relative agregat ditentukan sebagai berikut:

1) Data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai dibawah ini:

(1) agregat tak dipecah : 2,5

(2) agregat dipecah : 2,6 atau 2,7

2) Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut:

Berat jenis agregat gabungan = persentase agregat halus x berat jenis agregat halus + persentase agregat kasar x berat jenis agregat kasar

2. Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam kg per m³ adukan.

3. Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran halus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times C/100 - (D_k - D_a) \times D/100; \\ \text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times C/100; \\ \text{Agregat kasar} &= D + (D_k - D_a) \times D/100 \end{aligned}$$

Keterangan:

B = jumlah air

C = jumlah agregat halus D adalah jumlah agregat kasar

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%) D_a adalah absorpsi agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%) D_k adalah kandungan air dalam agregat kasar (%)

Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton normal dilakukan sebagai berikut:

- 1) ambil kuat tekan beton yang disyaratkan f_{Xc} pada umur tertentu;
- 2) hitung deviasi standar menurut ketentuan butir 4.2.3.1;
- 3) hitung nilai tambah menurut butir 4.2.3.1 2);
- 4) hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan f_{Xcr} menurut butir

4.2.3.1 3);

- 5) tetapkan jenis semen;
- 6) tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk takdipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan;
- 7) tentukan factor air semen menurut butir 4.2.3.2 Bila dipergunakan grafik 1 atau 2 ikutilangkah-langkah berikut :
 - (1) tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 2, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai;
 - (2) lihat Grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik 2 untuk benda uji berbentuk kubus;
 - (3) tarik garis tegak lurus ke atas melalui factor air semen 0,5 sampai memotong kurvakuat tekan yang ditentukan pada sub butir 1 di atas;
 - (4) tarik garis lengkung melalui titik pada sub. Butir 3 secara proporsional;
 - (5) tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurvabaruu yang ditentukan pada sub butir 4 di atas;
 - (6) tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan factorair semen yang diperlukan;
- 8) tetapkan factor air semen maksimum menurut butir 4.2.3.2 3) (dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak). Jika nilai factor air semen yang diperoleh dari butir 7 di atas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka yang dipakai yang terendah;
- 9) tetapkan slump;
- 10) tetapkan ukuran agregat maksimum jika tidak ditetapkan lihat butir 4.2.3.4;
- 11) tentukan nilai kadar air bebas menurut butir 4.2.3.5 dari Tabel 3

- 12) hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar semen adalah kadar air bebas dibagi factor air semen;
- 13) jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan;
- 14) tentukan jumlah semen semimum mungkin. Jika tidak lihat table 4.5.6 jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan;
- 15) tentukan factor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka factor air semen harus diperhitungkan kembali;
- 16) tentukan susunan butir agregat halus (pasir kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam grafik 3 sampai dengan 6 atau gabungkan pasir pasir tersebut seperti pada table 8;
- 17) tentukan susunan agregat kasar menurut grafik 7,8, atau 9 bila lebih dari satu macmagregat kasar gabungkan seperti table 9.
- 18) Tentukan persentase pasir dengan perhitungan atau menggunakan grafik 13 sampai dengan 15; dengan diketahui ukuran butir agregat maksimum menurut butir 10. slumps menurut butir 9, factor air semen menurut butir 15 dan daerah susunan butir 16, maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada grafik. Jumlah ini adalah jumlah seluruhnya dari pasir atau fraksi agregat yang lebih halus dari 5 mm. dalam agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia seringkali dijumpai bagian yang lebih halus dari 5 mm dalam jumlah yang lebih dari 5 persen.

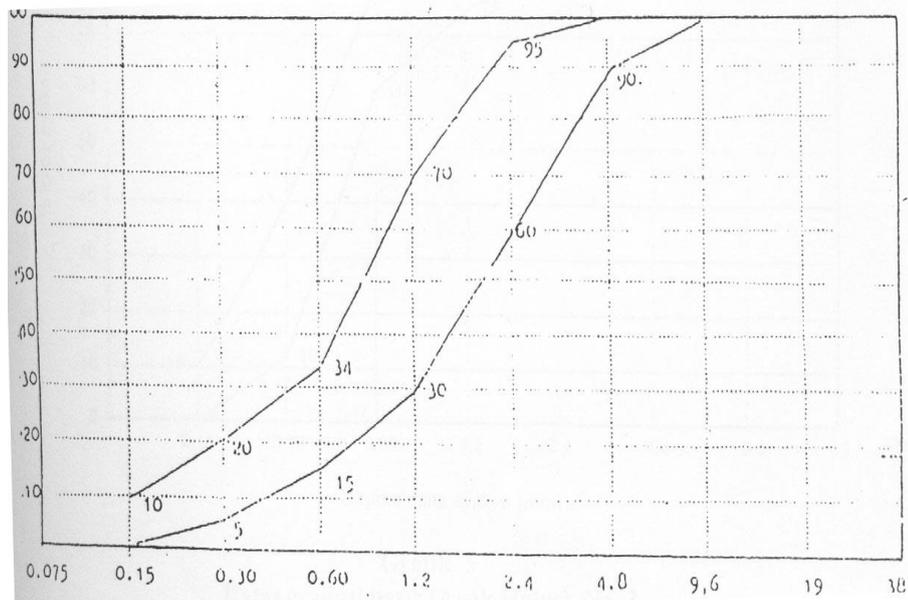
- 19) Hitung berat jenis relative agregat menurut butir 4.2.3.6;
- 20) Tentukan berat isi beton menurut Grafik 16 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari Tabel 3 dan berat jenis relative dari agregat gabungan menurut butir 18;
- 21) Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas;
- 22) Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir butir 18 dengan agregat gabungan butir 21;
- 23) Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 21 dikurangi kadar agregat halus butir 22; dari langkah-langkah tersebut di atas butir 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1m^3 beton;
- 24) Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan;
- 25) Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan pada butir 4.2.3.8;
- 26) Buatlah campuran uji, ukur dan catatlah besarnya slump serta kekuatan tekan yang sesungguhnya, perhatikan hal berikut:
 - (1) jika harga yang didapat sesuai dengan harga yang diharapkan, maka susunan campuran beton tersebut dikatakan baik. Jika tidak, maka campuran perlu dibetulkan;
 - (2) kalau slumpnya ternyata terlalu tinggi atau rendah, maka kadar air perlu dikurangi atau ditambah (demikian juga kadar semennya, karena factor air semen harus dijaga agar tetap tak berubah);
 - (3) jika kekuatan beton dari campuran ini terlalu tinggi atau rendah, maka

factor air semen dapat atau harus ditambah atau dikurangi sesuai dengan Grafik 1 atau 2.

27) Notasi

- f' : Kuat tekan beton yang disyaratkan,
 MPa f_{cr} : Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan
 s : deviasi standar, MPa
 M : margin
 K : tetapan statistic yang tergantung pada banyaknya bagian yang cacat.
 S : kondisi jenuh permukaan kering

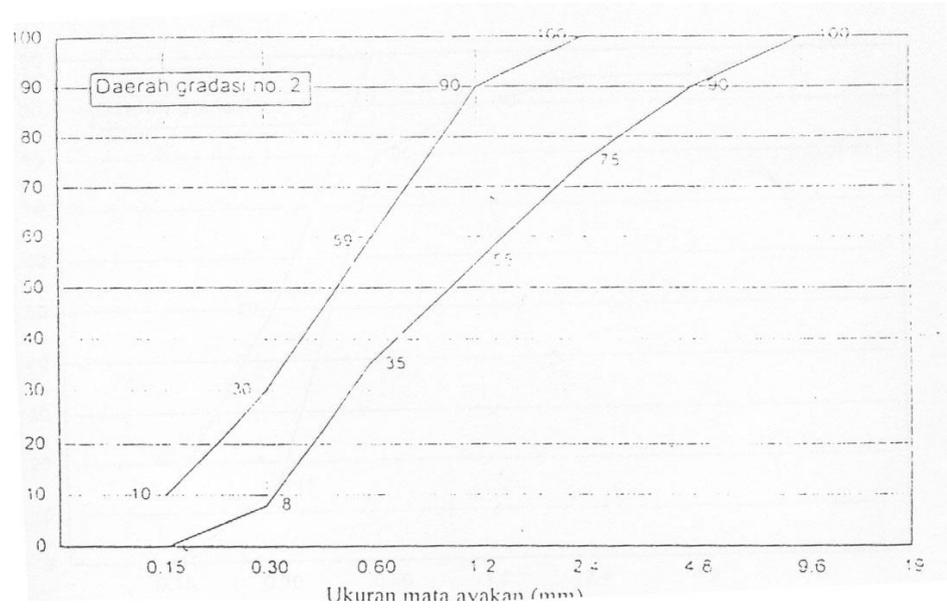
28) Grafik



Ukuran mata ayakan (mm)

Gambar 2.5 Grafik batas gradasi pasir (Kasar) No. 1

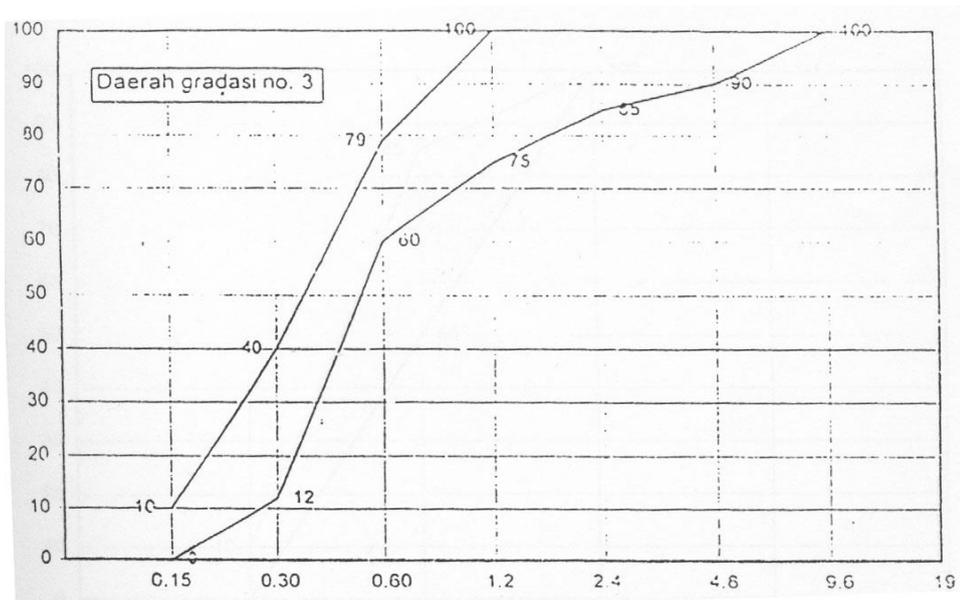
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Ukuran mata ayakan (mm)

Gambar 2.6 Grafik batas Gradasi Pasir (Sedang) No. 2

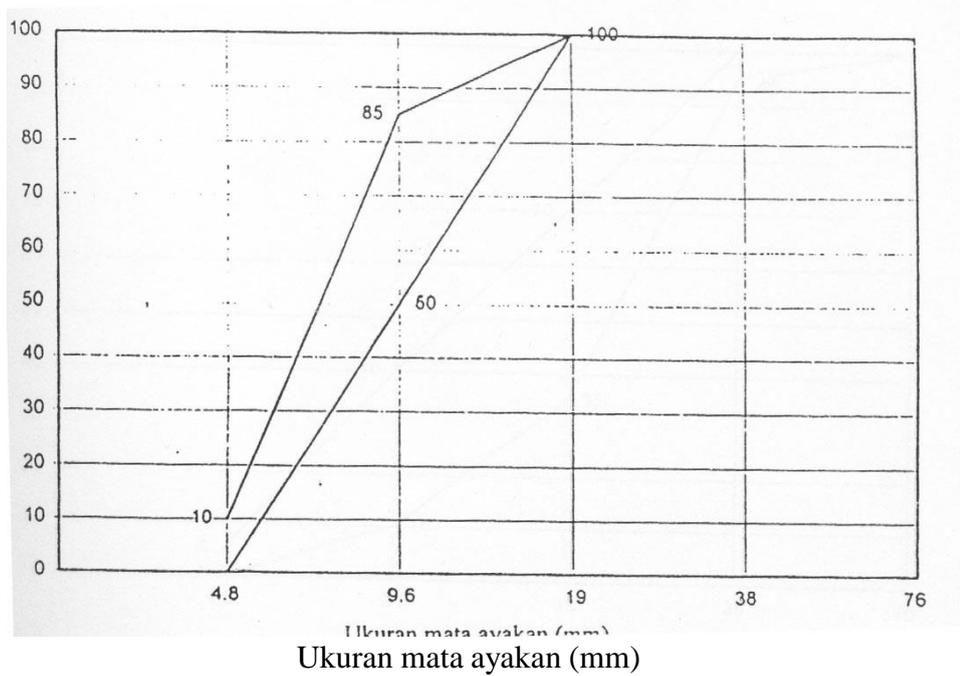
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



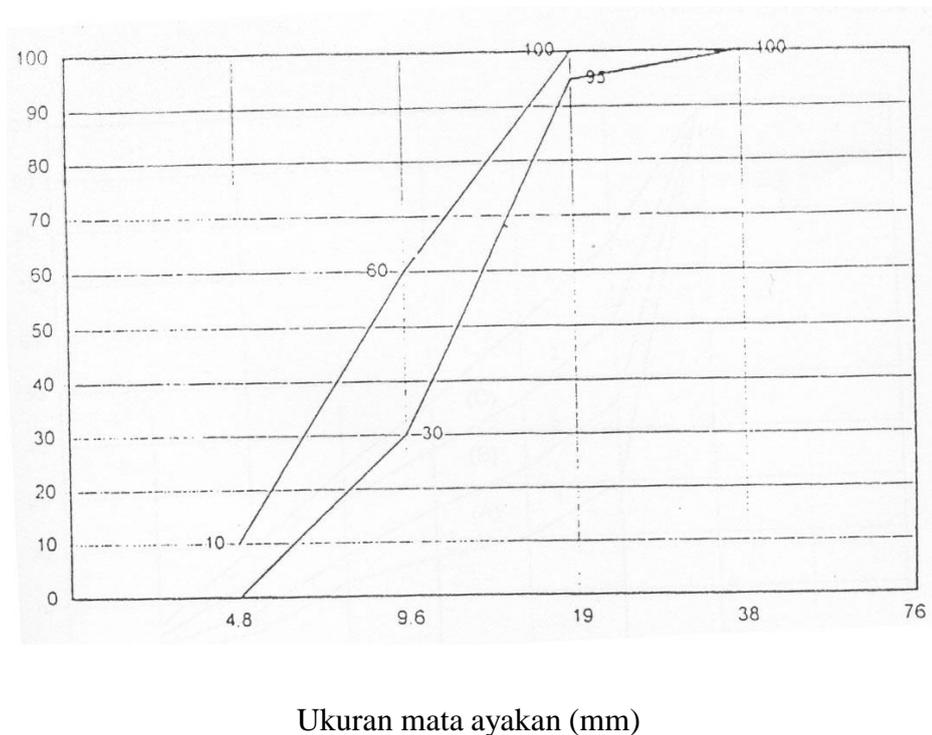
Ukuran mata ayakan (mm)

Gambar 2.7 Grafik batas gradasi pasir (Agak Halus) No. 3

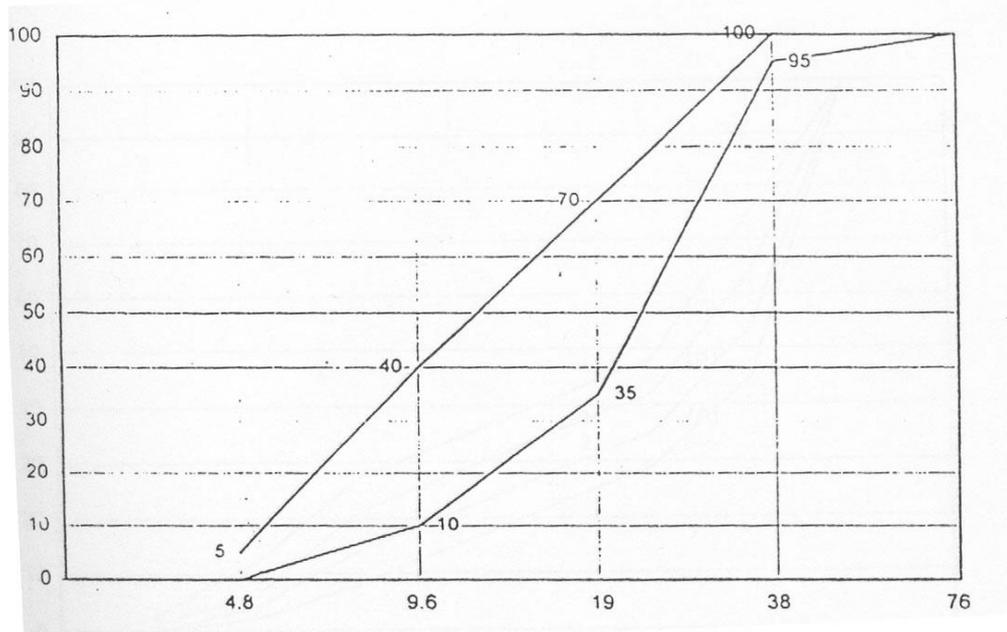
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 2.8 Grafik batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 10 mm
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



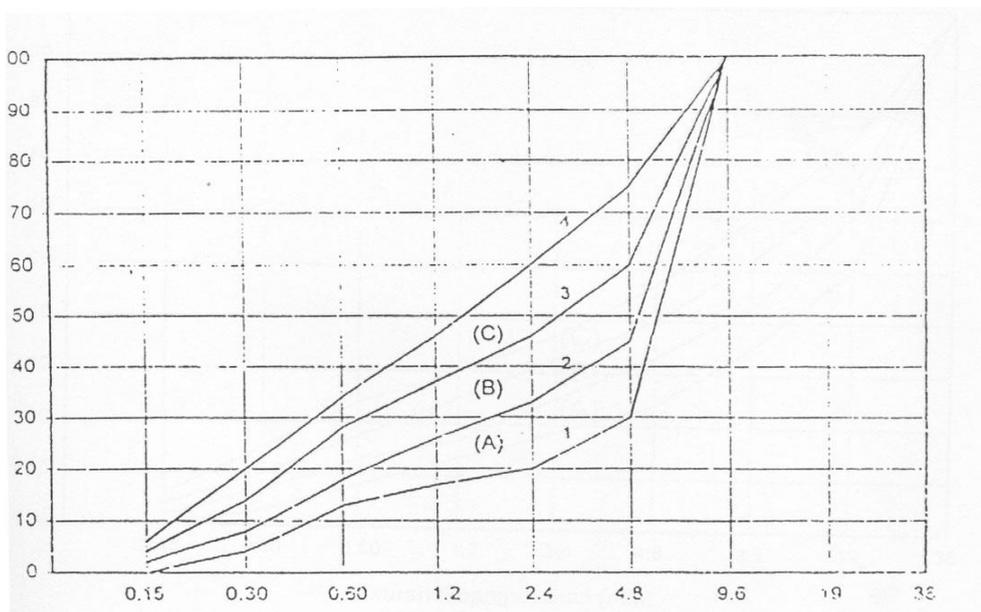
Gambar 2.9 Grafik batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 Mm
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Ukuran mata ayakan (mm)

Gambar 2.10 Grafik batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 40 Mm

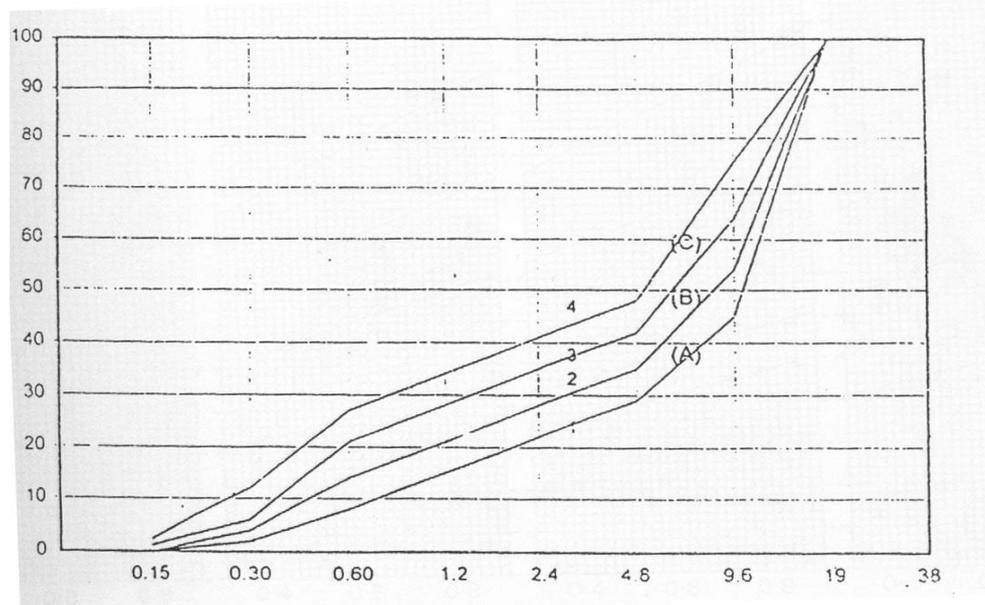
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Ukuran lubang ayakan (mm)

Gambar 2.11 Grafik batas gradasi agregat gabungan untuk besar butir Maksimum (10mm)

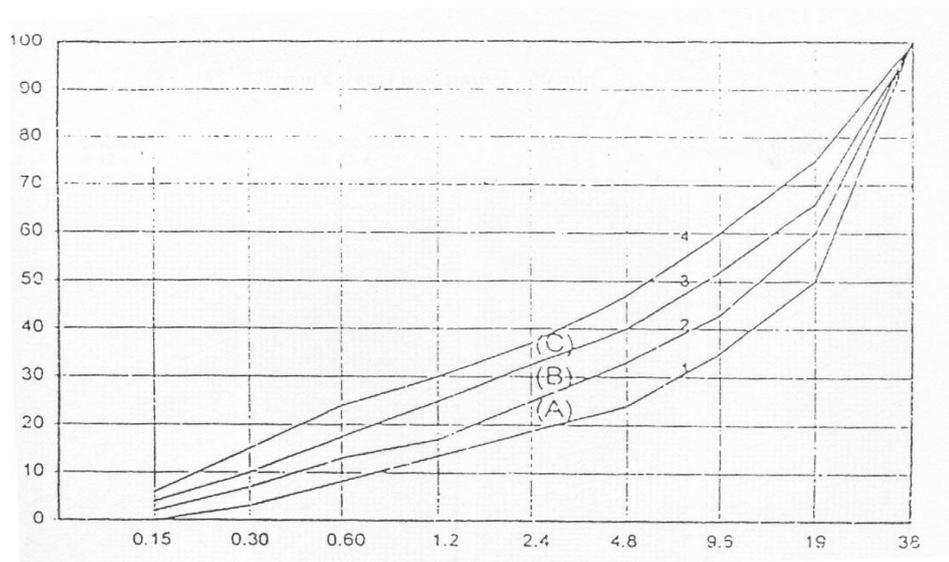
(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Ukuran lubang ayakan (mm)

Gambar 2.12 Grafik batas gradasi agregat untuk besar butir maksimum 20 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

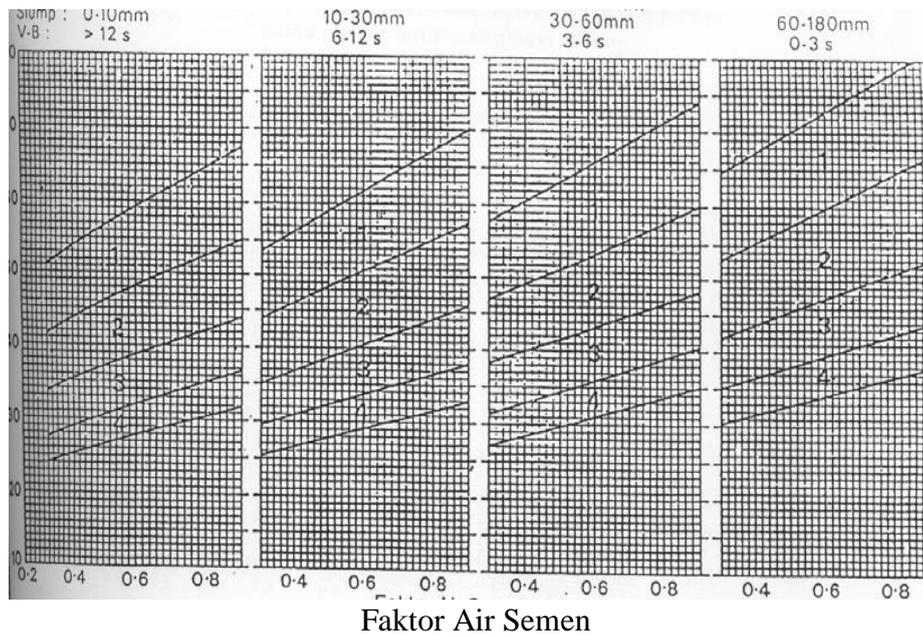


Ukuran lubang ayakan (mm)

Gambar 2.13 Grafik batas gradasi agregat gabungan untuk besar butir maksimum 20 mm

(Sumber : 03-2834-2000)

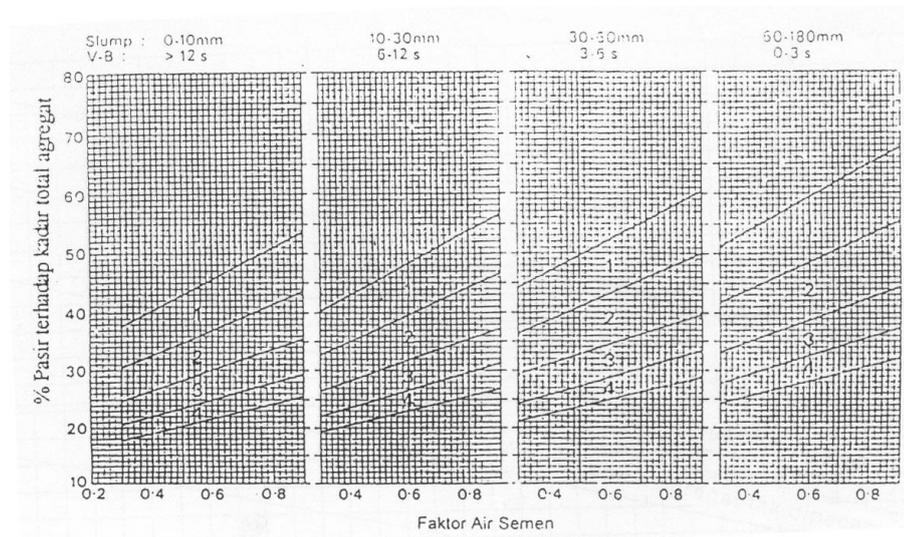
Ukuran agregat maksimum : 10 mm



Gambar 2.14 Grafik persen pasir terhadap kadar toal agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

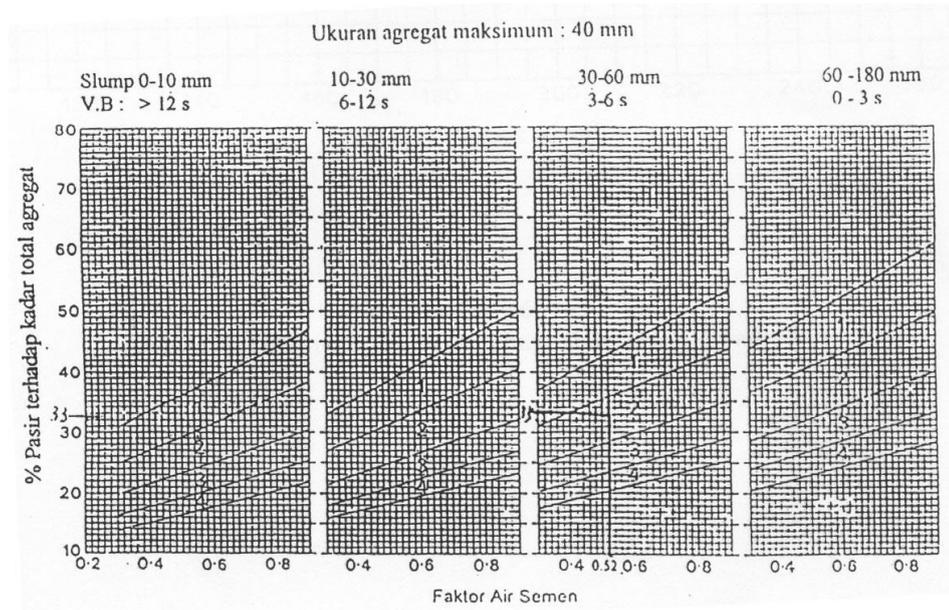
Ukuran agregat maksimum 20 mm



Gambar 2.15 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

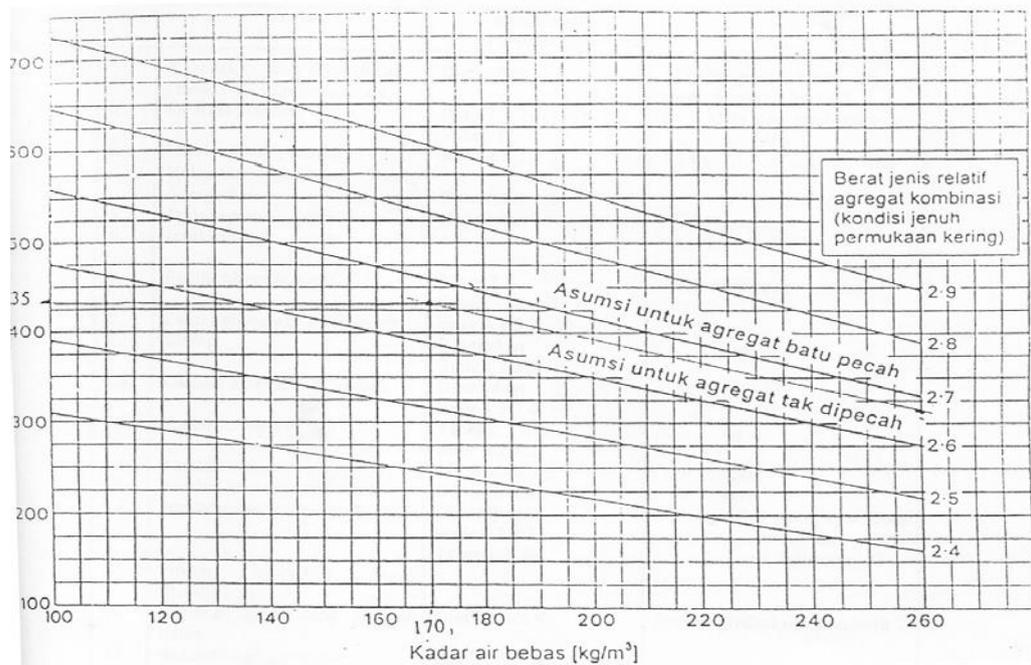
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Ukuran agregat maksimum 40 mm



Gambar 2.16 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



Gambar 2.17 Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

2.3 Analisis Pengujian Nilai *Slump* (*Slump Test*)

Pengujian *slump* beton ini bertujuan untuk menyediakan langkah kerja bagi para pengguna untuk menentukan *slump* dari beton semen hidrolis plastis. Pengujian ini memuat ruang lingkup, arti kegunaan, rangkuman dari cara uji, peralatan, langkah kerja, laporan serta ketelitian dan penyimpangan. Hasil uji ini digunakan dalam pekerjaan, perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan.

Pengujian *slump* ini merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Kondisi laboratorium dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton.

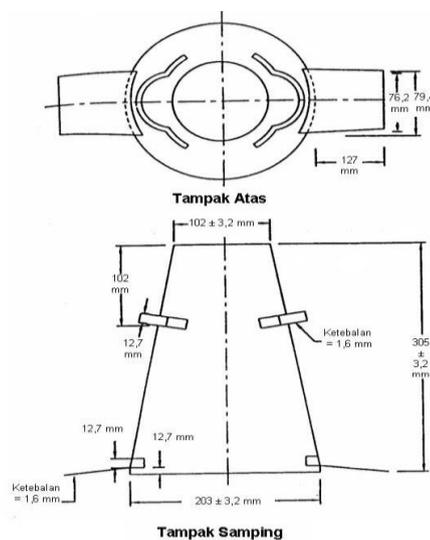
Peralatan yang digunakan dalam pengujian *slump* adalah sebagai berikut:

1. Alat uji

Alat uji harus berupa sebuah cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Ketebalan logam tersebut tidak boleh lebih kecil dari 1,5 mm dan bila dibentuk dengan proses pemutaran (*spinning*), maka tidak boleh ada titik dalam cetakan yang ketebalannya lebih kecil dari 1,15 mm.

Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm. Permukaan dasar dan permukaan atas kerucut harus terbuka dan sejajar satu dengan yang lain serta tegak lurus terhadap sumbu kerucut. Batas toleransi untuk masing-masing diameter dan tinggi kerucut harus dalam rentang 3,2 mm dari ukuran yang telah ditetapkan.

Cetakan harus dilengkapi dengan bagian injakan kaki dan untuk pegangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Bagian dalam dari cetakan relatif harus licin dan halus, bebas dari lekukan, deformasi atau mortar yang melekat. Cetakan harus dipasang secara kokoh di atas pelat dasar yang tidak menyerap air. Pelat dasar juga harus cukup luas agar dapat menampung adukan beton setelah mengalami slump.



Gambar 2.18 Cetakan untuk uji *slump* (Kerucut Abram)

(Sumber : SNI-1972-2008)

2. Cetakan dengan material alternatif

Cetakan yang terbuat selain dari bahan logam diperbolehkan bila persyaratan berikut dipenuhi. Cetakan harus memenuhi persyaratan ukuran sesuai Butir 5.1. Cetakan harus cukup kaku untuk menjaga ukuran yang telah ditetapkan dan toleransi selama penggunaan, tahan terhadap gaya tumbuk dan harus tidak menyerap air. Cetakan harus diuji coba untuk mendapatkan hasil-hasil yang dapat dibandingkan dengan hasil-hasil yang diperoleh jika menggunakan cetakan logam sesuai persyaratan Butir 5.1. Uji banding harus

dilakukan oleh laboratorium yang independen atas nama pembuat cetakan. Uji banding harus terdiri minimum 10 sampel pada masing-masing dari tiga nilai slump yang berbeda dengan rentang dari 50 mm sampai 125 mm. Tidak boleh ada hasil-hasil uji slump individual yang berbeda lebih dari 15 mm dari hasil yang diperoleh dengan menggunakan cetakan logam. Hasil uji rata-rata dari masing-masing pengujian slump yang diperoleh dengan menggunakan cetakan material alternatif tidak boleh berbeda lebih dari 10 mm dari hasil uji rata-rata yang diperoleh dengan cetakan logam. Bila ada perubahan material atau metode pembuatan, pengujian untuk uji banding harus diulangi

Bila kondisi cetakan individual diduga telah menyimpang dari toleransi kondisi fabrikasinya maka suatu uji perbandingan tunggal harus dilakukan. Bila hasil-hasil pengujian berbeda lebih dari 15 mm (0.5 in) dari yang dihasilkan cetakan logam, maka cetakan tidak boleh digunakan.

3. Batang penusuk

Batang penusuk harus merupakan suatu batang baja yang lurus, penampang lingkar dengan diameter 16 mm dan panjang sekira 600 mm, memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16 mm.

2.4 Analisis Pembuatan Dan Perawatan Spesimen Uji Beton

Tata cara ini mencakup prosedur pembuatan dan perawatan spesimen silinder dan balok dari sampel yang mewakili beton segar untuk suatu proyek konstruksi. Beton yang digunakan untuk membuat spesimen yang dicetak harus merupakan sampel yang sesuai dengan proporsi campuran yang telah direncanakan, termasuk penambahan air pencampur dan bahan campuran tambahan. Standar ini

tidak berlaku untuk pembuatan spesimen dari beton yang tidak mempunyai slump terukur atau spesimen dengan ukuran atau bentuk lain.

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan spesimen Spesimen Uji Beton yaitu:

1. Cetakan umum

Cetakan untuk spesimen dan pengencangnya harus dibuat dari baja, besi cor, atau material lainnya yang tidak menyerap air, tidak reaktif dengan beton semen portland atau semen hidrolis lainnya. Dimensi dan bentuk cetakan harus dijaga tidak berubah dalam semua kondisi. Cetakan harus kedap air dan tidak bocor ketika digunakan. Ketentuan uji kebocoran air dijelaskan dalam *Test methods for elongation, absorption, and water leakage section of specification ASTM C470/C470M*. Perapat celah yang cocok, seperti pelumas kental (*heavy grease*), tanah liat, atau lilin harus digunakan bila diperlukan untuk pencegahan kebocoran pada sambungan cetakan. Pelat dasar cetakan harus melekat erat pada cetakan. Cetakan dapat digunakan kembali harus dilapis tipis dengan minyak pelumas untuk memudahkan cetakan dilepas.

2. Cetakan balok

Cetakan balok harus mempunyai bentuk dan dimensi yang disyaratkan untuk menghasilkan spesimen yang ditetapkan. Permukaan dalam cetakan harus halus. Sisi-sisi, bagian bawah dan ujung harus tegak lurus satu sama lain dan harus benar-benar lurus dan tidak terpuntir. Simpangan maksimal dari dari penampang melintang nominal tidak boleh melampaui 3mm untuk cetakan berukuran tinggi atau lebar 150 mm atau lebih. Cetakan harus menghasilkan selisih Panjang spesimen tidak lebih 2mm dibanding Panjang yang disyaratkan.

3. Batang Pematik

Batang baja bundar, halus, lurus, berdiameter sesuai dengan persyaratan dalam Tabel 2.14. Panjang batang pematik minimal 100 mm. lebih panjang dari kedalaman cetakan bila batangdigunakan untuk menusuk, tetapi dengan panjang total maksimum 600 mm. Ujung batang harus dibulatkan salah satu atau keduanya dengan bentuk setengah bola (*hemispherical*). Panjang batang 400 mm sampai 600 mm harus memenuhi persyaratan berikut: ASTM C31/C31M, ASTM C138/C138M, ASTM C143/C143M, ASTM C173/C173M, dan ASTM C231.

Tabel 2.14 Persyaratan diameter batang pematik

Diameter silinder atau lebar balokmm [in.]	Diameter atauBatangmm [in.]
<150 [6]	10 ± 2 [3/8 ± 1/16]
≥ 150 [6]	16 ± 2 [5/8 ± 1/16]

(Sumber : SNI-4810-2013)

4. Penggetar

Penggetar yang digunakan adalah penggetar internal. Penggunaan waktu penggetar harus memiliki frekuensi minimum 9000 getaran per menit [150 Hz]. Diameter penggetar maksimum seperempat diameter cetakan silinder atau seperempat lebar cetakan balok. Penggetar yang berbentuk lain harus memiliki garis keliling yang setara dengan lingkaran penggetar bundar. Gabungan panjang batang penggetar dan elemen penggetar harus melampaui kedalaman bagian yang digetarkan minimum 75 mm [3 in.]. Frekuensi penggetar harus diperiksa secara periodik dengan *tachometer reed*-penggetar atau peralatan yang sesuai lainnya. CATATAN 2 – Untuk informasi ukuran dan

frekuensi berbagai penggetar dan metoda pemeriksaan frekuensi penggetar secara periodik, lihat ACI 309R.

5. Palu

Palu yang digunakan adalah palu dengan kepala karet atau *rawhide* seberat $(0,6\pm 0,2)$ kg [$(1,25\pm 0,50)$ lb].

6. Alat Pengambil Beton Segar

Alat pengambil beton segar memiliki ukuran cukup besar sehingga beton yang diambil cukup mewakili beton yang akan di uji tetapi juga cukup kecil sehingga tidak tumpah ketika dituangkan ke dalam cetakan. Pengisian silinder beton digunakan sendok beton. Pengisian cetakan balok, digunakan sekop atau sendok beton.

7. Alat *Finishing*

Roskam atau sendok perata (*trowel*).

8. Peralatan *Slump*

Peralatan untuk mengukur slump harus sesuai ASTM C143/C143M.

9. Wadah Sample

Wadah sampel harus terbuat dari metal yang cukup tebal, gerobak dorong, atau lempeng yang rata, bersih dan tidak menyerap air dengan kapasitas yang cukup besar sehingga memudahkan pengadukan ulang seluruh sampel dengan sekop atau sendok aduk.

10. Alat Uji Kadar Udara

Alat untuk mengukur kadar udara harus sesuai ASTM C173/C173M atau ASTM C231.

11. Alat Ukur Temperatur

Alat untuk mengukur temperatur harus sesuai ASTM C1064/C1064M.

Persyaratan pengujian balok beton adalah sebagai berikut:

1. Spesimen balok

Spesimen kekuatan lentur harus balok beton yang dicor dan mengeras dalam posisi horizontal. Jumlah balok yang dicor harus sesuai dengan spesifikasi teknis. Panjang benda uji minimal lebih panjang 50 mm dari tiga kali tingginya. Rasio lebar terhadap tinggi maksimum 1,5. Balok standar harus berukuran penampang (150 x 150) mm [(6 x 6)], dan harus digunakan untuk beton dengan ukuran maksimum nominal agregat kasar 50 mm. Bila ukuran maksimum nominal agregat kasar lebih dari 50 mm, ukuran penampang melintang balok yang lebih kecil harus minimum tiga kali ukuran maksimum nominal agregat kasar. Kecuali jika ditetapkan dalam spesifikasi teknis, balok yang dibuat di lapangan tidak boleh memiliki lebar atau tinggi kurang dari 150 mm.

2. Teknisi Lapangan

Teknisi lapangan yang melakukan pembuatan dan perawatan spesimen untuk pengujian harus memiliki sertifikat yang sesuai.

Pengujian nilai *slump*, kadar udara, dan temperatur adalah sebagai berikut:

1. *Slump*

Ukur dan catat nilai *slump* setiap kali pengadukan di mana spesimen dibuat setelah diaduk ulang dalam bak penampung sesuai dengan ASTM C143/C143M.

2. Kadar udara

Ukur dan catat kadar udara sesuai ASTM C173/C173M atau ASTM C231 beton yang telah digunakan untuk uji kadar udara tidak boleh digunakan untuk pembuatan spesimen uji.

3. Temperatur

Ukur dan catat temperatur sesuai ASTM C1064/C1064M.

Pencetakan spesimen beton adalah sebagai berikut:

1. Penempatan cetakan

Letakkan cetakan spesimen pada permukaan yang keras dan datar, bebas getaran dan gangguan lainnya, di tempat yang dekat dengan lokasi di mana spesimen akan disimpan.

2. Pengecoran Balok

Pilih batang pemadat sesuai (SNI 4810-2013). Tentukan metoda pemadatan dari (SNI 4810-2013) kecuali ditentukan metoda lainnya. Jika metoda pemadatan dengan penusukan, tentukan persyaratan pencetakan sesuai (SNI 4810-2013). Jika metoda pemadatan dengan penggetaran, tentukan persyaratan pencetakan sesuai Tabel 4. Tentukan jumlah penusukan per lapis, satu tusuk per 14 cm^2 dari luas permukaan bagian atas balok. Pilih peralatan pengecoran sesuai (SNI 4810-2013). Gunakan sendok beton atau sekop, masukkan beton ke dalam cetakan per lapis. Masukkan beton sedemikian rupa sehingga setiap lapis terdistribusi merata dengan segregasi minimum. Setiap lapis harus dipadatkan sesuai yang disyaratkan. Dalam penuangan untuk lapisan akhir, tambahkan beton sampai cetakan penuh.

Tabel 2.15 Metoda persyaratan pemadatan

Slump (in.)	Metoda pemadatan
≥ 25 [1]	Penusukan atau penggetaran
< 25 [1]	Penggetaran

(Sumber : SNI-4810-2013)

Tabel 2.16 Persyaratan pencetakan dengan penusukan

Tipe dan ukuran benda uji	Jumlah lapis yang kira-kira sama tebal	Jumlah penusukan tiap lapis
<p>Silinder :</p> <p>Diameter, mm [in.] 100 [4]</p> <p>150 [6]</p> <p>225 [9]</p>	<p>2</p> <p>3</p> <p>4</p>	<p>25</p> <p>2550</p>
<p>Balok :</p> <p>Lebar, mm [in.] 150 [6] sampai dengan 200 [8]</p> <p>>200 [8]</p>	<p>2</p> <p>3 atau lebih dengan tebal sama,</p> <p>masing-masing maksimal 150 mm[6 in.]</p>	<p>Lihat 9.3</p> <p>Lihat 9.3</p>

(Sumber : SNI-4810-2013)

Tabel 2.17 Persyaratan pencetakan dengan penggetaran

Tipe dan ukuran benda uji	Jumlah lapis	Jumlah penusukan penggetar per lapis	Perkiraan tebal per lapis mm [in.]
Silinder : Diameter, mm [in.]			
100 [4]	2	1	½ tinggi benda uji
150 [6]	2	2	½ tinggi benda uji
225 [9]	2	4	½ tinggi benda uji
Balok : Lebar, mm [in.]			
6 [150] sampai dengan 8 [200]	12 atau lebih	Lihat 9.4.2 Lihat 9.4.2	Tinggi benda uji 8 [200] sedekat mungkin
>8 [200]			

(Sumber : SNI-4810-2013)

3. Pemadatan

Metoda pemadatan pada standar ini dilakukan dengan penusukan atau penggetaran internal.

4. Penusukan

Beton dimasukkan ke cetakan dalam beberapa lapis yang disyaratkan dengan volume beton yang kira-kira sama. Penusukan dilakukan setiap lapis beton secara merata seluruh penampang melintang dengan batang pemadat yang ujungnya bulat dengan jumlah tusukan yang disyaratkan. Penusukan lapisan bawah sampai dasar cetakan. Proses penusukan lapisan ini harus hati-hati jangan merusak bagian bawah cetakan. Setiap lapisan di atasnya, batang pemadat harus menembus sampai lapisan dibawahnya kira-kira 25 mm. Ketuk sisi luar cetakan 10 kali sampai dengan 15 kali dengan palukaret untuk menutup lubang yang ditinggalkan oleh batang pemadat dan untuk melepaskan gelembung udara yang mungkin terperangkap. Gunakan kedua tangan untuk menekan ringan tutup cetakan silinder yang sangat rentan terhadap kerusakan jika diketuk dengan palu. Setelah pengetukan, sekop setiap lapis beton

sepanjang sisi dan ujung cetakan balok dengan *trowel* atau alat lain yang sesuai. Cetakan yang kurang penuh harus diisi dengan adukan beton yang sama selama pemadatan lapis atas. Beton yang berlebihan harus diambil.

5. Penggetaran

Pertahankan durasi getaran yang seragam untuk setiap jenis beton, penggetar, dan cetakan benda uji. Durasi penggetaran yang diperlukan tergantung pada kelecakan beton dan efektifitas penggetar. Penggetaran sudah cukup apabila permukaan beton terlihat halus dan gelembung-gelembung udara muncul dan pecah dipermukaan. Penggetaran dilanjutkan hanya untuk mencapai pemadatan beton yang cukup. Isi cetakan dan getarkan dalam jumlah lapis yang kira-kira sama setiap lapisnya. Masukkan adukan beton setiap lapis ke dalam cetakan sebelum penggetaran dilakukan pada lapis tersebut. Proses pemadatan spesimen, masukkan penggetar secara pelan-pelan dan jangan biarkan penggetar menyentuh dasar atau dinding cetakan. Perlahan-lahan tarik penggetar sehingga tidak ada gelembung udara besar-besar yang tertinggal di dalam benda uji.

6. Balok

Masukkan penggetar pada interval tidak melampaui 150 mm sepanjang garis tengah dari panjang balok. Untuk spesimen lebih lebar dari 150 mm gunakan alternatif penusukan dengan dua garis. Batang penggetar diperbolehkan masuk ke dalam lapisan bawahnya kira-kira 25 mm. Setelah setiap lapis digetarkan, ketuk sisi luar cetakan minimal 10 kali dengan palu untuk menutup lubang yang terjadi dengan getarandan untuk melepaskan rongga udara yang terperangkap.

7. Penyelesaian Permukaan

Lakukan semua penyelesaian permukaan dengan sesedikit mungkin manipulasi untuk menghasilkan permukaan yang rata dengan tepi cetakan tanpa terjadinya lekukan atau tonjolan lebih dari 3,3 mm.

8. Balok

Setelah pemadatan beton, gunakan roskam atau sendok aduk untuk menghasilkan permukaan atas yang rata.

Perawatan :

1. Perawatan standar

Metode perawatan standar digunakan bila spesimen dibuat dan dirawat untuk tujuan yang dijelaskan dalam SNI-4810-2013.

2. Penyimpanan

Jika spesimen tidak bisa dicetak di tempat di mana spesimen akan menerima perawatan awal, segera setelah penyelesaian permukaan, pindahkan spesimen ke tempat perawatan awal untuk disimpan. Lantai pendukung untuk tempat penyimpanan spesimen harus rata atau dengan kemiringan tidak lebih dari 20 mm/m. Jika cetakan sekali pakai silinder beton dipindahkan, angkat dan tahan bagian bawah silinder dengan sendok aduk yang besar atau dengan alat yang serupa. Segera perbaiki, jika permukaan bagian atas rusak sewaktu pemindahan spesimen ke tempat penyimpanan awal.

3. Perawatan awal

Segera setelah pencetakan dan *finishing*, spesimen harus disimpan maksimum 48 jam dalam rentang temperatur dari 16 °C dan 27 °C [60 °F dan 80°F] dan pada suatu lingkungan yang mencegah kehilangan kelembaban pada spesimen. Untuk

campuran beton dengan kekuatan yang disyaratkan 40 MPa [6 000 psi] atau lebih besar, temperatur perawatan awal harus antara 20 °C dan 26 °C [68 °F dan 78 °F]. Berbagai prosedur yang dapat digunakan selama periode perawatan awal untuk menjaga kondisi kelembaban dan temperatur yang disyaratkan. Harus digunakan prosedur yang sesuai atau kombinasi prosedur-prosedur yang telah ditentukan. Lindungi semua spesimen dari cahaya matahari langsung dan jika perlu gunakan peralatan *radiant heating*.

Temperatur ruang penyimpanan benda uji harus dikendalikan dengan menggunakan peralatan pemanas dan peralatan pendingin, sebagaimana diperlukan. Catat temperatur maksimum-minimum dengan menggunakan thermometer. Jika digunakan cetakan karton, jaga agar permukaan luar cetakan tetap kering.

Kondisi lingkungan yang baik untuk perawatan awal spesimen dapat dilakukan sebagai berikut:

- (1) segera rendam spesimen di dalam larutan kapur hidroksida jenuh,
- (2) simpan dalam kotak kayu yang kuat dan rapat,
- (3) ditimbun dengan pasir lembab,
- (4) tutup dengan lembaran plastik,
- (5) masukkan ke dalam kantong, atau
- (6) tutup dengan lembaran plastik atau bahan yang tidak menyerap air, suhu lingkungan harus diatur selama perawatan awal spesimen dengan salah satu prosedur gunakan ventilasi, gunakan es, gunakan pengkondisian temperatur yang dilengkapi thermostat, atau gunakan metoda pemanasan dengan menggunakan lampu.

Metoda lain yang cocok boleh dapat digunakan asalkan persyaratan temperatur dan kelembaban dipenuhi. Untuk campuran beton dengan kekuatan yang disyaratkan 40 MPa atau lebih besar, panas yang dilepaskan selama umur awal dapat meningkatkan temperatur lebih tinggi dari temperatur penyimpanan yang disyaratkan. Perendaman dalam air jenuh kapur hidroksida (*calcium hydroxide*) mungkin metoda termudah untuk menjaga temperatur penyimpanan yang disyaratkan. Bila spesimen harus direndam dalam larutan kapur hidroksida jenuh, maka spesimen dalam cetakan karton atau cetakan lain yang dapat mengembang tidak boleh digunakan. Hasil uji kekuatan pada beton umur muda kemungkinan lebih rendah bila disimpan pada temperatur 16 °C [60 °F] dan lebih tinggi bila disimpan pada temperatur 27 °C [80 °F]. Pada sisi lain, pada umur lanjut, hasil uji bisa lebih rendah untuk penyimpanan awal dengan temperatur lebih tinggi.

4. Perawatan Akhir

Balok harus dirawat dengan cara sama seperti silinder kecuali bahwa balok harus disimpan dalam air jenuh kalsium hidroksida pada temperatur $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ [$(73,5 \pm 3,5)^\circ\text{F}$] selama minimal 20 jam sebelum dilakukan pengujian. Pengeringan permukaan balok harus dicegah setelah balok dikeluarkan dari air sampai dilakukan pengujian.

5. Perawatan di Lapangan

Demi kepraktisan perawatan balok dilakukan dengan cara yang sama dengan beton pada struktur. Pada akhir (48 ± 4) jam setelah pencetakan, pindahkan benda uji ke lokasi penyimpanan dan lepaskan cetakan. Simpan spesimen beton untuk jalan dengan menempatkannya di atas tanah ketika dicetak dengan

permukaan atas terbuka. Kubur sisi spesimen dengan tanah atau pasir agar tetap lembab, biarkan permukaan atas tetap terbuka dengan perlakuan perawatan yang disyaratkan. Simpan spesimensedekat mungkin dengan lokasi yang dicor dan biarkan mengalami kondisi temperatur dan lingkungan yang sama. Pada akhir periode perawatan, tinggalkan spesimen ditempatnya dan biarkan terekspos cuaca dengan cara sama seperti strukturnya. Pindahkan semua spesimen balok dari tempat penyimpanan di lapangan dan simpan dalam air jenuh kalsium hidroksida pada temperature $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ [$(73,5 \pm 3,5) ^\circ\text{F}$] selama (24 ± 4) jam sebelum waktu pengujian untuk memastikan kondisi kelembaban yang merata dari spesimen ke spesimen. Amati petunjuk-petunjuk yang diberikan dalam 10.1.3.2 untuk mencegah pengeringan diantara waktu pemindahan dari perawatan ke pengujian.

Proses pengangkutan spesimen ke laboratorium. Sebelum diangkut, rawat dan lindungi spesimensesuai Pasal 10. Spesimen tidak boleh dipindahkan sampai paling sedikit 8 jam setelah pengikatan akhir. (Lihat catatan 8). Selama pengangkutan, lindungi spesimen dengan bahan yang empuk untuk mencegah kerusakan akibat benturan.

Selama cuaca dingin, lindungi spesimen dari pembekuan dengan bahan pelindung yang sesuai. Cegah pengeringan selama pemindahan dengan membungkus spesimen dengan plastik, lap basah, kubur dalam pasir atau kencangkan tutup plastik yang rapat pada cetakan plastik. Waktu pengangkutan tidak boleh melebihi 4 jam. Waktu pengikatan dapat diukur sesuai ASTM C403.

2.5 Uji Kuat Lentur Beton

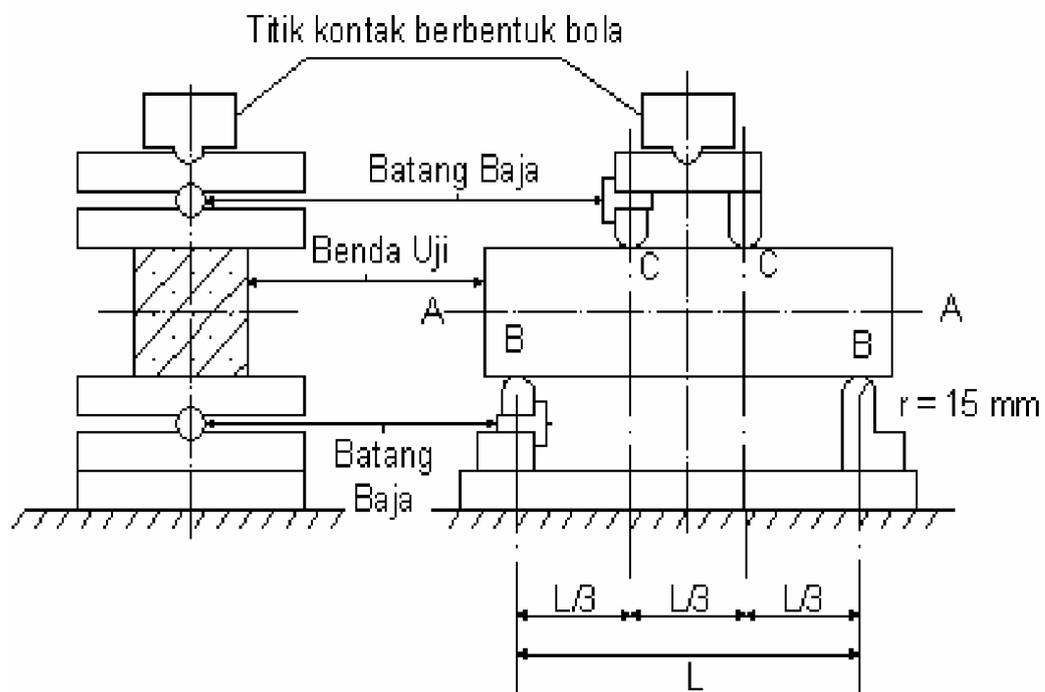
Metode Pengujian Kuat Lentur Beton normal dengan dua titik pembebanan dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam melaksanakan uji kuat lentur di

laboratorium. Tujuan metode pengujian ini adalah memperoleh kuat lentur beton untuk keperluan perencanaan struktur.

2.5.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mesin tekan beton yang dapat digunakan untuk pengujian kuat lentur dengan perlengkapan antara lain manometer dengan dua jarum pembacaan beban, dua buah titik perletakan berbentuk silinder, dua buah titik pembebanan berbentuk silinder, ketelitian peralatan pada skala pembacaan minimum adalah 12,5 g.
2. Cetakan benda uji dengan penampang lintang berbentuk bujur sangkar ukuran lebar 15 cm dan tinggi 15 cm, panjang 53 cm.



Gambar 2.19 Benda Uji, Perletakan dan Pembebanan

(Sumber: SNI 4331 2011)

2.5.2 Persiapan Pengujian

Persiapan uji dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Siapkan benda uji dan lakukan beberapa hal sebagai berikut:
 - a) Ukur dan catat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong minimum di 3 (tiga) tempat.
 - b) Ukur dan catat panjang benda uji pada keempat rusuknya.

Timbang dan catat berat masing-masing benda uji.

- c) Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk titik-titik perletakan, titik-titik pembebanan dan titik-titik sejauh 5% dari jarak bentang di luar titik perletakan.
 - d) Tempatkan benda uji yang telah selesai diukur, timbang dan beri tanda pada tumpuan pada tempat yang tepat dengan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada di bagian samping alat penekan.
2. Siapkan mesin tekan beton dan lakukan tahapan sebagai berikut.
 - a) Pasang 2 (dua) buah perletakan dengan lebar bentang 3 kali jarak titik-titik pembebanan dan pasang alat pembebanan sehingga mesin tekan beton berfungsi sebagai alat uji lentur.
 - b) Atur pembebanan dan skala pembacaannya.
 - c) Tempatkan benda uji yang sudah diberi tanda di atas perletakan sedemikian sehingga tanda tumpuan yang dibuat pada benda uji, tepat pada pusat tumpuan dari alat uji, dengan kedudukan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada pada bagian samping alat penekan dan menyentuh benda uji pada sepertiga bentang titik tumpuan.
3. Siapkan formulir uji seperti contoh pada lampiran.

2.5.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Hidupkan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan, tunggu kira-kira 30 detik.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.

Atur pembebanannya untuk menghindari terjadi benturan.

3. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatannya $8 \text{ kg/cm}^2 - 10 \text{ kg/cm}^2$ tiap menit.
4. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
5. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji, pada formulir uji seperti contoh pada lampiran.
6. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
7. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil harga rata-ratanya.
8. Ukur dan catat jarak antara tampang lintang patah dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat di bagian tarik pada arah bentang dan ambil harga rata-ratanya.

2.5.4 Perhitungan Kuat Lentur

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah:

1. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

dengan pengertian:

σ_l adalah kuat lentur benda uji (MPa)

P adalah beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam tonsampai 3 angka di belakang koma)

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b adalah lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h adalah lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a adalah jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm).

2. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar pusat (daerah 1/3 jarak titikperletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

dengan pengertian:

σ_1 adalah kuat lentur benda uji (MPa)

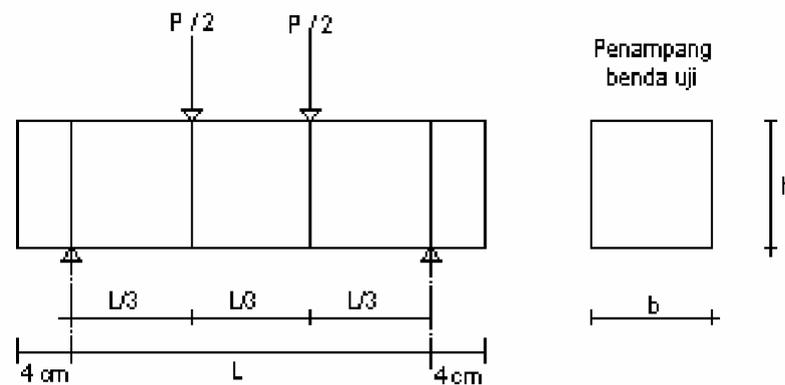
P adalah beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam tonsampai 3 angka di belakang koma)

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b adalah lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h adalah lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a adalah jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm).



Gambar 2.20 Garis-Garis Perletakan dan Pembebanan

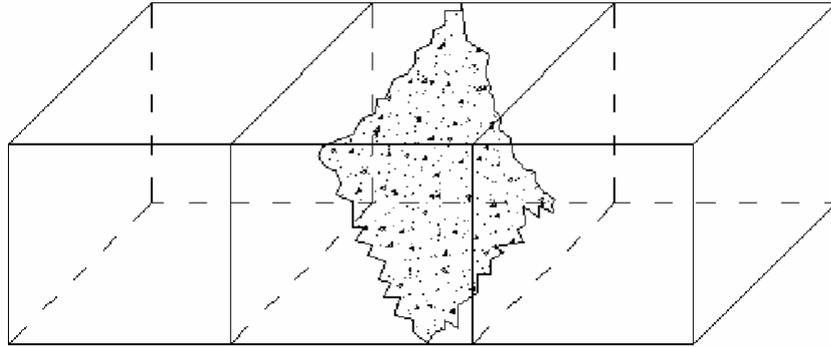
(Sumber: SNI 4331 2011)

Keterangan gambar:

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (cm) b adalah lebar tampak lintang benda uji (cm)

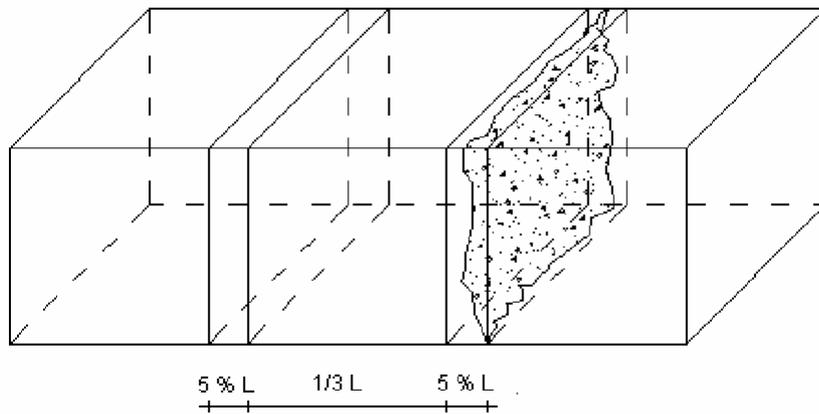
h adalah tinggi tampak lintang benda uji (cm)

P adalah beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)



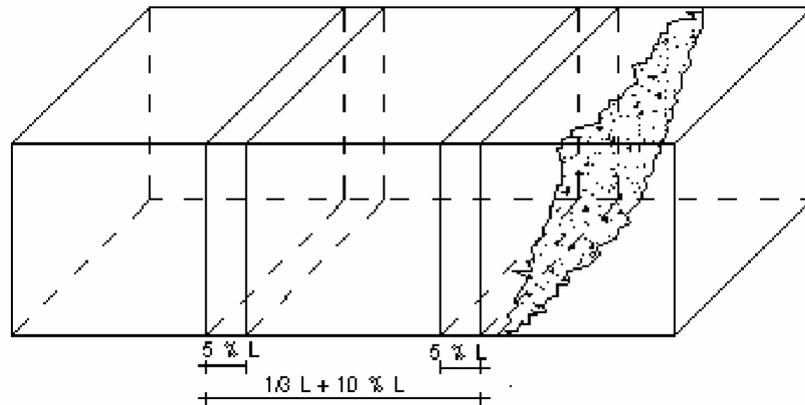
Gambar 2.21 Patah Pada 1/3 Bentang Tengah

(Sumber: SNI 4331 2011)



Gambar 2.22 Patah Diluar 1/3 Bentang Tengah Dan Garis Patah Pada <5% Dari Bentang

(Sumber: SNI 4331 2011)



Gambar 2.23 Patah Diluar $1/3$ Bentang Tengah Dan Garis Patah $>5\%$ Dari Bentang

(Sumber: SNI 4331 2011)

2.5.5 Pelaporan

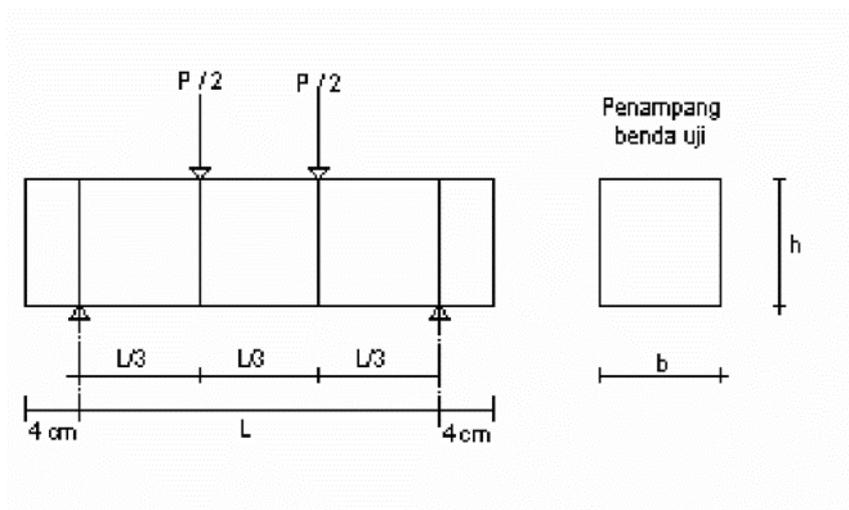
Hasil pengujian kuat lentur beton normal ini, dilaporkan dalam bentuk formulir seperti pada gambar di bawah ini. Laporan memuat sebagai berikut:

1. Nomor contoh benda uji, jumlah benda uji, jenis pekerjaan, lokasi pekerjaan.
2. Tanggal pembuatan dan tanggal pengujian.
3. Identifikasi benda uji.
4. Asal agregat halus, agregat kasar dan nama produsen semen *Portland*.
5. Hasil uji seperti pada contoh formulir pada lampiran.
6. Nama petugas uji, pengawas dan penanggung jawab pengujian dengan dibubuhkan tanda tangan.

Tabel 2.18 Contoh Formulir Pengujian Kuat Lentur Beton

PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON					
PATAH PADA PUSAT 1/3 LEBAR PADA SISI TARIK RUMUS : $\sigma_1 = (P.l) / (B.H^2)$					
Nama :					
Tanggal uji : Tanggal dibuat :					
Tempat uji :					
Benda uji : Ukuran :					
PERBANDINGAN CAMPURAN					
Kondisi	Ukuran maks. Agregat kasar (mm)	Slum (cm)	Kadar udara (%)	Faktor air semen W / C %	Volume agregat halus s / a (%)
Berat Volume	Air W (kg/m ³)	PC C (kg/m ³)	Pasir S (kg/m ³)	Kerikil C (kg/m ³)	Bahan pencampur (g atau cc/m ³)
Nomor benda uji		1	2	3	
Umur benda uji (hari)					
Lebar benda uji (cm)					
Tinggi benda uji (cm)					
Panjang benda uji (cm)					
Berat benda uji (kg)					
Volume benda uji (cm ³)					
Berat Volume (kg/m ³)					
Beban maksimum (N)					
Jarak bentang (cm)					
Lebar tampak lintang = b (cm)					
Tinggi tampak lintang = h (cm)					
Kuat lentur uji (MPa) Rumus : $\sigma_1 = ((P.l) / (B.H^2))$					
Kuat lentur rata-rata(MPa)					

2.5.6 Rumus Kuat Lentur Beton



Gambar 2.24 Perletakan Dan Pembebanan Pengujian

$$\sum MB = 0$$

$$RVA \times L - \frac{P}{2} \times \frac{2}{3}L - \frac{P}{2} \times \frac{1}{3}L = 0$$

$$RVA \times L = \frac{1}{3}PL + \frac{1}{6}PL$$

$$RVA \times L = \frac{1}{2}PL$$

$$RVA = \frac{P}{2}$$

Dikarenakan pembebanan dan jarak pembebanan terhadap tumpuan simetris maka,

$$\sum MB = \sum MA$$

$$M_{maks} = VA \times L - \frac{P}{2} \times \frac{1}{6}L$$

$$M_{maks} = \frac{P}{2} \times \frac{1}{2}L - \frac{P}{2} \times \frac{1}{6}L$$

$$M_{maks} = \frac{1}{4}PL - \frac{1}{12}PL$$

$$M_{maks} = \frac{3-1}{12}PL$$

$$M_{maks} = \frac{1}{6}PL$$

Mencari rumus turunan pada rumus dibawah ini,

$$\sigma = \frac{M \times Y}{I}$$

Diketahui: $M = \frac{1}{6}PL$

$$Y = \frac{1}{2}h$$

$$I = \frac{1}{12}b \cdot h^3$$

Jadi,

$$\sigma = \frac{M \times Y}{I}$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{6}PL \times \frac{1}{2}h}{\frac{1}{12} \times b \times h^3}$$

$$\sigma = \frac{1 \times PL \times 1}{1 \times b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{PL}{b \times h^2}$$

Contoh perhitungan pengujian kuat lentur beton sebagai berikut:

Missal didapat nilai kuat lentur pada pembaca dial uji lentur sebesar 40 KN

Maka,

$$\sigma = \frac{PL}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{4000 \times 45}{15 \times 15^2}$$

$$\sigma = 53,33 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma = 5,23 \text{ Mpa}$$

Konversi satuan dari kgf/cm^2 ke Mpa sebagai berikut:

$1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,098 \text{ Mpa}$, Jadi $53,33 \text{ kgf/cm}^2$ kalau di rubah ke Mpa maka di kali dengan 0,098. $53,33 \text{ kgf/cm}^2 \times 0,098 = 5,23 \text{ Mpa}$