

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi ditujukan untuk memberikan batasan-batasan sistem yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut, dengan mengacu kepada referensi yang digunakan diharapkan pengembangan sistem nanti dapat melahirkan suatu sistem baru yang belum ada pada referensi sebelumnya.

Beton non pasir (*no-fines concrete*) merupakan beton yang terbuat dari semen, air dan kerikil, tanpa pasir, karena tanpa pasir maka rongga-rongga antara butir kerikil tidak terisi oleh butir-butir pasir. Rongga tersebut mengakibatkan berat jenis beton menjadi lebih ringan. Beton non pasir umumnya digunakan pada non struktural seperti pagar, rabat beton, batako. Beton non pasir lebih menonjolkan estetikanya dan hanya menggunakan sedikit semen yaitu karena untuk melapisi permukaan agregat kasar saja.

Salah satu cara pembuatan beton ringan ialah dengan membuat beton non-pasir (*no-fines concrete*) yang terdiri dari campuran air, semen portland dan kerikil/agregat kasar (Neville, 1975 dalam Tjokrodimuljo dan Sumartono 1993) dengan demikian beton non-pasir merupakan suatu gumpalan butir-butir kerikil yang saling melekat karena terlapisi oleh pasta semen dengan ketebalan sekitar 1,3 mm serta adanya rongga di antara butiran mengakibatkan kekuatan beton berkurang. Akan tetapi beton tersebut memiliki berat jenis yang rendah, sehingga tidak mudah menghantarkan panas walaupun mudah lolos air (Tjokrodimuljo K, dan Sumartono 1993). Berat jenis beton non-pasir tergantung pada berat jenis dan gradasi agregat kasar yang digunakan pada umumnya berkisar antara 60-70 % dari beton biasa. Hasil penelitian beton non pasir (Kardiyono, 1994) yang menggunakan kerikil alami dari Sungai Porogo dengan butiran seragam (ukuran 10-20 mm) menghasilkan beton dengan berat jenis sekitar 1870 kg/m³.

Hasil penelitian beton non pasir dengan agregat batu berakar limbah Industri Bandung memiliki ukuran diameter agregat 10 – 20 mm dengan perbandingan volume agregat terhadap semen adalah sebesar 1 : 2 sampai dengan 1 : 10, dengan nilai Fas 0,40, sehingga diperoleh indikasi bahwa semakin tinggi nilai banding semen/agregat semakin tinggi volume rongganya, sedangkan berat jenis, modulus elastisitas, serta kuat tekannya semakin turun (Misdarpon. D, 2006).

Umumnya bahan agregat yang digunakan pada beton non pasir memiliki diameter berkisar antara 10 sampai 20 mm. Penggunaan batu pecah dalam campuran beton non pasir akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan agregat alami, berat jenis dari beton non pasir bervariasi dari 1940 kg/m³ sampai 2100 kg/m³ untuk perbandingan semen terhadap agregat sebesar 1 : 6 sampai 1 : 10 (N. Krishna Raju, 1983). Kuat tekan beton non pasir menunjukkan nilai yang bervariasi tergantung pada berat jenisnya. Beton umur 28 hari dengan berat jenis 1900 kg/m³ memiliki kuat tekan 70 kg/cm² (7 MPa) dan untuk berat jenis 2100 kg/m³ mempunyai kuat tekan 140 kg/cm² (14Mpa) (N. Krishna Raju, 1983).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI-03-2847-2002). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari.

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan dengan atau bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan. Semen dan air membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, agregat kasar dan halus berfungsi sebagai bahan pengisi dan penguat. Variasi ukuran agregat dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik sesuai

dengan standar analisa saringan dari ASTM (*America Society of Testing Materials*). Bahan – bahan dipilih yang sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan. Pemilihan bahan ini sendiri akan mempengaruhi konstruksi dari segi kemudahan pengerjaan (*workability*), karena dari segi kemudahan pengerjaan ini sendiri terdapat banyak variasi yang memenuhi yaitu dari segi kualitas, harga dan mutu beton itu sendiri.

2.2.2 Beton ringan

Beton merupakan bahan dari campuran antara semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan adanya rongga-rongga udara (Universitas Semarang,1999:4). Bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa. Umumnya komposisi material pembentuk beton dan kemampuan beton normal adalah :

Tabel 2.1 Unsur Beton

Agregat Kasar + Halus	Semen	Udara	Air
60 - 80 %	7 - 15 %	1 - 8 %	14 - 21 %

Sumber : (Universitas Semarang, 1999: hal 4)

Beton ringan adalah beton yang dihasilkan oleh agregat ringan. Agregat ringan adalah agregat dengan berat jenis rendah. Keuntungan dari struktur yang memakai agregat ringan adalah struktur yang mempunyai berat sendiri ringan sehingga beban yang akan disalurkan pada struktur bawah akan menjadi lebih ringan. Dan selanjutnya pondasi akan menerima beban yang ringan dan dimensi pondasi dapat diperkecil. Namun penggunaan beton ringan juga disesuaikan dengan kepadatan dan kekuatannya sesuai tabel dibawah ini:

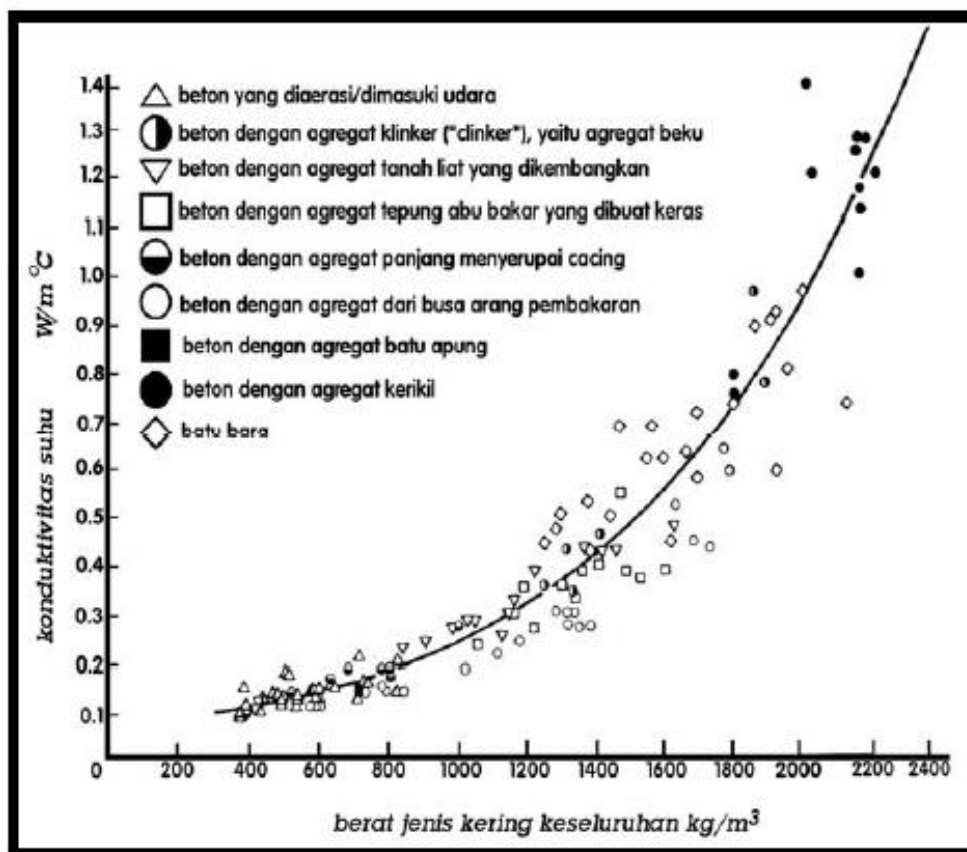
Tabel 2.2 Klasifikasi Kepadatan Beton Ringan

No.	Kategori Beton Ringan	Berat Isi Unit Beton (kg/m³)	Tipikal Kuat Tekan Beton	Tipikal Aplikasi
1	Non Struktural	300 - 1100	< 7 Mpa	Insulating Material
2	Non Struktural	1100 - 1600	7 - 14 Mpa	Unit Masonry
3	Struktural	1450 - 1900	17 - 35 Mpa	Struktural
4	Normal	2100 - 2550	20 - 40 Mpa	Struktural

Sumber: Ringkasan (J Francis Young, 1972; hal 242)

Menurut Murdock, L.J dan Brook, K. M, dalam Bahan dan Praktek Beton, ada banyak cara yang dilakukan untuk menghasilkan beton ringan, tetapi ini semua tergantung adanya rongga udara dalam agregat atau pembentukan rongga udara dalam beton dengan menghilangkan agregat halus, atau pembentukan rongga udara dalam pasta semen dengan menambahkan beberapa bahan yang menyebabkan busa, dan pada beberapa jenis beton ringan, kedua cara tersebut dapat dikombinasikan. Beton ringan juga tidak hanya diperhitungkan karena memiliki berat yang ringan, tetapi juga karena isolasi suhu yang tinggi dibandingkan dengan beton biasa. Umumnya pengurangan kepadatan diikuti oleh kenaikan isolasi suhu, meskipun tentu saja diikuti pula oleh penurunan kekuatan.

Hubungan antara kepadatan dan konduktivitas panas dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Sumber : Bahan dan Praktek Beton, 1991

Gambar 2.1 Grafik Hubungan Antara Kepadatan dan Konduktivitas Panas Beton Ringan

Dibawah ini akan dijelaskan macam – macam beton ringan berdasarkan bahan pembentuknya :

a. Beton Ringan dengan Agregat Ringan

Berat jenis beton dengan agregat ringan yang kering udara sangat bervariasi, tergantung pada pemilihan agregatnya, apakah menggunakan pasir alam atau agregat pecah yang ringan dan halus. Batas maksimum dari berat jenis beton ringan adalah 1850 kg / m³ walau kadang – kadang dapat melebihi. Pada umumnya berat jenis yang lebih ringan dapat dicapai jika berat beton diperkecil yang berpengaruh pada menurunnya kekuatan beton tersebut.

Dalam kasus beton yang menggunakan agregat ringan ada dua cara yang dilakukan untuk memperoleh kekuatan yang lebih tinggi, yang pertama adalah dengan sedikit memperbanyak kadar semen dalam campuran, dan yang kedua adalah dengan mempergunakan pasir alam sebagai pengganti butiran halus yang ringan. Kuat tarik dan geser beton ringan dengan agregat ringan lebih kecil daripada dengan agregat alamiah yang sama kuat desaknya. Reduksi kuat tarik ini dapat mencapai 30 %. Modulus elastis beton ringan adalah sekitar 0,5 sampai 0,75 kali dari nilai modulus beton dengan agregat alamiah pada kuat desak yang sama berkisar antara 7 sampai 21 kN / mm² Oleh karena itu nilai deformasi elastis, penyusutan dan rayapan beton ringan ini menjadi lebih besar.

b. Beton Ringan dengan ”Clinker” dan ”Breeze”

Agregat yang dikenal dengan nama ” *clinker* ” dan ” *Breeze*” telah digunakan selama bertahun – tahun dalam memproduksi blok dan plat untuk partisi dalam dan tembok interior lainnya. *Clinker* adalah bahan yang dibakar sempurna dan massanya mengeras dan berinti serta terisi sedikit bahan yang mudah terbakar, sedang *breeze* adalah bahan residu yang kurang keras dan kurang baik pembakarannya, dan oleh karenanya berisi bahan yang mudah terbakar. Sumber utama dari agregat *clinker* adalah stasiun pembangkit listrik.

Spesifikasi terhadap batasan kandungan yang mudah terbakar bervariasi menurut letak dimana beton tersebut akan digunakan. Spesifikasi tersebut diberikan dalam BS 1165 : 1966 sebagai berikut :

1. Kelas A 1

Batasan kandungan bahan yang mudah terbakar tidak lebih dari 10 %. Tujuan umum : beton tak bertulang. Agregat *clinker* dan *breeze* sangat tidak cocok untuk beton bertulang karena sifat porositas dan penyerapannya, sehingga keadaannya selalu lebih basah daripada keadaan sekitarnya. Kandungan belerangnya juga merupakan faktor yang mempercepat terjadinya korosi pada tulangan yang tertanam di beton.

2. Kelas A 2

Batasan kandungan bahan yang mudah terbakar tidak lebih dari 20 %. Tujuan umum : pekerjaan interior yang tidak mengalami keadaan basah dan dicor ditempat.

3. Kelas B

Batasan kandungan bahan yang mudah terbakar tidak lebih dari 25 %. Tujuan umum : blok pracetak.

c. Beton Ringan Dengan Batu Apung

Batu apung merupakan agregat alamiah yang ringan serta umum penggunaannya. Beton ringan yang menggunakan batu apung memiliki berat jenis antara 720 – 1440 kg/m³ dan kuat tekan 2 - 14 kN / mm².

d. Beton Ringan Dengan Busa Arang (*Foamed Slag*)

Busa arang dibuat dengan pemadaman arang dari dapur letus yang diproduksi oleh pabrik besi kasar. Agregat busa arang harus memenuhi BS 877 : Part 2 : 1973. Busa arang dapat dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bebas dari kontaminasi oleh bahan – bahan yang tidak bersih maupun arang yang dingin di udara bebas.
2. Bebas dari kotoran yang mudah menguap seperti sisa arang atau batu bara.
3. Bebas dari kelebihan sulfat yang ada.

e. Beton Ringan Dengan Bahan – Bahan yang Mengembang

Tanah liat dan batu tulis yang terjadi secara alamiah dapat dipergunakan untuk menghasilkan bahan yang berpori yang ringan dengan pola permukaan yang

berbentuk sel – sel dengan penanganan yang memadai dan pemanasan sampai pada suhu sekitar 1000°C – 1200°C. Bahan dengan karakteristik serupa dapat pula diperoleh dari tepung abu bakar atau ” *fly ash* ” yaitu residu dari pembakaran tepung batu bara pada stasiun pembangkit tenaga. Setelah dipecah dan disaring menurut ukuran yang dikehendaki, bahan yang diproses ini membentuk agregat ringan. Agregat tanah liat dikembangkan di Inggris yang diproduksi dengan nama dagang ” *Leca*” (*Lightweight Expanded Clay Aggregate*). Agregat ini dibuat dengan menggunakan tanah liat biru yang khusus jenisnya, yang segera mengembang jika dipanaskan. Bahan yang dihasilkan terdiri atas butiran bulat yang ringan, keras, dengan suatu kulit padat dan bagian dalam yang keropos. Sedang agregat yang diproduksi dari *fly ash* dikenal dengan nama ” *Lytag* ”. Karena agregat ringan ini sangat tidak kedap air, maka penyerapan airnya pun besar sehingga mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap isolasi suhu, penyusutan, dan rayapan pada beton yang dihasilkan dengan agregat ini.

f. Beton Ringan Tanpa Butiran Halus

Beton tanpa butiran halus ini dibuat hanya dari campuran semen dan agregat kasar. Agregat halus dihilangkan agar meninggalkan suatu rongga yang merata ke seluruh masa.

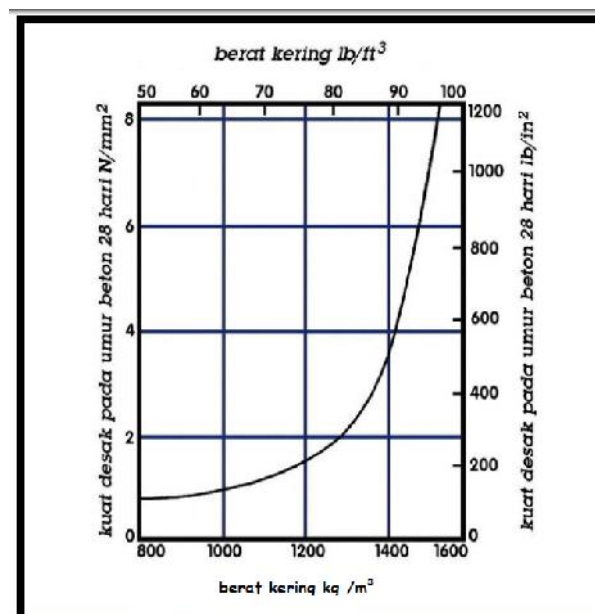
g. Beton Ringan dari Adukan Semen yang Dicampuri Udara (Beton Aerasi)

Beton ringan yang dibuat dari adukan semen yang dicampuri udara dibuat dengan memasukkan udara atau gas yang dibentuk secara khusus ke dalam bubur semen sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan berpori atau memiliki pola struktur sel. Bubur ini biasanya terdiri atas campuran semen dan bahan silika seperti pasir dan tepung abu bakar. Ada dua cara utama dalam pembentukan beton jenis ini, yaitu :

1. Penambahan bubuk aluminium atau seng yang dikombinasikan dengan kapur dalam semen untuk membangkitkan gas hidrogen. Dalam proses ini aluminium atau bubuk yang ditambahkan pada bubur semen selama pencampurannya, kuantitas logam yang dihaluskan sekitar 0,1 % sampai 0,2 % dari berat semen. Dalam beberapa menit gas hidrogen mulai terjadi secara perlahan dan bubur semen akan naik. Proses pengembangan bubur ini terjadi selama sekitar satu jam. Bubur kemudian mengeras membentuk suatu bahan yang terdiri dari

sejumlah besar gelembung yang tertutup lubangnya dan dikelilingi oleh adukan semen yang mengeras. Berat jenis dari beton yang dihasilkan tergantung pada kuantitas bubuk metal yang digunakan, suhu dan waktu pabrikasinya. Berat jenis dari beton jenis ini adalah $550 - 950 \text{ kg / m}^3$.

- Mempergunakan bahan yang menimbulkan busa seperti "resin soap" atau damar sabun. Bahan untuk membuat busa ini dicampur dengan semen, pasir, dan air, serta proses pemasukan udaranya dicapai dengan cara memutarnya dalam alat campur yang berkecepatan tinggi, atau diputar sehingga keluar busanya dengan mempergunakan udara yang bertekanan mempergunakan alat penghasil buih. Kemudian buih ini dicampurkan kedalam bubur semen dengan mesin pencampur beton (*pan mixer*). Cara ini menghasilkan beton ringan dengan berat jenis yang lebih rata jika pembentukan buihnya dikontrol dengan hati - hati. Berat jenis dari beton ringan jenis ini dapat dibuat serendah mungkin misalnya 320 kg / m^3 , tetapi tidak memiliki kekuatan yang bagus dan hanya akan dipergunakan sebagai isolator dalam keadaan kering. Beton ringan jenis ini memiliki penyusutan kering yang tinggi. Hubungan antara kuat desak dan berat jenis untuk jenis hebel yang dibuat dari adukan semen yang dicampuri udara dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Sumber : Bahan dan Praktek Beton, 1991

Gambar 2.2 Grafik Hubungan Kuat Desak dan Berat Jenis untuk Adukan Semen yang Dicampuri Udara

2.2.3 Klasifikasi beton

Sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat, Beton ini harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton (Mulyono, 2003). Menurut PBI'71 Beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut :

Tabel 2.3 Kelas dan Mutu Beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kekuatan Tekan (Kgf/cm ²)	Tujuan Pemakaian Beton
I	Bo	50 - 80	Non-Struktural
II	B1	100	Rumah Tinggal
	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Perumahan dan Bendungan
III	K > 225	> 225	Jembatan, Bangunan Tinggi, Terowongan Kereta Api

Sumber : Margaret Gunawan, 2000

2.2.4 Materi penyusun beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (Navy, 1985:8). Sehingga untuk memahami dan mempelajari perilaku beton, diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen pembentuknya. Bahan pembentuk beton terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar dengan air dan semen sebagai pengikatnya.

a. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam.

Pada beton biasanya terdapat sekitar 70% sampai 80 % volume agregat terhadap volume keseluruhan beton, karena itu agregat mempunyai peranan yang penting dalam propertis suatu beton (Mindess et al., 2003). Agregat ini harus

bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan variasi dalam perilaku (Nawy, 1998). Terdapat dua jenis agregat yaitu :

1. Agregat Halus (Pasir Alami dan Buatan)

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 – 06). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (SK SNI T-15-1991-03).

2. Agregat Kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan dari *blast furnance*)

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm.

Ketentuan mengenai agregat kasar antara lain :

- a. Harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori.
- b. Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton, seperti zat – zat yang relatif alkali.
- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi:

- a. Menghemat penggunaan semen portland.
- b. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
- c. Mengurangi susut pengerasan.
- d. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
- e. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik.

(Paul Nugraha & Antoni, 1995)

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 tentang tata cara pencampuran beton kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antara agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 15% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
5. Gradasinya harus memenuhi syarat, seperti Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.4 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2.4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1.2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0.6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0.3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0.15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber : (Tri Mulyono, 2005)

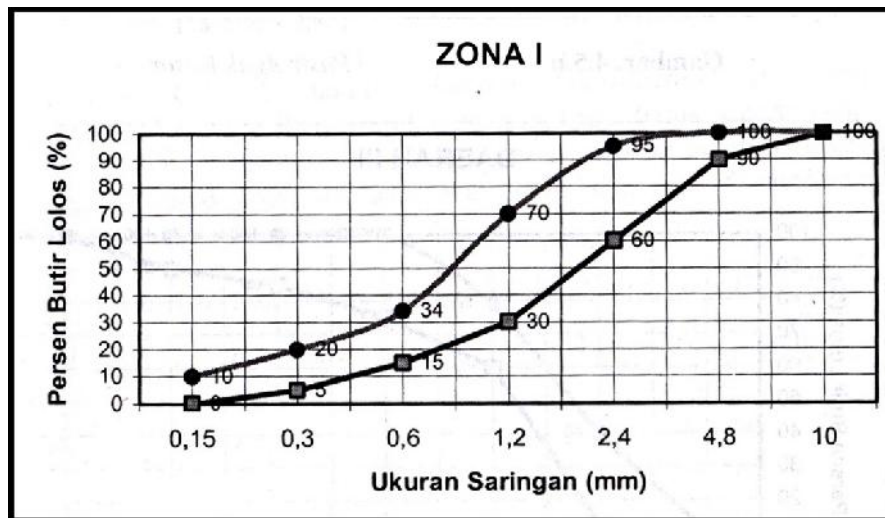
Keterangan :

Daerah pasir I : Pasir kasar

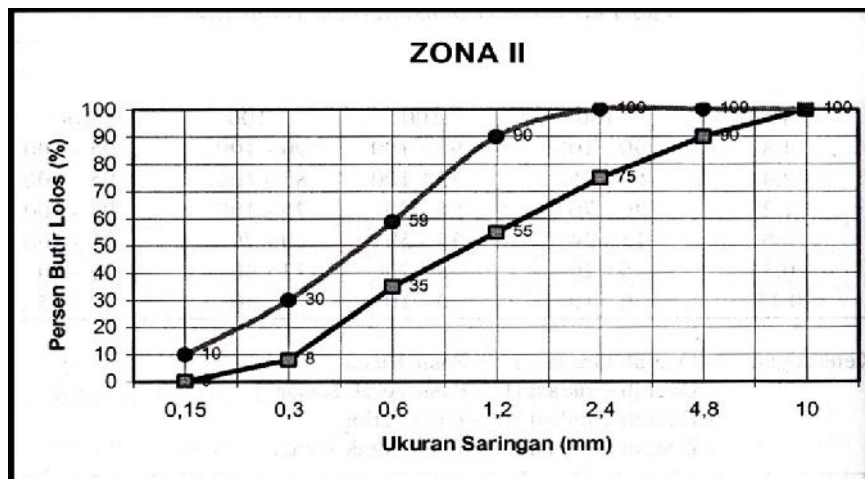
Daerah pasir II : Pasir agak kasar

Daerah pasir III : Pasir agak halus

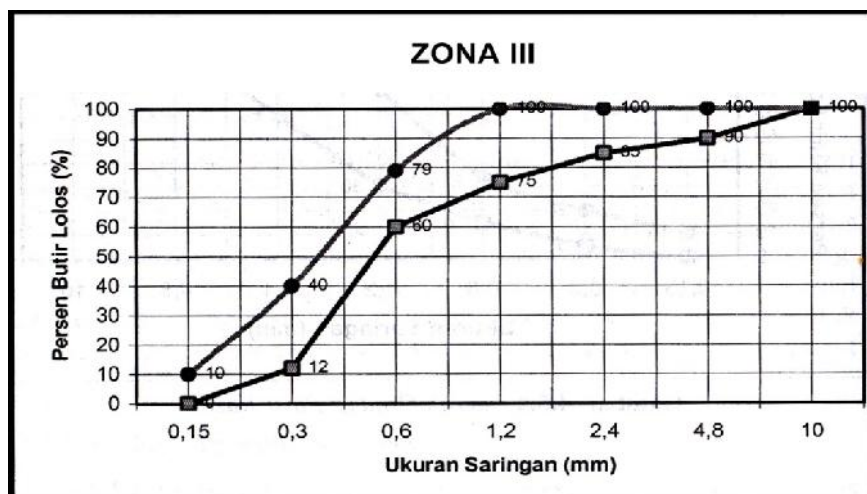
Daerah pasir IV : Pasir halus



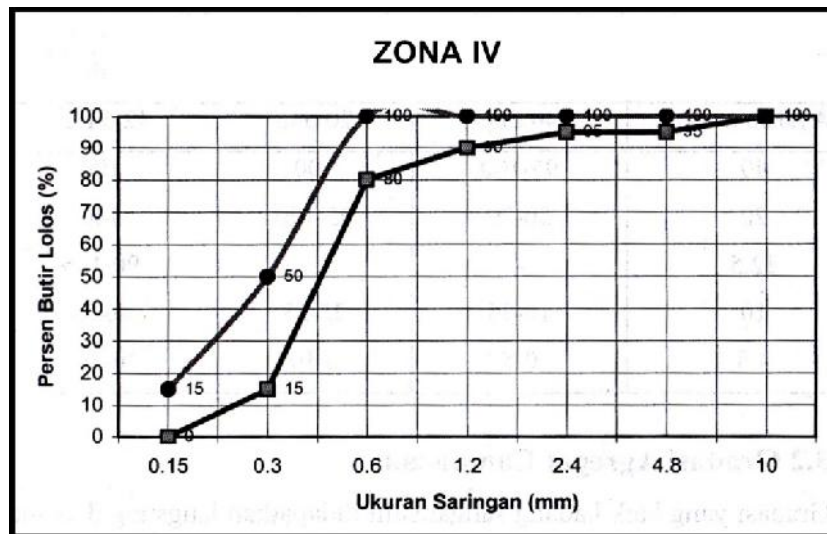
Gambar 2.3 Zona gradasi pasir kasar



Gambar 2.4 Zona gradasi pasir agak kasar



Gambar 2.5 Zona gradasi pasir Halus



Gambar 2.6 Zona gradasi pasir agak halus

b. Semen

Semen yang biasa digunakan adalah semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikatis hidrolis dan bahan tambahan berbentuk kalsium sulfat. Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran agregat.

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Adapun bahan utama yang dikandung semen adalah kapur (CaO), silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3), magnesit (MgO), serta oksida lain dalam jumlah kecil (Lea and Desch, 1940). Massa jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah $3,15 \text{ gr/cm}^3$, pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara $3,03 \text{ gr/cm}^3$ sampai $3,25 \text{ gr/cm}^3$. Variasi ini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian massa jenis ini dapat dilakukan menggunakan *Le Chatelier Flask* (ASTM C 348-97). Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen

yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Berkaitan dengan masalah keawetan (*durability*) beton, maka dibedakan atas lima tipe semen, yaitu:

- Tipe I : Semen biasa (normal) digunakan untuk beton yang tidak dipengaruhi oleh lingkungan, seperti sulfat, perbedaan suhu yang ekstrim.
- Tipe II : Digunakan untuk pencegahan terhadap serangan sulfat dari lingkungan, seperti untuk struktur bawah tanah.
- Tipe III : Beton yang dihasilkan mempunyai waktu perkerasan yang cepat (*high early strength*).
- Tipe IV : Beton yang dibuat akan memberikan panas hidrasi rendah, cocok untuk pekerjaan beton massa.
- Tipe V : Semen ini cocok untuk beton yang menahan serangan sulfat dengan kadar tinggi.

c. Air

Dalam pembuatan beton, air menjadi sangat penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan naik ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapisan-lapisan beton dan membuat menjadi lemah.

Tabel 2.5 Batasan kandungan zat kimia air dalam adukan
(*ppm = parts per million*)

No.	Kandungan Unsur Kimia	Konsentrasi Maksimum (ppm)
1	Chlorida (Cl) :	
	Untuk beton prategang	500
	Untuk beton bertulang	1.000
2	Sulfat (SO ₄)	1.000
3	Alkali (Na ₂ O + K ₂ O)	600
4	Total Solid	50.000

Sumber : (Hanafiah.,dkk, 2010)

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat workability adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 5 gram/liter
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.2.5 Jenis bahan pengganti agregat

Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi (Mulyono, 2003). Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dan harus dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton.

Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan digunakan di lapangan. Dalam hal ini bahan yang akan dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI.

2.3 Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Tri Mulyono, 2004). Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian

kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum. Beban maksimum didapat dari pengujian dengan menggunakan alat *compression testing machine*.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Fungsi FAS, yaitu :

- a. Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- b. Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*).

Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Umumnya nilai FAS yang diberikan minimum 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2004).

2. Sifat agregat

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperhatikan seperti, serapan air, kadar air agregat, berat jenis, gradasi agregat, modulus halus butir, kekekalan agregat, kekasaran dan kekerasan agregat.

3. Proporsi semen dan jenis semen yang digunakan

Berhubungan dengan perbandingan jumlah semen yang digunakan saat pembuatan mix design dan jenis semen yang digunakan berdasarkan peruntukkan beton yang akan dibuat. Penentuan jenis semen yang digunakan mengacu pada tempat dimana struktur bangunan yang menggunakan material beton tersebut dibuat, serta pada kebutuhan perencanaan apakah pada saat proses pengecoran membutuhkan kekuatan awal yang tinggi atau normal.

4. Bahan tambah

Bahan tambah (*additive*) ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah (*additive*) lebih banyak digunakan untuk penyemenan (*cementitious*), jadi digunakan untuk perbaikan kinerja. Menurut standar

ASTM C 494/C494M – 05a, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe, yaitu :

- a) *water reducing admixtures*
- b) *retarding admixtures*
- c) *accelerating admixtures*
- d) *water reducing and retarding admixtures*
- e) *water reducing and accelerating admixtures*
- f) *water reducing and high range admixtures*
- g) *water reducing, high range and retarding admixtures*

Kuat tekan beton merupakan sifat yang paling penting dalam beton keras, dan umumnya dipertimbangkan dalam perencanaan campuran beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SK SNI03-1974-1990).

Kuat tekan dan modulus elastisitas beton merupakan parameter utama untuk menentukan mutu beton. Tolak ukur yang umum dari sifat elastic suatu bahan adalah modulus elastisitas yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan.

Pada umumnya bahan, termasuk beton, memiliki daerah awal pada diagram tegangan-regangannya dimana bahan berkelakuan secara elastis dan linier. Kemiringan diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier itulah yang dinamakan Modulus Elastisitas (E) atau Modulus Young. Modulus elastisitas pada beton bervariasi. Ada beberapa hal yang mempengaruhi modulus elastisitas beton antara lain kelembaban, agregat, umur beton, dan mix design beton.

Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang.

$$f' c_i = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

- $f' c_i$ = kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang ke i (N/mm²)
- P = gaya tekan aksial (Newton, N)
- A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992) :

1. Pengaruh mutu semen Portland.
2. Pengaruh dari perbandingan adukan beton.
3. Pengaruh air untuk membuat adukan.
4. Pengaruh umur beton.
5. Pengaruh waktu pencampuran.
6. Pengaruh perawatan.
7. Pengaruh bahan campuran tambah.

2.4 Workability

Workability/Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Suatu adukan dapat dikatakan *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (Kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
- b. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan.
- c. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
- d. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak / berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan. Dalam praktek ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu:

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring.
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.

2.5 Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume lubang-lubang kosong yang dimiliki oleh zat padat (volume kosong) dengan jumlah dari volume zat yang ditempati oleh zat padat.

Porositas pada suatu material dinyatakan dalam persen (%) rongga fraksi volume dari suatu rongga yang ada dalam material tersebut. Besarnya porositas pada suatu material bervariasi mulai dari 0 % sampai dengan 90 % tergantung dari jenis dan aplikasi material tersebut. Ada dua jenis porositas yaitu porositas tertutup dan porositas terbuka. Porositas tertutup pada umumnya sulit untuk ditentukan pori tersebut merupakan rongga yang terjebak didalam padatan dan serta tidak ada akses ke permukaan luar, sedangkan porositas terbuka ada akses ke permukaan luar, walaupun rongga tersebut ada ditengah-tengah padatan.

2.6 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.6.1 Pengujian berat jenis & penyerapan agregat kasar dan agregat halus

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai langkah-langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Adapun pengujian ini meliputi sebagai berikut :

a. Berat jenis kering

$$B_j \text{ Kering} = \frac{B_k}{(B + B_j - B_t)} \dots\dots\dots (2.2)$$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh air (*Saturated Surface Dry*)

$$\text{Berat jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{(B + B_j - B_t)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{c. Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh air

B_k : Berat benda uji kering oven

B : Berat piknometer berisi air

B_t : Berat piknometer berisi air dan benda uji

2.6.2 Pengujian analisa saringan

Persentase berat benda uji yang tertahan diatas saringan

$$a = \frac{A}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

a = Persentase berat benda uji yang tertahan (%)

A = Berat benda uji yang tertahan diatas ayakan a mm

B = Berat benda uji total

Modulus halus butir adalah suatu indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya.

Modulus kehalusan butir (MHB)

$$= \frac{\% \text{ Komulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.6.3 Pengujian bobot isi agregat

$$\text{Bobot Isi Gembur} = \frac{\text{Berat Agregat Gembur}}{\text{Volume bejana silinder}} \text{ (gr/cm}^3\text{) } \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Bobot Isi Padat} = \frac{\text{Berat Agregat Padat}}{\text{Volume bejana silinder}} \text{ (gr/cm}^3\text{) } \dots\dots\dots (2.8)$$

2.6.4 Pengujian kadar air agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat Awal (W3)} - \text{Berat Konstan (W5)}}{\text{Berat Konstan (W5)}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.9)$$

2.6.5 Pengujian kadar lumpur agregat

Kadar lumpur bertujuan untuk memperoleh persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{\text{Berat Awal (B)} - \text{Berat Akhir (C)}}{\text{Berat Awal (B)}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.10)$$

2.6.6 Pemadatan beton

Metode pemadatan dapat dilakukan dengan cara ditusuk, digetar dari dalam (dengan jarum getar/getaran internal) atau digetar dari luar (dengan meja getar). Pemilihan metoda yang akan digunakan berdasarkan nilai slump dari adukan beton yang akan digunakan.

Adukan beton dengan slump lebih dari 75 mm, pemadatan dilakukan dengan cara ditusuk. Slump antara 25 sampai dengan 75 mm dapat ditusuk

atau digetar, dan slump dibawah 25 mm dilakukan dengan cara digetar.
(SNI 03-2493-1991)

2.6.7 Perawatan beton

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan. *Curing* secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai.

Tujuan pelaksanaan curing/perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai, dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam, sehingga dapat menyebabkan retak.

Pelaksanaan *curing*/perawatan beton dilakukan segera setelah beton mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/acuan/bekisting, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Lamanya *curing* sekitar 7 hari berturut – turut mulai hari kedua setelah pengecoran.

Menurut SNI 03-2493-1991, perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Penutupan Setelah Penyelesaian

Untuk menjaga penguapan air dari beton segar, benda uji setelah diselesaikan/dilicinkan harus ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan mudah digunakan, tetapi juga harus dapat menjaga kelembaban sampai saat contoh uji dilepas dari cetakan.

Bila digunakan lembaran plastik tersebut dihamparkan melebihi permukaan dari seluruh benda uji untuk menjaga kelembabannya.

Permukaan cetakan bagian luar harus dijaga jangan sampai berhubungan langsung dengan air selama 24 jam pertama setelah beton dicetak, sebab dapat merubah air dalam adukan dan menyebabkan rusaknya benda uji.

2. Pelepasan Benda Uji dari Cetakan

Lepaslah benda uji dari cetakan setelah 20 jam dan jangan lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

3. Perawatan Benda Uji

Jika tidak ditentukan dengan cara lain, rendamlah seluruh benda uji dalam air yang mempunyai suhu $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ mulai pelepasan dari cetakan hingga saat pengujian dilakukan.

Ruang penyimpanan harus bebas dari getaran terutama pada waktu 48 jam pertama setelah benda uji disimpan.

Untuk pencetakan ulang, perlakuan kondisi perawatan harus sama seperti yang diuraikan di atas.

Kondisi perawatan seperti ini juga dapat dilakukan dengan cara merendam di dalam air yang jenuh kapur juga dapat disimpan di dalam ruang lembab atau dalam lemari lembab.

Benda uji harus dijaga dari tetesan air atau aliran air dari luar.