

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton ringan dapat dibuat dengan berbagai cara, antara lain dengan menggunakan agregat ringan (*fly ash*, batu apung, *expanded polystyrene*, dll), campuran antara semen, silika, pozolan, dll, atau semen dengan kimia penghasil gelembung udara. (Ngabdurrochman, 2009)

Beton ringan dapat dibagi lagi dalam tiga golongan berdasarkan tingkat kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan dan berdasarkan jenis agregat ringan yang dipakai (Prawito, 2010). Klasifikasi beton ringan adalah sebagai berikut ini.

1. Beton insulasi (*Insulating Concrete*)

Beton ringan dengan berat (*density*) antara 300 kg/m³ - 800 kg/m³ dan berkekuatan tekan berkisar 0,69 - 6,89 MPa, yang biasanya dipakai sebagai beton penahan panas (insulasi panas) disebut juga *Low Density Concrete*. Beton ini banyak digunakan untuk keperluan insulasi, karena mempunyai kemampuan konduktivitas panas yang rendah, serta untuk peredam suara. Jenis agregat yang biasa digunakan adalah *Perlite* dan *Vermiculite*.

2. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*Moderate Strength Concrete*)

Beton ringan dengan berat (*density*) antara 800 kg/m³ - 1440 kg/m³, yang biasanya dipakai sebagai beton struktur ringan atau sebagai pengisi (*fill*

concrete). Beton ini terbuat dari agregat ringan buatan seperti: terak (*slag*), abu terbang (*fly ash*), lempung, batu sabak (*slate*), batu serpih (*shale*), dan agregat ringan alami, seperti *pumice*, *skoria*, dan *tufa*. Beton ini biasanya memiliki kekuatan tekan berkisar 6,89 - 17,24 MPa.

3. Beton Struktural (*Structural Concrete*)

Beton ringan dengan berat (*density*) antara 1440 kg/m³ - 1850 kg/m³ yang dapat dipakai sebagai beton struktural jika bersifat mekanik (kuat tekan) dapat memenuhi syarat pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan berkisar > 17,24 MPa Untuk mencapai kekuatan sebesar itu, beton ini dapat memakai agregat kasar seperti *expanded shale*, *clays*, *slate*, dan *slag*.

Ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam agregat, atau pembuatan rongga udara dalam beton (Prawito,2010), yaitu dilakukan dengan 3 cara berikut ini.

1. Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar 1400 kg/m³ – 2000 kg/m³)
2. Beton ringan tanpa pasir (*No Fines Concrete*), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastinya atau sering disebut beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar pori-pori. Berat isi berkisar antara 880 – 1200 kg/m³ dan mempunyai kekuatan berkisar 7 – 14 MPa.

3. Beton ringan yang diperoleh dengan memasukan udara dalam adukan atau mortar (beton *aerasi*), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran 0,1 – 1 mm. Memiliki berat isi 200 – 1440 kg/m³.

3.2 Semen Portland

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Kandungan silikat dan aluminium pada semen merupakan unsur utama pembentuk semen yang apabila bereaksi dengan air akan menjadi media perekat. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Proses hidrasi terjadi apabila semen bersentuhan dengan air. Proses ini berlangsung dalam 2 arah, yaitu keluar dan ke dalam (Siswanto,2012).

Fungsi semen secara umum adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat walaupun semen hanya mengisi kira-kira 10% - 30% dari volume beton. Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan tinggi apabila mengeras. (Siswanto, 2012)

3.3 Air

Air sangat diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan air terhadap total material yang

menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai sehingga menyebabkan kekuatan beton berkurang. (Prawito, 2010)

3.4 Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir alam, pasir buatan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Agregat halus yang baik dan memenuhi syarat untuk digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton harus mempunyai sifat-sifat (Cahyadi, 2012) sebagai berikut ini.

1. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu.
2. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dan bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Yang artinya bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus di cuci.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik

5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksa bahan-bahan.

Agregat halus dapat digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. (Tjokrodinuljo, 2007). Penggolongan agregat halus (pasir) menurut gradasinya dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Batas Gradasi Agregat Halus (Tjokrodinuljo, 2007)

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Butir yang Lewat Ayakan dalam Persen | | | |
|-----------------------|--|------------|------------|----------|
| | Kasar | Agak Kasar | Agak Halus | Halus |
| 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 |

3.5 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirannya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (ASTM C33,1982). Pada umumnya yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm (Cahyadi, 2012). Syarat-syarat agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar mengandung butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya.

2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan benjana.
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.

Menurut berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 jenis (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu :

1. Agregat Normal, yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 – 2,7 gram/cm³ dan biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa, dan lain sebagainya.
2. Agregat Berat, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³ dan biasanya dihasilkan oleh magnetit (Fe₃O₄), serbuk besi, dan lain sebagainya.
3. Agregat Ringan, yaitu agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ dan biasanya berasal dari abu terbang (*fly ash*), tanah bakar (*bloated clay*), batu apung, dan lain sebagainya.

3.6 Batu Apung

Batu apung adalah salah satu batuan sedimen, yaitu batuan vulkanis yang bobotnya ringan karena sangat berpori. Batu apung biasanya memiliki warna terang atau keputih-putihan. Batu apung sendiri juga sudah banyak dipakai sejak jaman romawi kuno dengan cara di gali, di cuci, kemudian baru digunakan.

Karena bobotnya yang ringan, maka jika digunakan sebagai agregat pembuatan beton akan diperoleh beton yang ringan. (Hidayat, 2012)

3.7 Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit. (Brahmanja, 2011). Pada penelitian kali ini, bahan tambah yang digunakan adalah *fly ash* dan *Sikament LN*.

3.7.1 *Fly ash*

Fly ash adalah bagian dari sisa pembakaran batu bara pada Boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus *amorf* dan bersifat *Pozzolan*, sehingga abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat *pozzolan* tersebut. Dengan adanya sifat *pozzolan* tersebut, abu terbang mempunyai prospek untuk digunakan dalam berbagai keperluan bangunan. (Maryoto, 2008)

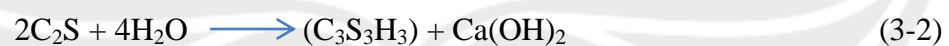
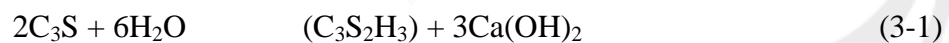
Pengaruh utama dalam penggunaan *fly ash* adalah pemakaian air dan *workability*. Untuk *workability* yang tetap, penggunaan air akan berkurang 5-15% pada campuran semen + *fly ash* bila dibandingkan dengan semen murni. Pengurangan air pada campuran agregat akan menyebabkan meningkatnya faktor air semen. Karena faktor air semen lebih tinggi, maka akan diperoleh pula kuat tekan mortar yang lebih tinggi pula. (Maryoto, 2008)

Menurut ASTM C618 – 96 Volume 04.02, *fly ash* dibagi menjadi 3 kategori sesuai pada tabel 3.2 berikut ini.

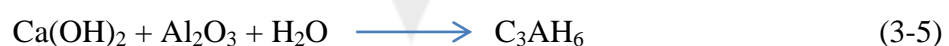
Tabel 3.2 Persyaratan Kandungan Kimia *Fly Ash* (ASTM C618-96 Vol 04.02)

| Senyawa | Kelas Campuran Mineral (%) | | |
|--|----------------------------|-----|-----|
| | F | N | C |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min) | 70 | 70 | 50 |
| SO ₃ (maks) | 4 | 5 | 5 |
| Moisture Content (maks) | 3 | 3 | 3 |
| Loss of Ignition (maks) | 10 | 6 | 6 |
| Alkali, Na ₂ O (maks) | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Fly ash dapat melakukan ikatan dengan kapur membentuk mortar hidrolis yang tidak lain adalah bahan ikat karena sifatnya yang pozzolan. Fenomena ini disebabkan oleh kapur bebas hasil reaksi semen dan air akan bereaksi dengan *fly ash* membentuk senyawa *tobermorite*. Menurut Tjokrodinuljo (1996), reaksi yang terjadi pada semen adalah sebagai berikut: (Maryoto, 2008)



Sementara reaksi yang terjadi pada *fly ash* dan kapur bebas adalah sebagai berikut:



dimana : C = CaO ; S = SiO₂ ; A = Al₂O₃ ; H = H₂O

Fly ash akan bereaksi setelah semen dan air menjadi satu kesatuan yang menyebabkan sebuah reaksi kimia dalam waktu lama yang akan membentuk fase *glass* seperti silika dan aluminium dengan semen hidrat (kalsium hidroksida). *Oksida silica* yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan *kalsium hidroksida* yang terbentuk dari hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (senyawa *tobermorite*). (Maryoto, 2008)

3.7.2 Sikament LN

Sikament LN merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk menambah *workability* dari adukan beton atau biasa disebut pengencer adukan. Namun bahan tambah ini tidak mengurangi kuat tekan beton sendiri. (Sutrisno, 2012). Dengan menambahkan *Sikament LN* ke dalam campuran adukan beton, maka volume air yang digunakan dalam campuran akan berkurang 5 – 20% dari kebutuhan awal.

3.8 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar kuat tekan sesuai umur beton. Semakin tinggi kuat tekan betonnya, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pada umumnya, beton yang akan diuji kuat tekannya berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Perhitungan kuat tekan beton sesuai dengan rumus 3-6 berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3-6)$$

Keterangan :
 $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
 P = beban tekan aksial (N)
 A = Luas penampang benda uji (mm²)

3.9 Kuat Tarik Belah

Tegangan tarik pada beton dapat terjadi karena geser, torsi dan aksi lainnya yang menyebabkan terjadinya retak-retak. Percobaan kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm yang ditempatkan secara horizontal diantara dua tumpuan dari mesin tekan.

Perhitungan kuat tarik belah beton :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (3-7)$$

Keterangan :

| | |
|----------|-----------------------------|
| f_{ct} | = kuat tarik beton (MPa) |
| P | = beban tekan diametral (N) |
| D | = Diameter benda uji (mm) |
| L | = Panjang benda uji (mm) |

3.10 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan sifat yang dimiliki oleh beton yang berhubungan dengan mudah tidaknya beton mengalami deformasi saat mendapat beban. Semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin kecil regangan yang terjadi karena modulus elastisitas berbanding terbalik dengan nilai regangan.

Nilai modulus elastisitas ini akan ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan regangan, kurva ini dipengaruhi oleh tegangan beton dan regangan beton. Semakin tegak kurva dan memiliki garis linier yang panjang, berarti beton tersebut memiliki kuat desak yang besar pula. Dengan semakin bertambahnya beban maka makin berkurangnya kekuatan material sehingga kurva tidak linier lagi. Biasanya modulus sekan mempunyai nilai 25 – 50% dari kuat tekan f'_c yang diambil sebagai modulus elastisitas. (Wang & Salmon, 1986)

Perhitungan modulus elastisitas beton :

$$E_c = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-8)$$

$$f = \frac{P}{A_0} \quad (3-9)$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3-10)$$

Dimana : E_c = Modulus elastisitas beton (N/mm)
 f = Tegangan (N/mm²)
 ε = Regangan (mm)
 P = Beban Desak (N)
 A_0 = Luas Penampang Beton (mm²)
 l = Panjang (yang memendek) waktu ada tegangan (mm)
 l_0 = Panjang awal benda uji (mm)
 Δl = Perubahan panjang benda uji (mm)

3.11 Serapan Air

Pengujian serapan air dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 7 cm dan tinggi 14 cm. pengujian serapan air bertujuan untuk mengetahui daya serap beton terhadap kandungan air.

Rumus yang digunakan untuk menghitung serapan air :

$$S = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (3-11)$$

Keterangan :

W_1 = Berat beton kering oven (kg)
 W_2 = Berat beton kering permukaan (SSD) (kg)
 S = Serapan air (%)

Menurut SNI 03-2914-1990, sifat beton kedap air harus memenuhi persyaratan berikut ini.

1. Beton kedap air normal bila diuji dengan cara perendaman dengan air selama 10+0,5 menit, resapan maksimum adalah 2,5% terhadap berat beton kering oven. Selama perendaman 24 jam, resapan maksimum adalah 6,5% terhadap beton ringan kering oven.
2. Beton kedap air agresif bila diuji dengan tekanan air, maka tembusnya air ke dalam beton tidak melampaui batas berikut ini.
 - a. Agresif sedang : 50 mm
 - b. Agresif kuat : 30 mm