

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan sifat beton

Beton merupakan campuran antara semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Menurut Standart Nasional Indonesia SNI 03-2834-2000 beton dapat digolongkan sebagai beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi antara 2200 sampai 2500 kg/m³.

Beton dapat dibuat dengan berbagai macam mutunya. Mutu beton tersebut ditunjukkan oleh uji kuat tekan. Kekuatan beton dapat dibuat dengan beberapa variasi yang meliputi faktor air semen, jenis semen yang digunakan, penggunaan *filler*, serta dari umur beton itu sendiri.

Beton ringan terdiri dari agregat ringan atau campuran agregat kasar yang ringan dan pasir biasa sebagai pengganti agregat halus ringan dan ketentuan berat jenis beton tersebut tidak boleh melampaui 1850 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekanan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural.

Beton ringan memiliki ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton yaitu 1850 kg/m³ karena pada dasarnya beton normal mempunyai berat isi sekitar 2400 kg/m³. Beton ringan juga berfungsi untuk mengurangi beban struktur itu sendiri. Agar dihasilkan kuat tekan beton yang sesuai dengan rencana diperlukan *mix design* untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang dibutuhkan. ‘

Beton ringan dibagi menjadi 3 golongan berdasarkan jenis konstruksi, tingkat kekuatan beton dan berdasarkan jenis agregat ringan yang akan dipakai, sebagai berikut:

Tabel 2.1 Agregat Ringan Yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi

Konstruksi Bangunan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (Kg/m ³)	
Struktural :			
- Minimum	17,24	1400	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu.
- Maksimum	41,36	1850	Serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu terbang.
Struktural Ringan :			
- Minimum	6,89	800	Agregat ringan alam : Skoria atau batu apung.
- Maksimum	17,24	1400	
Struktural Sangat Ringan Sebagai Isolasi:			
- Minimum	-	-	Perlit atau Vemikulit.
- Maksimum	-	800	

Sumber : SNI 03 – 3449 - 2002

2.2 Unsur-unsur Penyusunan Material Beton

2.2.1 Semen



Gambar 2.1 Semen

Semen adalah hal terpenting dalam pembuatan beton karena semen memiliki sifat perekat yang dihasilkan dengan cara dihaluskan yang terdiri dari bahan utama silikat, kalsium dan bahan tambahan batu gypsum dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan. Proses hidrasi terjadi apabila semen bersentuhan dengan air. Fungsi utama dari semen ini adalah melekatkan antara agregat – agregat sehingga dapat menyatu dan mengeras seperti batuan. Menurut SNI 15-2049-2004 semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis/tipe yaitu:

1. Semen Portland tipe I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Semen Portland tipe II, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Semen Portland tipe III, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Semen Portland tipe IV, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi rendah.
5. Semen Portland tipe V, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.2 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun yang sangat penting dalam pembuatan beton. Air dalam pembuatan beton diperlukan untuk membantu reaksi kimia dalam semen dan juga bahan tambahan agar menyatu menjadi satu. Air juga dapat mempermudah membuat adukan beton, proses pengerjaan menjadi lebih mudah. Jumlah dari banyak sedikitnya air yang digunakan juga berpengaruh pada kekuatan beton itu sendiri.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini:

1. Air yang digunakan harus bersih.
2. Tidak mengandung kotoran yang dapat dilihat lebih dari 2gr/ltr.

3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
4. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi bahan dalam campuran beton. Penggunaan agregat dalam campuran beton, terdiri dari 60% sampai 75% dari volume totalnya, maka dari itu perlunya perhatian terhadap bahan ini, sebab sifat-sifat dari agregat mempengaruhi kekuatan beton. Berdasarkan besar butirnya agregat dibedakan menjadi dua. Jika agregat yang mempunyai ukuran butir dari 4,80 dan 40 mm disebut dengan agregat kasar. Sedangkan agregat yang berbutiran kecil dan memiliki ukuran 0,075 dan 4,80 mm disebut dengan agregat halus. Pembagian jenis agregat tersebut dimaksudkan agar material beton menjadi lebih padat dan saling mengunci (interlocking) diantara jenis agregat tersebut.

Agregat ringan adalah agregat yang dibuat seperti batu pecah, kerikil, dan pasir yang mempunyai berat jenis yang ringan. Agregat ringan pada umumnya di bagi menjadi dua tipe:

1. Agregat ringan buatan dibuat dengan cara memanaskan bahan-bahan salah satunya seperti lempung
2. Agregat ringan alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami.

Jenis jenis agregat ringan yang biasa digunakan dalam membuat beton ringan adalah terak besi, abu terbang, batu lempung, batu sabak, batu serpih, batu apung.

Menurut SNI 03-2461-2002 spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural. Agregat ringan yang akan digunakan dapat melihat persyaratan seperti dibawah ini:

Tabel 2.2 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

No	Sifat Fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0 - 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum	
	- Gembur kering (Kg/cm)	1120
	- Agregat Halus	880
	- Agregat Kasar	1040
	- Campuran Agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10% kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16 – 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

Sumber : SNI 03 – 2461 - 2002

Tabel 2.3 Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Untuk Beton Ringan Struktural

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm ³)	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata - rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
	Semua agregat ringan	
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2	17
	Agregat Ringan dan Pasir	
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2	17

CATATAN 1 MPa = 10 kg/cm²

Sumber : SNI 03 – 2461 – 2002

2.3 Sifat Lumpur

Lumpur dapat dikategorikan sebagai lempung karena memiliki bahan dasar yang bentuknya seperti butiran halus, berwarna abu-abu, mempunyai sifat plastis yang tinggi, dan mempunyai nilai susut yang tinggi. Lempung adalah pengumpulan partikel alam, akan tetapi ikatan antar partikelnya lemah, yang terbentuk karena

pelapukan dari batuan. Berdasarkan komposisi kimianya, tanah lempung tersusun dari oksida-oksida sebagai berikut:

- a. SiO₂ : 50 – 70 %
- b. Al₂O₃ : 10 - 35 %
- c. Fe₂O₃ : 2 – 8 %
- d. TiO₂ : 0,1 – 2 %
- e. CaO : 0,5 – 15 %
- f. MgO : 0,2 – 5 %
- g. SO₃ : 0 – 0,5 %
- h. HP : 3 – 12 %

2.3.1 Agregat Lumpur Sidoarjo

Lumpur Sidoarjo memberikan efek yang buruk bagi masyarakat di sekitar lokasi banjir lumpur tersebut. Dengan begitu lumpur Sidoarjo dimanfaatkan sebagai material untuk membuat beton ringan dengan membuat agregat kasar dan agregat halus ringan buatan.

Lumpur Sidoarjo memiliki unsur utama antara lain seperti, silika, alumina dan beberapa unsur lain seperti besi, kalsium, dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil, maka lumpur Sidoarjo ini dapat di kembangkan sebagai agregat ringan. Proses pembuatan agregat ringan dari lumpur sidoarjo ini dilakukan dengan cara menjemur lumpur sidoarjo yang masih basah selama 2 minggu hingga kering alami atau setengah kering, lalu dipecah menjadi ukuran yang lebih kecil. Lumpur Sidoarjo setengah kering tersebut digiling dengan mesin *crusher* agar mendapatkan ukuran agregat dan bentuk agregat yang sesuai untuk campuran beton. Agregat lumpur Sidoarjo dibakar dengan rentang suhu 900°C - 1000°C. pada suhu 900°C material lumpur Sidoarjo belum cukup matang dan warna belum merata, sedangkan pada suhu diatas 1000 °C, material lumpur Sidoarjo terlalu matang, warna hitam/gosong dan material menjadi leleh dan menggumpal atau lengket.

Untuk bahan agregat ringan, memiliki persyaratan komposisi kimia dan dapat dilihat dibawah ini:

- a. SiO₂ : 62 – 95 %
- b. Al₂O₃ : 17– 21 %
- c. Fe₂O₃ : 6 – 8 %

dapat dilihat dari persyaratan di atas, lumpur Sidoarjo mempunyai kadar silika yang kurang tapi memiliki kadar alumina yang lebih, maka dari itu perlunya bahan lain sebagai pencampur seperti abu batu bara atau *fly ash* dengan menggunakan perbandingan untuk mendapatkan komposisi yang ideal (Lasino, 2016).

Melihat dari komposisi kimia tanah lempung, maka hasil analisis unsur kimia lumpur Sidoarjo disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hasil Analisis Kimia

No	Unsur kimia	Hasil uji	Syarat
1.	SiO ₂ %	52,9	50 - 75
2.	Al ₂ O ₃ %	26,3	10 – 35
3.	Fe ₂ O ₃ %	8,5	2 – 8
4.	CaO%	1,9	0,5 – 15
5.	MgO%	2,5	0,2 – 5
6.	K ₂ O%	2,8	-
7.	Na ₂ O ₃ %	2,1	-
8.	SO ₃ %	0,97	0 – 0,5
9.	HP%	1,92	3 - 12

Sumber : Lasino, 2016.

Penelitian ini mengganti seluruh agregat kasar dan halus alam dengan menggunakan agregat halus dan kasar dari lumpur sidoarjo. Penelitian ini melakukan pengujian-pengujian pada agregat lumpur sidarjo sesuai dengan SNI agregat ringan sebelum dapat digunakan/dicampur dengan beton.



Gambar 2.2 Agregat Halus Lumpur Sidoarjo



Gambar 2.3 Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo



Gambar 2.4 Mesin Pembakaran Agregat

2.4 Kapasitas Penampang Pelat Beton Ringan

Menurut ACI 213R, perhitungan perencanaan kekuatan untuk lentur dan kombinasi aksial tekan dengan tekuk yang ditetapkan ACI 318 dapat diterapkan pada beton ringan struktural. Perbedaan antara beton ringan dan beton normal terdapat pada reduksi nilai modulus elastisitas beton ringan. Menurut SNI 2847:2013 modulus elastisitas, E_c , untuk beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E_c = w_c^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (2.1)$$

Keterangan:

E_c = Modulus Elastis Beton (MPa)

w_c = Berat Jenis Beton (Kg/m³)

f'_c = Kuat Desak Beton (MPa)

Rumus tersebut untuk nilai w_c antara 1440 dan 2560 kg/m³. Untuk beton normal, E_c diizinkan diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$.

SNI 2847:2013 menetapkan untuk f'_c antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65. Distribusi tegangan ekuivalen ini hanya dapat digunakan untuk beton normal, sedangkan untuk beton ringan digunakan distribusi tegangan ekuivalen yang disusun oleh STR 2.05.05:2005.

Menurut STR koefisien untuk *stress block* persegi panjang dijelaskan tidak dengan cara yang sama seperti di EC2, ACI 318 atau DIN 1045, tetapi oleh pengertian fisik koefisien untuk desain kekuatan beton α dan faktor deformability zona kompresi beton ω sesuai dengan koefisien η dan λ . Koefisien ini dihitung menggunakan rumus tersebut:

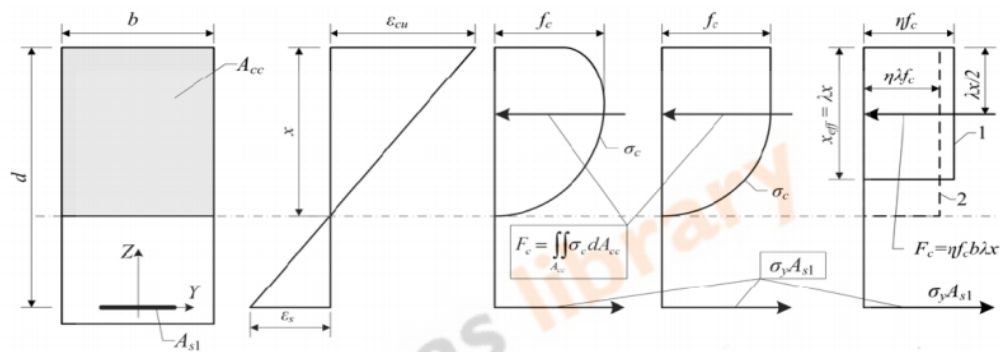
$$\eta = \alpha = 0,9 \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = \alpha = 0,9 - \frac{f'c-50}{200}, \text{ untuk } f'c > 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \omega = \alpha - 0,008 f'cd, f'cd \text{ adalah kekuatan beton desain di MPa}$$

Koefisien yang diizinkan untuk jenis beton:

- untuk beton berat normal, $\alpha = 0,85$
- untuk beton dengan agregat halus Grup A, $\alpha = 0,80$
- untuk beton dengan agregat halus Grup B, $\alpha = 0,75$
- untuk beton ringan, $\alpha = 0,80$



Gambar 2.5 Distribusi tegangan persegi ekuivalen

Dari gambar 2.5 tegangan persegi ekuivalen dapat dihitung dengan rumus:

$$F_c = \eta \times f'c \times b \times \lambda \times x \quad (2.2)$$

Dengan :

- F_c = gaya tekan pada beton
- η = Koefisien ekuivalen
- $f'c$ = Kuat tekan beton
- λ = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
- x = Jarak serat tekan terluar ke garis netral
- b = lebar balok

2.5 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Dalam kualitas beton sifat yang paling penting diantara sifat-sifat lain yaitu kuat tekan beton. Hasil kuat tekan pada beton sangat ditentukan oleh perbandingan dari semen, agregat kasar dan halus, air. Kuat tekan benda uji ditentukan oleh kekuatan tekan tertinggi (f'_c) yang dihasilkan benda uji.



Gambar 2.6 Uji kuat tekan

Metode kuat tekan beton berdasarkan percobaan dapat ditulis dengan persamaan (SNI 1974-2011).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

Dengan: f'_c = Kuat Tekan (MPa)

P = Gaya Tekan Aksial, dinyatakan dalam Newton (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)

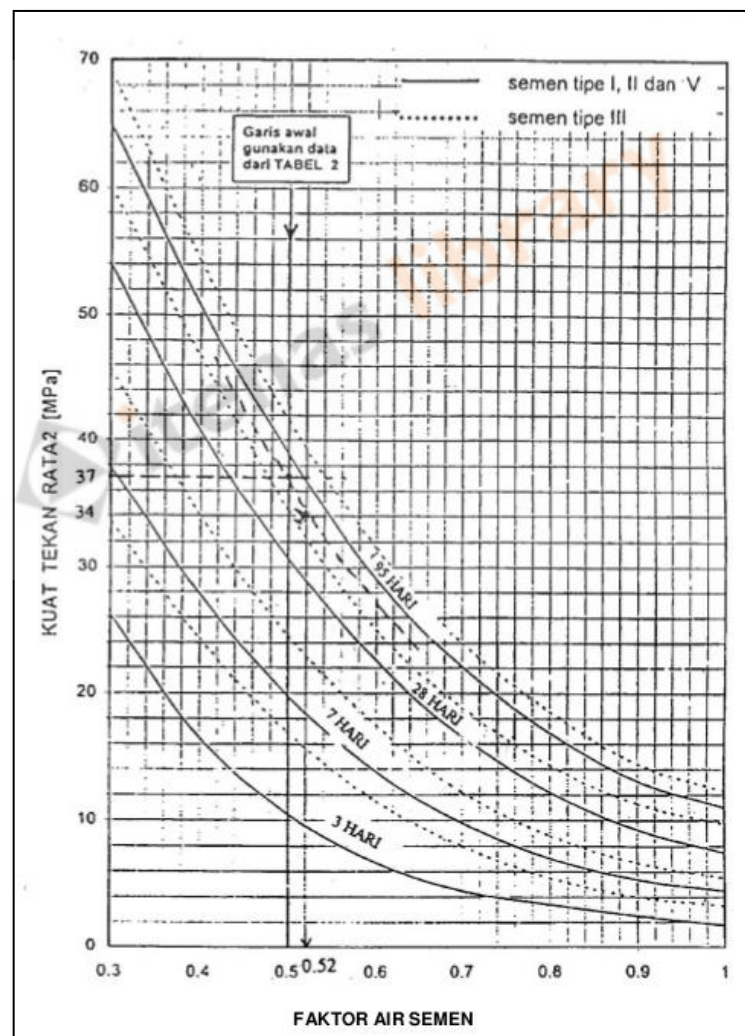
Kuat tekan beton pada dasarnya tergantung pada tiga hal, yaitu:

1. Perbandingan antara berat air dan berat semen.
2. Daya rekat antar pasta dan permukaan butir-butir agregat.
3. Keausan agregat.

Jika ketiga hal tersebut dapat terpenuhi dengan baik dan benar, maka kekuatan maksimal dari beton yang diinginkan dapat dicapai.

2.6 Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton. Duff Abrams (1919) telah meneliti hubungan antara FAS dengan kuat tekan beton dengan uji silinder. Jika FAS semakin besar, maka kekuatan tekannya akan semakin turun. Grafik hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Sumber : SNI 03 – 2834 – 2000

Gambar 2.7 Grafik hubungan kuat tekan dan faktor air-semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).

Untuk menentukan kadar air bebas dalam campuran beton, dapat dilihat pada Tabel 2.4 yaitu data perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton.

Tabel 2.5 Perkiraan kadar air bebas 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

2.7 Densitas Beton

Pengkura densitas beton dilakukan dengan cara menimbang beton yang sudah berumur 28 hari. Pengujian ini untuk membandingkan desintas beton yang telah dibuat, apakah termasuk dalam klasifikasi beton ringan. Densitas beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

Dimana : ρ = Densitas Beton (mg/mm^3)

m = Massa Beton (mg)

V = Volume Beton (mm^3)

2.8 Studi Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan dasar dari hasil beberapa studi terdahulu yang akan diperlukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Perbandingan dengan studi terdahulu yaitu:

- Christophorus Anro A, Herry Suryadi, dan S. Nova Rizkiani (Universitas Katolik Parahyangan Bandung) 2019, tugas akhir berjudul studi eksperimental pengaruh penggantian sebagian agregat halus dengan agregat halus lumpur

Sidoarjo terhadap properti mekanis beton dengan *densified mixture design algorithm* (DMDA). Pada penelitian ini lumpur sidoarjo digunakan sebagai bahan alternatif yang dapat menggantikan sebagian agregat halus dan metode perhitungan proporsi campuran yang digunakan yaitu menggunakan *densified mixture design algorithm* (DMDA). Variasi yang digunakan untuk mengganti agregat halus alam dengan lumpur sidoarjo ini yaitu sebesar 0%, 15%, 30%. Hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan karakteristik rata-rata pada umur 28 hari dengan substitusi 0%, 15%, 30% sebesar 21,620 MPa, 26,720 MPa, dan 22,747 MPa.

- b. Lasino dan N. Retno Setiati (Pusat Litbang Perumahan Permukiman dan Pusat litbang jalan jembatan) 2017, judul jurnal pengembangan lumpur Sidoarjo sebagai agregat ringan untuk beton non struktural. Kesimpulan dari jurnal ini adalah bahwa agregat ringan lumpur Sidoarjo ini mempunyai sifat yang cukup baik, keras, ringan. Menurut data laboratorium yaitu agregat ringan ini mempunyai nilai kekerasan 10 % *crushing value* 94,18 kN, dan densitas antara (6,1–7,0) kg/L, Hasil pengujian kuat tekan beton ringan yang dihasilkan baru mencapai $f'c$ 15 MPa dengan densitas (1,3–1,4) kg/L. Untuk syarat pelaksanaan, menggunakan margin keamanan 7 MPa dengan kemungkinan cacad 5% masih perlu ditelusuri lebih lanjut.