

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah material bangunan yang sangat sering digunakan sebagai material utama dalam pembangunan infrastruktur maupun bangunan gedung. Berdasarkan SNI 2847:2013 mengenai “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” mengatakan bahwa beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan penambahan kekuatan.

Beton akan mencapai kekuatan yang telah direncanakan pada umur beton 28 hari. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi lemah terhadap kuat tarik. Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah fas, jenis semen, gradasi agregat, sifat agregat, pengerjaan (pencampuran, pemadatan dan perawatan), umur beton, serta bahan kimia tambahan (*admixture*) (Trinugroho dkk, 2012).

3.2 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton pada umumnya terdiri dari semen portland, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan air. Berikut uraian dari material penyusun beton :

3.2.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (SNI- 15-2049-2004). Ketika semen bertemu dengan air akan terjadi proses hidrasi yang terjadi pada semen. Berikut adalah persamaan kimia untuk proses hidrasi yang terjadi pada semen portland :



$\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (tobermorite) yang berbentuk gel merupakan hasil utama dari hidrasi semen. Selain $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (tobermorite), terdapat pula beberapa hasil lain dari proses hidrasi semen berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kapur bebas ini dapat melemahkan beton dalam jangka waktu yang panjang karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang berada di lingkungan sekitar beton yang menyebabkan beton menjadi korosi.

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan jika digunakan campuran beton dengan sebanyak mungkin bahan pengisi dan sedikit mungkin jumlah semen. Namun keuntungan dari segi ekonomis harus diseimbangkan dengan kinerja beton baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Namun kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

3.2.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton (Zai, 2014). Penggunaan air yang terlalu banyak dalam adukan beton dapat mengakibatkan *bleeding* pada beton yang akan menurunkan kekuatan beton. *Bleeding* adalah keadaan dimana air dalam adukan beton terlalu banyak kemudian air naik ke permukaan beton.

3.3 Baja Tulangan

Menurut SNI 2052:2014 baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara canai panas (*hot rolling*). Baja tulangan beton polos (BjTP) adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip. Baja tulangan beton sirip (BjTS) adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton (SNI 2052:2014).

3.4 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (SK SNI T-15-1991-03). Beton bertulang terdiri dari beton dan tulangan baja. Beton berfungsi untuk menahan kuat tekan yang terjadi pada beton bertulang. Sedangkan tulangan baja berfungsi untuk menahan kuat tarik yang terjadi pada beton bertulang.

3.5 Lumpur Sidoarjo

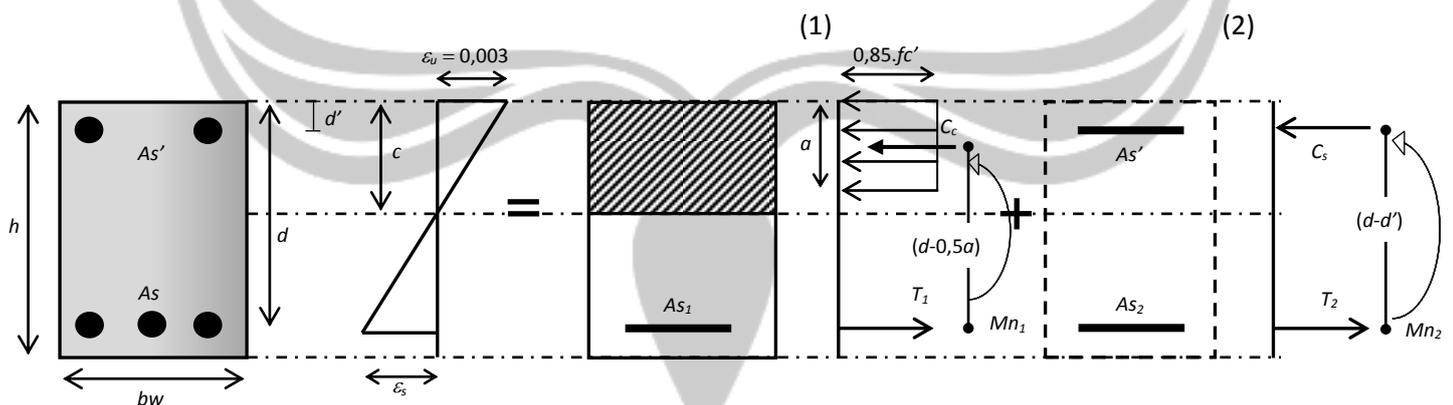
Lumpur sidoarjo (Lusi) atau yang juga dikenal dengan Lumpur Lapindo (Lula) adalah lumpur yang dihasilkan dari semburan lumpur panas yang disebabkan oleh pengeboran yang dilakukan PT. Lapindo Brantas di Porong,

Sidoarjo, Jawa Timur sejak tanggal 29 Mei 2006. Menurut Pertiwi & Maria, 2012, Lumpur Sidoarjo (Lusi) mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 yang dominan, totalnya lebih dari 80% yang mirip dengan unsur-unsur utama semen.



3.6 Balok Beton Bertulangan Rangkap

Tulangan rangkap atau ganda pada balok terdiri dari tulangan tarik dan tulangan tekan. Perancangan balok dengan tulangan rangkap dilakukan apabila momen yang bekerja melebihi momen yang dapat dipikul oleh balok dengan tulangan tunggal. Penampang balok bertulangan rangkap dapat dianalisis dengan anggapan tampang balok dibagi menjadi dua, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok Tulangan Rangkap (Siahaan, 2014)

Terdapat 2 kondisi dalam menganalisis balok tulangan rangkap, yaitu :

1. Tulangan tekan sudah luluh

Bila tulangan tekan sudah luluh, maka $f_s' = f_y$

Gambar 3.1 bagian (1) :

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = C_c \quad (3-5)$$

$$M_{n1} = T_1 (d - 0,5.a) \quad (3-6)$$

Gambar 3.1 bagian (2) :

$$C_s = A_{s'} \cdot f_y \quad (3-7)$$

$$M_{n2} = C_s (d - d') \quad (3-8)$$

Sehingga momen nominal dan momen *ultimate* balok tulangan rangkap adalah :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3-9)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot M_n \quad (3-10)$$

Tulangan tekan ($A_{s'}$) dianggap leleh bila $\epsilon_s > \epsilon_y$, dengan nilai ϵ_y dan ϵ_s adalah :

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{2 \cdot 10^5} \quad (3-11)$$

$$\epsilon_{s'} = \frac{\epsilon_{cu} \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003(c - d')}{c} \quad (3-12)$$

2. Tulangan tekan belum luluh

Kondisi tulangan tekan belum luluh bila $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

$$f_s' \neq f_y \quad (3-13)$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s \quad (3-14)$$

Sehingga momen nominal dan momen *ultimate* balok tulangan rangkap adalah :

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \cdot (d - 0,5a) + \{A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')\} \quad (3-15)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot M_n \quad (3-16)$$

Keterangan : M_n = Momen nominal (Nmm)

M_u = Momen *ultimate* (Nmm)

C_c = Gaya pada daerah tekan penampang (N)

C_s = Gaya pada tulangan tekan (N)

A_s = Luas tulangan tarik (mm^2)

f_y = Tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)

f_s' = Tegangan luluh baja pada daerah tekan balok (MPa)

d = Jarak dari serat tarik terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

d' = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

a = Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm)

c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)

ϵ_{cu} = Regangan tekan beton pada batas retak (regangan ultimit), yang menurut pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2002 diasumsikan sebesar 0,003

E_s = Modulus elastis baja non-prategang dengan nilai sebesar 200.000 MPa (MPa)

β_1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen

- untuk $f_c' \leq 30$ MPa (300 kg/cm^2) berlaku $\beta_1 = 0,85$
- untuk $f_c' > 30$ MPa (300 kg/cm^2) berlaku $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot ((f_c' - 30)/7) \geq 0,65$
- nilai β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

ϕ = Faktor reduksi sebesar 0,8

3.7 Kuat Geser

Menurut McCormac, 2001, keruntuhan balok beton bertulang dalam geser sangat berbeda dengan keruntuhan dalam lentur. Keruntuhan geser terjadi tiba-tiba dengan minim atau bahkan tanpa peringatan. Peraturan-peraturan yang ada seperti yang ditulis Dipohusodo, 1996 menyatakan untuk menentukan seberapa besar tegangan geser yang terjadi, direkomendasikan untuk menggunakan pedoman perencanaan berdasarkan nilai tegangan geser rata-rata nominal menurut persamaan (3-17):

$$\tau = \frac{v}{\phi b d} \quad (3-17)$$

Keterangan: v = Gaya geser (N)

τ = Tegangan geser (N/cm²)

b = Lebar balok (cm)

d = Tinggi balok (cm)

ϕ = Faktor reduksi kuat bahan

Kekuatan geser nominal (V_n) sebagai jumlah dari kekuatan yang diberikan oleh beton dan tulangan menurut persamaan (3-18):

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-18)$$

Keterangan: V_n = Kekuatan geser nominal (N)

V_c = Kekuatan geser akibat beton (N)

V_s = Kekuatan geser akibat tegangan geser (N)

Kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser dapat dihitung menurut persamaan (3-19):

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-19)$$

Keterangan: V_c = Kapasitas geser beton (N)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b_w = Lebar balok (mm)

d = tinggi efektif penampang beton (mm)

Untuk tulangan geser, V_s dapat dihitung menurut persamaan (3-20):

$$V_s = \frac{A_s f_y d}{s} \quad (3-20)$$

Keterangan: V_s = Gaya geser nominal yang disediakan oleh tulangan sengkang (N)
 A_s = Luas penampang tulangan sengkang (mm^2)
 f_y = Kuat luluh tulangan geser (MPa)
 d = Tinggi efektif penampang balok beton bertulang (mm)
 s = Jarak dari pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm)

3.8 Kuat Tekan Beton

Untuk mengetahui berapa besar kuat tekan yang dapat ditahan oleh beton, maka dilaksanakanlah pengujian kuat tekan beton. Benda uji yang lazim digunakan untuk kuat tekan beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Rumus untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton menggunakan persamaan (3-21):

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3-21)$$

Keterangan: f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
 P = Beban yang diberikan (N)
 A = Luas penampang (mm^2)

3.9 Pengujian Kuat Lentur Murni (*Modulus of Rupture*)

Kuat lentur balok murni beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus

sumbu benda uji yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah, lalu dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4431-2011).

Berdasarkan ASTM C78 mengenai cara uji kuat lentur beton non-serat dengan dua titik pembebanan, kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah).

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (3-22)$$

- b. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak titik perletakan.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3-23)$$

Keterangan: R = Kuat lentur benda uji (MPa)
 P = Beban tertinggi (ton)
 L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
 b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
 d = Lebar tampang lintang patah arah vertical (mm)
 a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

3.10 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas adalah ukuran yang menunjukkan ketahanan bahan saat mengalami deformasi elastis jika gaya diterapkan pada benda tersebut.

Modulus elastisitas dapat menunjukkan keelastisan suatu bahan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji (Wang dan Salmon, 1986). Menurut Wang, C. K. dan Salmon, C. G. (1986), nilai modulus elastisitas beton berkisar antara 25% sampai 50% dari kuat tekan beton. Modulus elastisitas pada penelitian ini dapat dilihat pada persamaan (3-24):

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-24)$$

Keterangan: E = Modulus elastisitas beton (MPa)
f = Tegangan beton maksimum (MPa)
ε = Regangan beton