

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013, beton merupakan campuran antara semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

Menurut Mulyono (2003), beton memiliki kelebihan dan kelemahan. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton yakni:

1. Kelebihan beton
 - a. Beton segar dapat dengan mudah untuk dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi.
 - b. Memiliki kuat tekan yang tinggi dibanding material lainnya.
 - c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
 - d. Biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan beton
 - a. Beton yang telah mengalami pengerasan (*hardening*) lebih sulit diubah bentuknya.
 - b. Memiliki kuat tarik yang rendah.
 - c. Bersifat getas.
 - d. Dalam pelaksanaan pekerjaan beton dibutuhkan ketelitian yang tinggi.
 - e. Berat.
 - f. Memiliki daya pantul suara yang cukup besar.

3.2. Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai pencampuran antara agregat, semen dan air dengan bahan tambah lain berupa serat (*fiber*). Menurut Mulyono (2003) serat (*fiber*) pada umumnya memiliki panjang berkisar antara 25 mm sampai 100 mm dengan diameter 5-500 μm .

Beton serat merupakan beton yang terbuat dari semen *portland* atau bahan pengikat hidrolis lainnya ditambah dengan agregat halus, agregat kasar dan air yang kemudian diperkuat dengan serat (Adianto dan Joewono, 2006). Interaksi antara serat dan matrik beton sangat mempengaruhi kinerja material komposit beton serat, sehingga diperlukan pengetahuan tentang interaksi antara serat dengan campuran beton untuk memperkirakan kontribusi serat dan perilaku dari komposit.

Menurut Suhendro (1998), keuntungan penambahan serat dalam adukan beton yaitu:

1. Daktilitas yang berhubungan dengan penyerapan energi.
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*).
3. Ketahanan terhadap gaya tarik dan momen lentur.
4. Ketahanan terhadap kelelahan.
5. Ketahanan terhadap susut.
6. Ketahanan terhadap ausan, fragmentasi, dan *spalling*.

3.3. Beton Pasca Bakar

Kebakaran beton merupakan reaksi kimia dari *combustible* material dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang kemudian

menghasilkan panas (Ahmad, 2001). Terdapat dua macam mekanisme perpindahan panas hasil pembakaran, pertama secara radiasi yaitu pancaran panas yang diterima oleh permukaan beton sehingga beton menjadi panas, jika suhu yang dihasilkan relatif tinggi, pancaran panas akan sangat potensial. Kedua secara konveksi yaitu udara panas bertiup atau bersinggungan dengan permukaan beton sehingga beton menjadi panas, bila tiupan angin semakin kencang, maka panas yang dipindahkan secara konveksi semakin banyak.

Terdapat tiga macam cara pengujian yang dapat dilakukan untuk mempelajari atau meneliti pengaruh temperatur terhadap kekuatan beton, yaitu: *unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal dan kemudian diuji kekuatannya pada temperatur yang diinginkan; *stressed test*, yaitu benda uji diberikan beban awal konstan dan dipertahankan selama perubahan temperatur dan pada temperatur yang dikehendaki tercapai langsung di uji kekuatannya; dan *residual unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal, didinginkan setelah tercapai temperatur tertentu kemudian diuji (Lianasari, 1999).

3.3.1. Pengaruh Beban Suhu terhadap Sifat Fisis Beton

Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran dapat menyebabkan perubahan elemen struktur secara fisik dan kimiawi. Efek utama dari adanya beban suhu pada beton adalah pengelupasan (*spalling*) dan perubahan warna. Menurut Nugraha (2007), panas yang diterima beton dapat mengakibatkan perubahan warna pada permukaan beton. Perubahan warna yang terjadi dapat digunakan untuk memperkirakan suhu

kebakaran yang telah diterima beton. Berikut ini merupakan tabel perubahan warna pada permukaan beton berdasarkan tingkat suhu yang terjadi.

Tabel 3.1. Perubahan Warna yang Terjadi Pada Permukaan Beton

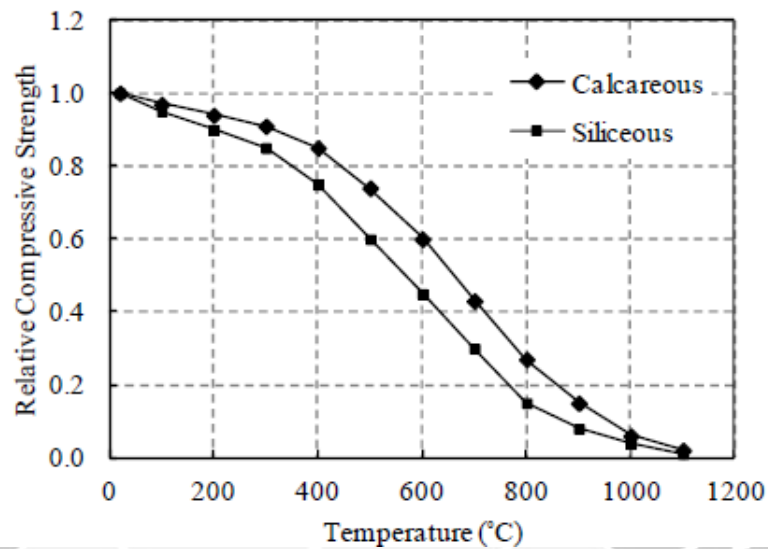
Suhu	Perubahan Warna
< 300° C	Tidak berubah
300° C – 600° C	Merah muda
600° C – 900° C	Putih keabu-abuan
> 900° C	Kekuning-kuningan

Sumber: Nugraha, 2007

Tjokrodijuljo (2000) mengatakan bahwa beton pada dasarnya tidak mampu menahan panas sampai suhu di atas 250° C. Hal ini akan menyebabkan beton mengalami penurunan kekuatan yang terjadi akibat perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya. Akibat panas yang diterima, beton akan menunjukkan gejala awal menurunnya kekuatan dari beton berupa retakan dan terkelupas (*spalling*).

3.3.2. Pengaruh Beban Suhu terhadap Sifat Mekanis Beton

Kekuatan beton pasca bakar bervariasi tergantung pada temperatur yang dicapai, lamanya pemanasan, proporsi campuran, agregat yang digunakan dan beban yang bekerja selama pemanasan. Untuk temperatur sampai pada 300° C, penurunan kekuatan dari struktur beton tidak signifikan, sementara untuk temperatur diatas 500° C kekuatannya menurun hanya dengan persentase yang kecil dari kekuatan awalnya. Temperatur 800° C biasanya diambil sebagai temperatur kritis dimana beton memperlihatkan kerusakan yang mulai signifikan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 3.1. Grafik Hubungan Suhu dengan Kuat Tekan Sisa Pasca Bakar
 Sumber : *European Comimittee for Standardization, 1995*

Tabel 3.2. Standar Hubungan Suhu Kebakaran Terhadap Waktu

Waktu dalam Menit	Kenaikan Suhu °C
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1.029
180	1.090
240	1.133
360	1.193

Sumber: *Internasional Organization for Standardization (ISO 834)*

Selain dari grafik di atas, Tingkat degradasi besaran mekanik beton terhadap peningkatan suhu dapat ditentukan melalui persamaan konstitutif, namun persamaan konstitutif tersebut masih terbatas pada beton normal tanpa serat. Model yang diusulkan diantaranya oleh Kodur & Sultan (2003) dan Aslani & Bastami (2011). Selain usulan beberapa peneliti, *British Standard* (BS EN 1992-

1-2) menetapkan tingkat degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu seperti tertera pada persamaan berikut ini.

$$f'_{cT} = f'_c \text{ untuk } T \leq 100^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-1a)$$

$$f'_{cT} = f'_c (1,067 - 0,0006T) \text{ untuk } 100^\circ \text{ C} \leq T \leq 400^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-1b)$$

$$f'_{cT} = f'_c (1,44 - 0,0016T) \text{ untuk } T \geq 400^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-1c)$$

British Standard (BS EN 1992-1-2) membagi persamaan degradasi kuat tekan beton ke dalam tiga kategori suhu. Kategori pertama, perubahan kuat tekan beton pada suhu 100° C , pada suhu ini beton dianggap belum mengalami penurunan kuat tekan (Persamaan 3-1a). Kategori kedua adalah degradasi kuat tekan beton pada suhu antara 100° C hingga 400° C , dimana beton dianggap mulai mengalami penurunan suhu yang cukup signifikan (Persamaan 3-1b). Sedangkan kategori yang ketiga adalah degradasi kuat tekan beton di atas suhu 400° C (Persamaan 3-1c), dimana kuat tekan beton menurun secara linier.

Di lain pihak, *ASCE Manual* (1992) menetapkan degradasi kuat tekan beton terhadap peningkatan suhu seperti terlihat pada Persamaan (3-2). Berbeda dengan ketentuan BS EN di atas, *ASCE Manual* mengasumsikan bahwa beton tidak mengalami degradasi kuat tekan hingga suhu 450° C (Persamaan 3-2a). Degradasi kuat tekan beton secara gradual linier terjadi pada suhu 450° C hingga 874° C (Persamaan 3-2b), dan di atas suhu 874° C beton dianggap tidak mempunyai kekuatan sama sekali (Persamaan 3-2c).

$$f'_{cT} = f'_c \text{ untuk } 20^\circ \text{ C} \leq T \leq 450^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-2a)$$

$$f'_{cT} = f'_c \left[2,011 - 2,353 \left(\frac{T-20}{1000} \right) \right] \text{ untuk } 450^\circ \text{ C} \leq T \leq 874^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-2b)$$

$$f'_{cT} = 0 \text{ untuk } T \geq 874^\circ \text{ C} \dots\dots\dots(3-2c)$$

3.4. Bahan Penyusun Beton

3.4.1. Semen Portland

Menurut SNI-15-2049-2004, 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.

Semen *portland* terdiri dari beberapa unsur utama yang dapat digolongkan menjadi empat bagian yaitu: trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A) dan tetrakalsium aluminoforit (C_4AF). Selain memiliki empat unsur pembentuk utama, pada semen juga terdapat beberapa unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya: MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O dan Na_2O . Unsur C_3S dan C_2S merupakan bagian terbesar (70%-80%) dan paling dominan memberikan sifat pada semen (Tjokrodimuljo, 2007).

3.4.2. Air

Air merupakan salah satu bahan campuran yang penting dalam pembuatan beton. Air dalam campuran beton berfungsi untuk membantu proses pengikatan antara pasta semen dengan agregat. Air yang digunakan dalam campuran beton harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (Mindess dkk., 2003).

Menurut Tjokrodimuljo (2007), air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25%-30% dari berat semen, namun pada kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 maka adukan beton akan sulit dikerjakan

sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Meskipun demikian, jumlah air yang terlalu banyak dalam adukan beton dapat menyebabkan beton porous yang mengakibatkan kekuatan menjadi rendah.

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan air sebagai bahan pencampur beton, yaitu:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton, asam, zat organik lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida atau $Cl > 0,5$ gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.

3.4.3. Agregat

Dalam campuran beton, agregat merupakan salah satu unsur penting. Agregat penyusun beton terdiri dari agregat kasar dan agregat halus, pada campuran beton komposisi agregat berkisar 60%-80% dari volume beton.

Komposisi agregat yang banyak dalam campuran beton, membuat kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton, sehingga pemilihan agregat perlu dilakukan untuk mendapatkan kualitas agregat yang baik. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dibedakan menjadi dua, yakni:

a. Agregat Kasar.

Agregat kasar merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batuan dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 2847-2013). Berikut ini merupakan syarat mutu agregat kasar menurut Standar Industri Indonesia (SII) 0052-80 untuk beton.

1. Memiliki butir yang tajam, kuat dan keras.
2. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal apabila diuji menggunakan Natrium Sulfat bagian hancurnya maksimal 12% dan jika diuji menggunakan larutan Magenesium Sulfat bagian hancurnya maksimal 18%.
3. Kandungan lumpur dalam agregat kasar tidak boleh melebihi 1%. Apabila kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci.
4. Memiliki modulus halus butir yang berkisar antara 6-7,1.
5. Tidak mengandung zat organik dan bahan alkali.
6. Tingkat keausan untuk beton dengan mutu rendah (≤ 20 MPa) maksimal 50%, untuk beton mutu sedang (21-40 MPa) maksimal 40%, sedangkan untuk beton mutu tinggi (> 40 MPa) maksimal 27%.

b. Agregat Halus.

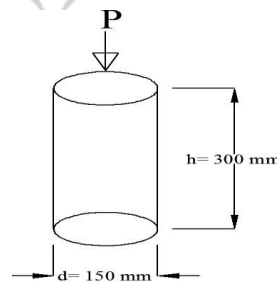
Agregat halus atau pasir adalah batuan dengan ukuran butir antara 0,15 mm-5 mm (Tjokrodikuljo, 2007). Syarat mutu agregat halus (pasir) menurut Standar Industri Indonesia (SII) 0052-80 adalah sebagai berikut.

1. Kandungan lumpur tidak lebih dari 5%.

2. Sifat kekal apabila diuji dengan Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimal 10% dan jika diuji dengan Magnesium Sulfat bagian yang hancur maksimal 15%.
3. Mempunyai modulus kehalusan butir yang berkisar antara 2,5-3,8.
4. Tidak mengandung zat organik yang tinggi.
5. Pasir tidak boleh mengandung garam.

3.5. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2003). Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan cara memberi beban tekan pada benda uji silinder secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan.



Gambar 3.2. Benda Uji Silinder

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

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

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

3.6. Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan SNI 03-2491-2002, Kuat tarik belah beton merupakan nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji silinder beton yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

Nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Beton dalam penggunaannya sebagai komponen struktural pada umumnya diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu beton dalam menahan gaya tarik (Dipohusodo, 1996)

Berdasarkan SNI 03-2491-2002 mengenai metode pengujian kuat tarik belah beton, untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah masing-masing benda uji dapat digunakan rumus seperti di bawah ini.

$$f't = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots (3-4)$$

Keterangan : $f't$ = kuat tarik belah beton pada umur 28 hari (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 L = tinggi silinder beton (mm)
 D = diameter silinder beton (mm)

3.7. Modulus Elastisitas

Tolok ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock dkk, 1986). Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji.

Perhitungan modulus elastisitas beton secara umum dapat dituliskan dalam persamaan berikut (Antono, 1995).

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3-5)$$

Dimana : $f = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3-6)$

$$\varepsilon = \frac{(l - l_0)}{l_0} \dots\dots\dots (3-7)$$

Keterangan : E = modulus elastisitas (MPa)
 f = tegangan beton maksimum (MPa)
 ε = regangan beton
 P = beban desak (kg)
 A = luas penampang (cm²)
 l = panjang benda uji ketika menerima beban (cm)
 l₀ = panjang awal benda uji (cm)

Menurut Wang dan Salmon (1990), nilai modulus elastisitas beton umumnya berkisar antara 25 sampai 50% dari kuat tekan $f'c$.

3.8. Porositas

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

Nilai porositas dapat dihitung dengan rumus berikut (Van Vlack, 1989)

$$P = \left(\frac{wb - wk}{vb} \right) \times \frac{1}{\rho_{air}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-8)$$

Keterangan : P = porositas
 wb = massa basah sampel setelah direndam (gram)
 wk = massa kering sampel setelah direndam (gram)
 vb = volume benda uji (cm³)
 ρ_{air} = massa jenis air (gr/cm³)

3.9. Pengujian Tidak Merusak Melalui *Chemical Test*

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara unsur-unsur dalam beton, khususnya kandungan kapur bebas (CaO) dan temperatur yang pernah dialami beton. Dengan mengetahui temperatur yang pernah dialami beton saat terjadinya kebakaran, dapat diprediksi kekuatan sisa beton. Pengujian ini dapat menggunakan larutan *Phenolphthalein (PP-test)*, *phenolphthalein* merupakan salah satu indikator kimia yang lazim digunakan untuk mengetahui sifat asam dan basa suatu material melalui respon warna yang dihasilkan akibat diolesi/ditetesi larutan kimia tersebut. Bagian beton yang masih dalam kondisi baik (bersifat basa) akan memberikan respon perubahan warna menjadi *pink*/ungu, sebaliknya apabila tidak terjadi perubahan warna maka bagian beton tersebut bersifat asam. Rentang PH untu larutan *phenolphthalein* adalah antara 8,4-10, yang ditunjukkan dengan respon warna: merah sangat tua (*violet 3*)-merah sangat muda (*magenta 1*) (Triwiyono, 2000). Untuk membuat indikator kimia ini, dapat dilakukan dengan melarutkan 1 gram *phenolphthalein* ke dalam 100 ml alkohol murni.