

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1996), beton merupakan hasil pencampuran semen, air, dan agregat. Terkadang ditambah menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu, mulai dari bahan kimia tambahan, fiber, sampai bahan buangan non kimia. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya.

Berdasarkan SNI 2847-2013 definisi 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. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'_c$ ) pada usia 28 hari.

Menurut Mulyono (2004), penggunaan beton dalam konstruksi bangunan mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan, antara lain:

##### A. Kelebihan

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi
2. Mampu memikul beban yang berat, karena memiliki kuat tekan yang tinggi
3. Tahan terhadap temperatur tinggi
4. Biaya pemeliharaan yang kecil

## B. Kekurangan

1. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
2. Kuat tarik rendah
3. Sangat getas
4. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
5. Berat
6. Daya pantul suara yang besar

## 2.2. **Bahan Penyusun Beton**

### 2.2.1. Semen

Semen *Portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis dengan gips sebagai bahan tambahan. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat ( $C_3S$ ), dikalsium silikat ( $C_2S$ ), trikalsium aluminat ( $C_3A$ ) dan tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ ), selain itu pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya:  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $K_2O$  dan  $Na_2O$ . Soda atau potasium ( $Na_2O$  dan  $K_2O$ ) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987).

Unsur  $C_3S$  dan  $C_2S$  merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodimuljo, 1996), bila semen terkena

air maka  $C_3S$  akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur  $C_3A$  bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam, semen yang mengandung unsur  $C_3A$  lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah  $C_3AF$  sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton.

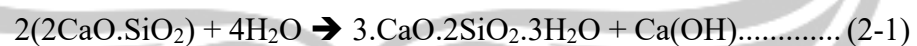
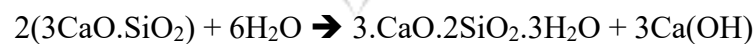
Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SII) mengenal 5 jenis semen seperti diuraikan di bawah ini.

1. Jenis I, yaitu semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang sangat baik.

Tabel 2.1 Komposisi Penyusun Semen Menurut ASTM C 180-84  
(Neville dan Brooks, 1987)

Semen	Persentase Komponen Penyusun							
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO Bebas	MgO	Hilang Pijar
Jenis I	59	15	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2
Jenis II	46	29	6 (≤ 8)	12	2,8	0,6	3,0	1,0
Jenis III	60	12	12 (≤ 15)	8	3,9	1,3	2,6	1,9
Jenis IV	30 (≤ 35)	46 (≥ 40)	5 (≤ 7)	13	2,9	0,3	2,7	1,0
Jenis V	43	36	4 (≤ 5)	12	2,7	0,4	1,6	1,0

Proses hidrasi yang terjadi pada semen *Portland* dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut:



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas Ca(OH)<sub>2</sub> yang merupakan sisa dari reaksi antara C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dengan air, kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

### 2.2.2. Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35% beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lt, kandungan garam-garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lt, tidak mengandung khlorida lebih dari 0,5 gr/lt serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lt. Secara umum air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodumuljo, 1996).

### 2.2.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kurang lebih menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat

penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat, karena bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam akan menghasilkan volume pori yang besar tetapi bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diinginkan mempunyai kemampuan yang tinggi, sehingga volume pori dan bahan pengikat yang dibutuhkan lebih sedikit.

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu:

1. batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm,
2. kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm,
3. pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm dinamakan *silt* atau lanau (Tjokrodimuljo, 1996).

#### A. Agregat Kasar

Adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 2847-2013). Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik.

Syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C 33-02a (2002) adalah seperti tercantum di bawah ini.

- a. Tidak boleh reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan yang reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6 %.
- b. Susunan gradasi harus memenuhi syarat.
- c. Kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton.
- d. Sifat fisika

Sifat fisika mencakup kekerasan butiran diuji dengan mesin *Los Angeles Abrasion*.

#### B. Agregat Halus

Agregat halus dalam beton adalah pasir alam sebagai salah satu agregat yang lolos dari ayakan no.4 (lebih kecil dari 3/16 inchi) dimana besar butirannya berkisar antara 0,15 sampai 5 mm. Pasir dibedakan menjadi 3, yaitu:

- a. pasir galian yang diperoleh dari permukaan tanah,
- b. pasir sungai yang diambil dari sungai,
- c. pasir laut yang diperoleh dari pantai.

Ukuran agregat mempunyai pengaruh yang penting terhadap jumlah semen dan air yang diperlukan untuk membuat satu-satuan beton.

#### 2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah menurut maksud penggunaannya dibagi menjadi dua golongan yaitu *admixtures* dan *additives*.

*Admixtures* ialah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolis dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam *batching*, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen.

Menurut Tjokrodimuljo (1996), bahan tambah dapat dibedakan menjadi 3 golongan seperti tercantum di bawah ini.

1. *Chemical Admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang berbeda pada beton dalam keadaan segar maupun setelah mengeras, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah dan waktu pengikatan yang



lebih lambat atau lebih cepat. *Superplasticizer* merupakan salah satu jenis *chemical admixture* yang sering ditambahkan pada beton segar. Pada dasarnya penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kelecakan, mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran (faktor air semen), mengurangi *slump loss*, mencegah timbulnya *bleeding* dan segregasi, menambah kadar udara (*air content*) serta memperlambat waktu pengikatan (*setting time*).

Adapun macam-macam bahan tambah kimia menurut ASTM C 494-82 (1982) adalah seperti dibawah ini.

a. Tipe A (*Water Reducing Admixtures*)

*Water reducing admixtures* adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*Retarding Admixture*)

*Retarding admixture* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

c. Tipe C (*Accelerating Admixture*)

*Accelerating admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixture*)

*Water reducing and retarding admixture* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan

campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

*Water reducing and accelerating admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

*Water reducing high range admixtures* adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahan pengerjaannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

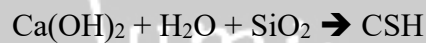
g. Tipe G (*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*)

*Water reducing high range retarding admixtures* adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan.

2. Pozolan (*pozzolan*) merupakan bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Pozolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton atau mortar (sampai batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk memperbaiki kelecakan (*workability*), membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan menambah ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia yang bersifat agresif. Penambahan pozolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton karena adanya reaksi pengikatan kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) oleh silikat atau aluminat menjadi *tobermorite* ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Pozolan yang saat ini telah banyak diteliti dan digunakan antara lain *silica fume* (SF), *fly ash* (FA), *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBS), tras alam dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*).

Menurut Neville (1998), sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Sebenarnya bahan tersebut tidak memiliki sifat seperti semen. Namun apabila bahan tersebut digiling hingga halus dan dicampur dengan klinker di *finish mill* untuk membentuk semen dan kemudian semen tersebut bereaksi dengan air maka akan membentuk senyawa CSH dan CAH. Sehingga bahan pozzolan tersebut akan mempunyai sifat seperti semen. Reaksinya yaitu senyawa silika dan

alumina akan mengikat senyawa  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk membentuk senyawa CSH dan CAH :



Bahan pozolan terbagi menjadi 2 yaitu pozolan alam dan pozolan buatan. Bahan pozolan alam contohnya yaitu trass, sedangkan bahan pozolan buatan contohnya yaitu *fly ash*.

3. Serat (*fibre*) merupakan bahan tambah yang berupa serat gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan (rami, ijuk). Penambahan serat ini dimaksudkan untuk meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*) sehingga dapat meningkatkan keawetan/durabilitas beton, misalnya pada perkerasan jalan raya atau lapangan udara, *spillway* serta pada bagian struktur beton yang tipis untuk mencegah timbulnya keretakan

### 2.3. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa memiliki sifat kekuatan dan modulus yang tinggi karena adanya unsur lignin yang tinggi. Karena unsur lignin lebih tinggi daripada selulosa, tempurung kelapa hampir memiliki komposisi kimia dengan kayu yang keras (Subramani dan Anbuvel, 2016).

Tempurung kelapa merupakan limbah yang hanya dimanfaatkan untuk pembakaran di dapur pada rumah-rumah sederhana. Bahkan limbah yang melimpah hanya dibuang begitu saja sampai menjadi busuk dan tidak memiliki nilai ekonomis.

Tempurung kelapa yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari rumah penghasil santan kelapa di Kalasan, Prov.DIY. Tempurung yang hanya dianggap sampah sebenarnya memiliki manfaat yang berguna karena bila dibakar akan menghasilkan SiO<sub>2</sub> yang mana memperkuat ikatan beton bila tercampur dengan mortar.

Tabel 2.2 Physical Property of Coconut Shell

No	Physical Property	Test Result
1	Fineness Modulus	6.48
2	Specific Gravity	1.56
3	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	510 to 600
4	Water Absorption (%)	23
5	Agregate Crushing Value (%)	2.49
6	Agregate Impact Value (%)	8.55
7	Moisture Content (%)	4.2
8	Shell Thickness (mm)	3 to 6

Sumber : (Subramani dan Anbuvel, 2016)

#### 2.4. Abu Tempurung Kelapa

Abu Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan *filler* yang penting dan diproduksi di negara tropis seperti Malaysia, Indonesia, Thailand, dan Sri Lanka.

Tempurung kelapa murah dan mudah didapatkan dalam jumlah banyak. Tempurung kelapa mengandung 65-75% zat volatil dan uap air yang dikeluarkan

selama karbonisasi. Proses karbonisasi adalah perubahan tempurung kelapa menjadi arang atau bisa dikenal dengan pirolisis. Pirolisis adalah penguraian bahan tempurung kelapa dengan pemanasan tanpa oksigen. Selama karbonisasi, 70 % massa tempurung kelapa dilepaskan ke udara dan menyisakan 30 % arang tempurung kelapa. Volatile yang dilepaskan selama proses karbonisasi adalah Metana, CO<sub>2</sub>, dan berbagai macam uap organik. Kisaran suhu pembakaran yaitu 400°C sampai 850°C (Nagarajan dkk, 2014).

Karena penelitian ini menggunakan abu tempurung kelapa, berikut akan ditampilkan tabel yang berisi berat jenis, modulus halus butiran dari abu tempurung kelapa. (Kumar dkk, 2017).

Tabel 2.3 Hasil Tes Abu Tempurung Kelapa

Tes	Nilai
<i>Specific gravity</i>	2.5
<i>Fineness modulus</i>	8%
<i>Normal consistency</i>	38%

Sumber : (Kumar dkk, 2017)

Peneliti menunjukkan bahwa sebagian besar abu tempurung kelapa mengandung silika amorf sehingga bisa digunakan sebagai pengganti sebagian semen (Utsev dan Taku, 2012). Ditetapkan juga bahwa *silica amorf* yang ditemukan pada beberapa bahan *pozzolan* dengan mudah bereaksi dengan kapur daripada bentuk kristal. Disebabkan karena partikel *silica amorf* masih berbentuk acak sehingga kandungan CaO dapat mengisi pori partikel. Sedangkan yang

berbentuk kristal sulit tercampur karena bentuk partikelnya yang padat. Hal ini menyebabkan CaO sangat sulit bereaksi/ tercampur dengan *silica* berbentuk kristal.

Penelitian yang dilakukan Nagarajan, dkk (2014) menunjukkan kuat tekan rata-rata beton dengan campuran abu tempurung kelapa pada variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% adalah 34,22 MPa ; 31,78 MPa ; 23,23 MPa ; 19,78 MPa, 16,67 MPa dan 13,11 MPa. Abu tempurung kelapa dibakar dengan suhu pembakaran 800°C.

Faktor yang mempengaruhi sifat abu adalah kondisi pembakaran (suhu dan durasi), laju pemanasan, kondisi geografis, kehalusan butiran, warna, varietas tanaman dan musim panen (Ashokkumar dan Kumar, 2016). Jadi tidak semua pembakaran abu bisa sama hasilnya. Kemudian, ada perbandingan antara abu tempurung kelapa dengan semen PPC dimana kadar SiO<sub>2</sub> lebih banyak dari pada semen PPC. Hal ini yang mendukung abu tempurung kelapa dapat menjadi bahan *pozzolan*.

Tabel 2.4 Komposisi abu tempurung kelapa dengan semen Portland

	Komposisi (%)	
	ATK	PPC
SiO <sub>2</sub>	37.97	20.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.12	5.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.48	2.5
CaO	4.98	64
MgO	1.89	1
MnO	0.81	0.2
Na <sub>2</sub> O	0.95	0.6
K <sub>2</sub> O	0.83	0.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32	0.05
SO <sub>3</sub>	0.71	2.75
LoI	11.94	2.3

Sumber : (Utsev dan Taku, 2012)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa  $\text{SiO}_2$  dari abu tempurung kelapa memiliki persentase tertinggi dari semua senyawa dan elemen yang ada oleh analisis XRD (X-Ray diffraction) lengkap dilakukan dengan difraksi sinar-X juga mengungkapkan bahwa abu tempurung berisi elemen C, O, Mg, Al, Si, Fe, Na, K, Zn (Madakson dkk., 2012).

