

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*porland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing – masing komponen. Nawy (1985:8) beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi material pembentuknya. Dengan demikian, masing – masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan.

Dalam usaha untuk memahami karakteristik bahan penyusun campuran beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Pekerjaan Umum melalui LPMB banyak mempublikasikan standar – standar yang berlaku. DPU – LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK.SNI T – 15 – 1990 – 03:1).

##### 2.1.1 Keunggulan dan Kekurangan Beton

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata – mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika

pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus. Umpamanya diekspose agregatnya (agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan dibagian luar, sehingga nampak jelas pada permukaan betonnya). Selain tahan terhadap serangan api seperti yang telah disebutkan diatas, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

#### A. Kelebihan

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
- b. Mampu memikul beban yang berat
- c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil

#### B. Kekurangan

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- c. Berat
- d. Daya pantul suara yang besar

#### 2.1.2 Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton dinotasikan sebagai berikut (PB,1989:16).

**Tabel 2.1 Notasi Kuat Tekan Beton**

$f_c'$	Kekuatan beton yang disyaratkan (MPa)
$f_{ck}$	Kekuatan beton yang didapatkan dari hasil uji kubus atau silinder (MPa)
$f_c$	Kekuatan tarik dari hasil uji belah silinder beton (MPa)
$f_{cr}$	Kekuatan tekan beton rata – rata yang dibutuhkan, sebagai dasar pemilihan perancangan campuran beton (MPa)
S	Deviasi Standar (s) (MPa)

Sumber : Teknologi Beton, Tri Mulyono, 2005

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata – rata yang disyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari  $f_c'$  seperti yang telah disyaratkan.

### 2.1.3 Umur Beton

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus – kasus tertentu akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan rencana tekan beton dihitung pada umur 28 hari.

#### 2.1.4 Faktor Air Semen (FAS)

Secara umum diketahui semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu beton. Demikian nilai Fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas – batas dalam hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyulitkan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata –rata lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat bergantung pada FAS yang digunakan dan kehalusan butir semen. Menurut Talbot dan Richard (Ilsley,1942:248) pada rasio air semen 0,2 sampai 0,5, kekuatan beton akan naik. Akan tetapi hasil penelitian (Abrams,1920) menunjukkan bahwa bertambahnya WRC/FAS hingga lebih dari 0,6 akan menurunkan kekuatan beton sampai mendekati nol pada FAS 0,4 untuk beton yang berumur 28 hari.

#### 2.2 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton

Sifat dan karakteristik campuran beton segar secara tidak langsung akan mempengaruhi beton yang telah mengeras. Pasta semen tidak bersifat elastis sempurna, tetapi merupakan *viscoelastic – solid*. Gaya gesek dalam, susut dan tegangan yang terjadi biasanya tergantung dari energi pemadatan dan tindakan preventif terhadap perhatiannya pada tegangan dalam beton. Hal ini tergantung dari jumlah dan distribusi air, kekentalan aliran gel (pasta semen) dan penanganan pada saat sebelum terjadi tegangan serta kristalin yang terjadi untuk membentuk porinya.

Beberapa sifat dan karakteristik yang perlu diperhatikan, yaitu:

### 2.2.1 Modulus Elastisitas

Tolak 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. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat – sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E yang lebih tinggi. Seperti umumnya modulus elastisitas juga bertambah karena cukup penting bahwa beton yang terjepit sudah berada pada suatu tingkat regangan sehingga terjadi suatu kenaikan tekanan tarik. Hal ini dipengaruhi dari rayapan yaitu perubahan bentuk yang non – elastis di bawah suatu pembebanan, yang diduga disebabkan oleh penutupan pori – pori dalam, aliran dari pasta semen, pergerakan kristal di dalam agregat dan terjadinya penekanan air dari gel semen karena adanya tekanan.

### 2.2.2 Penyusutan Kering dan Rambatan

Ada dua buah tingkatan yang terjadi pada penyusutan beton ketika dicetak di dalam praktek :

- a. Penyusutan awal beton ketika masih berada dalam keadaan cair atau plastis, akibat reduksi dari volume air dengan semen yang mencapai sekitar satu persen dari volume absolut semen kering. Akibat kehilangan air yang merembes melalui acuan, akibat penyerapan dari acuan, dan hilang pada penguapan.
- b. Penyusutan kering lebih lanjut dari beton ketika mengeras dan menjadi kering. Penyusutan yang terjadi ketika beton mengeras dan kering disebabkan

oleh penyusutan dari gel semen dan sebagian tak dapat kembali, yaitu sekitar 0,3 sampai 0,6 dari penyusutan kering. Ini hanya sebagian yang tidak dapat kembali karena pada pembasahan yang selanjutnya beton mengembang dan mengalami kebalikan dari penyusutan praktis dan pengembangan.

### 2.2.3 Pengaruh Suhu

Koefisien pemuaian suhu dan penyusutan adalah perubahan persatuan panjang pada setiap derajat perubahan suhu. Harga – harga koefisien ini berubah sedikit menurut banyaknya semen dalam campuran, kadar air dan jenis agregat, tetapi untuk penggunaan maksud – maksud praktis dapat diambil sebesar  $1 \times 10^{-6}$  tiap °C untuk beton normal.

Pengembangan dan penyusutan suhu tidak selalu seragam pada seluruh massa beton. Kombinasi kimiawi dari semen dan air diikuti dengan pelepasan sejumlah panas yang cukup banyak, dan hanya dapat lepas dengan cara konduksi pada permukaan luar beton. Bilamana suhu dari beton meningkat oleh suatu pemanasan maupun oleh sinar matahari, kadar air lepas dari gel semen dan penyusutan kering terjadi.

## 2.3 Material Beton

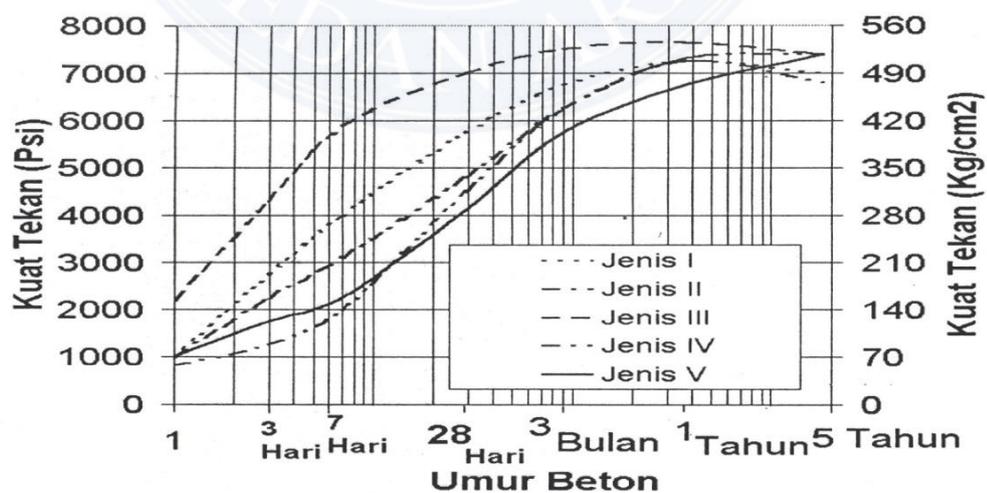
### 2.3.1 Semen Portland

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C – 150,1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau

lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama – sama dengan bahan utamanya.

Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013 – 81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1989:3.2 – 8).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir – butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga – rongga udara di antara butir – butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10% namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Semen satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirannya. Perbandingan bahan – bahan utama penyusunan semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60% - 65%, silika (SiO<sub>2</sub>) sekitar 20% -25%, dan oksida besi serta alumina (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sekitar 7% - 12%. Sifat – sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.



Gambar 2.1 Perkembangan Kekuatan Tekan Beton Untuk Berbagai Tipe Portland Cement dengan FAS 0.5

## A. Sifat fisika

Sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu peningkatan, kekalan, kekuatan tekan, peningkatan semu, panas dehidrasi, dan hilang pijar. Sifat fisika semen portland ialah :

- i. Kehalusan butiran ; kehalusan butiran mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikat menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar.
- ii. Kepadatan ; berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 Mg/m<sup>3</sup>. Pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,05 Mg/m<sup>3</sup> sampai 3,25 Mg/m<sup>3</sup>. Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran.
- iii. Konsistensi; konsistensi semen portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi terjadi pada rasio antara semen dan air serta aspek – aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi.
- iv. Waktu pengikatan; waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.
- v. Panas Hidrasi; panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan semen.
- vi. Perubahan volume; kekalan semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan – bahan campuran dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

## B. Sifat kimia

- i. Senyawa kimia ; secara garis besar, ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen portland,yaitu :
  - a. Trikalsium Silikat ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{S}$ .
  - b. Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_2\text{S}$ .
  - c. Tetrakalsium aluminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{A}$ .
  - d. Tetrakalsium Aluminoferrit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_4\text{AF}$ .
- ii. Kesegaran semen; pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan menempatkannya dalam platina bertemperatur  $900 - 1000^\circ\text{C}$ , selama 15 menit. Dalam keadaan normal akan terjadi kehilangan sekitar 2%.
- iii. Panas hidrasi semen; hasil hidrasi mengendap di badan luar semen yang bagian dalamnya belum terhidrasi secara bertahap akan terhidrasi sehingga volumenya mengecil.
- iv. Kekuatan pasta semen dan FAS; pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen. FAS adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen adalah berat air dibagi dengan berat semen.

### 2.3.2 Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Karena itu perlu

dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu – batuan, kerikil, pasir dan lain – lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat yang paling banyak digunakan karena sifatnya yang ekonomis ialah pasir dan kerikil. Deposit pasir dan kerikil alamiah timbul sebagai deposit pada tempat yang dangkal (mengapung) atau terletak di dasar sungai – sungai maupun sebagai peninggalan ketika es mencair. Deposit sungai masih paling umum dan memenuhi syarat karena deposit ini mempunyai gradasi yang paling konsisten sebagai hasil dari daya – seleksi oleh sungai itu, bentuknya biasanya bulat, tak teratur, dan gaya kikis selama transportasi oleh aliran sungai dan pengendapan sesudahnya menghasilkan eliminasi partikel – partikel yang lemah.

#### A. Karakteristik Agregat

Jika dilihat dari sumbernya, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat berasal dari alam dan agregat buatan (*artificial aggregates*). Interaksi iklim dan geologisnya menghasilkan tiga macam jenis batu – batuan yaitu:

##### 1. Quarry batu – batuan dari bedrock

Quarry ini membutuhkan pengeboran dan peledakan yang menghasilkan bermacam – macam ukuran yang perlu disesuaikan dengan kebutuhan. Derajat pelapukan ini bergantung pada deposit batuan. Hasil pemecahan agregat

semacam ini adalah campuran batuan yang mengalami pelapukan dengan batuan – batuan segar. Makin segar batu – batuannya, makin rendah nilai *crushing value* dan *los Angelos Abrasion* serta semakin rendah porositasnya.

## 2. Pasir sungai dan batuan yang digali

Pasir yang digunakan dalam campuran beton jika dilihat dari sumbernya berasal dari sungai ataupun galian tambang. Agregat yang berasal dari tanah galian, yaitu tanah yang dibuka lapisan penutupnya, biasanya berbentuk tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam.

## 3. Pasir pesisir pantai dan batu – batuan

Pesisir yang landai dan delta – delta sering dijumpai, meskipun tidak terdapat pada setiap tempat. Pantai biasanya terdiri dari batuan bulat dan fragmen kerang – kerangan. Daerah pantai mungkin terdapatnya campuran batu – batuan dan silt. Daerah mengandung silt dan tanah liat biasanya mengalami pelapukan dengan proses yang panjang sehingga dapat digunakan sebagai material yang bersifat porous.

## B. Jenis Agregat

Hal – hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu (Landegren, 1994) :

1. Volume udara ; udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.
2. Volume padat; kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton jadi.

3. Berat jenis agregat; berat jenis akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
4. Penyerapan; penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat; kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

#### C. Gradasi Agregat

Untuk mendapatkan campuran beton yang baik kadang – kadang harus mencampur beberapa jenis agregat. Mengenai gradasi menjadi penting dalam pekerjaan beton yang banyak dipakai adalah agregat normal dengan gradasi yang harus memenuhi syarat standar, untuk keperluan yang khusus sering dipakai agregat ringan ataupun agregat berat. SK.SNI T – 15 – 1990 – 03 memberikan syarat – syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standar* di Inggris. Serta SK.SNI T – 5 – 1990 – 03:21 memberikan batasan gradasi yang diadopsi dari B.S sehingga terdapat :

**Tabel 2.2 Analisa Ayak (Saringan) Agregat**

Lubang Ayakan (mm)		Lubang Ayakan (mm)	
10	<b>Pasir</b>	38	<b>Kerikil</b>
4,8		19	
2,4		9,6	
1,2		4,8	
0,6		2,4	
0,3		1,2	
0,15		0,6	
		0,3	
		0,15	

Sumber : Teknologi Beton, tri Mulyono, 2005

**Tabel 2.3 Ukuran Saringan Standar Agregat Untuk Campuran Beton**

STANDARD ISO	ASTM E11	BRITISH STANDARD, BS-812 (BS.410,1976)	STANDAR JERMAN
128 mm	100 mm	-	-
64 mm	90 mm	-	-
-	75 mm	75 mm	-
-	63 mm	63 mm	63 mm
-	50 mm	50 mm	-
32 mm	37.5 mm	37.5 mm	31.5 mm
-	25 mm	28 mm	-
16 mm	19 mm	20 mm	16 mm
-	12.5 mm	14 mm	-
8 mm	9.5 mm	10 mm	8 mm
4 mm	4.75 mm	5.0 mm	4 mm
2 mm	2.36 mm	2.36 mm	2 mm
1 mm	1.18 mm	1.18 mm	1 mm
500 $\mu$ m	600 $\mu$ m	600 $\mu$ m	500 $\mu$ m
250 $\mu$ m	300 $\mu$ m	300 $\mu$ m	250 $\mu$ m
125 $\mu$ m	150 $\mu$ m	150 $\mu$ m	
62 $\mu$ m	75 $\mu$ m	75 $\mu$ m	

Sumber : Teknologi Beton, tri Mulyono, 2005

#### D. Ketahanan Kimia

Pada umumnya beton tidak tahan terhadap serangan kimia. Tetapi ada dua bentuk yang biasa dijumpai menyerang beton yaitu:

##### 1. Ketahanan alkali

Beberapa jenis agregat dapat bereaksi dengan alkali yang berada dalam semen dan membentuk gel silika yang bersifat basa. Bila terjadi maka agregat akan mengembang dan membengkak menyebabkan timbulnya retak – retak serta penguraian beton yang bersangkutan.

##### 2. Ketahanan sulfat

Hampir semua larutan sulfat bereaksi dengan calcium hydroxida dan tricalcium aluminat dari semen yang berhidrasi untuk membentuk senyawa kalsium sulfat dan kalsium sulfoaluminat. Kalsium sulfat dan magnesium sulfat

paling reaktif dalam suasana basa. Bertambahnya volume pada beton yang telah mengeras memberikan kontribusi yang tidak sedikit bagi kehancuran struktur.

#### E. Agregat Normal (ASTM C.33)

Agregat normal yang dipakai dalam campuran beton sesuai dengan ASTM, berat isinya tidak boleh kurang dari  $1200 \text{ kg/m}^3$ .

##### 1. Agregat Halus

- a. Modulus halus butir 2,3 sampai 3,1
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau No.200) dalam persen berat maksimum.
  - i. Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3%
  - ii. Untuk beton jenis lainnya sebesar 5%
- c. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%
- d. Kandungan arang dan lignit
  - i. Bila tampak permukaan beton dipandang penting (beton akan diekspos) maksimum 0,5%
  - ii. Beton jenis lainnya maksimum 1%
- e. Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus larutan natrium sulfat 3%, tidak menghasilkan warna yang lebih tua dibanding warna standar.
- f. Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali.
- g. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan jika dipakai magnesium sulfat, maksimum 15%.
- h. Susunan gradasi harus memenuhi syarat.

## 2. Agregat Kasar

- a. Tidak boleh bersifat alkali
- b. Susunan gradasi harus memenuhi syarat
- c. Kekerasan agregat diuji dengan Los Angelos dan sifat kekal. Batas ijin partikel yang berpengaruh buruk terhadap beton dan sifat fisika yang diijin untuk agregat kasar.

### F. Penyimpanan Agregat

Agregat biasanya tidak ditempatkan dalam ruang tertutup tetapi diletakkan di udara terbuka atau *stock field*. Ada persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyimpanan agregat ini, antara lain :

1. Pengawasan agregat harus dimulai dari saat kedatangannya sampai dengan pengambilan kembali.
2. Agregat harus ditimbun di atas bak – bak berlantai jika volumenya di bawah 10 kubik meter. Jika volumenya besar, sebaiknya dibuatkan landasan menggunakan *land concrete* campuran 1:3:5 untuk menghindari tercampurnya tanah dengan agregat pada saat pengambilan.
3. Jika agregat yang ditimbun dalam keadaan kering, terutama untuk agregat yang ditimbun di *stock field*, sebaiknya agregat disiram dengan menggunakan slang air.
4. Agregat diuji secara berkala sebelum digunakan, sebagai kontrol kualitas bahan.

### 2.3.3 Air

Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa – senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat – sifat beton yang dihasilkan. Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (78% sodium klorida dan 15% magnesium klorida). Garam dalam air dapat mengurangi kualitas campuran beton hingga 20%.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Seperti pada reaksi kimia lainnya, semen dan air dikombinasikan dalam proporsi yang tertentu. Untuk semen portland, 1 bagian berat semen membutuhkan sekitar 0,25 bagian berat air untuk hidrasi. Akan tetapi juga, beton yang mengandung proporsi air yang sangat kecil, menjadi sangat kering dan sangat sukar dipadatkan. Oleh karena itu dibutuhkan tambahan air untuk menjadi pelincir campuran agar dapat dikerjakan, dan karena seluruh bagian air menguap ketika beton mengering, dengan meninggalkan rongga – rongga, penting dalam hal ini untuk menjaga agar air yang digunakan seminimal mungkin.

Bilamana beton tidak didapatkan secara sempurna, sejumlah gelembung udara mungkin terperangkap, dan mengakibatkan rongga yang lebih banyak lagi. Oleh karenanya terdapat dua sumber dari rongga dalam beton; gelembung udara

yang terperangkap, dan air pelincir yang akhirnya menguap. Gelembung udara lebih mudah dihilangkan dari campuran basah dari campuran kering. Karena pada campuran kering ini dibutuhkan banyak pekerjaan untuk membebaskan udara. Selanjutnya terdapat suatu kadar air optimum dimana volume udara yang terperangkap dan volume air dalam rongga adalah minimum. Hal ini tercapai pada salah satu cara pemadatan yang menggambarkan jumlah tertentu pekerjaan yang diadakan. Beton dengan jumlah volume rongga yang minimal adalah yang terpadat dan terkuat.

Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat workabilitas yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal. Derajat workabilitas harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan cara pemadatan dan jenis konstruksi, agar terhindar dari kebutuhan akan pekerjaan yang berlebihan dalam mencapai kepadatan maksimal.

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang – kurangnya tiga buah sifat yang terpisah :

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga – rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan disekitar baja dan dituang kembali.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen; koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi agresi/pemisahan butiran dari bahan – bahan utamanya.

Hubungan antara perbandingan air/semen, banyaknya semen dalam campuran gradasi dari agregat, workabilitas dan kekuatan beton, pertama – tama dipelajari oleh Profesor Abrams di Amerika. Pekerjaan ini dapat disimpulkan dalam suatu hukum perbandingan air semen dari Abrams, sebagai berikut:

Pada bahan – bahan beton dan keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan (Abrams, Amerika).

Hukum ini memberikan arti, bahwa beton yang dipadatkan sempurna dengan agregat yang baik dan pada kadar semen tertentu, kekuatannya tergantung pada perbandingan air semen.

#### **2.4 Tempurung Kelapa (Material Tambahan)**

Pohon kelapa atau sering disebut pohon nyiur biasanya tumbuh pada daerah atau kawasan tepi pantai. Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah anggota tunggal dalam marga *Cocos* dari suku aren – arenan atau *Arecaceae*. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya oleh manusia sehingga dianggap sebagai tumbuhan serbaguna, terutama bagi masyarakat pesisir. Tumbuhan ini diperkirakan berasal dari pesisir Samudera Hindia di sisi Asia, namun kini telah menyebar luas di seluruh pantai tropika dunia.

Pohon dengan batang tunggal atau kadang – kadang bercabang. Akar serabut, tebal dan berkayu, berkerumun membentuk bonggol, adaptasi pada lahan berpasir pantai. Batang beruas – ruas namun bila sudah tua tidak terlalu tampak, khas tipe monokotil dengan pembuluh menyebar (tidak konsentrik), berkayu. Kayunya kurang baik digunakan untuk bangunan. Daun merupakan daun

tunggal dengan pertulangan menyirip, daun bertoreh sangat dalam sehingga nampak seperti daun majemuk. Bunga tersusun majemuk pada rangkaian yang dilindungi oleh bractea; terdapat bunga jantan dan betina, berumah satu, bunga betina terletak di pangkal karangan, sedangkan bunga jantan di bagian yang jauh dari pangkal. Besar buah diameter 10 cm sampai 20 cm atau bahkan lebih, berwarna kuning, hijau, atau coklat. Buah tersusun dari mesokarp berupa serat yang berlignin, disebut sabut, melindungi bagian endokarp yang keras (disebut batok) dan kedap air, endokarp melindungi biji yang hanya dilindungi oleh membran yang melekat pada sisi dalam endokarp. Endospermium berupa cairan yang mengandung banyak enzim, dan fase padatnya mengendap pada dinding endokarp seiring dengan semakin tuanya buah, embrio kecil dan baru membesar ketika buah siap untuk berkecambah (disebut *kentos*).

Kelapa secara alami tumbuh di pantai dan pohonnya mencapai ketinggian 30 m. Ia berasal dari pesisir Samudera Hindia, namun kini telah tersebar di seluruh daerah tropika. Tumbuhan ini dapat tumbuh hingga ketinggian 1.000 m dari permukaan laut, namun seiring dengan meningkatnya ketinggian, ia akan mengalami pelambatan pertumbuhan.

Klasifikasi ilmiah tanaman kelapa ialah:

- Kerajaan : Plantae
- Ordo : Arecales
- Famili : Arecaceae
- Upafamili : Arecoideae
- Bangsa : Coccoeae
- Genus : Cocos

- Spesies : *C. nucifera*
- Nama binomial : *Cocos nucifera*

Tanaman yang bisa beradaptasi dengan baik di area berpasir seperti pantai ini memiliki ciri – ciri umum yang mudah dikenali, antara lain :

1. Pohon terdiri dari batang tunggal , akar berbentuk serabut, dengan struktur yang tebal dan berkayu, berkerumun membentuk bonggol.
2. Batang pohon beruas – ruas dan bila pohon sudah tua, ruas-ruas tersebut akan berkurang. Batang kelapa merupakan jenis kayu yang cukup kuat , tapi sayangnya kurang baik untuk bangunan.
3. Daun kelapa merupakan daun tunggal dengan pertulangan menyirip.
4. Bunga majemuk dan terletak pada rangkaian yang dilindungi oleh bractea, bunga terdiri dari bunga jantan dan betina. Bunga betina terletak di pangkal karangan, sedangkan bunga jantan di bagian yang jauh dari pangkal.
5. Buah kelapa umumnya besar, dengan diameter sekitar 10 cm – 20 cm bahkan bisa lebih. Warna buah kelapa tergantung dari jenis pohonnya (bisa berwarna kuning atau hijau), untuk buah yang sudah tua akan berubah warna menjadi coklat.

Ada beberapa manfaat yang dihasilkan oleh pohon kelapa dari bagian daun sampai dengan bagian akarnya, yaitu:

#### 1. Daun Kelapa

Daun kelapa dapat dibuat menjadi berbagai macam benda. Misalnya bingkai lemari, hiasan janur, keranjang sampah, sapu lidi, sarang ketupat, tatakan,

dan tempat buah. Sementara pucuk daunnya dapat dibuat makanan, seperti asinan. Kemudian manggar atau pangkal pelepahnya dapat dimanfaatkan untuk membuat ragi dan gula. Sementara pelepah keringnya dapat dibuat kipas, sandal, tas tangan, dan topi.

## 2. Batang Kelapa

Batang kelapa dapat dimanfaatkan untuk membuat perabotan rumah tangga. Misalnya meja, kursi, bingkai lukisan, dan lainnya. Selain itu, batang kelapa bisa digunakan untuk membuat bahan dasar pembangunan rumah, seperti genteng, papan, dan sebagainya.

## 3. Buah Kelapa

Buah kelapa terdiri dari kulit luar, sabut, tempurung, kulit daging (testa), daging buah, air kelapa, dan lembaga (bakal buah). Banyak dari bagian buah kelapa ini yang bisa dimanfaatkan. Di antaranya, sabut, tempurung, daging buah, dan air kelapa.

## 4. Tempurung Kelapa

Buah kelapa terdiri dari kulit luar, sabut, tempurung, kulit daging (testa), daging buah, air kelapa dan lembaga. Buah kelapa yang sudah tua memiliki bobot sabut (35%), tempurung (12%), *endosperm* (28%) dan air (25%) (Setyamidjaja, D., 1995). Tempurung kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan arang aktif.

Bagian tempurung kelapa merupakan bagian yang paling keras dibandingkan dengan bagian kelapa lainnya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi kadarnya di tempurung tersebut. Berat dan tebal

tempurung kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Berat tempurung kelapa sekitar 15% – 19% dari berat keseluruhan buah kelapa, sedangkan tebalnya sekitar 3 mm – 5 mm.

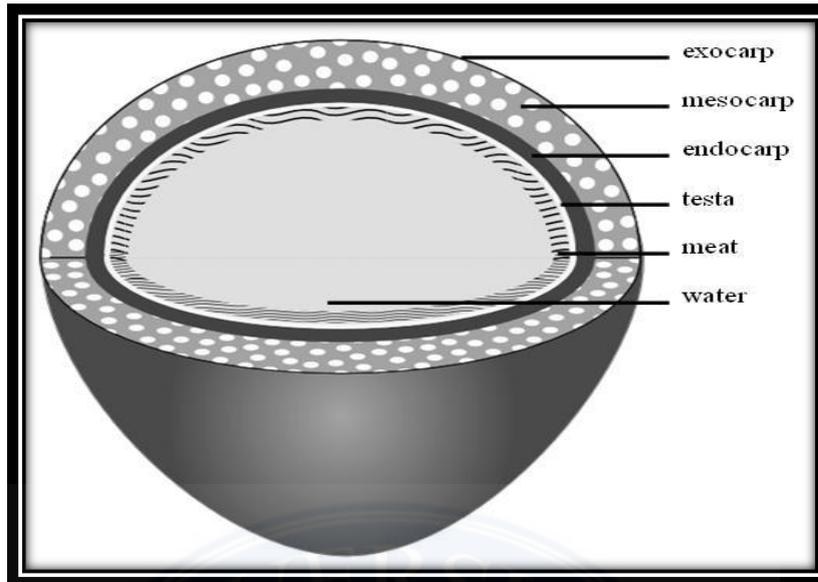
Komposisi atau kandungan zat yang terdapat dalam tempurung kelapa dapat dilihat pada tabel. Tempurung kelapa memiliki kadar air mencapai  $\pm 8$ , jika dihitung berdasarkan berat kering atau setara dengan 12% dari berat kelapa. Sedangkan abu yang terdapat pada sabut kelapa merupakan komposisi terendah.

Komposisi Tempurung Kelapa :

**Tabel 2.4 Komposisi Kelapa**

<b>No.</b>	<b>Komposisi</b>	<b>Persentase (%)</b>
1.	<i>Lignin</i>	29,40
2.	<i>Pentosan</i>	27,70
3.	<i>Selulosa</i>	26,60
4.	Air	8,00
5.	<i>Solvent Ekstraktif</i>	4,20
6.	<i>Uronat Anhidrat</i>	3,50
7.	Abu	0,60
8.	Nitrogen	0,10

Sumber : <http://www.sharemyeyes.com/2013/10/tempurung-kelapa>.



Gambar 2.2 Kandungan Buah Kelapa

## 2.5 Hasil Penelitian dari Jurnal

### 2.5.1 Penggunaan Ijuk dan Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton K 100

( Bambang Edison, S.Pd, MT dan Anton Ariyanto, M.Eng )

Hasil Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton

Umur Benda Uji (Hari)	Hasil Uji Kuat Tekan Beton ( Ton )					
	0%	0,25%	0,5%	0,75%	1%	1,25%
7	14,5	14,8	15,5	15,5	16,5	16
	15	15,5	16	16,5	17	15,5
	15,5	15,5	16	16	17,5	15,5
Beban Rata-rata (ton)	15	15,27	15,83	16	17	15,67

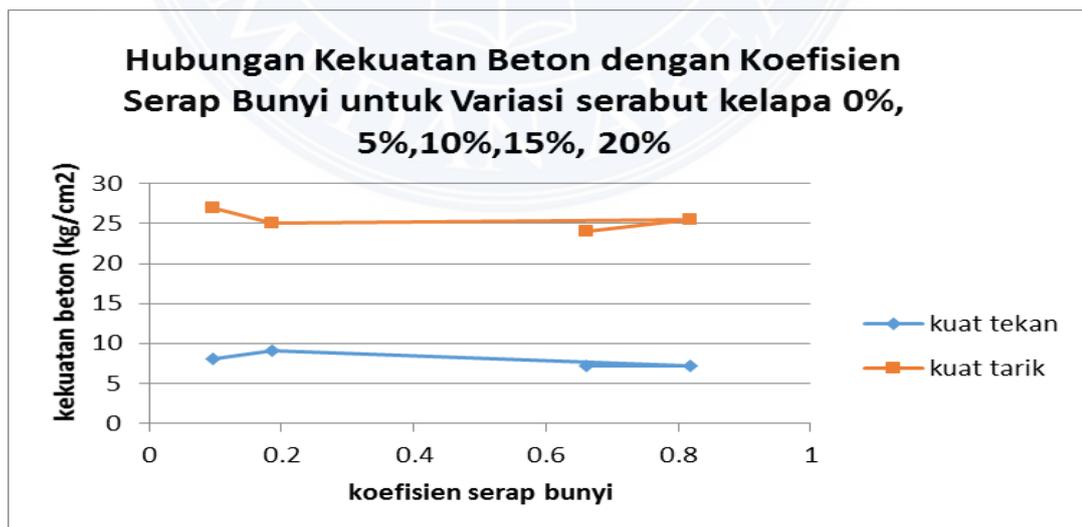
Kuat Takan Beton (Kg/Cm <sup>2</sup> )	66,67	67,87	70,36	70,36	75,56	69,64
Kuat tekan umur 28 hari (Kg/Cm <sup>2</sup> )	101.90	104.4154	108.2462	109.4	116.2462	107.1385
	77					

Pengujian rata-rata kuat tekan beton pada umur 7 hari yaitu Beton normal sebesar 15 ton atau 66,67 Kg/Cm<sup>2</sup>, penambahan 0,25 % ijuk dan sabut kelapa menghasilkan kuat tekan beton rata-rata sebesar 15,27 ton atau 67,87 Kg/Cm<sup>2</sup>, penambahan 0,5 % ijuk dan sabut kelapa sebesar 15,83 atau 70,36 Kg/Cm<sup>2</sup>, penambahan 0,75 % ijuk dan sabut kelapa sebesar 16 ton atau 70,36 Kg/Cm<sup>2</sup>, penambahan 1 % ijuk dan sabut kelapa sebesar 17 ton atau 75,56 Kg/Cm<sup>2</sup>, penambahan 1,25 % ijuk dan sabut kelapa sebesar 15,67 ton atau 69,64 Kg/Cm<sup>2</sup>. Penurunan nilai kuat tekan tersebut diakibatkan oleh semakin banyaknya serat yang dimasukkan kedalam adukan beton maka akan mengurangi volume beton yang seharusnya diisi oleh pasta semen. Selain itu kemungkinan penyebabnya ada pada faktor pembuatan benda uji, yaitu tidak meratanya serat ijuk dan sabut kelapa yang dicampurkan yang terlihat dari bongkahan kubus beton sisa pengujian yang dipecah.

2.5.2 Pengaruh Penambahan Sabut Kelapa Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Sebagai Peredam Suara ( Richo Ronald Marpaung dan Rahmi Karolina, ST,MT )

Hubungan Kekuatan Beton rata-rata dengan Koefisien Serap Bunyi rata-rata untuk setiap penambahan serabut kelapa

Variasi serabut kelapa	Nilai Kuat Tekan Rata - rata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai Kuat Tarik Rata - rata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai Koefisien Serap Bunyi Rata - rata
0 %	25.90	44.54	0.16
5 %	22.49	34.16	0.394
10 %	17.46	31.52	0.474
15 %	12.59	29.82	0.615
20 %	7.9	24.63	0.7074



Hubungan Kekuatan Beton dengan Koefisien Serap Bunyi untuk setiap penambahan serabut kelapa 5 %

<b>Benda Uji untuk</b>	<b>Nilai Kuat Tekan</b>	<b>Nilai Kuat Tarik</b>	<b>Nilai Koefisien</b>
<b>Variasi serabut</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Serap Bunyi</b>
<b>kelapa 5 %</b>			
Benda Uji 1	22.53	38.22	0.33906
Benda Uji 2	22.76	37.27	0.70547
Benda Uji 3	22.99	33.50	0.95866
Benda Uji 4	21.63	34.44	0.93411

Pada koefisien serap bunyi semakin besar penambahan serabut kelapa maka semakin tinggi koefisien serap bunyi.

### 2.5.3 Pengaruh Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Material Serat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton ( iwan Rustendi )

Pengaruh penambahan serat kelapa pada adukan beton menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik pada beton yaitu :

#### A. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton masing – masing tipe (sumber : hasil analisis) :

Jumlah serat (%)	P		Fc		Fcr (MPa)	Penurunan (%)
	(kN)		(MPa)			
	I	II	I	II		
0	395	380	22,4	21,5	21,95	0,00
5	310	315	17,8	17,8	17,70	19,36

10	300	300	16,9	16,9	16,90	23,00
15	230	235	13,3	13,3	13,15	40,09

### B. Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton masing – masing tipe (sumber : hasil analisis)

Jumlah serat (%)	P (kN)		Fc (MPa)		Fcr (MPa)	Penurunan (%)
	I	II	I	II		
	0	120	110	1,70		
5	120	120	1,70	1,70	1,70	4,29
10	140	135	1,98	1,91	1,95	19,63
15	160	155	2,26	2,19	2,23	36,81

### C. Berat Jenis Beton

Berat jenis beton masing – masing tipe ( sumber : hasil analisis )

Jumlah serat (%)	Bobot (kg)		Berat Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )		BJ Rata – rata (Kg/m <sup>3</sup> )
	Benda Uji		Benda Uji		
	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	
0	12,75	12,79	2406	2413	2409
5	12,49	12,55	2357	2368	2362
10	12,24	12,16	2309	2294	2302
15	11,85	11,80	2236	2226	2231

Dari hasil penimbangan benda uji silinder, ternyata bobot masing – masing tipe beton tidak sama tapi ada kecenderungan menurun mulai dari persentase serat kecil sampai ke peresentase serat besar. Dengan berat jenis tempurung kelapa dan seratnya lebih kecil dari pada berat jenis kerikil dengan otomatis akan menurunnya berat jenis betonnya.

