

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Beton**

Menurut Nawy (1975:8) beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimia sejumlah material pembentuknya. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland dan semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat (SK. SNI T-15-1990-03:1).

Beton merupakan suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen Portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel agregat dan setelah beton segar dicor, ia akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air sehingga membentuk suatu bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama (Ferguson, 1991 dalam M.I, Saifuddin, 2012).

Mulyono (2004), mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah. Sedangkan Sagel, dkk, (1994), menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Mutu beton dipengaruhi oleh bahan pembentukannya serta cara pengerjaannya semen mempengaruhi kecepatan pengerasan beton. Selanjutnya kadar lumpur atas pengerjaan yang mencakup cara penuangan, pemadatan, dan perawatan yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton.

Beton dibentuk dari pencampuran bahan batuan yang diikat dengan bahan perekat semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah  $\pm 70\%$  -  $75\%$  dari seluruh beton.

Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun,

metode pelaksanaan pembuatan adukan beton, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. Nilai kuat tekan relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya dan merupakan bahan getas. Pada penggunaan sebagai komponen structural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang bekerja menarik tarik (Dipohusodo, 1994).

### 2.1.1 Jenis Beton

Jenis beton dibedakan menjadi :

#### 1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal, agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik berat jenis agregat ringan sekitar  $800-1800 \text{ kg/m}^3$  atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar  $1400 \text{ kg/m}^3$  dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 MPa sampai 17,24 MPa menurut SNI 08-1991-03.

#### 2. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$  dengan kuat tekan sekitar 15 - 40 MPa.

#### 3. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari  $2400 \text{ kg/m}^3$  untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

#### 4. Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

#### 5. *Ferro-cement*

*Ferro cement* adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

6. Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

### 2.1.2 Beton Berdasarkan Kelas dan Mutu Beton

1. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural, untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan mutu kelas I dinyatakan dengan B0.
2. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum, pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1 pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan pada mutu-mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.
3. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225, pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

## 2.2 Kuat Tekan

Beton bersifat plastis dan basah saat permulaan dibuat kemudian secara perlahan-lahan berubah menjadi keras dan kaku seperti batu. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang

dibuat. Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus.

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Dimana:

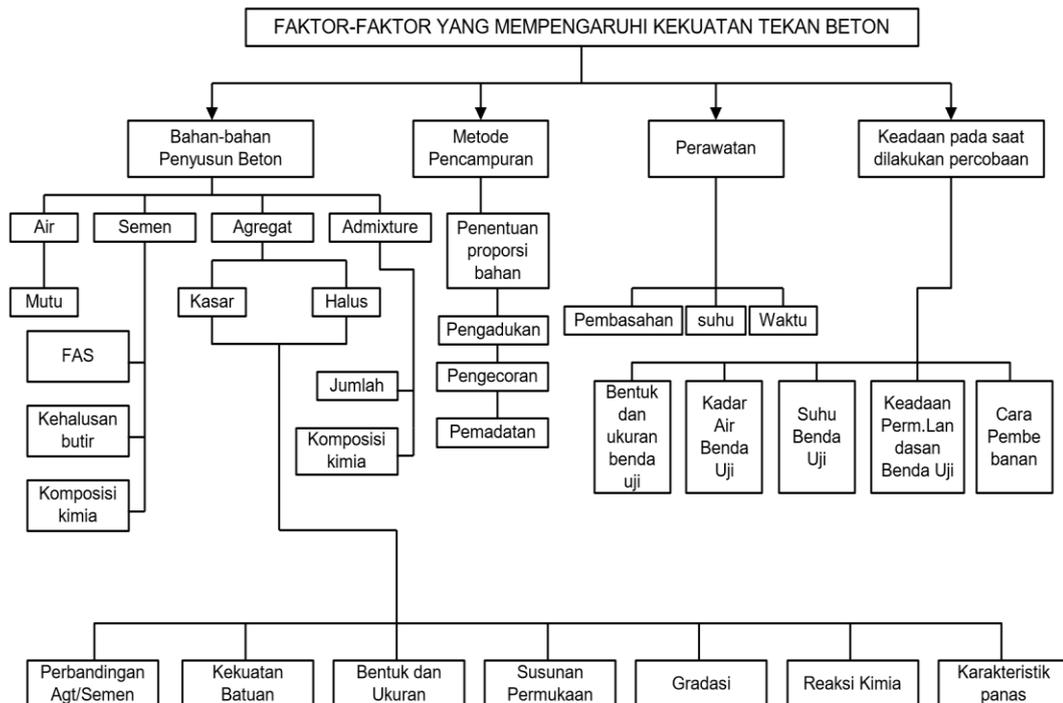
$f_c$  = kuat tekan beton (Mpa)

$P$  = beban tekan maksimum (N)

$A$  = luas penampang tertekan ( $\text{mm}^2$ )

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor (Gambar 2.1), selain oleh perbandingan air semen dan tingkat kepadatannya. Faktor-faktor penting lainnya yaitu :

- a. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
- b. Efisiensi dari perawatan (curing), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji.
- c. Suhu pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
- d. Umur pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai bertahun-tahun.



Gambar 2. 1 Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton

Berdasarkan kuat tekannya beton dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non struktur. Misalnya, dinding bukan penahan beban.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20 Mpa. Misalnya kolom, balok, dinding yang menahan beban dan sebagainya.
3. Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik dulu sebelum diberi beban.

Tabel 2. 1 Beberapa jenis menurut kuat tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton sederhana (plain concrete)	Sampai 10 Mpa
Beton normal	10 – 30 Mpa
Beton prategang	30 – 40 Mpa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 Mpa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 Mpa

(Sumber : Ir Kardiyono Tjokrodimulyo, M.E., 1998, Bahan Bangunan : IV-54

Tabel 4.1)

## 2.3 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton

Selain kekuatan pasta semen, hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah agregat. Karena proporsi campuran agregat dalam beton adalah 70 – 80%, sehingga pengaruh agregat akan menjadi besar baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi teknik. Semakin baik mutu agregat yang digunakan, secara linier dan tidak langsung akan menyebabkan mutu beton menjadi baik begitu juga sebaliknya.

### 2.3.1 Metode Pencampuran

#### 1. Penentuan proporsi bahan (*Mix Design*)

Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui perancangan beton (*mix design*). Hal ini dimaksudkan agar proporsi dari campuran dapat memenuhi syarat kekuatan serta dapat Abu Tempurung Kelapa merupakan salah satu bahan filler yang penting dan di produksi di negara tropis seperti Malaysia, Indonesia, Thailand dan sri langka. Tempurung kelapa murah dan mudah didapatkan dalam jumlah banyak. Tempurung kelapa mengandung 65 – 75 % zat volatil dan uap air yang dikeluarkan 19 selama karbonisasi. Metode perancangan ini pada umumnya menentukan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton untuk kinerja tertentu yang diharapkan. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan untuk beberapa metode yang dikenal, antara lain *American Concrete Institute (ACI)*, *Portland Cement Association, Road Note No. 4*, *British Standard, Department of Environment*, Departemen Pekerjaan Umum (Sk. SNI T-15-1990-03) dan cara coba-coba.

#### 2. Pengecoran (*Placing*)

Metode pengecoran akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika syarat-syarat pengecoran tidak terpenuhi, kemungkinan besar kekuatan tekan yang direncanakan tidak akan tercapai.

#### 3. Pemadatan (*Vibrating*)

Pemadatan yang tidak baik akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton, karena terjadinya pencampuran bahan yang homogen. Pemadatan yang berlebih pun akan menyebabkan terjadinya bleeding.

### 2.3.2 Kondisi saat Pengerjaan Pengecoran Air

Kondisi pada saat pekerjaan pengecoran akan mempengaruhi kualitas beton yang dibuat. Faktor-faktor tersebut antara lain bentuk dan ukuran contoh, kadar air, suhu contoh, keadaan permukaan landasan dan cara pembebanan.

## 2.4 Kekuatan Beton

### 2.4.1 Semen

Semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata maupun untuk tembok (KBBI, 2008).

Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran agregat. Bahan dasar semen portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, dan oksidasi besi, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Susunan Unsur Semen Portland

No	Oksida	Kandungan (%)
1	Kapur ( CaO)	60-65
2	Silika ( SiO <sub>2</sub> )	17-25
3	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3-8
4	Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5-6
5	Magnesium (MgO)	0,5-4
6	Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1-2
7	Soda/potash (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	0,5-1

Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996

Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen portland menjadi lima tipe (SK.SNI-15-2049-1994) yaitu :

- a. Tipe I adalah semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Tipe II adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III adalah semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah terjadi pengikatan terjadi.

- d. Tipe IV adalah semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V adalah semen portland dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) adalah semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi atau bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Bahan dasar semen OPC dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut :

Tabel 2. 3 Susunan Unsur Semen OPC

No	Oksida	Kandungan (%)
1	Kapur ( CaO)	65,21
2	Silika ( SiO <sub>2</sub> )	20,92
3	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,49
4	Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,78
5	Magnesium (MgO)	0,97
6	Sulfur (SO <sub>3</sub> )	2,22
7	Hilang Pijar (Lol)	1,35

Sumber: Astuti, 2006

#### 2.4.2 Air

Secara umum air adalah unsur yang memiliki peran penting dalam kehidupan setiap makhluk yang hidup di muka bumi, secara ilmiah air bisa diartikan sebagai sebuah senyawa kimia yang terdiri dari dua unsur yaitu H<sub>2</sub> (hidrogen) yang berkaitan dengan unsur O<sub>2</sub> (oksigen) yang kemudian menghasilkan senyawa air (H<sub>2</sub>O).

Murdock L.J., Brook K.M & Stephanus Hendarko (1999:96) berpendapat bahwa didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama, untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, maupun agar memudahkan pencetakan. Sedangkan SNI 03-2847-2002 (2002:14) menerangkan bahwa :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan- bahan merusak yang mengandung oli, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung didalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan dalam beton.

Dari uraian diatas, bahwa syarat air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organis lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya (SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung). Selain untuk reaksi pengikat, dapat juga untuk perawatan sesudah beton dituang. Air untuk perawatan (*Curing*) harus memiliki syarat-syarat yang lebih tinggi dari air untuk pembuatan beton. Keasaman tidak boleh pHnya > 6, juga tidak dibolehkan terlalu sedikit mengandung kapur.

Kartiyono Tjokrodimulyo (1992), menjelaskan “Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.”

### **2.4.3 Agregat Halus**

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alam dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4,8 mm. Agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai atau tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu pasir galian yang diperoleh langsung dari permukaan tanpa atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara dicuci. Kemudian, pasir Sungai yang diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, karena butirannya kecil maka baiknya dipakai untuk memplester tembok. Terakhir pasir laut yaitu pasir diambil dari pantai mempunyai butiran-

butiran yang halus dan bulat. Pasir ini merupakan yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garam yang menyerap kandungan air dan udara. Hal ini menyebabkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

Menurut SNI 03-2847-2002 (2002:4), agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat di isi oleh material lain sehingga akan menghasilkan beton yang padat. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis agregat halus tersebut. Gradasi agregat halus dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut :

Tabel 2. 4 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-60
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834-1993

Keterangan :

Zona I = pasir kasar

Zona II = pasir agak kasar

Zona III = pasir agak halus

Zona IV = pasir halus

Syarat-syarat agregat halus menurut (SK-SNI S-04-1989-F) adalah sebagai berikut :

- a. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.

- b. Butir-butir agregat halus bersifat kekal, artinya tidak hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan perbandingan.
- d. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusanantara 1,5-3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.

#### 2.4.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua butir tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat ini dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang pecah. Menurut British Standard (BS), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam table.

Tabel 2. 5 Syarat agregat kasar menurut *British Standart*

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir lewat ayakan, besat butir maks		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 - 100
10	10 – 35	25 – 55	40 - 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : Ir, Tri Mulyono, MT., 2003, Teknologi Beton ; 94, Tabel 4.9)

#### 2.4.5 Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa merupakan salah satu bahan filler yang penting dan diproduksi di negara tropis seperti Malaysia, Indonesia, Thailand dan Sri langka. Tempurung kelapa mengandung 65 – 75% zat volatil dan uap air yang dikeluarkan 19 hari selama karbonisasi.

Menurut Child, 1974 (Suhardiyono, 1995), tempurung kelapa mempunyai komposisi kimia, yang meliputi selulose 26,6%, pentosan 27,7%, lignin 29,4%, abu 0,6%, solvent ekstraktif 4,2%, uronat anydrat 3,5%, nitrogen 0,11% dan air 8%. Hal ini yang paling penting dalam pembuatan beton adalah beton harus

mempunyai konsistensi yang baik, tetap kompak, tidak mengalami segregasi dan bleeding sehingga diperoleh beton dengan kualitas yang baik dan memadai.

Menurut Soroushian dan Bayasi (1987) serta menurut Tjokrodimulyo (1996), bahwa gelas/kaca bisa dijadikan serat pada adukan beton. Secara visual baik kaca maupun tempurung kelapa apabila dilebur performanya tidak jauh berbeda, yaitu berbentuk serpihan yang keras. Sehingga karakteristiknya pun diperkirakan sama. Maka secara logika tempurung jika dijadikan material serat pengaruhnya akan sama bahkan lebih tinggi daripada kaca. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Kekuatan dan keuletan tempurung kelapa lebih tinggi daripada kaca (kaca lebih getas daripada tempurung kelapa). Kekuatan dan keuletan yang tinggi umumnya mengakibatkan modulus elastisitas tinggi, sehingga akan menghasilkan beton dengan modulus elastisitas tinggi pula.
2. Akibat sisa-sisa sabut kelapa tekstur permukaan tempurung kelapa lebih kasar daripada kaca, sehingga ikatannya dengan pasta semen akan lebih kuat yang pada akhirnya akan menambah kekuatan beton.

Bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis berupa serbuk ataupun cairan yang ditambahkan dalam campuran beton atau mortar yang ditambahkan sebelum ataupun saat proses pengadukan untuk merubah beberapa sifat beton.

Abu tempurung kelapa merupakan hasil dari pengolahan limbah tempurung kelapa yang dibakar yang kemudian menjadi abu (Kristino, 2017). Oksida yang terbentuk dalam kalsinasi bahan baku semen portland seperti kalsium oksida, silikon oksida, aluminium trioksida dan oksida besi juga ditemukan dalam abu tempurung kelapa.

Tabel 2. 6 Senyawa Kimia Abu Tempurung Kelapa

No	Senyawa Kimia	Abu Tempurung Kelapa (%)
1	SiO <sub>2</sub>	22,30
2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,11
3	CaO	9,65
4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,07
5	MgO	13,66

No	Senyawa Kimia	Abu Tempurung Kelapa (%)
6	K3O	42,6

## 2.5 Uji Properties Bahan Campuran Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium. Pengujian bahan ini meliputi pemeriksaan bahan agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah lainnya. Pemeriksaan atau pengujian agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

Tabel 2. 7 Metode Pengujian Bahan

No	Pengujian	Metode Pengujian
1	Berat Jenis dan Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990
2	Kadar Lumpur	SNI S-04-1998
3	Analisis Saringan	SNI 03-1986-1990
4	Berat Isi dan Rongga Udara	SNI 03-4804-1998
5	Keausan Agregat	SNI 2417:2008
6	Kadar Air	SNI 03-1971-1990

### 2.5.1 Pengujian Agregat Halus

Untuk menentukan kecocokan (the goodness of fit test) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter, yaitu :

#### a. Pengujian berat isi

Pengujian berat isi merupakan pengujian untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat halus. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat isi Agregat B} = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3 \text{)} \quad (2.1)$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A-W)-B}{(A \times B)} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana :

V = Isi Wadah (dm<sup>3</sup>)

A = Bulk Specific gravity agregat (kg/ dm<sup>3</sup>)

B = Berat isi Agregat (kg/ dm<sup>3</sup>)

W = Berat isi Air (kg/ dm<sup>3</sup>)

b. Pengujian kadar air

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton. Adapun persamaan dalam menghitung pengujian kadar air sebagai berikut :

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

Dengan :

W3 = berat contoh semula (gram)

W5 = berat contoh kering (gram)

c. Pengujian Analisa saringan

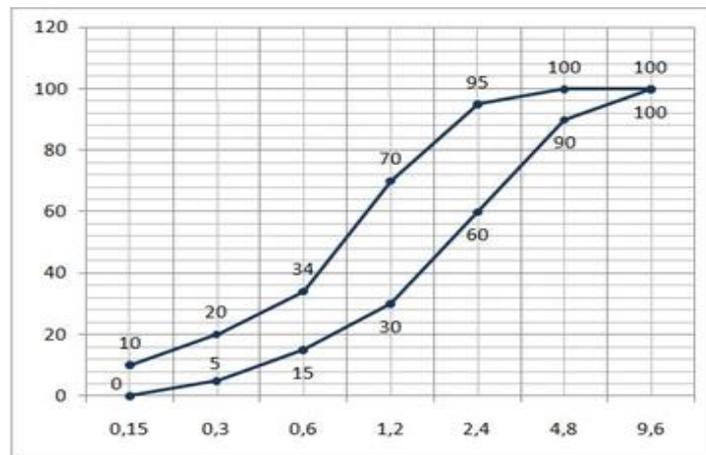
Analisa Saringan bertujuan untuk mengetahui pembagian butiran dari agregat halus yang digunakan, pengujian ini sesuai dengan standar ASTM 136-04. Dari hasil pengujian dengan menggunakan saringan ini akan diketahui sebaran dari butiran agregat halus yang akan digunakan Pengujian. Pengujian analisa saringan dilakukan dengan menggunakan dua buah benda uji, dengan hasil yang telah ditampilkan sebelumnya. Menurut ASTM 136-04 pembagian butiran dari agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C.33-86

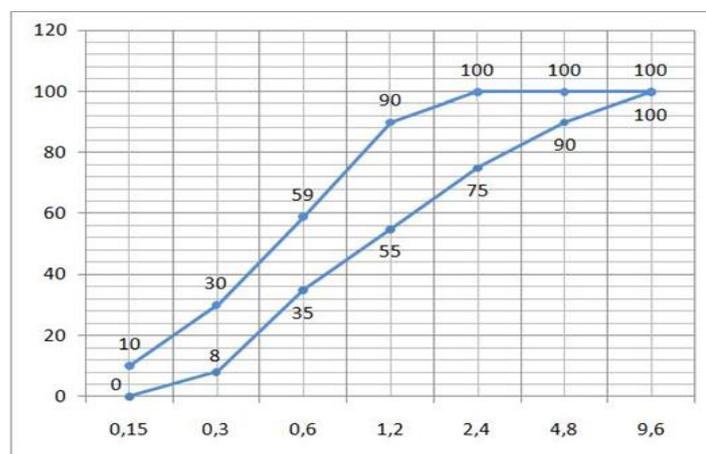
No	Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
1	9.5	100
2	4.75	95 – 100

No	Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
3	2.36	80 – 100
4	1.18	50 – 85
5	0.6	25 – 60
6	0.3	10 – 30

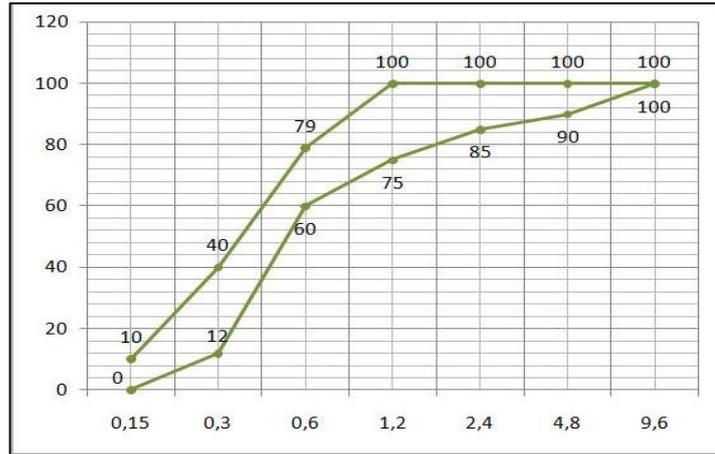
Hasil dari analisa saringan tersebut dapat disajikan kedalam grafik , dan Hasil dari analisa saringan tersebut dapat disajikan kedalam grafik , dan harus memenuhi syarat menurut kurva gradasi agregat agregat halus yang di isyaratkan dalam ASTM sebagai berikut :



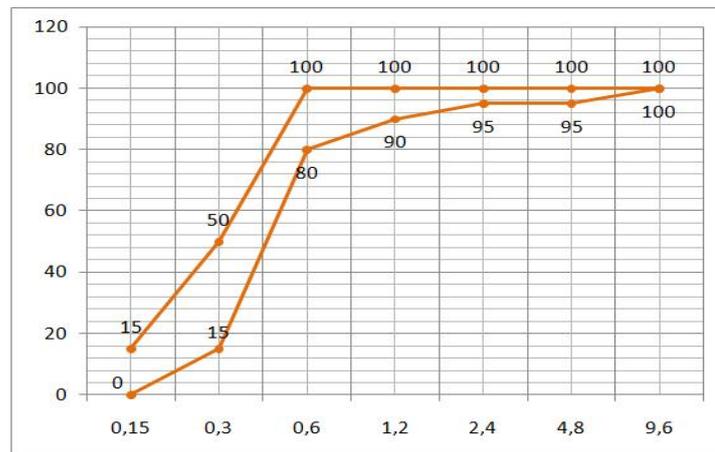
Gambar 2. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Type 1



Gambar 2. 3 Kurva Gradasi Type 2



Gambar 2. 4 Kurva Gradasi Agregat Halus Type 3



Gambar 2. 5 Kurva Gradasi Agregat Halus Type 4

Selain untuk mengetahui pembagian butiran dari agregat halus, analisa saringan juga berguna untuk mencari besarnya nilai finnes modulus. Jika pada grafik gradasi agregat dapat terlihat pembagian butiran dari agregat halus, maka finnes modulus menggambarkan besarnya ukuran butiran rata-rata pada agregat.

Nilai finnes modulus adalah nilai yang digunakan pada perhitungan rancang campur, namun nilai ini tidak dapat menggambarkan sebaran ukuran butiran agregat .sehingga antara gradasi agregat dan finnes modulus merupakan kesatuan yang tidak dapat dipisahkan (mm).

d. Berat jenis dan penyerapan (absorsi) air

Pada tahapan rancang campur, Berat Jenis yang akan digunakan adalah berat jenis SSD, karena pada kondisi ini akan sama dengan kondisi agregat pada saat pengecoran beton. Kondisi SSD digunakan karena pada

kondisi ini kandungan air pada agregat jenuh (mengisi seluruh pori-pori) namun air tidak ada yang berada diantara butiran agregat, sehingga pada saat pengecoran air yang digunakan tidak lagi diserap oleh agregat dan tidak ada air tambahan yang berasal dari celah antar butiran agregat.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan(absorpsi) air adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis permukaan kering jenuh} = \frac{B_a}{B+B_a-B_t} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B+B_k-B_t} \quad (2.5)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_a-B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan :

$B_k$  = berat benda uji kering oven, dalam gram

$B$  = berat piknometer berisi air, dalam gram

$B_t$  = berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram

$B_a$  = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

e. Pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos no. 200

Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih.

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana pembangunan jalan.

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Berat kering benda uji awal

$$W = W_1 - W_2 \quad (2.8)$$

2. Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \quad (2.9)$$

3. Bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \quad (2.10)$$

Keterangan :

$W_1$  = berat kering benda uji + wadah (gram)

$W_2$  = berat wadah (gram)

$W_3$  = berat kering benda uji awal (gram)

$W_4$  = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

$W_5$  = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

$W_6$  = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

### 2.5.2 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan dengan menggunakan pengujian sebagai berikut :

#### a. Pengujian berat isi

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)} \quad (2.11)$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A-W)-B}{(A \times B)} \times 100 \quad (2.12)$$

Dimana :

V = Isi wadah (dm<sup>3</sup>)

A = Bulk specific gravity agregat (kg/dm<sup>3</sup>)

B = Berat isi agregat (kg/dm<sup>3</sup>)

W = Berat isi air (kg/dm<sup>3</sup>)

#### b. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton Adapun persamaan dalam menghitung pengujian kadar air sebagai berikut :

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \quad (2.13)$$

Dengan :

$W_3$  = Berat contoh semula (gram)

$W_5$  = Berat contoh kering (gram)

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar SNI 03-2384-2000. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan . hasil pengujian ini harus memenuhi persyaratan yang sesuai dengan syarat gradasi agregat kasar yang tercantum dalam SNI 03-2384-2000.

d. Berat jenis dan penyerapan (absorpsi) air

Pengujian berat jenis dan absorpsi dari agregat halus bertujuan untuk menentukan bulk dan apparent specific gravity dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127. Menentukan volume agregat dalam beton. Bahan yang digunakan adalah 10000 gram ( 2 x 5000 gram) agregat kasar dalam kondisi SSD, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat. Bahan benda uji lewat saringan no.4 dibuang. Persamaan – persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan (absorpsi) air adalah sebagai berikut :

Persamaan berat jenis dan penyerapan (absorpsi) air

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (2.14)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2.15)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (2.16)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_a} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan :

$B_k$  : berat benda uji kering oven, dalam gram

$B_j$  : berat benda uji kering permukaan, jenuh dalam gram

$B_a$  : berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh didalam air, dalam gram

e. Pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos No. 200

Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih.

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana pembangunan jalan. Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (2.19)$$

$$W_5 = W_4 - W_2 \quad (2.20)$$

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \quad (2.21)$$

Keterangan :

$W_1$  = berat kering benda uji + wadah (gram)

$W_2$  = berat wadah (gram)

$W_3$  = berat kering benda uji awal (gram)

$W_4$  = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

$W_5$  = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

$W_6$  = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

## 2.6 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunannya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Pada dasarnya perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proposi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain :

- a. *Metode American Concrete Institute*
- b. *Portland Cement Association*
- c. *Road note No. 4*
- d. *British Standard Departement Of Engineering*
- e. Departemen Pekerjaan Umum (SK. SNI. T-15-1990-03) dan
- f. Cara Coba - coba

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonominya dengan

memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa sesuai dengan teori perencanaan proporsi campuran adukan beton, pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan slump tidak lebih dari 100 mm.

Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penekaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat. Sebelum melakukan perancangan, data-data yang dibutuhkan harus dicari. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000).

### **2.6.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan**

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan struktur yang direncanakan dan kondisi setempat pada umur 28 hari. Berikut ini merupakan mutu suatu beton dan penggunaannya :

Tabel 2. 9 Mutu beton dan penggunaannya

Jenis Beton	$F'_c$ (MPa)	$b_k'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Uraian
Mutu Tinggi	$x \geq 45$	$x \geq K500$	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang, beton prategang, gelagar beton prategang, plat beton prategang dan sejenisnya
Mutu Sedang	$20 \leq x \leq 45$	$K250 \leq x \leq 500$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti plat lantai jembatan., gelagar beton bertulang, diagfragma, kereb beton pracetak, gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu Rendah	$15 \leq x < 20$	$K175 \leq x < K250$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar, dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	$10 \leq x < 15$	$K125 \leq x < K175$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

### 2.6.2 Deviasi Standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar(s) ini berdasarkan hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

Jika pelaksanaan mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratan (selain yang tersebut diatas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (Satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data hasil uji

kurang dari 30 buah maka, dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada tabel berikut :

Tabel 2. 10 Faktor pengali deviasi standar

Jumlah Data :	30	25	20	15	<15
Faktor Pengali :	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

Jika pelaksanaan tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat melihat tabel berikut :

Tabel 2. 11 Deviasi standar untuk berbagai Tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Isi Pekerjaan		Deviasi Standar (MPa)		
Sebutan	Vol Beton (m <sup>3</sup> )	Baik Sekali	Baik	Dapat diterima
Kecil	< 1000	4,5 < S < 5,5	5,5 < S < 6,5	6,5 < S < 8,5
Sedang	1000 – 3000	3,5 < S < 4,5	4,5 < S < 5,5	6,5 < S < 7,5
Besar	> 3000	2,5 < S < 3,5	3,5 < S < 4,5	4,5 < S < 6,5

### 2.6.3 Perhitungan Nilai Margin (M)

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa (karena tidak mempunyai data sebelumnya ) maka langsung kelangkah (4). Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar sd maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = K \times S_d \quad (2.22)$$

Dengan :

M = nilai tambah (Mpa)

K = 1,64

S<sub>d</sub> = deviasi standar (Mpa)

Kuat tekan rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'a = f'c + M \quad (2.23)$$

Dengan :

$f'a$  : kuat tekan rata-rata (Mpa)

$f'c$  : kuat tekan yang disyaratkan (Mpa)

$M$  : nilai tambah (Mpa)

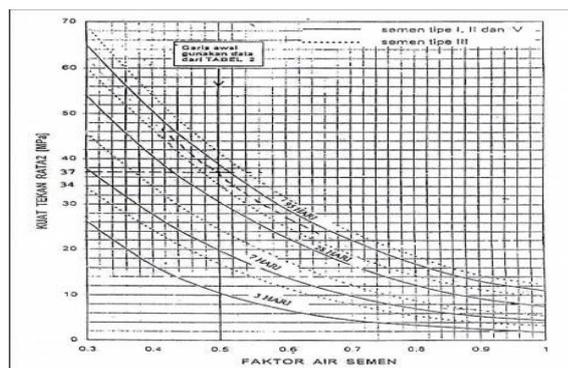
#### 2.6.4 Menentukan Jenis Semen Portland

Menurut PUBI 1982 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah pakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

#### 2.6.5 Faktor Air Semen Bebas

Faktor air semen dapat dicari dengan dua cara, yaitu sebagai berikut :

1. Cara pertama, berdasarkan jenis setmen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat grafik berikut :



Gambar 2. 6 Grafik hubungan factor air semen dan kuat kekuatan tekan beton untuk benda uji silinder

2. Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan tabel Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan dan gambar Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Kekuatan Tekan Beton Untuk Benda Uji Silinder.

Tabel 2. 12 Perkiraan kuat tekan beton (Mpa) dengan factor air semen 0,50

Jenis Semen	Jumlah agregat kasar	Umur (hari)			
		3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
III	Batu Pecah	19	27	37	45
	Alami	21	28	38	44
	Batu Pecah	25	33	44	48

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton ; 73)

### 2.6.6 Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan nilai faktor air semen maksimum dapat dilakukan dengan melihat tabel Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) Dengan Faktor Air Semen 0,50 . Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah dari pada nilai fas dari langkah 2.8.7, maka nilai fas maksimum ini yang dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2. 13 Persyaratan factor air semen maksimum untuk berbagai pembeconan dan lingkungan khusus

Kondisi Lapangan		Nilai Faktor air semen maksimum
a.	Beton di dalam ruangan bangunan	0.60
	Keadaan keliling no korosif	
b.	Keadaan keliling korosif di sebabkan	0.52
Beton di luar ruangan :		
a.	Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
b.	Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
Beton yang masuk ke dalam tanah :		
a.	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
b.	Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	Lihat tabel
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :		
a.	air tawar dan air laut	Lihat Tabel

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton : 74 Tabel 7.12)

Tabel 2. 14 Faktor air semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat (SO <sub>3</sub> )			Jenis Semen	Faktor air semen maksimum
Dalam Tanah		SO <sub>3</sub> dalam air tanah (gr/ltr)		
Total SO <sub>3</sub> %	SO <sub>3</sub> dalam campuran air : tanah = 2:1 (gr/ltr)			
<0.2	<1.0	<0.3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	0.50
0.2-0.5	1.0-1.9	0.3-1.2	Tipe I tanpa Pozolan	0.50
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan	0.55
0.5-1.0	1.9-3.1	1.2-2.5	Tipe II dan V	
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen Porland Pozolan	0.45
			Tipe II dan V	
			Tipe II dan V	
1.0-2.0	3.1-5.6	2.5-5.0	Tipe II atau V dan lapisan Pelindung	0.45
> 2.0	>5.6	>5.0		0.45

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton : 75, Tabel 7.12.a)

Tabel 2. 15 Faktor air semen untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan	Tipe Semen	Faktor air Semen
Air Tawar	Semua tipe I s.d V	0.50
Air Payu	Tipe I + Pozolan (15-40% ) atau semen porland Pozolan	0.45
	Tipe II atau V	0.50
Air Laut	Tipe II atau V	0.45

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton : 75, Tabel 7.12.b)

### 2.6.7 Nilai Slump (Derajat Pengerjaan)

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (triller) dapat dilakukan dengan nilai slump yang agak kecil. Nilai slump yang di inginkan dapat diperoleh dari tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2. 16 Penetapan nilai slump

Pemakaian Beton	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Plat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton : 76, Tabel 7.13)

### 2.6.8 Nilai Kadar Air Bebas

Penetapan Kadar Air Bebas/jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan dapat dilihat dari tabel berikut ini :

Tabel 2. 17 Perkiraan kadar air bebas (kg/m<sup>3</sup>)

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	Nilai Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Dari Dari tabel diatas apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (2.24)$$

Keterangan :

Wh : jumlah air untuk agregat halus

Wk : jumlah air untuk agregat

### 2.6.9 Jumlah Semen

Jumlah atau berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 2.8.11) dengan faktor air semen yang paling kecil diantara minimum atau maksimum (langkah 2.8.7 dan 2.8.8).

#### a. Jumlah semen maksimum

Nilai semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya

#### b. Jumlah semen minimum

Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan menggunakan tabel di bawah ini :

Tabel 2. 18 kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Kondisi Lapangan	Jumlah semen minimum (kg/m <sup>3</sup> beton)
Beton di dalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling no korosif	275
b. Keadaan keliling korosif di sebabkan oleh kondensi atau uap-uap korosif	325
Beton di luar ruangan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	Lihat tabel 2.12.a
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :	
a. air tawar	Tabel 2.12.b
b. air laut	

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo. Teknologi Beton : 78, Tabel 7.15)

Tabel 2. 19 Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat (SO <sub>2</sub> )			Jenis Semen	kandungan semen minimum (kg/m <sup>3</sup> )		
Dalam Tanah		SO <sub>3</sub> dalam air tanah (gr/ltr)		Ukuran Maks. Agregat mm		
Total SO <sub>3</sub> %	SO <sub>3</sub> dalam campuran air : tanah = 2:1 (gr/ltr)			40	20	10

<0.2	<1.0	<0.3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	280	300	350
0.2-0.5	1.0-1.9	0.3-1.2	Tipe I tanpa Pozolan	290	330	380
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan Tipe II dan V	250	290	430
0.5-1.0	1.9-3.1	1.2-2.5	Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen Porland Pozolan Tipe II dan V	340	380	430
1.0-2.0	3.1-5.6	2.5-5.0	Tipe II dan V	290	330	380
			Tipe II dan V	330	370	420
> 2.0	>5.6	>5.0	Tipe II atau V dan lapisan Pelindung	330	370	420

Tabel 2. 20 Kandungan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan	Tipe semen	kandungan semen min. Ukursn maks. Agregat (mm)	
		40	20
Air Tawar	Semen tipe I s.d V	280	300
Air Payau	Tipe I + Pozolan (15-40 %) atau semen porland	340	380

	pozolan Tipe II atau v	290	330
Air Laut	Tipe II atau v	330	370

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 80, Tabel 7.15.b)

c. Faktor air semen yang disesuaikan

Jika jumlah semen mengalami berubah karena pertimbangan kadar air semen maksimum atau kadar air semen minimum, maka tentukan nilai faktor air semen yang di sesuaikan, didapat dengan melakukan dua cara sebagai berikut :

- 1) Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum
- 2) Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen

### 2.6.10 Susunan Besar Butir Agregat Halus

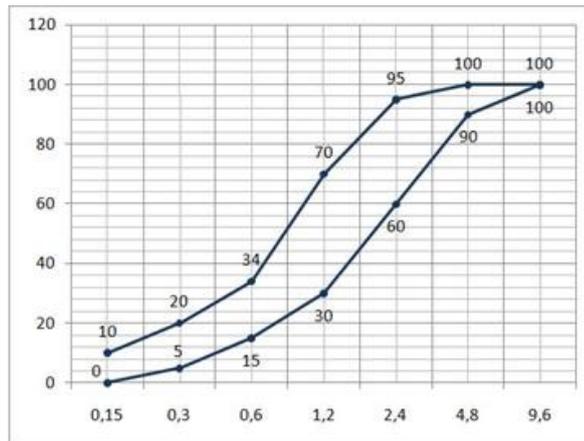
Berdasarkan gradasi (hasil analisa ayakan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan untuk tabel. Dengan tabel tersebut agregat halus dapat dimasukkan menjadi salah satu dari 4 daerah, yaitu daerah 1,2,3, dan 4.

Tabel 2. 21 Susunan butir agregat halus

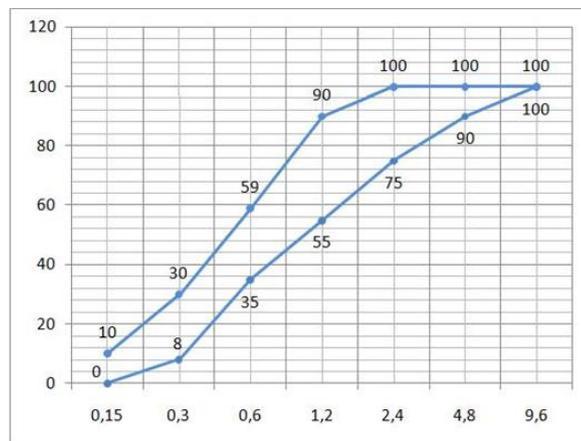
No Saringan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	01-10	0-15

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodimuljo. Teknologi Beton : 81, Tabel 7.16)

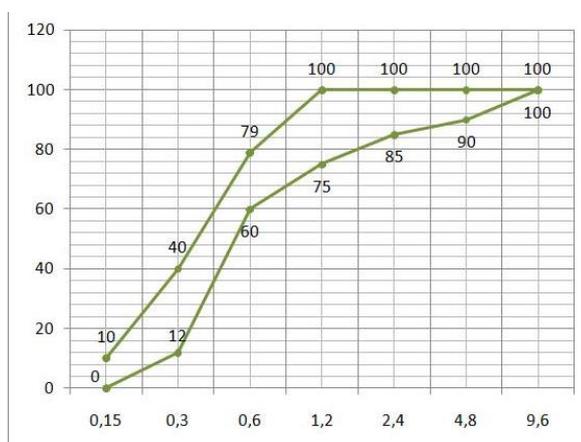
Setelah itu tentukan tipe gradasi agregat halus sesuai dengan syarat menurut kurva gradasi agregat halus.



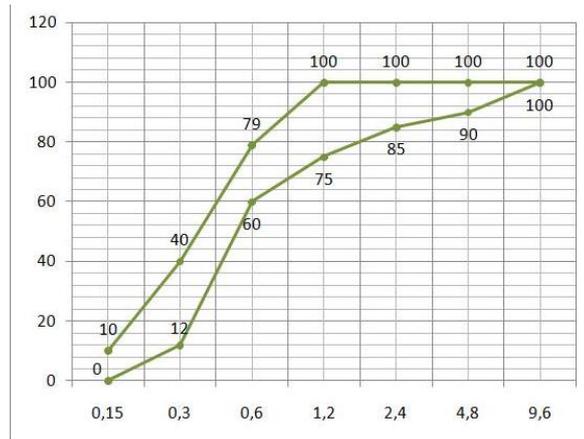
Gambar 2. 7 Kurva gradasi agregat halus type 1



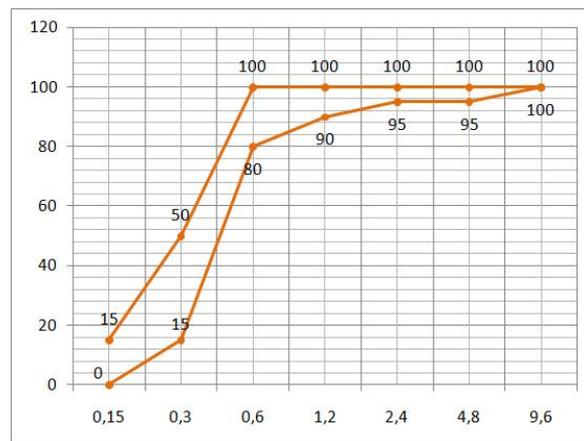
Gambar 2. 8 Kurva gradasi agregat halus type 2



Gambar 2. 9 Kurva gradasi agregat halus type 3



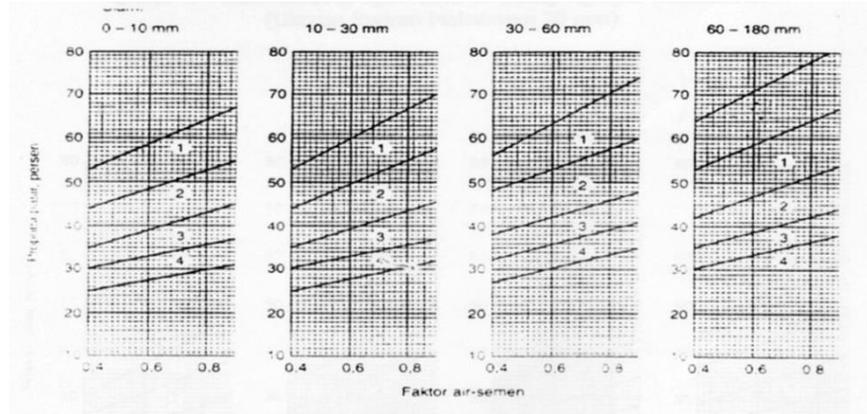
Gambar 2. 10 Kurva gradasi agregat halus type 4



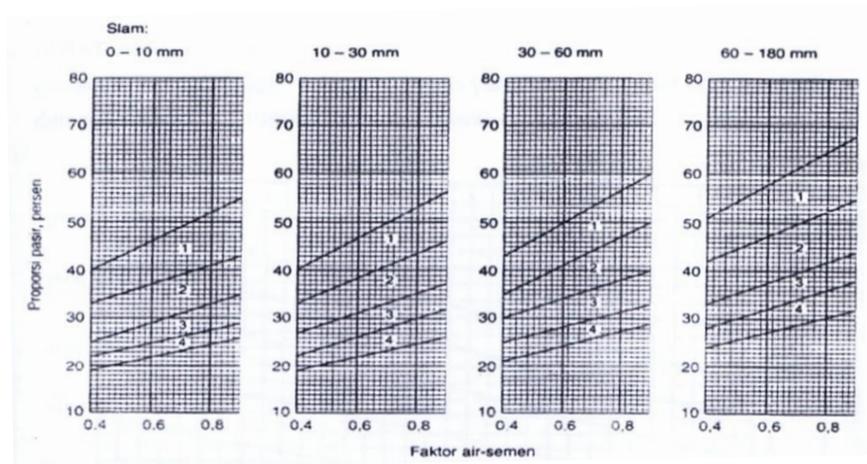
Gambar 2. 11 Kurva gradasi agregat halus type 5

### 2.6.11 Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

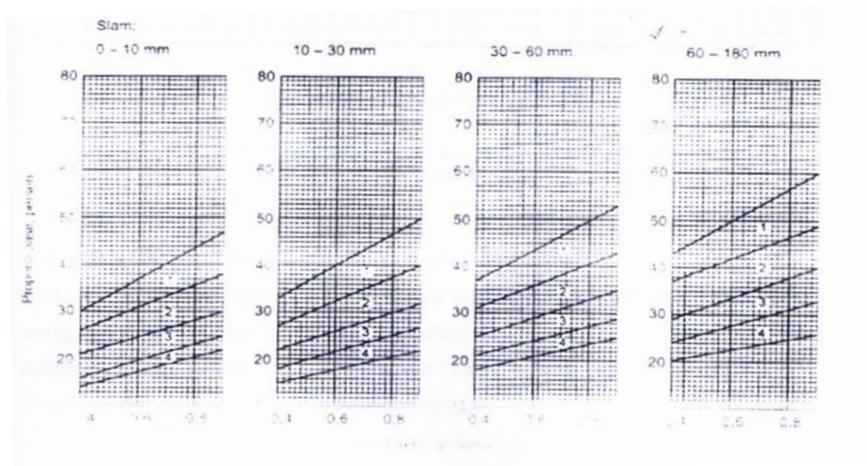
Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Penetapan dilakukan dengan memperlihatkan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi halus didapat dari grafik 2.12, 2.13, 2.14 dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



Gambar 2. 12 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 10 mm



Gambar 2. 13 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran maksimum 20 mm



Gambar 2. 14 Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

### 2.6.12 Berat Jenis Relatif Agregat Campuran/Gabungan

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$Bj \text{ Camp} = \frac{P}{100} \times Bj \text{ ag. hls} + \frac{K}{100} \times Bj \text{ ag. ksr} \quad (2.25)$$

Dengan :

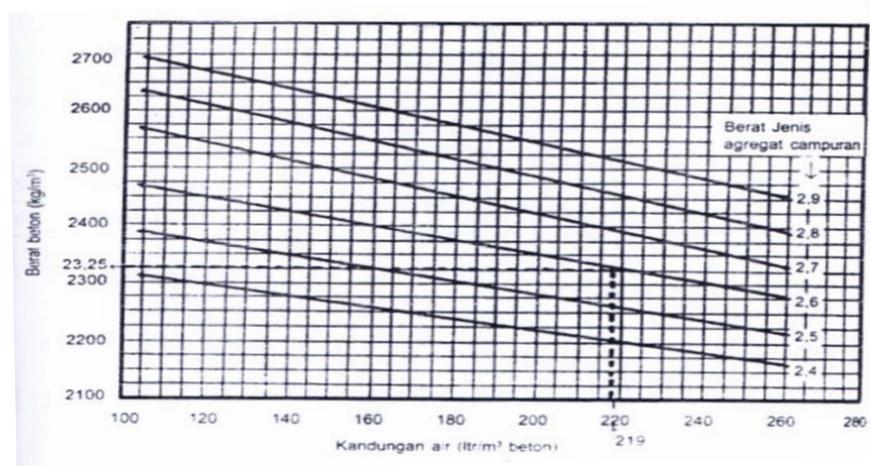
- Bj camp : berat jenis agregat campuran  
 Bj ag hls : berat jenis agregat halus  
 Bj ag ksr : berat jenis agregat kasar  
 P : persentase ag halus terhadap ag campuran  
 K : persentase ag kasar terhadap ag campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,5 untuk agregat tidak dipecahatau alami, untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70.

### 2.6.13 Berat Isi Beton (Basah)

Dengan data berat jenis agregat campuran dari Langkah 18 dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dengan grafik 2.6 dapat diperkirakan berat jenis betonnya. Caranya adalah sebagai berikut :

1. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 17 dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada grafik 2.6.
2. Kebutuhan air yang diperoleh padalangkah (11) dimasukkan dalam grafik 2.6, kemudian dari nilai ini ditarik vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yangdibuat diatas.
3. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai beratjenis beton.



Gambar 2. 15 Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton

#### 2.6.14 Berat Agregat Campuran/Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen

$$W_{\text{camp}} = W_{\text{beton}} - A - S \quad (2.26)$$

Dengan :

$W_{\text{camp}}$  : kebutuhan agregat campuran (kg)

$W_{\text{beton}}$  : berat beton ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$A$  : kebutuhan air (liter)

$S$  : kebutuhan semen (kg)

#### 2.6.15 Kebutuhan Agregat Halus (Pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{\text{pasir}} = \frac{P}{100} \times W_{\text{camp}} \quad (2.27)$$

Dengan :

$W_{\text{pasir}}$  : kebutuhan agregat pasir (kg)

$W_{\text{camp}}$  : kebutuhan agregat campuran (kg)

$P$  : persentase pasir terhadap campuran

#### 2.6.16 Kebutuhan Agregat Kasar (Kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{\text{kerikil}} = W_{\text{camp}} - W_{\text{pasir}}$$

- Dengan :
- W kerikil : kebutuhan agregat kerikil (kg)
- W pasir : kebutuhan agregat pasir (kg)
- W camp : kebutuhan agregat campuran (kg)

### 2.6.17 Koreksi Proporsi Campuran

Setelah rancangan campuran beton selesai , perlu di ingat bahwa yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi apa adanya (keadaan jenuh kering-muka) , sehingga harus ada penyesuaiann dengan rancangan yang sudah di buat , ,maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya.koreksi harus dilakukan minimum satu kali sehari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$1. \text{ Air} : A - \frac{A_h - A_1}{100} \times B - \frac{A_k - A_2}{100} \times C \quad (2.29)$$

$$2. \text{ Agregat halus} : B + \frac{A_h - A_1}{100} \times B \quad (2.30)$$

$$3. \text{ Agregat kasar} : C + \frac{A_h - A_1}{100} \times C \quad (2.31)$$

Dengan :

- A : jumlah kebutuhan air (liter/m<sup>3</sup>)
- B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m<sup>3</sup>)
- C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m<sup>3</sup>)
- A<sub>b</sub> : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)
- A<sub>k</sub> : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)
- A<sub>1</sub> : kadar air pada agregat halus jenuh muka (%)
- A<sub>2</sub> : kadar air pada agregat kasar jenuh kering muka (%)

Untuk mempermudah pelaksanaan, berikut ini diberikan table 2.23 formulir perencanaan adukan beton di bawah ini :

Tabel 2. 22 Formulir perencanaan campuran beton menurut standar pekerjaan umum (SK-SNI-T-15-1990-03)

No.	URAIAN	TABEL/GRAFIK/	NILAI	Satuan
		PERHITUNGAN		
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur	Ditetapkan	....	Mpa

	28 hari				
2	Deviasi standar (s)		Ditetapkan	....	Mpa
3	Nilai tambah / Margin (m)		(Tabel2.8)	....	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata yang di rencanakan		Ditetapkan	....	Mpa
5	Jenis semen		(1) +(3)	....	
6	Jenis agregat	Kasar	Ditetapkan	....	
		Halus	Ditetapkan	....	
7	Faktor air semen maksimum		gambar2.6	....	
8	digunakan Faktor air semen yang rendah		tabel 2.10	....	
9	nilai Slump		(7) atau (8)	....	Mm
10	Ukuran maksimum butiran agregatkasar		tabel 2.13	....	Mm
11	kebutuhan air		Ditetapkan	....	Ltr
12	Jumlah Semen porland		tabel 2.13	....	Kg
13	Jumlah Semen porland minimum		(11)/(8.b)	....	Kg
14	penyesuaian jumlah air		(12) atau (13)	....	Ltr
15	penyesuaian jumlah faktor air-semen		Tetap	....	
16	Zona/ daerah gradasi agregat halus		Tetap	....	
17	Persen agregat halus terhadap campuran		(Tabel 2.16)	....	%
18	Berat jenis agregat campuran		(gambar2.7.b)	....	
19	Berat beton		Ditetapkan	....	kg/m <sup>3</sup>
20	Kebutuhan Campuran		(Gambar 2.8)	....	kg/m <sup>3</sup>

	pasir dan kerikil			
21	kebutuhan agregat halus (pasir)	$(18)-(11)-(13.b)$	....	$\text{kg/m}^3$
22	Kebutuhan agregat kasar (kerikil)	$((16)/100)x(19)$	....	$\text{kg/m}^3$

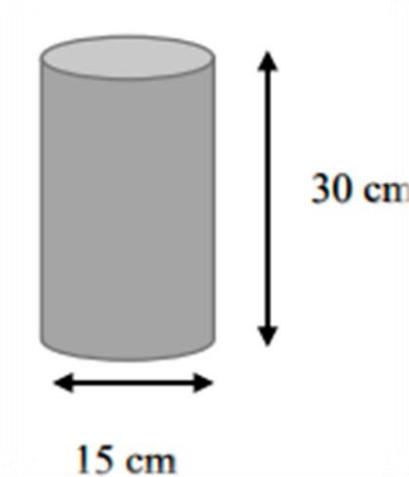
(Sumber : Formulir perencanaan campuran beton menurut standar pekerjaan umum (SK-SNI-T-15-1990-03))

## 2.7 Mutu Beton $f'_c$ 20,75 Mpa

Mutu beton  $f'_c$  adalah mutu beton yang mengacu pada standar ACI (*America Concrete Institute*) untuk standar di Indonesia sendiri mengacu pada SNI 03-1974-1990 (Standar Nasional Indonesia). Metoda ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian ini untuk menentukan kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium maupun di lapangan.

### 2.7.1 Kuat Tekan Beton

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. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang dan Salmon, 1990). Kuat tekan beton diperoleh dengan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang ditekan pada sisi yang berbentuk lingkaran.



Gambar 2. 16 Benda uji kuat tekan beton

Besarnya kuat tekan benda uji dapat dihitung dengan rumus :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2.32)$$

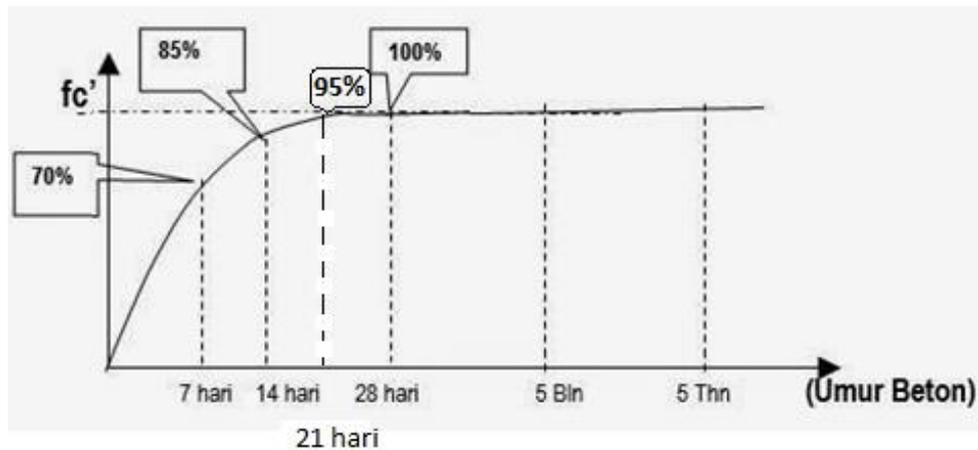
keterangan :

$f'_c$  : kuat tekan beton (Mpa)

$P$  : beban maksimum (kg)

$A$  : luas penampang benda uji ( $\text{cm}^2$ )

Kuat tekan beton (normal) naik secara cepat sampai umur 28 hari, seterusnya kenaikan kuat tekan berlangsung lambat dalam hitungan bulan atau tahun, sehingga pada umumnya kekuatan beton dipakai sebagai acuan pada umur 28 hari. Kuat tekan beton umur 7 hari sekitar 70% terhadap umur beton 28 hari sedangkan kuat tekan beton umur 14 hari sekitar 85% terhadap beton 28 hari. Dari hasil penelitian ternyata kekuatan beton terus naik sampai umur 50 tahun.



Gambar 2. 17 Grafik umur beton

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penelitian kekuatan beton. Semakin rendahnya perbandingan air-semen, semakin tinggi kekuatan tekan. Jumlah air tertentu diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi didalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (mudahnya beton untuk dicorkan) akan tetapi menurunkan kekuatan. suatu ukuran dari pengerjaan beton ini diperoleh dengan percobaan slump.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain oleh perbandingan air semen dan tingkat kepadatannya, faktor penting lainnya yaitu :

1. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar dibandingkan penggunaan kerikil halus dari sungai.
3. Efisiensi dari perawatan (curing), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji.

4. Suhu pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kut hancur akan tetapakan tetap rendah untuk waku yang lama.
5. Umur pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai bertahun-tahun.

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis :

- a. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non struktur. Misalnya, dinding bukan penahan beban.
- b. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur yang berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20,75 MPa. Misalnya kolom, balok, dinding yang menahan beban dan sebagainya.
- c. Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik dulu sebelum diberi beban.
- d. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus misalnya gedung bertingkat sangat banyak.

### 2.7.2 Regangan (*Strain*)

Perubahan relatif dalam ukuran atau bentuk suatu benda karena pemakaian tegangan disebut regangan (*strain*). Regangan adalah suatu besaran yang tidak memiliki dimensi karena rumusnya yaitu meter per meter. Definisi regangan berdasarkan rumusnya adalah perubahan Panjang  $\Delta L$  dibagi dengan panjang awal benda  $L$ . secara matematis dapat ditulis :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.33)$$

keterangan :

karena merupakan hasil bagi dari dua besaran yang berdimensi sama, maka regangan tidak memiliki satuan.

$e$  : regangan

$\Delta L$  : pertambahan panjang

$L_0$  : panjang mula-mula

### 2.7.3 Tegangan (*Stress*)

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan oleh benda untuk kembali ke bentuk semula. Atau gaya  $F$  yang diberikan pada benda dibagi dengan luas penampang  $A$  tempat gaya tersebut bekerja. Tegangan dirumuskan oleh :

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.34)$$

keterangan :

$\sigma$  : tegangan

$F$  : gaya

$A$  : luas penampang

Tegangan merupakan sebuah besaran skalar dan memiliki satuan  $\text{N/m}^2$  atau Pascal (Pa).  $F$  adalah gaya,  $N$  dan  $A$  adalah luas penampang ( $\text{m}^2$ ). Selain itu, Tegangan dapat dikelompokkan menjadi :

a. Tegangan normal

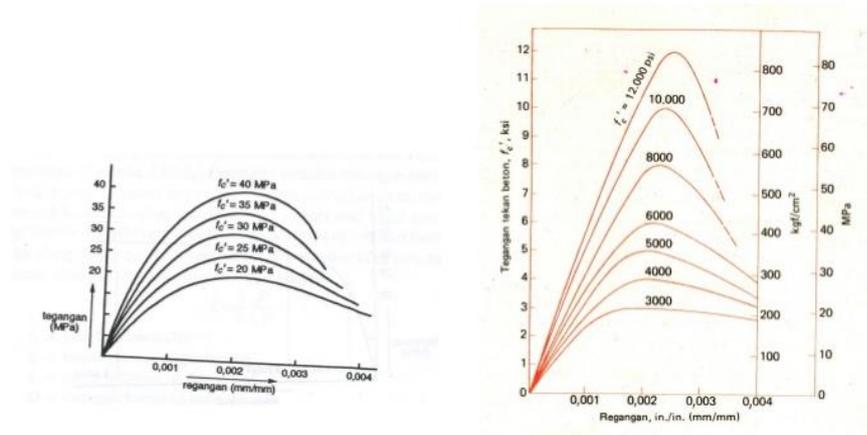
Tegangan normal yaitu intensitas gaya normal per unit luasan . Tegangan normal dibedakan menjadi tegangan normal tekan atau kompresi dan tegangan normal tarik. Apabila gaya-gaya dikarenakan pada ujung-ujung batang sedemikian rupa sedemikian rupa sehingga batang dalam kondisi tertarik, maka terjadi tegangan tarik pada batang, jika batang dalam kondisi tertekan maka terjadi tegangan tekan.

b. Tegangan geser

Tegangan geser adalah gaya yang bekerja pada benda sejajar dengan penampang.

c. Tegangan volume

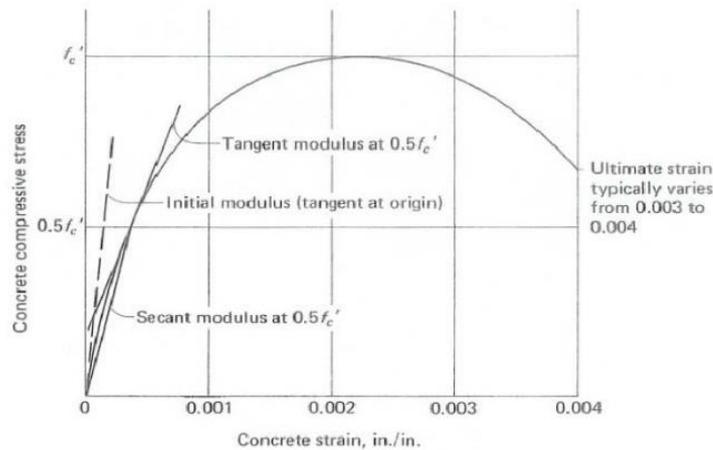
Tegangan volume adalah gaya yang bekerja pada suatu benda yang menyebabkan terjadinya perubahan volume pada benda tersebut tetapi tidak menyebabkan bentuk benda berubah.



Gambar 2. 18 Grafik regangan dan tegangan beton

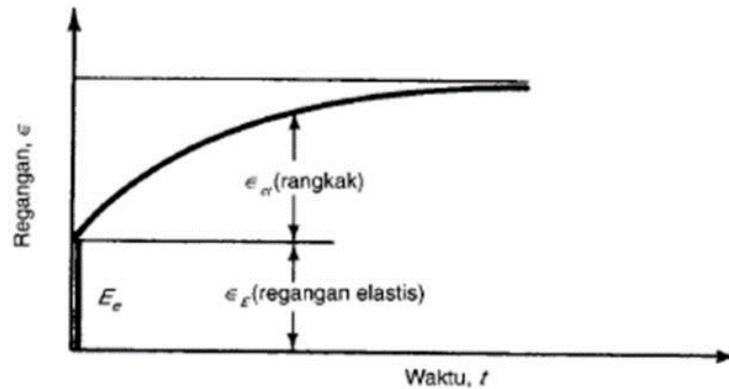
#### 2.7.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastis beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastis juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. (Chu-kia wang Charles G. Salmon, 1986:14).



Gambar 2. 19 Grafik modulus elastisitas terhadap kuat tekan beton rangkak dan susut

Rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*) adalah deformasi yang tergantung dari waktu, dengan jarak menimbulkan kerisauan yang terbesar bagi perencana yang tergantung disebabkan kurang tepatnya dan kekurangan pengetahuan tentang rangkak dan susut. (Chu-kia wang Charles G. Salmon, 1986:18)



Gambar 2. 20 Grafik rangkak dan susut terhadap waktu

a. Rangkak

Rangkak (creep) atau lateral material flow adalah perubahan bentuk dibawah beban tetap. Pemberian beban pada beban pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut dengan rangkak. Besarnya deformasi ini tergantung pada faktor tegangan kekuatan pada waktu pembebanan tetapi dipengaruhi juga oleh faktor-faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen dan bahkan kondisi iklim. Jika beban kemudian diangkat, beton akan mengalami recovery elastis yang langsung. Perpanjangan rangkak (creep recovery) adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula.

b. Susut

Penyusutan merupakan salah satu penyebab utama dari retak pada bangunan. Susut terjadi pada semua bahan yang memakai semen sebagai pengikat. Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang terjadi ketika air masuk atau keluar dari gel semen, atau ketika air mengubah keadaan fisik atau kimiawinya dalam pasta. Susut dari beton adalah jauh lebih kecil dibandingkan dengan susut dari pasta, karena pengaruh perlawanan dari agregat dan bagian lainnya yang tidak mengering. (Paul Nugraha, 2007:197)

Faktor-faktor yang mempengaruhi susut adalah :

- 1) Kadar agregat
- 2) Kadar air
- 3) Kadar semen dan bahan kimia pembantu

- 4) Kondisi perawatan dan penyimpanan
- 5) Pengaruh ukuran

Besarnya rangkai berbalik dengan kekuatan beton. Rangkai akan lebih besar jika faktor air semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh penyusutan.