

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Beton**

Beton dalam bahasa Inggris disebut sebagai *concrete*. Kata “*concrete*” berasal dari Bahasa Latin yaitu “*concretus*” yang berarti padat. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000). Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Beton merupakan material yang menyerupai batu diperoleh dengan membuat suatu campuran. Campuran dengan proporsi tertentu dari semen, pasir dan agregat lainnya dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Salah satu kekuatan beton adalah termasuk bahan yang berkekuatan tinggi. Bila dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya dapat sama dengan batuan alami (Tjokrodimuljo, 1996).

Beton telah lama digunakan sebagai material konstruksi karena kelebihanannya seperti kemudahan dalam menemukan material penyusun dan serta sifat properties beton yang sangat baik. Untuk mendapatkan kekuatan maksimum pada beton maka diperlukan pengenalan terhadap proses pembuatan beton dan sifat material penyusun beton (Popovics, 1992).

#### **2.2 Sifat – Sifat Campuran Beton**

##### **2.2.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)**

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk dikerjakan, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan maupun sifatnya secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain :

1. Jumlah Air

Makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar untuk dikerjakan.

2. Kandungan semen

Makin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, untuk memperoleh nilai FAS tetap.

3. Gradasi campuran pasir dan kerikil

Jika campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka akan lebih mudah dikerjakan.

4. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat lebih mudah untuk dikerjakan.

5. Butir maksimum

Kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan, makin besar kerikil makin sulit untuk dikerjakan.

6. Cara pemadatan dan alat pamadat

Cara pemadatan adukan menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan dengan dipadatkan menggunakan tangan.

*Workability* juga mengandung makna bahwa adukan mudah untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan. Meski demikian, adukan tersebut harus merupakan suatu massa yang homogen dan tidak terjadi pemisahan antara bahan penyusun. Selain itu, beton juga harus memiliki sifat mobilitas yang baik atau mudah mengalir dalam cetakan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan *slump*. Percobaan dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pematat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm. Makin besar nilai *slump* berarti adukan semakin encer dan mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* berkisar antara 5-12,5 cm.

### **2.2.2 Waktu Pengikatan (*setting time*)**

Waktu pengikatan merupakan waktu yang dibutuhkan beton untuk merekatkan antara bahan pembentuk beton untuk mengeras beton. Dengan mengurangi kadar air hingga tingkat tertentu, maka waktu pengikatan dapat dipercepat, sehingga beton lebih cepat kering, dan bahan cetakan beton dapat merekat satu sama lain. Waktu pengikatan beton yang cepat sangat membantu untuk meminimalkan waktu konstruksi dapat mempercepat waktu penyelesaian proyek.

### **2.2.3 Kedap Air**

Beton biasanya memiliki rongga yang disebabkan oleh gelembung udara yang terbentuk selama atau setelah selesainya pencetakan, atau merupakan ruangan yang berisi air yang tidak tercampur sempurna dengan semen selama pengerjaan. Jika suhu air naik, pasti air akan menguap. Kantong udara terbentuk di beton. Rongga udara inilah tempat air masuk dan keluar dari beton.

### **2.2.4 Keuntungan dan Kerugian Menggunakan Beton**

#### **a. Keuntungan menggunakan beton**

1. Dibandingkan dengan material lain relatif lebih ekonomis karena menggunakan material lokal (kecuali semen).
2. Memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan korosi dan tahan cuaca.
3. Beton segar mudah ditangani dan dapat dicetak sesuai bentuk dan ukuran yang dibutuhkan, serta cetakannya dapat digunakan kembali.
4. Dikombinasikan dengan batang baja, beton dapat dibuat menjadi struktur berat (koefisien muai dari keduanya hampir sama).
5. Beton segar bisa disemprotkan ke permukaan beton lama, dan retakan kecil juga bisa diperbaiki untuk diperbaiki.
6. Dapat memompa beton segar untuk dituangkan di tempat yang sulit.
7. Tahan lama dan tahan api, hampir tidak ada perawatan.
8. Mampu membawa benda berat.

#### **b. Kerugian menggunakan beton**

1. Kekuatan tarik rendah sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberi tulangan baja.
2. Beton segar akan menyusut bila kering, sedangkan beton keras akan mengembang bila basah.
3. Beton keras akan mengembang dan menyusut karena perubahan suhu, sehingga perlu dilakukan sambungan *expansionjoin* untuk mencegah terjadinya retak akibat perubahan suhu.
4. Beton tidak kedap air secara sempurna sehingga air yang mengandung garam dapat merusak beton.
5. Beton bersifat getas (daktilitas rendah) sehingga perlu direncanakan secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi daktai terutama pada stuktur tahan gempa.
6. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
7. Berat dan daya pantul suara besar.

### 2.2.5 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa berat jenisnya antara 2,5-2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3-2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam – macam pemakaiannya dapat dilihat pada tabel 2.1 (Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1.00	Non struktur
Beton ringan	1.00 - 2.00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2.30 - 2.50	Struktur
Beton berat	> 3.00	Perisai sinar X

### 2.2.6 Modulus Elastis

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \quad (2. 1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ untuk beton normal} \quad (2. 2)$$

Dimana,

$E_c$  = modulus elastisitas beton, MPa.

$W_c$  = berat jenis beton,  $\text{kg/m}^3$ .

$f'_c$  = kuat tekan beton, MPa.

### 2.2.7 Bahan Bahan Campuran Beton

#### A. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain

Semen portland adalah material halus yang terdiri dari bahan-bahan campuran utama seperti kapur, silika, aluminium, besi, dan gipsum. Semen disebut juga bahan pengikat hidrolis karena jika semen berhubungan dengan air akan menjadi bahan campuran yang aktif secara kimiawi. Dalam campuran beton, pasta terbuat dari campuran semen dan air kemudian akan mengeras, dan dalam keadaan terikat agregat akan menghasilkan beton yang keras dan kuat. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton, penyesuaian harus dilakukan terhadap rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Oleh karena itu, meskipun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tetapi sangatlah penting karena berperan sebagai pengikat (K. PUPR, 2015).

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur ( $\text{CaO}$ ) sekitar 60%-65%, silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sekitar 7%-12%.

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

#### 1. Sifat Fisika Semen Portland

Sifat – sifat fisika semen Portland meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekealan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar.

#### 2. Sifat – Sifat Kimiawi

Sifat-sifat kimiawidari semen Portland meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (*insoluble* residu), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen. Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu :

- a. Trikalsium Silikat ( $3\text{C}_a\text{O SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{S}$ .
- b. Dikalsium Silikat ( $2\text{C}_a\text{O SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_2\text{S}$ .
- c. Trikalsium Aluminat ( $3\text{C}_a\text{O Al}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{A}$ .
- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ( $4\text{C}_a\text{O Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_4\text{AF}$

#### 1. Jenis Semen Portland Type I

Jenis semen portland type I mungkin yang paling familiar disekitar Anda karena paling banyak digunakan oleh masyarakat luas dan beredar di pasaran. Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan Semen Portland Type I diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya. Karakteristik Semen Portland Type I ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

#### 2. Jenis Semen Portland Type II

Kondisi letak geografis ternyata menyebabkan perbedaan kadar asam sulfat dalam air dan tanah dan juga tingkat hidrasi. Oleh karena itu, keadaan tersebut mempengaruhi kebutuhan semen yang berbeda. Kegunaan Semen Portland Type II pada umumnya sebagai material bangunan yang letaknya dipinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, dan bendungan. Karakteristik Semen Portland Type II yaitu tahan terhadap asam sulfat antara 0,10 hingga 0,20 persen dan hidrasi panas yang bersifat sedan.

### 3. Jenis Semen Portland Type III

Lain halnya dengan tipe I yang digunakan untuk konstruksi tanpa persyaratan khusus, kegunaan semen portland type III memenuhi syarat konstruksi bangunan dengan persyaratan khusus. Karakteristik Semen Portland Type III diantaranya adalah memiliki daya tekan awal yang tinggi pada permulaan setelah proses pengikatan terjadi, lalu kemudian segera dilakukan penyelesaian secepatnya. Jenis semen Portland type III digunakan untuk pembuatan bangunan tingkat tinggi, jalan beton atau jalan raya bebas hambatan, hingga bandar udara dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat. Ketahanannya Portland Type III menyamai kekuatan umur 28 hari beton yang menggunakan Portland type I.

### 4. Jenis Semen Portland Type IV

Karakteristik Semen Portland IV adalah jenis semen yang dalam penggunaannya membutuhkan panas hidrasi rendah. Jenis semen portland type IV diminimalkan pada fase pengerasan sehingga tidak terjadi keretakan. Kegunaan Portland type IV digunakan untuk dam hingga lapangan udara.

### 5. Jenis Semen Portland Type V

Karakteristik Semen Portland Type V untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap kadar asam sulfat tingkat tinggi lebih dari 0,20 persen. Kegunaan Semen Potrtland Type V dirancang untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti misalnya rawa-rawa, air laut atau pantai, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan,

konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir. Tetapi dalam penelitian pemilihan jenis semen Portland type 1 dilakukan untuk mengetahui pengaruh rendaman air yang mengandung garam terhadap beton yang biasa di gunakan untuk pembangunan pembangunan dimasyarakat.

## B. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen agar bisa berfungsi sebagai bahan pengikat. Serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mempermudah pencampuran agregat dan semen serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton, dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling. Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Harus bersih, tidak boleh mengandung minyak asam, alkali dan zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton.
2. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.



Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan. Tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai bahan utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

### C. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Agregat terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah atau pecahan dari *blast furnace*)
2. Agregat halus (pasir alami atau batuan)

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak didalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton. Dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai baton tersebut.

#### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000).

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap desintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen. Jenis-jenis agregat kasar yang umum yaitu :

a. Batu pecah alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

b. Kerikil alami

Kerikil ini didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

c. Agregat kasar buatan

Kemungkinan pemakaian benda limbah padat buangan sebagai bahan pengganti akhir-akhir ini banyak dibicarakan. Hal ini sebenarnya bukan konsep yang baru. Limbah padat ini dapat berupa kaleng-kaleng bekas, bahan-bahan bekas bongkaran bangunan maupun sampah padat dari hasil limbah industri maupun limbah rumah tangga. Sebelum barang ini dipakai sebaiknya ditinjau aspek ekonomi keuntungan penggunaan bahan-bahan ini dibandingkan dengan pemakaian agregat alami. Harus pula dipertimbangkan aspek teknisnya, yang meliputi pengerjaan dan kekuatan beton yang akan dihasilkan.

d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma dan neutron. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini, misalnya batu pecah, barit, magnetik dan limonit. Sifat-sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung pada kerapatan, hampir tidak bergantung

pada seklor air sampai semennya. Dalam hal demikian, kerapatan yang tinggi merupakan satu-satunya kriteria disamping kerapatan dan kekuatannya.

Sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat, mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki potensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi.

## 2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus ialah agregat yang semua butir menembus ayakan 4,8 mm (5 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 dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu :

### a. Pasir galian

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.

### b. Pasir Sungai

Diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan, daya lekat antar butir agak kurang, karena butirannya bulat. Karena butirannya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok.

### c. Pasir Laut

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

## 2.2.8 Bahan Tambah

Bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

### 2.2.8.1 Bambu

Bambu merupakan salah satu hasil hutan non kayu yang sangat penting bagi pembangunan di Indonesia. Bambu telah menjadi bahan baku produk seperti mebel, anyaman, ukuran, pagar, perabotan rumah tangga, termasuk alat musik dan konstruksi. Salah satu jenis bambu yang banyak dipergunakan untuk keperluan yaitu bambu betung (*backer*). Bambu betung telah digunakan untuk konstruksi bangunan rumah, jembatan, tiang pancung. Bambu betung merupakan bambu yang ulet dan kuat namun setiap material bambu memiliki kelemahan yang rentan terhadap serangan organisme perusak, maka dari itu pemilihan bambu dengan kualitas bagus sangat penting. Bambu betung merupakan jenis bambu yang mempunyai rumpun agak sedikit rapat, tinggi buluh dapat mencapai 20 m dengan garis tengah sampai 20 cm. pada buku – buku sering terdapat akar – akar pendek dan menggerombol, panjang ruas berkisar antara 40 – 60 cm. dinding buluh cukup tebal 1 – 1,5 cm, Bambu ini akan bertumbuh baik bila tanahnya cukup subur, terutama di daerah yang beriklim tidak terlalu kering (Maulana, 2020).

Bambu betung masuk dalam keluarga *graminae* kelas *monocotiledonae*. Berat jenis dan kerapatan kayu atau bambu merupakan faktor – faktor yang akan menentukan sifat – sifat fisika dan mekanikanya. Berat jenis bambu berkisar antara 0,5 sampai 0,9 gram tiap sentimeter kubik. Variasi berat jenis bambu terjadi baik pada arah vertikal maupun horizontal. Batang bambu bagian luar mempunyai berat jenis lebih tinggi daripada bagian dalam. Sedangkan dalam arah memanjang, berat jenis meningkat dari pangkal ke ujung. Berat jenis mempunyai hubungan terbalik dengan kadar air. Semakin tinggi berat jenis bambu, semakin kecil kadar airnya (Liese, 1980).

Faktor – faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah :

- a. Kekuatan tarik bambu akan menurun dengan meningkatnya kandungan air

- b. Bagian arah melintang bahan. Kekuatan Tarik maksimum bagian luar batang bambu paling besar dibandingkan dengan bagian – bagian yang lain. Kekuatan tarik maksimum yang besar diiringi oleh persentase serabut sklerenkim yang besar pula.

#### **2.2.8.2 Karakteristik Bambu Betung**

Karakteristik mekanik bambu ini menjadikan bambu mempunyai peluang untuk digunakan sebagai serat pada beton. Selama ini banyak digunakan serat yang terbuat dari serat besi atau baja sebagai serat pada campuran beton. Selain serat besi, jenis serat lain juga banyak digunakan adalah serat plastik dan serat yang terbuat dari bahan alami lainnya. Mekanisme kerja serat dalam memperbaiki sifat beton yaitu dengan cara mendekatkan jarak antar serat dalam campuran beton akan membuat beton lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak. Kerja serat akan lebih efektif bila diletakkan berjajar dan seragam, tidak tumpang tindih sehingga dapat meningkatkan perilaku keruntuhan dari beton.

Bambu petung muda memiliki perawakan dengan kulit batang berwarna hijau yang dilapisi oleh lapisan seperti bulu berwarna kuning, terutama pada bagian - bagian pangkal dan tepat terletak di atas buku, sedangkan pada bagian tengah sampai ujung batang dilapisi dengan warna putih kecokelatan. Sementara pada bambu tua akan dijumpai dengan warna hijau kekuningan yang dilapisi oleh bercak - bercak putih.



Gambar 2. 1 Bambu Betung

Berdasarkan hasil sensus menunjukkan bahwa bambu petung memiliki persentase sebaran tumbuh dengan persentase jumlah rumpun 9,78% dan jumlah batang 8,79% dari total keseluruhan jumlah rumpun dan batang yang ditemukan. Jumlah batang dalam setiap rumpun bambu petung yaitu dengan rata-rata jumlah rumpun 18,33 batang/rumpun. Batang bambu petung ini memiliki ciri morfologi dengan panjang ruas bagian pangkal 39,4-45,8 cm, bagian tengah 46-49 cm dan bagian ujung 46,4-57 cm, diameter batang pada bagian pangkal 6,69-9,25 cm, bagian tengah 5,79-8,32 cm, dan bagian ujung 5,06-7,99 cm, ketebalan dinding batang pada bagian pangkal 1,62-2 cm, bagian tengah 1,16-1,57 cm, dan bagian ujung 0,85-1,09 cm (Wulandari, 2019).

### **2.2.8.3 Manfaat Bambu Betung**

Pemanfaatan bambu betung sebagai bahan bangunan telah dilakukan sejak lama, terutama untuk tiang atau penyangga bangunan. Selain itu, juga digunakan untuk keperluan reng atau usuk dibuat dengan cara membelahnya menjadi dua. Bambu betung dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku briket arang, karena mudah didapatkan dan relatif murah harganya jika dibandingkan menggunakan bahan lain. Salah satu cara untuk membuat briket arang yaitu, bahan baku di arangkan terlebih dahulu lalu dihaluskan dengan cara ditumbuk atau digiling, kemudian dicampur dengan perekat (Tapioka) setelah itu dicetak dengan cara pengempaan yang tinggi agar menghasilkan briket yang bermutu baik. Perekat yang digunakan untuk menghasilkan briket yang bermutu baik sebanyak 4% karena menghasilkan kadar air, kadar abu dan nilai kalor yang memenuhi standar (Arsad, 2015).

Bambu adalah tanaman yang cepat berkembang. Bambu menghasilkan oksigen lebih besar 30% dari pada hutan kayu pada wilayah yang sama. Bambu memiliki fungsi mencegah erosi, mengembalikan kondisi tanah yang rusak, juga menetralkan racun pada tanah yang terkontaminasi. Bambu petung sendiri bisa difungsikan sebagai penyalur air minum ataupun pengairan untuk pertanian. Konstruksi yang menggunakan bambu petung cocok untuk daerah-daerah rawan gempa. Juga, sebagai penyangga bangunan karena mempunyai buluh yang tebal, sehingga lebih kuat.

Bambu petung mempunyai sifat elastis. Strukturnya mempunyai ketahanan tinggi terhadap angin maupun gempa. Jembatan sederhana di wilayah pedalaman, banyak yang menggunakan bambu ini karena sifatnya yang elastis.

Bambu petung baik digunakan untuk kerajinan dengan perlakuan pengawetan sebelumnya, seperti *furniture*. Juga, dapat digunakan untuk andang-andang perahu atau rangka gudang tembakau. Bambu petung yang telah diproses menjadi bambu laminasi memiliki ketahanan dari serangan rayap maupun jamur.

#### **2.2.8.4 Kadar Air Bambu Betung**

Pengujian kadar air dilakukan dengan cara menimbang berat awal bambu (BB) lalu dimasukkan dalam oven dengan suhu  $103 \pm 2$  °C sampai kadar air kering tanur (BKT) (Latifah et al., 2021).

Besarnya kadar air dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$KA = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

KA : Kadar Air (%)

BB : Berat Basah (gr)

BKT : Berat Kering Tanur (gr)

Menurut (Liese, 1980) yang menyatakan kadar air bambu kering udara berkisar antara 11,07% hingga 15,47%.

#### **2.2.8.5 Serat Bambu**

Penggunaan bambu sebagai material struktur sangat tepat karena bambu cukup ringan dan lentur sehingga bangunan dari struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa. Selain ringan dan lentur bambu mempunyai kuat tarik yang cukup besar bahkan untuk beberapa jenis bambu kuat tariknya melebihi kuat tarik baja serta memiliki elastisitas yang cukup tinggi.

Serat alami seperti halnya serat alami dari bambu memiliki kerapatan rendah, Harga relatif murah dan konsumsi energi rendah, serta dapat menetralkan CO<sub>2</sub> dan

memproduksi O<sub>2</sub> tiga kali lebih banyak dari tanaman lainnya. Hal yang paling istimewa dari serat bambu mempunyai daktilitas yang tinggi, selain kekuatan yang dapat dipertandingkan dengan material lain seperti baja.

Beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive*.

Penggunaan konstruksi beton diminati karena beton memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, seperti ketahanannya terhadap api, awet, kuat tekan yang tinggi dan dalam pelaksanaannya mudah untuk dibentuk sesuai dengan bentuk yang dikendaki. Tetapi konstruksi beton juga mempunyai kelemahan-kelemahan, antara lain kemampuan menahan tarik yang rendah sehingga konstruksinya mudah retak jika mendapatkan tegangan tarik.

Nilai kuat tarik beton sangat kecil berkisar antara 9% - 15% dari nilai kuat tekannya. Kecilnya nilai kuat tarik dari beton inilah yang merupakan kelemahan terbesar dari beton, sehingga untuk menambah kuat tarik beton dapat dilakukan dengan diberi tulangan atau serat yang dapat meningkatkan kuat tarik dan mampu menahan gaya tarik. Adapun kelebihan dan kekurangan menggunakan beton serat,

Berikut adalah kelebihan dalam penggunaan beton serat yaitu:

1. Memiliki kuat tarik belah yang lebih tinggi sehingga tahan terhadap gaya tarik akibat pengaruh iklim, temperature dan perubahan cuaca yang dialami oleh permukaan yang luas.
2. Penambahan serat pada beton dapat mengurangi retak-retak yang timbul akibat beban atau tekanan.
3. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar lokal, kecuali semen portland.
4. Biaya perawatan yang cukup murah, karena termasuk tahan aus dan tahan terbakar.

Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kelemahan yaitu:

1. Penambahan material serat pada beton mengakibatkan beton menjadi sulit dipadatkan.



2. Penambahan material serat pada beton menyebabkan waktu ikat awal pada beton lebih cepat.
3. Penambahan material serat pada beton umumnya akan menurunkan kekuatan tekan pada beton, tapi penambahan serat yang optimal akan meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur pada beton.

## **2.3 Bahan Material Penyusun Beton**

### **2.3.1 Agregat**

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan menentukan besarnya mutu beton. Agregat untuk beton adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70 % volume beton sehingga dapat pengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.

Dalam praktek agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk besar butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus, bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik. Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

#### **a. Agregat Kasar**

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (Standar Nasional Indonesia, 2000). Agregat kasar ialah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4,75 mm.

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.

2. Bersifat kekal, artinya tidak boleh pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus di cuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat – zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dengan variasi sesuai standar gradasi.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang didapat dari pelapukan batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari pemecahan batu yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga – rongga antara agregat kasar.

Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah :

1. Agregat halus terdiri dari butir – butir tajam dan keras.
2. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.
4. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
5. Modulus halus butir antara 1,5–3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Menurut ( Tjokrodimuljo, 2007) beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan agregat untuk pekerjaan campuran beton, antara lain:

1. Bentuk Agregat

Bentuk agregat dipengaruhi dua sifat, yaitu kebulatan dan sferikal. Kebulatan atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Sedangkan sferikal adalah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir. Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan

menjadi : agregat bulat, bulat sebagian, bersudut, panjang dan pipih.

## 2. Tekstur Permukaan

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada dasarnya tekstur permukaan dapat dibedakan menjadi : sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang. Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang menyebabkan kehalusan permukaan agregat.

## 3. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat dan massa air dengan volume yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah yaitu, berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

## 4. Berat Satuan dan Kepadatan

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau  $\text{ton/m}^3$  . Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya ialah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbuka.

## 5. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum butiran agregat biasanya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, 40 mm.

## 6. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi dari butiran agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi maka akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi.

## 7. Kadar Air Agregat

Kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu benar-bener tidak berair atau dapat secara penuh menyerap air,
- b. Kering udara, yaitu butir-butir agregat kering permukaanya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya,
- c. Jenuh kering muka, yaitu tidak air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton,
- d. Basah yaitu butir-butir mengandung banyak air di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah air.

## 8. Kekuatan dan Keuletan Agregat

Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat disebabkan dua hal yaitu karena terdiri bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat kuat.

### **2.3.2 Semen Portland**

Semen portland adalah bahan hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982), gips disini berfungsi sebagai penghambat pengikatan antara semen dan air.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat yang akan mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Persentase kandungan semen dalam beton yaitu 10 % dari berat campuran beton, walaupun hanya 10 % tapi semen sangat penting karena semen berfungsi untuk mengikat agregat halus dan agregat kasar pada beton.

Reaksi kimia antara semen Portland dengan air menghasilkan senyawa kimia yang disertai pelepasan panas. Pelepasan panas ini akan berpengaruh pada kondisi

beton yaitu terhadap penyusutan ketika beton mengeras dan kecenderungan retak pada beton. Reaksi kimia semen dengan air dibedakan menjadi dua, yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Periode pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis ke keadaan pengerasan, sedangkan periode pengerasan merupakan periode penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai.

Reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air yang ditimbulkan akibat pencampuran menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Menurut (Murdock, 1986), ada 4 (empat) oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu:

1. Trikalsium silikat ( $C_3S$ )

Senyawa ini bila terkena air akan langsung terhidrasi (proses reaksi semen dengan air), dan menghasilkan panas. Panas akan berpengaruh pada kecepatan pengerasan semen sebelum hari ke-14.

2. Dikalsium silikat ( $C_2S$ )

Senyawa ini bila bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir.  $C_2S$  juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan juga mengurangi besar susutan pengeringan.

3. Trikalsium aluminat ( $C_3A$ )

Senyawa ini memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. Dalam semen kandungan senyawa ini tidak boleh lebih dari 10 % karena dapat menyebabkan semen lemah terhadap serangan sulfat.

4. Tetrakalsium aluminofert ( $C_4AF$ )

Senyawa ini kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen. Kandungan besi yang sedikit dalam semen putih akan memberikan kandungan  $C_4AF$  yang sedikit dalam semen, sehingga kualitas semen akan bertambah dari segi kekuatannya.

### 2.3.3 Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan

semen, dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30% dari berat semen (Tjokrodimuljo, 2007). Air adalah campuran beton yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang tidak merata.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat standar yang telah ditentukan. Menurut (SNI S-04-1989-F), syarat-syaratnya adalah :

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gr/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 0,5 gr/liter.

## **2.4 Analisa Uji Material Campuran Beton**

Pengujian bahan dilakukan untuk mendapatkan *mix design*. Pengujian bahan bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam bahan tersebut sesuai dengan peraturan. Pemeriksaan karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian bahan penyusun beton :

### **2.4.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar**

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar.

Cara pelaksanaan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut :

1. Peralatan

- a. Timbangan dan neraca
  - b. Satu set saringan : 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (3/8"); No 4 (4,75 mm); No 8 (2,36 mm); No 16 (1,18 mm); No 30 (0,600 mm); No 50 (0,300 mm); No 100 (0,150 mm); No 200 (0,075 mm).
  - c. Oven
  - d. Alat pemisah contoh
  - e. Mesin mengguncang saringan
  - f. Talam-talam
  - g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya
2. Benda Uji
    - a. Agregat halus
    - b. Agregat kasar
  3. Prosedur pengujian
    - a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
    - b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
  3. Perhitungan
 

Hitunglah persentase benda berat uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

#### **2.4.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air**

Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25 °C. Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25 °C. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan

kering pada suhu 25 °C. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut :

- a. Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
  1. Peralatan yang digunakan diantaranya : (1) Keranjang kawat; (2) Tempat air; (3) Timbangan; (4) Oven; (5) Alat pemisah contoh; (6) Saringan no 4 (4,75 mm)
  2. Benda uji Agregat yang tertahan saringan no 4 (4,75 mm)
  3. Prosedur pengujian :
    - (a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
    - (b) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)$  °C sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
    - (c) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang (Bk).
    - (d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama  $24 \pm 4$  jam.
    - (e) Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
    - (f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj).



(g) Letakkan benda uji didalam keranjang goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air ( $B_a$ ).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (2.5)$$

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

Keterangan :

$B_k$  = Berat jenis uji kering oven (gram)

$B_j$  = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

$B_a$  = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

a. Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

1. Peralatan yang digunakan diantaranya : (1) Timbangan; (2) Piknometer; (3) Kerucut perpancung; (4) Batang penumbuk; (5) Saringan no 4 (4,75 mm); (6) Oven; (7) Pengukur suhu; (8) Talam; (9) Bejana tempat air; (10) Pompa hampa udara; (11) Desikator
2. Benda uji : Agregat yang lewat saringan no 4 (4,75 mm)
3. Prosedur pengujian
  - (a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)$  °C sampai berat tetap.
  - (b) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
  - (c) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji

ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.

- (d) Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
- (e) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C.
- (f) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- (g) Timbang piknometer berisi air dan benda uji.
- (h) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)$  °C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- (i) Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (Bk).
- (j) Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu 25 °C (B).
- (k) Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \quad (2.7)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \quad (2.8)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \quad (2.9)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

- Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)  
 500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh  
 (gram)

### 2.4.3 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menemukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Cara pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan : (1) Timbangan; (2) Oven; (3) Talam.
2. Benda uji : (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar.
3. Prosedur pengujian
  - a. Timbang dan catatlah berat talam (W1).
  - b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya(W2).
  - c. Hitunglah berat benda uji ( $W3 = W2 - W1$ )
  - d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  oC sampai beratnya tetap.
  - e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W4)
  - f. Hitunglah berat benda uji kering ( $W5 = W4 - W1$ )
4. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W3 - W5)}{W5} \times 100\% \quad (2. 11)$$

Keterangan :

- W3 = Berat benda uji semula (gram)  
 W5 = Berat benda uji kering (gram)

#### 2.4.4 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu beton semen hidrolik atau adukan. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Cara pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan : (1) Timbangan; (2) Batang penusuk; (3) Alat penakar berbentuk silinder; (4) Sekop atau sendok
2. Benda uji : (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar
3. Prosedur pengujian

a. Kondisi padat

- 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk.
- 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25 x tusukan.
- 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
- 7) Catat beratnya
- 8) Hitung berat isi agregat dengan rumus :

$$M = \frac{(G - T)}{V} \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad (2. 12)$$

- 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus :

$$\text{MSSD} = \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2. 13)$$

b. Kondisi gembur

- 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- 2) Ratakan permukaan dengan batang perata.
- 3) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar sendiri.
- 4) Catat beratnya.
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah di atas.

#### 4. Perhitungan

- a. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G-T)}{V} \text{ atau} \quad (2.14)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2.15)$$

Keterangan :

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m<sup>3</sup>)

G = Berat agregat dan penakar (kg)

T = Berat penakar (kg)

V = Volume penakar (m<sup>3</sup>)

F = Faktor penakar (m<sup>3</sup>)

- b. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$MSSD = M \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2.16)$$

Keterangan :

MSSD = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m<sup>3</sup>)

M = Berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m<sup>3</sup>)

A = Absorpsi (%)

#### 2.4.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

Cara pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Peralatan : (1) Gelas ukur; (2) Alat pengaduk
2. Benda uji : Sampel pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air
3. Prosedur pengujian
  - a. Sampel benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
  - b. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
  - c. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
  - d. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
  - e. Tinggi pasir (V1) dan tinggi lumpur (V2) diukur.

4. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V2}{(V1 + V2)} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan :

V1 = Tinggi pasir (mm)

V2 = Tinggi lumpur (mm)

#### 2.4.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Mesin abrasi Los Angeles merupakan alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu.

Tujuan analisis pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

Cara pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah sebagai berikut :

1. Peralatan
  - a. Mesin abrasi *Los Angeles*

Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28”) panjang dalam 508 mm (20”), silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu, di bagian dalam silinder terdapat bilah naja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5”).

- b. Saringan No 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.
  - c. Timbangan
  - d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32”) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram
  - e. Oven
  - f. Alat bantu pan dan kuas
2. Benda uji
    - a. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
    - a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut :
      - a. Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
      - b. Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
      - c. Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No 4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
      - d. Cara D : Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No 8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
      - e. Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
      - f. Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
      - g. Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

- b. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles.
- c. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran gradasi A, B, C dan D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, F dan G adalah 1000 putaran.
- d. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No 12 (1,70 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.
- e. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20.

#### 4. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{(a - b)}{a} \times 100\% \quad (2.18)$$

Keterangan :

- a = Berat benda uji semula (gram)
- b = Berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm) (gram)

### 2.5 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun ini ditentukan melalui sebuah perhitungan (*mix design*). Metode dalam menentukan proporsi campuran pada penelitian ini digunakan standar sesuai (SNI 03-2834-2000) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

Perhitungan ini dilakukan dengan berdasarkan kekuatan tekan rencana serta workabilitas yang digunakan. Dua indikator ini sangat kontradiktif, dimana kekuatan beton akan meningkat jika penggunaan air pada pencampuran rendah. Namun demikian, workabilitas yang dicapai juga rendah sehingga sulit dikerjakan.



Sebaliknya, jika workabilitas yang direncanakan tinggi, jumlah air yang digunakan tinggi sementara kuat tekan yang dihasilkan menjadi rendah.

Pemilihan agregat juga mempengaruhi sifat pengerjaan beton. Butiran yang besar akan menyebabkan segregasi, sedangkan butiran yang kecil menyebabkan kuat tekan beton yang rendah.

Sifat-sifat beton dapat direncanakan berdasarkan sifat material penyusunnya. *Mix design* adalah pemilihan bahan penyusun beserta proporsinya. Proporsi campuran beton harus menghasilkan beton yang memenuhi persyaratan berikut :

1. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen).
2. Keawetan terhadap pengaruh-pengaruh serangan agresif lingkungan (durabilitas).
3. Ketentuan tekan karakteristik atau kekuatan tekan minimum yang dikehendaki (*Compressive strength*).
4. Harga adukan harus ekonomis.

Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain Metode DOE yang dikembangkan oleh *Department of Environment* di Inggris dan Metode ACI (*American Concrete Institute*). Metode rancangan campuran dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam (SNI 03-2834-2000) "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal". Secara garis besar metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel. Berikut adalah prosedur perancangan campuran beton.

### **2.5.1 Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ ) yang Disyaratkan**

Kuat tekan beton yang disyaratkan sesuai dengan persyaratan perencanaan dan kondisi setempat pada umur 28 hari, yaitu kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5%. Tabel 2.2 (Tjokrodinuljo, 2007).

Tabel 2. 2 Mutu Beton dan Penggunaannya

No	Jenis Beton	$f_c'$ (MPa)	Uraian
1	Mutu tinggi	$f_c' \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.
2	Mutu Sedang	$20 \leq f_c' < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
3	Mutu rendah	$15 \leq f_c' < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar
		$f_c' < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

### 2.5.2 Deviasi Standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Jika pelaksana mempunyai catatan dan hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu 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 uji kurang dari 30, maka dilakukan koreksi dengan suatu faktor pengali nilai deviasi standar. Tabel 2.3 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 3 Faktor Pengaruh Deviasi Standar

No	Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
1	Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1.1 1 (5)
2	15	1,16
3	20	1,08
4	30	1,03
5	30 atau lebih	1,00

Jika pelaksana tidak mempunyai catatan hasil pengujian serupa pada masa yang lalu/bila data hasil uji kurang dari 15 buah, maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

Pada penelitian ini, karena pengujian yang akan dilakukan merupakan pengujian pertama kali, maka standar deviasi tidak ada atau dapat diambil nilai dengan pengendalian yang jelek senilai 7 MPa.

### 2.5.3 Nilai Tambah (Margin)

Penelitian ini merupakan pengujian pertama kali, maka tidak ada rekan pengujian, maka dapat langsung ditetapkan nilai tambah/margin sebesar 12 MPa. Apabila dihitung menurut rumus :

$$M = 1,64 \times S_r \quad (2. 19)$$

Dengan :

M = Nilai tambah/margin

1,64 = tetapan statistic yang nilainya tergantung persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S<sub>r</sub> = deviasi standar rencana

### 2.5.4 Kuat Tekan Rata – Rata

Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan di hitung dengan rumus berikut :

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (2. 20)$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,64 S_r \quad (2. 21)$$

Keterangan :

f<sub>cr</sub> = Nilai yang ditentukan

f'<sub>c</sub> = Nilai batas

M = Nilai Tambah

S<sub>r</sub> = Deviasi standar rencana

### 2.5.5 Jenis Semen

Menurut (SNI 2049-2015) di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 tipe. Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I. Berikut fungsi pemakaian sesuai dengan tipe semen Portland. Tabel 2.4 (SNI 2049-2015).

Tabel 2. 4 Tipe Semen dan Fungsinya

<b>Tipe Semen</b>	<b>Syarat Penggunaan</b>	<b>Pemakaian</b>
I	Kondisi biasa, tidak memerlukan persyaratan khusus	Perkerasan jalan, gedung, jembatan biasa dan konstruksi tanpa serangan sulfat
II	Serangan sulfat konsentrasi sedang	Bangunan tepi laut, dam, bendungan, irigasi dan beton massa
III	Kekuatan awal tinggi	Jembatan dan pondasi dengan beban berat
IV	Panas hidrasi rendah	Pengecoran yang menuntut panas hidrasi rendah dan diperlukan setting time yang lama
V	Ketahanan yang tinggi terhadap sulfat	Bangunan dalam lingkungan asam, tangki bahan kimia dan pipa bawah tanah

### 2.5.6 Jenis Agregat

Penetapan jenis agregat pada penelitian ini yaitu agregat kasar berupa batu pecah (kerikil) dan alami (pasir) untuk agregat halus.

### 2.5.7 Faktor Air Semen

Untuk menentukan nilai faktor air semen dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut :

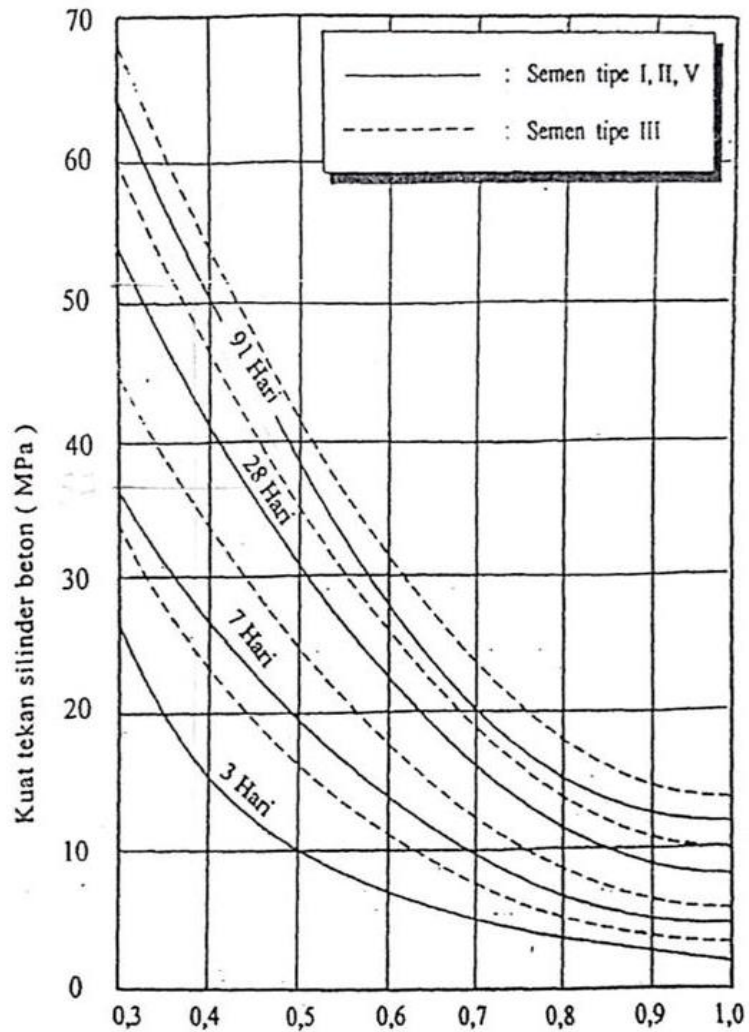
1. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel sesuai dengan jenis semen dan agregat yang akan dipakai.

2. Lihat grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik untuk benda uji berbentuk kubus.
3. Tarik tegak lurus keatas melalui nilai fas sampai memotong kurva kuat tekan yang di dapat dari poin 1.
4. Tarik lengkung melalui titik pada poin 3 secara proporsional.
5. Tarik garis mendatar melalui kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan poin 4.
6. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan fas yang diperlukan. Tabel 2.5 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 5 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu dipecahkan	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu dipecahkan	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu dipecahkan	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu dipecahkan	30	40	53	60	

Pada tabel diatas disesuaikan dengan jenis tipe semen yaitu semen portland tipe I dan jenis agregat kasar yaitu batu pecah serta umur rencana 28 hari dengan bentuk benda uji silinder. Gambar 2.3 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 2 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Pada grafik diatas sumbu x sebagai fas dan sumbu y sebagai kuat tekan silinder (MPa). Berikut adalah langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tarik secara vertical nilai fas sesuai dengan nilai pada tabel.
2. Kemudian tarik secara horizontal nilai kuat tekan silinder ke kanan sampai berpotongan dengan nilai fas.
3. Setelah berpotongan kemudian dibuat garis parabola sesuai gambar parabola yang digambar baru. Setelah didapat garis parabola, kemudian gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan.

4. Kemudian Tarik secara horizontal dari  $f'_{cr}$  sampai menyentuh parabola yang dibuat.
5. Kemudian Tarik kebawah secara tegak lurus sampai menyentuh nilai  $f_{as}$  dan kemudian dibaca nilai  $f_{as}$  yang dicari.
6. Pada penelitian ini didapat nilai faktor air semen bebasnya.

Tabel 2.6 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

<b>Lokasi</b> ---	<b>Jumlah Semen Minimum Per m<sup>3</sup> beton (kg)</b>	<b>Nilai Faktor Air Semen Maksimum</b>
Beton di dalam ruangan bangunan :		
a. keadaan keliling korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. air tawar		
b. air laut		

### 2.5.8 Nilai Slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan dan jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran 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 diinginkan dapat diperoleh dari tabel di bawah ini : Tabel 2.7 ( Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2. 7 Penetapan Nilai Slump

<b>Pemakaian Beton</b>	<b>Maks (cm)</b>	<b>Min (cm)</b>
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

### 2.5.9 Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan yaitu maks 20 mm. Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut :

1.  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antara sisi – sisi cetakan, ataupun
2.  $\frac{1}{3}$  ketebalan pelat lantai, ataupun
3.  $\frac{3}{4}$  jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan, kawat-kawat, bundel tulangan, tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.



### 2.5.10 Kadar Air Semen

Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat dan slump yang diinginkan. Kebutuhan air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen, bukan untuk peresapan air. Tabel 2.8 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 8 Perkiraan Kebutuhan Air/m<sup>3</sup> yang dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Besar Ukuran maks. Agregat (mm)	Jenis Agregat	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> ) Beton (liter)			
		Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Dari tabel di atas karena agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan batu pecah), dengan ukuran agregat 20 mm dan nilai slump 60 – 180 mm. Didapat jenis batuan alami (Wh) dan batu pecah (Wk). Kadar air bebas dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (2. 22)$$

Dengan :

Wh : jumlah air untuk agregat halus

Wk : jumlah air untuk agregat kasar

Catatan : untuk temperatur di atas 20 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambahkan air sebanyak 5 liter/m<sup>3</sup> adukan beton. Untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambahkan air kira-kira 10 liter/m<sup>3</sup> beton.

### **2.5.11 Kadar Semen**

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air dengan rasio air semen.

a. **Kadar Air Semen Maksimum**

Nilai kadar semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya, bila tidak dituangkan maka dapat diabaikan

b. **Kadar Semen Minimum**

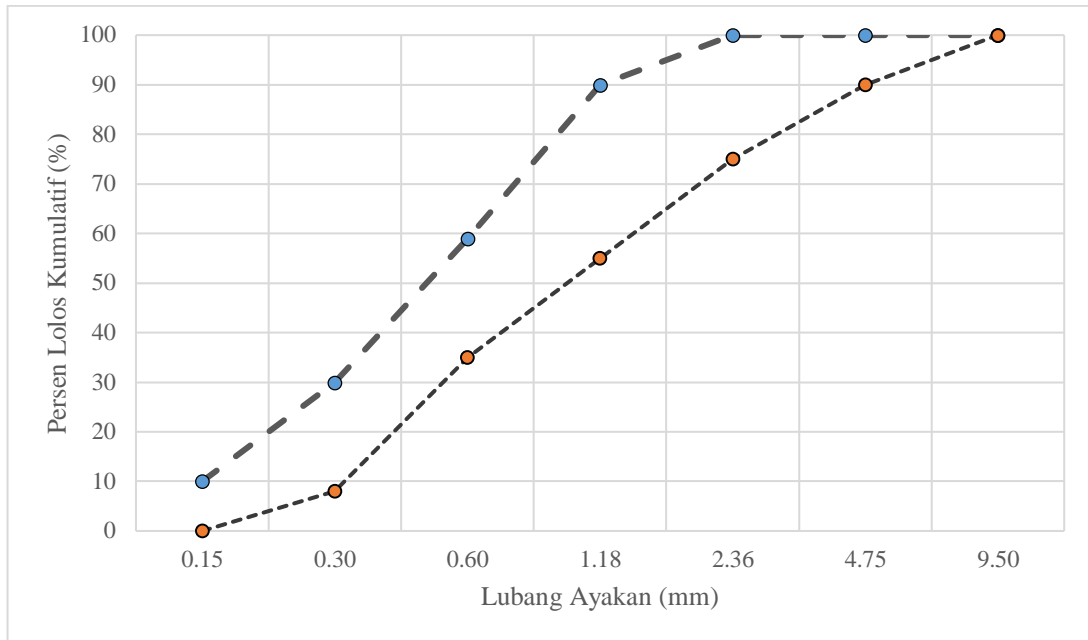
Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air laut. Kadar semen minimum ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada tabel sebelumnya.

c. **Faktor Semen Disesuaikan**

Faktor air semen disesuaikan hanya dihitung jika ada perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi kadar semen minimum ataupun maksimum. Pada penelitian ini, kadar semen yang akan digunakan adalah kadar semen berdasarkan hasil perhitungan, sehingga tidak perlu adanya faktor air semen disesuaikan atau dengan kata lain fas.

### **2.5.12 Susunan Besar Butir Agregat Halus**

Susunan besar butir agregat halus adalah daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan gradasi (hasil analisis saringan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi didasarkan atas grafik gradasi. Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berada pada daerah gradasi/zona 2. Gambar 2.4 (SNI 03-2834-2000).

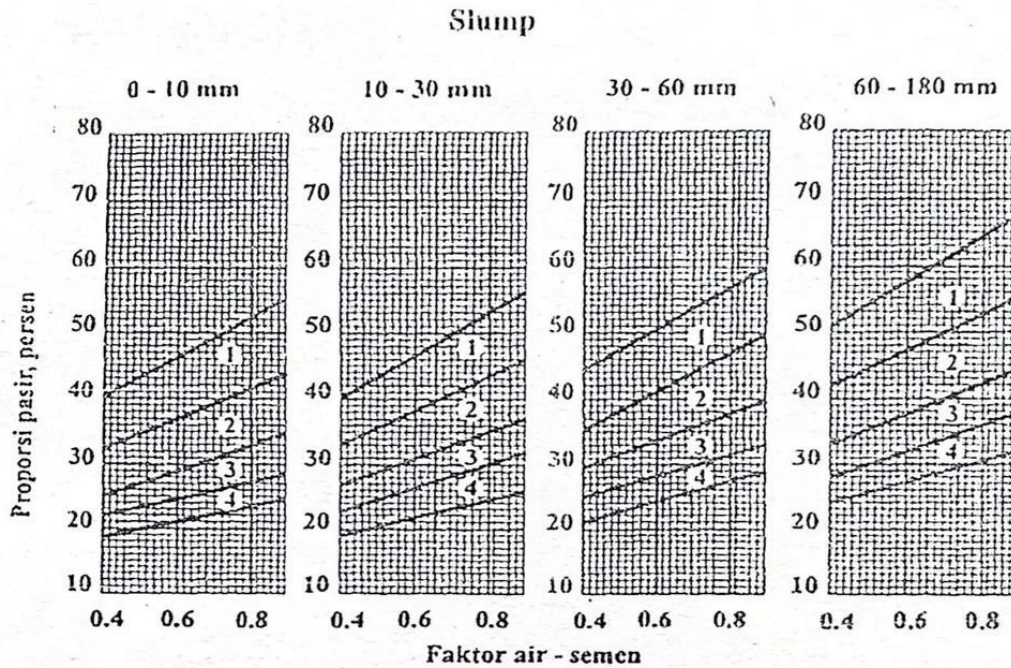


Gambar 2. 3 Grafik Gradasi Agregat Halus

### 2.5.13 Persentase Agregat Halus

Persentase agregat halus diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, fas dan daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

Pada penelitian ini, agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm, sehingga digunakan grafik 14, kemudian berdasarkan nilai slump yang telah ditentukan yaitu 60 – 180 mm, dengan nilai fas yang digunakan yaitu 0,5 dan daerah gradasi agregat halus gradasi 2, maka persen agregat halus dapat ditentukan. Gambar 2.5 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Ukuran Butir Maksimum (20mm)

Berdasarkan grafik di atas, dari nilai fas tarik garis vertikal hingga memotong dua buah kurva daerah gradasi 2, lalu tarik garis horizontal maka didapatkan persen agregat halus rerata.

#### 2.5.14 Berat Jenis Relatif

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Bj \text{ camp} = \frac{P}{100} \times Bj \text{ Ag halus} + \frac{K}{100} \times Bj \text{ Ag Kasar} \quad (2. 23)$$

Keterangan :

Bj camp : berat jenis agregat campuran

Bj Ag Halus : berat jenis agregat halus (hasil uji properties/bahan)

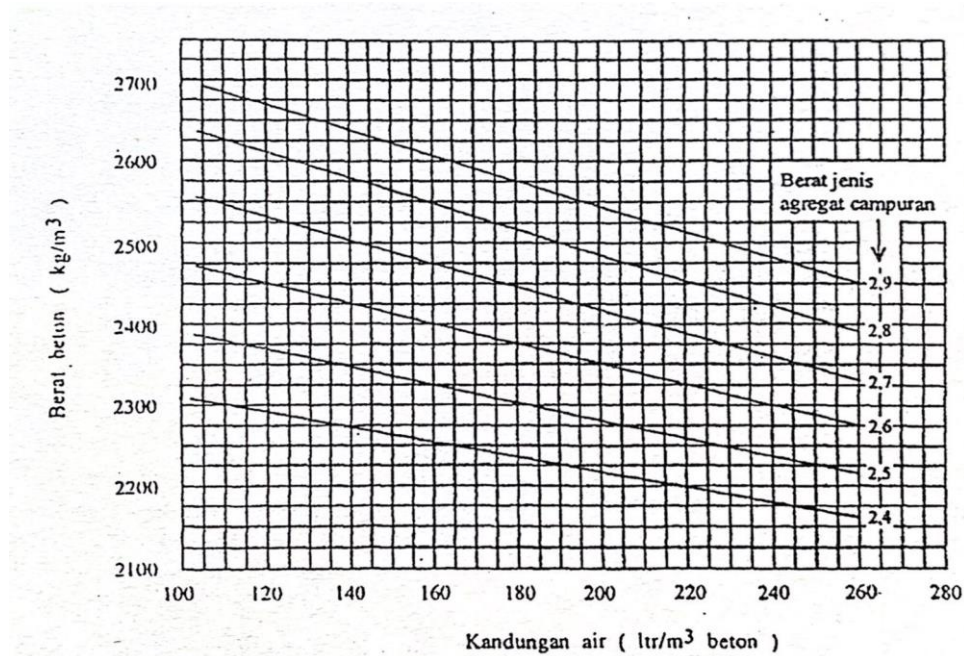
Bj Ag Kasar : berat jenis agregat kasar (hasil uji properties/bahan)

P : persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K : persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

### 2.5.15 Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton menggunakan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya. Berat isi beton ditentukan menggunakan grafik di bawah, dengan sumbu x adalah kadar air bebas dan sumbu y adalah berat isi beton. Gambar 2.6 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai didapatkan

Berdasarkan grafik di atas berat isi beton dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Buat kurva berat jenis agregat gabungan secara proporsional pada grafik
2. Kemudian tarik garis secara vertikal dari kadar air bebas sampai menyentuh kurva  $B_j$  agregat gabungan yang telah dibuat
3. Selanjutnya tarik garis secara horizontal, sehingga didapat berat isi beton

### 2.5.16 Kadar Agregat Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat isi beton per meter kubik di kurangi kadar semen dan kadar air bebas. Kadar agregat gabungan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Kadar Ag Gab} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas}$$

### **2.5.17 Kadar Agregat Halus**

Kadar agregat halus adalah persentase fraksi pasir dikalikan jumlah agregat campuran, dan merupakan jumlah pasir yang diperlukan. Kebutuhan agregat halus diperoleh dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halus. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:  
Kadar Ag Halus = % Ag halus x kadar Ag Gabungan.

### **2.5.18 Kadar Agregat Kasar**

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus. Kadar agregat kasar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Kadar Ag kasar = kadar Ag Gab – kadar Ag halus

### **2.5.19 Proporsi Campuran**

Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam  $\text{kg/m}^3$  adukan.

## **2.6 Pembuatan Benda Uji**

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensinya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar. Cara pengolahan ini akan menentukan kualitas dari beton yang akan dibuat. Adapun tahapan dalam pelaksanaan meliputi :

#### **1. Persiapan**

Sebelum pelaksanaan penuangan beton dilaksanakan, hal-hal yang dilakukan adalah membersihkan semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan

beton, membersihkan cetakan benda uji dan melapisi cetakan tersebut dengan minyak mineral untuk memudahkan pembukaan benda uji.

## 2. Penakaran (*Batching*)

Proses untuk mengukur proporsi dan material beton sebelum dimuat ke dalam pengaduk (*mixer*). Besarnya proporsi masing-masing bahan didapat dari perencanaan campuran (*mix design*). Proses penakaran yang paling akurat adalah dengan menimbanginya.

## 3. Pengadukan (*Mixing*)

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran/pengadukan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Pengadukan ini dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecikan yang cukup (tidak cair tidak padat), dan tampak campurannya homogen. Pemisahan butir-butir seharusnya tidak boleh terjadi selama proses pengadukan ini.

Umumnya yang dimasukkan cenderung agregat kasar dulu, kemudian semen, lalu agregat halus. Air ditambahkan terakhir. Alasannya, waktu hopper dijungkirkan untuk mengeluarkan isinya, bahan yang masuk pertama akan keluar belakangan. Oleh karenanya lebih baik jika agregat kasar dapat mendorong agregat halus dan semen yang ada di depannya. Pada umumnya, pencampuran dimulai dengan memasukkan sedikit air terlebih dahulu sebelum material yang lain dimasukkan. Sisa air ditambahkan setelah semua material masuk.

Metode pengadukan dapat dibedakan menjadi dua yaitu manual dan mesinal. Pengadukan manual dilakukan dengan tangan, sedangkan pengadukan dengan mesin memanfaatkan bantuan alat aduk seperti molen atau batching plant. Pengadukan harus dilakukan cukup lama untuk mendapatkan campuran yang seragam. Waktu pencampuran tergantung jenis pengaduk. Lama pencampuran dapat berkisar dari 30 detik sampai 3 menit.

Alat yang digunakan dalam pengadukan pada penelitian ini yaitu drum mixer yang mempunyai kombinasi bilah (*blade*) dan bentuk drum yang memungkinkan

pertukaran material dari ujung ke ujung sejajar sumbu rotasi maupun gerakan menyebar.

#### 4. Pengecoran (*Placing*)

Pengecoran beton adalah proses menuangkan beton segar dari alat pengangkut ke dalam cetakan, karat yang terdapat pada baja penguat harus dihilangkan, cetakan harus dibersihkan dan ceceran material beton yang telah mengeras akibat pengangkutan sebelumnya harus dibersihkan.

Pengecoran yang baik harus dapat menghindari terjadinya pemisahan perubahan bentuk cetakan atau pergeseran baja penguat dalam cetakan, maupun terjadinya hubungan yang jelek antara lapisan-lapisan pengecoran beton. Segera setelah dilakukan pengecoran, beton harus dipadatkan dengan memakai alat pemadat yang dapat digerakkan dengan tangan atau vibrator.

Hal – hal yang perlu diperhatikan selama pengecoran :

- a. Beton yang akan dicorkan harus pada posisi sedekat mungkin dengan acuan untuk mencegah terjadinya segregasi yang disebabkan pemuatan kembali atau dapat mengisi dengan mudah seluruh acuan.
- b. Tingkat kecepatan pengecoran beton harus diatur agar beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengisi dengan mudah ke dalam sela-sela.
- c. Beton yang telah mengeras sebagian atau yang seluruhnya tidak boleh dipergunakan untuk pengecoran.
- d. Beton yang telah dikotori oleh bahan lain tidak boleh dituangkan ke dalam struktur.
- e. Adukan beton harus dituang secara terus-menerus (tidak terputus) agar diperoleh beton yang seragam dan tidak terjadi garis batas.
- f. Permukaan cetakan yang berhadapan dengan adukan beton harus diolesi minyak agar beton yang terjadi tidak melekat dengan cetakannya.
- g. Selama penuangan dan pemadatan harus dijaga agar posisi cetakan maupun tulangan tidak berubah.

#### 5. Pemadatan (*Compacting*)



Setelah beton segar diaduk, diangkut, dituangkan, beton masih mengandung udara dalam bentuk rongga udara. Pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara sebanyak mungkin dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu pelakatan yang baik antara beton dengan permukaan baja tulangan atau bahan lain yang ikut di cor. Pemadatan dilakukan dengan sebelum terjadinya initial setting time pada beton.

Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1) Pemadatan dengan tangan

Cara pemadatan biasa dengan tangan dapat dilakukan dengan jalan menyusuk-nusuk menggunakan alat yang tepat, seperti balok besar dan tongkat baja.

2) Pemadatan dengan mesin

Mesin getar dalam (*intern vibro*) kadang-kadang disebut dengan poker (tongkat) atau vibrator (mesin getar) yang dapat dicelupkan ke dalam beton.

6. Pekerjaan Akhir (*Finishing*)

Pekerjaan *finishing* dimaksudkan untuk mendapatkan sebuah permukaan beton yang rata dan mulus. Pekerjaan ini biasanya dilakukan pada saat beton belum mencapai final setting time, karena pada masa ini beton masih dapat dibentuk. Alat yang digunakan biasanya roskam, jidar dan alat perata lainnya.

7. Pengujian Beton Segar (*Slump*)

Campuran beton segar dapat dikatakan mempunyai sifat baik bila memenuhi persyaratan utama campuran yaitu mampu memberikan kemudahan pekerjaan (*workability*), yaitu bila campuran tersebut tetap bertahan seragam ketika berlangsung proses pengangkutan, pengecoran dan pemadatan.

Keleccakan (*workability*) adalah kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan. Tidak ada cara yang bisa langsung mengukur suatu kemudahan. Dulu keleccakan diukur secara visual saja, yaitu dengan kategori kaku (*stiff*), leccak (*workable*) dan plastis. Beton segar yang kaku berbentuk seperti tanah yang lembab, dan beton segar yang plastis berbentuk seperti lumpur tebal.

Namun karena keleccakan memegang peran penting dalam kualitas beton, kini keleccakan secara praktis diuji baik di lapangan maupun di laboratorium. Ada dua

macam cara pendekatan, yaitu memberi pengaruh tertentu dan mengukur perubahan bentuk pada beton segar yang diakibatkannya atau sebaliknya. Pengaruh tersebut bisa secara statis dan dinamis.

*Slump* beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. Uji slump merupakan pengujian paling sederhana dan yang paling sering digunakan. Karena kelecakan beton segar sering diidentikkan dengan slumpnya. Cara pelaksanaan pengujian slump adalah sebagai berikut :

a. Peralatan

Untuk melaksanakan pengujian slump diperlukan peralatan sebagai berikut :

1. Cetakan dari logam tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (*cone*) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibulatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat
3. Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air
4. Sendok cekung tidak menyerap air
5. Mistar ukur

b. Benda Uji

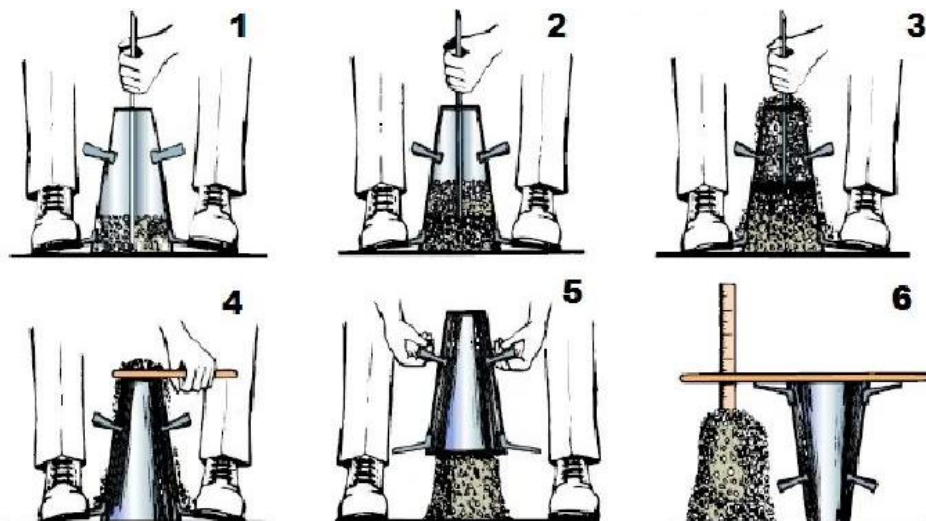
Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

c. Cara Pengujian

Untuk melaksanakan pengujian slump beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Basahilah cetakan dan pelat dengan kain basah
2. Letakan cetakan di atas pelat dengan kokoh
3. Isilah cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis. Tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Tongkat harus masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukan lapisan tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.

4. Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan. Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas. Seluruh pengujian mulai dari pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit.
5. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji. Ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Gambar 2.7 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).



Gambar 2. 6 Pengujian *Slump* Beton

d. Pengukuran *Slump*

Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama dan dilaporkan hasil rata-rata (dalam satuan cm).

**2.6.1 Cara Pengadukan Serat untuk Pembuatan Benda Uji**

- a. Pasir dengan semen dimasukkan kedalam molen (dalam keadaan kering) dengan komposisi tertentu.
- b. Pencampuran dilakukan sampai didapatkan warna yang homogen.
- c. Tambahkan kerikil, kemudian lakukan pencampuran lagi.

- d. Setelah tercampur, kemudian masukan air secara perlahan sesuai dengan komposisi tertentu.
- e. Aduk hingga rata dan tambahkan sedikit demi sedikit air yang tersisa.
- f. Setelah semua diaduk dengan rata dan memiliki kekentalan yang cukup, adukan ditumpahkan kedalam arco.
- g. Kemudian taburkan serat bambu sesuai sample yang dibuat, lalu dicampurkan dengan rata secara manual.
- h. Setelah tercampur, sebelum adukan dituangkan ke cetakan kita uji *slump* dulu apakah memenuhi atau tidak.
- i. Setelah nilai *slump* memenuhi selanjutnya adukan siap dituangkan ke dalam cetakan.

## **2.7 Perawatan (*Curing*)**

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab. Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai final *setting time*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup (sekitar 12 liter per sak semen) untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang karena menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relatif cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton

yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% daripada yang tidak dirawat. Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya. Perawatan beton ini dapat dilakukan dengan perendaman atau penguapan (steam) serta dengan menggunakan membran. Pemilihan cara mana yang digunakan semata-mata mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari :

1. Kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat setting time beton.
2. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama.
3. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

Untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, tutup benda uji segera setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih dengan pelat yang tak menyerap dan tidak reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet dan kedap air. Benda uji dibuka dari cetakan 24 jam  $\pm$  8 jam setelah pencetakan. Kecuali bila ada persyaratan lain, semua benda uji dirawat basah pada temperatur 23 °C  $\pm$  1,7 °C mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus pada lingkungan bebas getaran. Perawatan benda uji kuat lentur sesuai dengan perawatan benda uji kuat tekan, kecuali selama penyimpanan untuk masa minimum 20 jam segera sebelum pengujian benda uji harus direndam dalam cairan jenuh kapur pada 23 °C  $\pm$  1,7 °C. Saat terakhir masa perawatan, antara waktu benda uji dipindahkan dari perawatan sampai pengujian diselesaikan, pengeringan benda uji harus dihindarkan.

## **2.8 Pengujian Kuat Lentur**

Kuat lentur beton dengan sistem pembebanan dua titik adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus smubu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah, dinyatakan dengan Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas.

Pengujian ini bermaksud untuk menentukan kekuatan lentur contoh benda uji melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan.

- a. Peralatan
  1. Mesin penguji yang dilengkapi dengan dua buah blok tumpuan dan satu buah blok beban
  2. Timbangan
- b. Prosedur Pengujian
  1. Hidupkan mesin uji yang telah disiapkan
  2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian
  3. Atur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan
  4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatan  $8 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $10 \text{ kg/cm}^2$  tiap menit
  5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejutan
  6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji
  7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya
  8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah

- a. Perhitungan
  1. Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat ( $\frac{1}{3}$  jarak perlakuan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (2. 24)$$

2. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar  $\frac{1}{3}$  jarak perlakuan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan, maka kuat lentur dihitung dengan rumus

$$\sigma_l = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (2. 25)$$

Keterangan :

$\sigma_l$  : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)

L : jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

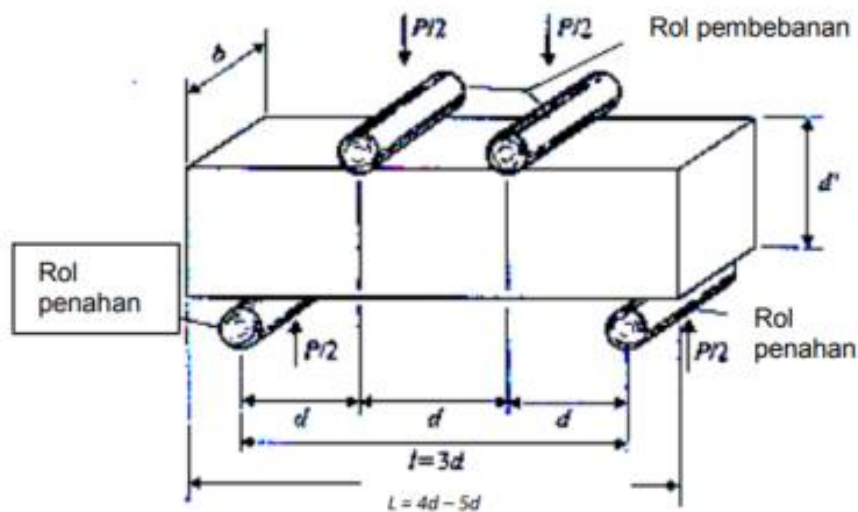
b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

3. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perlatakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan.

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Kuat tarik lentur disebut juga kuat tarik tidak langsung sebagai alternatif karena sulitnya melakukan uji kuat tarik dengan gaya aksial secara langsung. Untuk menentukan kekuatan lentur contoh uji beton melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan. Gambar 2.7 (SNI 4431-2011).



Gambar 2. 7 Benda Uji Balok untuk Uji Kuat Lentur