

---

---

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

Berdasarkan jenisnya, agregat dibagi menjadi tiga yaitu agregat normal, berat dan ringan. Agregat normal digunakan untuk tujuan umum yaitu menghasilkan beton dengan berat 1800-2800 kg/m<sup>3</sup>, Agregat Berat digunakan untuk tujuan khusus yaitu menahan radiasi dari sinar X dan neutron yang mempunyai berat sekitar 4000-5000 kg/m<sup>3</sup>. Contoh: Magnetin, ilmenit dan besi skrap, sedangkan Agregat ringan digunakan untuk struktur dimana berat sangat menentukan.

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah plastik terutama bekas botol minuman daur ulang/ *Polyethylen terephthalate (PET)* dapat digunakan sebagai agregat kasar ringan buatan dengan melakukan pemeriksaan terhadap mutu dan syarat agregat ringan buatan tersebut serta menggunakan agregat kasar ringan buatan dalam campuran beton ringan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanis pada beton yang akan dihasilkan.

#### **2.2 AGREGAT RINGAN**

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh bahan perekat semen (Gideon,1994:148) [18]. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman dan keadaan di lapangan, komposisi agregat tersebut berkisar antara 70%-80% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang

---

---

cukup besar, agregat ini pun menjadi penting. Karena karakteristik agregat akan sangat menentukan sifat beton yang akan dihasilkan, terutama ketahanan dan kekuatannya.

Definisi agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis ringan, porositas tinggi serta konduktivitas panasnya rendah. Agregat ringan dapat berasal dari alam yang disebut agregat ringan alami sedang agregat ringan berasal dari proses pemanasan atau pembakaran material lain disebut agregat ringan buatan (Mulyono, T, 2003) [12]. Namun ada beberapa masalah yang timbul bila menggunakan agregat ringan yaitu kemudahan pengerjaan (*workability*) dan penyelesaian (*finishability*) beton yang rendah, tendensi terjadinya segregasi meningkat, sulit untuk menentukan nilai faktor air semen yang efektif dan kekuatan beton yang dihasilkan cenderung akan menurun (Popovics, 1997) [16].

Penggunaan agregat ringan didasarkan atas pertimbangan biaya produksi untuk menghasilkan agregat ringan dan pengerjaan struktur beton itu sendiri. Secara struktural pertimbangan didasarkan atas berat-volume atau kepadatan dari beton yang terbentuk dimana akan menjadi lebih ringan dibandingkan menggunakan agregat normal, sehingga jika digunakan untuk struktur atas akan lebih ringan yang pada akhirnya beban konstruksi menjadi lebih kecil (Waddell, Dobrowolski, 1990) [20].

Metode yang paling banyak digunakan untuk membuat beton ringan adalah dengan memakai agregat ringan dalam campuran betonnya. Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat isi kering oven gembur maksimum  $1100 \text{ kg/m}^3$ . Agregat ringan juga mempunyai berat jenis (*specific gravity*) yang rendah, sekitar  $1/3$ - $2/3$  dari berat jenis agregat normal. Berat isi dan berat jenis dari agregat ini sangat dipengaruhi oleh gradasi dan ukuran agregat itu sendiri. Berat jenis agregat dapat berkurang dengan adanya kandungan udara di dalam agregat tersebut. Semakin porous maka akan semakin ringan beratnya dan daya hantar panasnya akan semakin rendah sehingga kekuatan agregat menjadi lebih rendah. Oleh sebab itu, beton untuk keperluan insulasi mempunyai kekuatan yang sangat rendah, sedangkan beton ringan struktural yang mempunyai daya hantar panas yang cukup tinggi akan mempunyai kekuatan agregat yang lebih tinggi pula.

---

---

### 2.2.1 Karakteristik Agregat Ringan

Agregat ringan memiliki karakteristik yang berbeda dengan karakteristik agregat normal. Berikut ini akan dibahas beberapa karakteristik dari agregat ringan :

#### 1. Bentuk Partikel

Agregat ringan dari sumber yang berbeda akan mempunyai bentuk partikel dan tekstur permukaan yang berbeda-beda. Bentuk dan tekstur permukaan ini akan mempengaruhi proporsi campuran beton, seperti workabilitas, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen serta keperluan air.

#### 2. Berat Jenis

Agregat ringan mempunyai berat jenis yang lebih rendah dari agregat normal. Agregat halus ringan mempunyai berat jenis yang lebih besar dari agregat kasar ringan. Berat jenis agregat kasar ringan berkisar antara  $1/3$ - $2/3$  dari berat jenis agregat normal. Dengan standar dari ASTM yang ada sekarang ini, sulit untuk menentukan secara tepat berat jenis dan daya absorpsi agregat ringan. Oleh karena itu dalam perhitungan *mix design* beton ringan, metode volume absolut yang dalam perhitungannya berdasarkan pada berat jenis agregat, semen, air jarang digunakan.

#### 3. Berat Isi

Berat isi agregat ringan juga lebih kecil dari agregat normal. Untuk gradasi dan bentuk agregat yang sama, berat isi agregat berbanding lurus dengan berat jenisnya. Tetapi agregat dengan berat jenis yang sama mungkin akan mempunyai berat isi yang berbeda karena perbedaan persentase rongga dari agregat ringan yang berbeda jenisnya.

#### 4. Kandungan Air (daya absorpsi agregat)

Daya absorpsi agregat ringan jauh lebih tinggi dari agregat normal karena sifatnya yang porous. Berdasarkan tes absorpsi selama 24 jam, agregat ringan mampu menyerap 5%-20% berat agregat ringan kering, sedangkan agregat normal hanya menyerap 2% berat. Kandungan air pada agregat ringan sebagian besar terserap pada struktur dalam agregat, sedangkan pada agregat normal kandungan air terdapat pada permukaan agregat. Kecepatan absorpsi

---

---

masing-masing agregat berbeda-beda tergantung dari keadaan kandungan air agregat tersebut.

5. Ukuran agregat

Ukuran maksimum agregat ringan umumnya adalah  $\frac{3}{4}$  inci (19 mm),  $\frac{1}{2}$  inci (13 mm), atau  $\frac{3}{8}$  inci (10 mm). Ukuran maksimum agregat ringan ini berpengaruh pada *workability*, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen, kandungan udara optimum, tingkat kekuatan dan susut. Biasanya kekuatan beton menjadi meningkat dengan memakai butiran agregat yang lebih kecil, apabila faktor-faktor tersebut ingin dibandingkan terhadap beton ringan dan beton normal, maka perbandingan harus dilakukan dengan memakai agregat dengan ukuran maksimum yang sama.

6. Kekuatan agregat

Agregat ringan umumnya lebih lemah dari agregat normal. Meskipun tidak ada hubungan yang pasti antara kekuatan agregat dan kekuatan beton yang akan dihasilkan, tetapi kekuatan beton yang sering tidak memenuhi syarat adalah beton dengan memakai agregat ringan.

### 2.2.2 Klasifikasi Agregat Ringan

Secara umum, semakin baik mutu suatu agregat ringan, akan dihasilkan rasio kekuatan beton ringan dengan berat isinya yang semakin tinggi. Mengacu pada SNI 03-2461-2002 agregat ringan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

- Agregat ringan buatan yang merupakan hasil proses pengembangan, pemanasan atau *sintering* dari bahan terak tanur tinggi, lempung, diatome, abu terbang, batu sabak, batu obsidian;
- Agregat ringan alami diperoleh secara alami, seperti batu apung dan scoria, batu letusan gunung atau batuan lahar.

Dalam kurun waktu belakangan ini banyak dibuat beton ringan dengan bermacam-macam agregat ringan. Pemilihan terhadap pemakaian jenis agregat ringan ini tergantung dari jenis beton yang akan dihasilkan.

---

---

### 2.3 BETON RINGAN (*LIGHTWEIGHT CONCRETE*)

Berdasarkan berat volumenya beton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu beton ringan, berat dan normal. Umumnya beton dibuat dengan menggunakan bahan agregat yang mempunyai kepadatan seperti yang diinginkan. Beton yang menggunakan agregat ringan akan membentuk berat-volume beton menjadi ringan. Macam-macam agregat ringan yang biasa digunakan dalam pembuatan beton ringan antara lain :

1. *Expanded clay, shale dan slate*

Merupakan hasil dari proses *rotary kiln* (tanur putar) dengan temperatur 1000-1200°C. *Expanded Shale* dan agregat *Clay* yang dibuat dengan proses *sinter strand* mempunyai kepadatan 650-900 kg/m<sup>3</sup>, dan jika menggunakan *kiln* yang berputar akan mempunyai kepadatan sekitar 350-650 kg/m<sup>3</sup>. Beton yang menggunakan agregat jenis ini akan mempunyai berat isi sekitar 1400-1800 kg/m<sup>3</sup> dan kadang-kadang dapat pula dihasilkan beton ringan dengan kepadatan 800 kg/m<sup>3</sup>. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya cukup tinggi, terutama jika digabungkan dengan jenis agregat ringan lainnya.

2. *Perlite*

Merupakan jenis batuan *glassy* vulkanik dengan berat isi yang rendah sekitar 30-240 kg/m<sup>3</sup>. *Perlite* dibuat dari hasil pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 900-1100°C. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya rendah dan pengembangan yang tinggi. Beton yang dibuat biasanya digunakan untuk tujuan insulator. Keuntungan dari beton ini adalah waktu pengeringannya cukup cepat sehingga penyelesaian konstruksi dapat diselesaikan dengan cepat pula.

3. *Vermiculite*

Merupakan material yang berstruktur pelat, nama lainnya adalah mica dengan berat isi yang rendah sekitar 60-130 kg/m<sup>3</sup>. Pembuatannya melalui proses pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 650-1000°C. Beton yang dibuat akan mempunyai kekuatan tekan yang rendah dan pengembangan yang tinggi, biasanya digunakan untuk tujuan insulator (penahan panas).

---

---

4. *Expanded blast-furnance slag*

Dapat dihasilkan dengan dua cara. Pertama yaitu mencampurkan bahan batuan dengan air kemudian dilakukan pembakaran. Misalnya tanah liat dibakar. Tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar 5-20 mm, kemudian dibakar. Hasilnya berbentuk bola, ringan dan berpori. Serapan air sekitar 8-20%. Beton dengan agregat ini berat jenisnya sekitar 1900 kg/m<sup>3</sup>. Kedua dengan cara penguapan (*steam*) batuan buatan yang dihasilkan seperti batu apung. Batuan *expanded* biasanya mempunyai berat isi sekitar 300-1100 kg/m<sup>3</sup>, bergantung pada proses pendinginan dan derajat pembentukan partikel serta ukuran dan gradasinya.

5. *Clinker aggregate*

Nama lainnya adalah cinder, merupakan hasil proses pembakaran pada industri dengan temperatur yang sangat panas. Beton yang menggunakan agregat ini cenderung tidak tahan terhadap sulfat dan kehilangan panas yang tinggi. Peraturan standar tidak merekomendasikan beton yang menggunakan agregat ini digunakan untuk neton bertulang. Beton yang menggunakan *clinker* cenderung lebih awet. Jika digunakan sebagai agregat halus atau agregat kasar beton yang dihasilkan akan mempunyai berat isi sekitar 1100-1400 kg/m<sup>3</sup>. Untuk meningkatkan kemudahan pengerjaannya agregat ini sering digabung dengan pasir alam, akan tetapi berat isi betonnya akan meningkat menjadi 1750-1850 kg/m<sup>3</sup>.

6. Agregat abu terbang (*Sintered Fly-ash Aggregates*)

Merupakan produk sisa dari hasil PLTU yang mengeras dan membentuk butir-butir seperti kerikil. Beton yang dibuat dari agregat jenis ini akan mempunyai kuat tekan yang cukup baik. Berat isi beton yang menggunakan agregat ini sekitar 1000kg/m<sup>3</sup>, jika menggunakan fraksi agregat halusanya lebih banyak akan menghasilkan beton dengan berat isi 1200 kg/m<sup>3</sup>.

7. *Herculite*

Merupakan hasil pembuatan dari *shale* yang dimasukkan dalam tungku putar pada suhu 1100°C. Gas dalam *shale* mengembang membentuk jutaan sel kecil udara dalam massa yang dikelilingi oleh selaput tipis yang kuat dan bening. Agregat ini dipakai untuk menggantikan agregat yang dipakai pada

---

---

pekerjaan struktural. Berat jenis yang dihasilkan sekitar 2/3 beton biasanya dengan kuat tekan yang hampir sama pada jumlah semen yang sama. Beton yang dibuat akan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap panas, sehingga biasanya digunakan untuk dinding penahan panas, lapisan tahan api untuk baja struktural, selain itu mempunyai sifat meredam suara yang baik.

8. Pecahan bata atau genteng

Dibuat dari pecahan bata atau genteng dan masih dapat dipakai. Secara umum masih belum digunakan. Namun peneliti sudah banyak melakukan percobaan dan penelitian tentang agregat jenis ini untuk dipergunakan dalam campuran beton. Sifat agregat ini sangat bergantung pada bahan dasarnya yakni tanah liat, yang menyebabkan variasi dari agregat yang dibentuknya.

Berdasarkan jenis agregat ringan yang digunakan, beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi : (Waddel, Dobrowolski, 1994) [20]

1. Beton ringan dengan berat jenis rendah (*low-density concretes*)

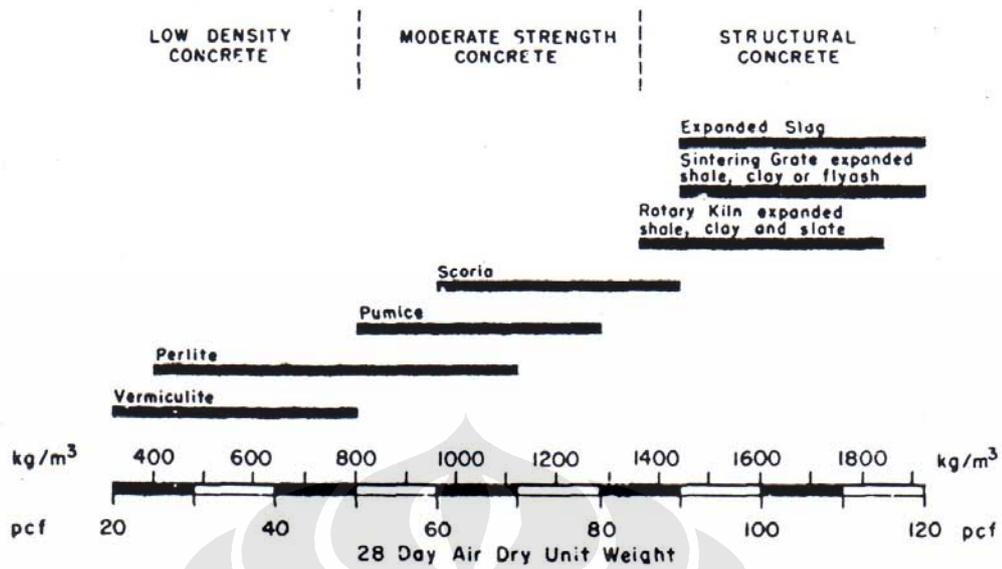
Beton ini sangat ringan sekali dan biasanya digunakan untuk insulasi dan sebagai peredam suara. Berat isinya kurang dari 50lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>) dengan kekuatan berkisar antara 220-1000 psi (0,69-6,89 MPa) dan daya hantar yang cukup rendah. Jenis agregat yang digunakan *perlite* dan *vermiculite*.

2. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*moderate-strength light concrete*)

Beton ini biasanya digunakan sebagai bahan pengisi dan mempunyai kekuatan tekan antara 1000-2500 psi (6,89-17,24 MPa) dengan berat jenis antara 50-90 lb/ft<sup>3</sup> (800-1440 kg/m<sup>3</sup>). Jenis agregat yang digunakan biasanya *pumice* dan *skoria*.

3. Beton ringan struktural (*struktural lightweight concretes*)

Beton ringan ini digunakan untuk bangunan yang bersifat struktural dengan daya hantar panas yang rendah dari beton normal walaupun lebih tinggi dari beton ringan dengan densitas rendah. Beton ini mempunyai kekuatan tekan labih dari 2500 psi (17,24 MPa) dengan berat isi maksimum 115 lb/ft<sup>3</sup> (1840 kg/m<sup>3</sup>). Untuk mencapai kekuatan tersebut di atas maka butiran halus ringan pada campuran beton diganti dengan pasir alam. Jenis agregat yang digunakan antara lain *expanded shale*, *clays*, *slates* dan *slag*.



Sumber: ACI Committee 213R-79, *Manual of Concrete Practice*, 1979 [3]

**Gambar 2.1 Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Berat Isi Beton**

### 2.3.1 Karakteristik Beton Ringan

Karakteristik beton ringan berbeda dengan karakteristik beton normal. Berikut ini merupakan sifat-sifat mekanis dari beton ringan untuk beton segar (*fresh concrete*), yaitu :

#### 1. Berat Isi

Pengurangan berat beton dengan kualitas struktural merupakan keuntungan utama dari pemakaian beton ringan. Berat beton ringan struktural adalah 1440-1840 kg/m<sup>3</sup>, tergantung pada sumber agregatnya. Dengan menggantikan sebagian atau seluruh agregat halus dengan pasir alam yang mempunyai berat isi 1520-1760 kg/m<sup>3</sup> akan menaikkan berat beton sebesar 160-240 kg/m<sup>3</sup>.

Sebagai contoh dengan memakai agregat yang sama, pemakaian pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan akan menaikkan berat beton sebesar 80-160 kg/m<sup>3</sup> dengan kekuatan yang sama. Dengan memakai material yang sama, penambahan semen akan meingkatkan kekuatan beton dari 20,68 MPa menjadi 34,47 MPa dan berat beton bertambah 48-96 kg/m<sup>3</sup>.

---

---

## 2. Keleccakan (*Workability*)

Sifat mudah dikerjakan (*Workable*) adalah faktor terpenting pada beton segar (*Fresh concrete*). Cara untuk mengukur sifat mudah dikerjakan ini adalah dengan melakukan pengujian slump (*slump test*). Pada tingkat kekentalan (*consistency*) yang sama, beton ringan mempunyai nilai slump yang lebih rendah dari beton normal. Beton ringan yang mempunyai tingkat mudah dikerjakan yang sama dengan beton normal akan mempunyai nilai slump 2-3 inchi lebih rendah. Slump  $\leq 4$  inchi akan menghasilkan hasil yang terbaik pada beton ringan. Slump yang lebih besar akan menyebabkan segregasi dan agregat kasar ringan akan mengapung sehingga membuat permukaan beton menjadi kasar dan tidak rata.

## 3. Porositas

Dengan adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca maka terbentuklah lubang atau rongga kecil di dalam butiran agregat yang biasa disebut pori. Pori dalam butiran agregat mempunyai ukuran yang bervariasi dari yang besar dan dapat dilihat dengan mata atau yang sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Karena agregat menempati sampai 75% dari volume beton, maka porositas agregat memberikan kontribusi yang besar pada porositas beton.

Proses porositas beton terjadi akibat adanya gelembung-gelembung udara yang selama atau sesudah pencetakan. Gelembung ini timbul karena adanya pemakaian air yang berlebihan pada campuran, hal ini penting guna memperoleh campuran yang mudah dikerjakan. Namun akibat yang ditimbulkan dari penggunaan air yang berlebihan pada campuran beton adalah air yang digunakan tersebut akan menggunakan ruangan dan apabila beton tersebut telah mengeras atau kering akan meninggalkan rongga udara dalam beton. Semakin banyak kandungan air yang akan digunakan maka akan semakin banyak rongga yang terdapat dalam beton, sehingga beton yang dihasilkan kurang padat dan ini berpengaruh terhadap kekuatan beton tersebut khususnya kuat tekan beton.

---

---

Pengaruh volume pori terhadap kekuatan beton secara matematis telah dikembangkan oleh A. Grudemo (1975) dan dirumuskan dengan persamaan (Neville, A.M,1981) [14] berikut:

$$f_c = f_{c,0} (1-p)^n \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

p = volume pori terhadap volume beton total

$f_c$  = kekuatan beton dengan adanya pori

$f_{c,0}$  = kekuatan beton tanpa pori

n = koefisien angka konstan

Jadi dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan tinggi, beton yang dibuat harus padat dan kedap air, caranya dengan mereduksi perbandingan air semen seminimal mungkin sejauh kemudahan pengerjaannya masih konsisten untuk dipadatkan tanpa terjadi pemisahan agregat. Disamping itu, cara pemadatan dan perawatan yang baik juga merupakan faktor yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan beton yang padat dan kedap air. Pemadatan yang biasa dilakukan adalah pemadatan secara manual dan pemadatan dengan mesin. Sedangkan perawatan beton dapat dilakukan dengan salah satu cara (Mulyono,T,2003.)[12], berikut :

- Beton dibasahi terus menerus dengan air.
- Beton direndam dalam air.
- Beton dilindungi dengan kain basah, plastik fil, atau kertas perawatan tahan air.
- Dengan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton basah.
- Dengan uap beton yang dihasilkan dari kondisi pabrik, seperti pipa dan balok pracetak, serta tiang atau girder pracetak.

Berikut ini merupakan sifat-sifat mekanis dari beton ringan untuk beton keras (*hard concrete*), yaitu :

1. Kekuatan tekan

Tingkat kekuatan beton yang dibutuhkan untuk memenuhi kekuatan dengan cara beton *cast-in-place*, *pre-cast*, *pre-stress* dapat diperoleh dengan memakai agregat ringan, kekuatan tekan 28 hari beton ringan umumnya adalah 20,68-34,47 MPa. Setiap agregat mempunyai kekuatan batas (*strength ceiling*) tetapi batas kekuatan ini dapat dinaikkan, yaitu dengan cara mengurangi ukuran butiran maksimum agregat untuk kadar semen dan nilai slump yang sama. Contoh, dengan memakai agregat ringan berukuran maksimum  $\frac{3}{4}$  inci, akan diperoleh beton berkekuatan 37,92 MPa. Tetapi apabila memakai agregat kasar ringan berukuran maksimum  $\frac{1}{2}$  atau  $\frac{3}{8}$  inci, batas kekuatan beton tersebut akan meningkat sebesar 44,81-48,25 MPa.

Kekuatan tekan beton ringan lebih tergantung pada kandungan semen dengan nilai slump tertentu dari *ratio* air-semen. Penambahan air tanpa diikuti dengan penambahan semen pada campuran beton akan meningkatkan nilai slump. Pemakaian *Air-Entrapement Agent* pada campuran beton ringan juga sangat menguntungkan. Pada tabel 2.1 dapat dilihat kadar semen yang diperlukan untuk memperoleh kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari.

Dalam beberapa hal, kekuatan tekan beton ringan dapat ditingkatkan dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat halus ringan dengan memakai agregat halus normal, pasir alam. Dimana dengan pemakaian agregat halus normal dapat meningkatkan berat isi (*density*).

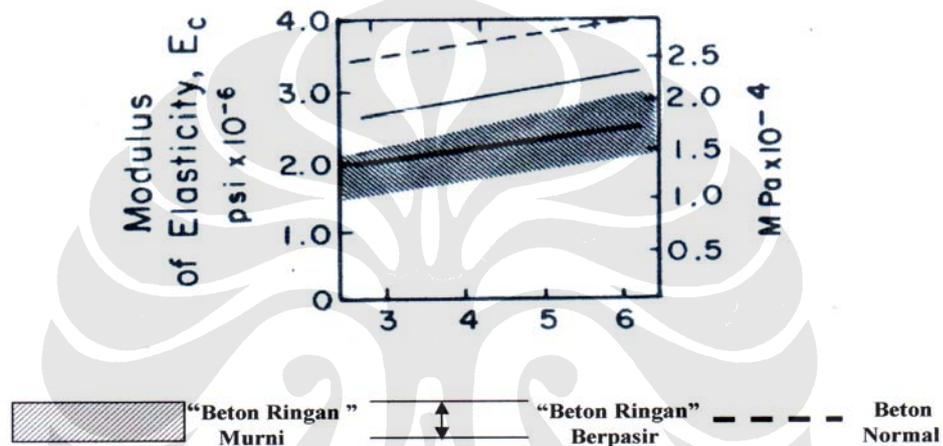
**Tabel 2.1 Hubungan Kekuatan tekan Rata-rata dengan Kandungan Semen**

Kekuatan Tekan Psi (MPa)	Kandungan Semen (kg/m <sup>3</sup> )	
	All lightweight	Sanded lightweight
2500 (17,24)	237-303	237-303
3000 (20,08)	261-332	249-332
4000 (27,58)	314-392	291-392
5000 (34,47)	374-445	356-445
6000 (41,37)	439-498	415-498

Sumber: ACI Committee 213R-79, *Manual of Concrete Practice*, 1979 [3]

2. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung dari jumlah mortar semen dan agregat serta nilai modulus dari masing-masing bahan pembentuknya. Beton normal mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih besar karena nilai modulus dari pasir dan kerikil lebih besar dari modulus agregat ringan struktural. Pada gambar 2.2 dapat dilihat nilai modulus elastisitas dari beton “all lightweight” dan beton “sand lightweight”. Dari gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa nilai modulus elastisitas untuk beton ringan berpasir lebih besar dari beton ringan murni.



Sumber: ACI Committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979 [3]

**Gambar 2.2 Modulus Elastisitas Beton Ringan**

Umumnya modulus elastisitas beton ringan berkisar antara 1/2 - 3/4 dari beton normal yang berkekuatan sama. Perbedaan gradasi agregat tidak berpengaruh pada nilai modulus elastisitas beton ringan apabila volume relatif dari pasta semen dan agregat tidak ditambah.

ACI-code merekomendasikan rumus umum untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) sebagai berikut :

$$E_c = w_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f_c} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$w_c$  = Berat isi beton (1440-2480 kg/m<sup>3</sup>)

$f_c$  = Kuat tekan

---

---

### 3. Kuat Tarik

Kuat tarik belah  $f_{ct}$  adalah kuat tarik beton yang diperoleh berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada arah memanjang. Kekuatan ini mempengaruhi perambatan dan ukuran retak-retak pada beton akibat pembebanan maupun akibat perubahan kadar air dan suhu. Kekuatan ini lebih bervariasi dibandingkan dengan kekuatan tekan dan besarnya berkisar 10-15% dari kekuatan tekan.

Kekuatan ini ditentukan dengan melakukan pembelahan silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dimana silinder ditekan oleh mesin uji dengan beban merata dalam arah memanjang pada sisi-sisinya. Kuat tarik belah dapat ditentukan dengan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$f_{ct}$  = Kuat tarik belah (N/m<sup>2</sup>)

P = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (m)

D = Diameter benda uji silinder (m)

Kekuatan tarik beton sering kali diukur berdasarkan modulus tarik (*modulus of rupture*), yaitu tegangan tarik lentur dari beton silinder 6 inci. Nilai ini sedikit lebih besar dari nilai kekuatan tarik sesungguhnya. Tetapi saat ini lebih sering ditentukan oleh kekuatan belah silinder beton. ACI-89 menetapkan nilai modulus tarik sebagai :

$$f_r = 7,5\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= 6,4\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton pasir ringan} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$= 5,6\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton ringan total} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

$f_r$  dalam psi bila  $f_c'$  dalam psi, sedangkan dalam SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 ditetapkan bahwa besarnya modulus tarik mengikuti rumus :

$$f_r = 0,70\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan  $f_r$  dan  $f_c'$  dalam MPa. Harga  $f_r$  ini harus dikalikan faktor 0,75 untuk beton ringan total dan 0,85 untuk beton ringan berpasir.

Beton ringan pada umumnya mempunyai kuat tarik belah lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Berikut ini adalah ketentuan mengenai beton ringan (*lightweight concrete*), (Nawy, Edward. G., 1990) [13] :

1. Jika kuat tarik belah  $f_{ct}$  ditetapkan, maka :

$$f_r = 1,09 f_{ct} \leq 7,5 \sqrt{f_c'} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

2. Jika  $f_{ct}$  tidak ditetapkan gunakan faktor 0,75 untuk semua beton ringan dan 0,85 untuk beton ringan pasir. Interpolasi linier dapat digunakan untuk campuran antara agregat halus ringan dan pasir alami.

Hubungan antara kuat tarik beton dengan kuat tekannya telah dikembangkan oleh J.M. Raphael (1984) (Neville, A.M., 1981) [14] dan dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$f_{ct} = 0,3 (f_c')^{2/3} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

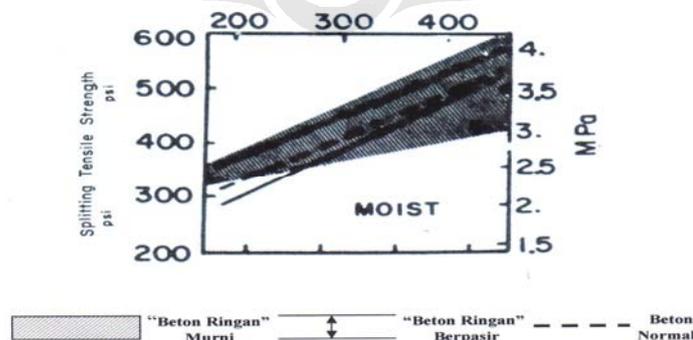
Dimana :

$f_{ct}$  = Kuat tarik belah beton (MPa)

$f_c'$  = Kuat tekan beton (MPa)

$f_r$  = Modulus of rupture

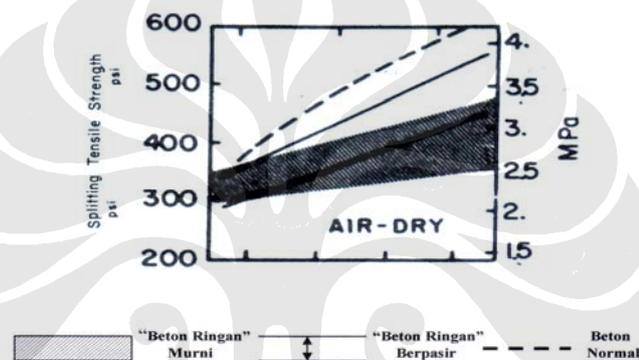
Nilai kuat tarik belah dari sampel beton “moist cured” (beton yang terus direndam hingga umur 28 hari) hanya tergantung pada kuat tekan yang bisa dianggap sama dengan beton normal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3 dimana kuat tarik belah untuk beton normal berada didalam range kuat tarik beton ringan, sedangkan penggantian sebagian atau seluruh agregat halus dengan pasir juga tidak terlalu mempengaruhi nilai kuat tarik belah tersebut.



Sumber: ACI Committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979 [3]

**Gambar 2.3 Nilai Kuat Tarik Belah Pada Kondisi Moist Cured**

Sampel beton yang mengalami “Air Dry Curing” dianggap lebih mendekati keadaan sebenarnya, dimana beton mengalami pengeringan hingga ke struktur dalamnya secara perlahan. Pada gambar 2.4 menunjukkan penurunan nilai kuat tarik belah dari beton yang direndam selama 7 hari dan diikuti dengan pengeringan selama 21 hari pada suhu kamar dengan kelembaban relatif 50%. Nilai kuat tarik beton ringan  $\pm 70-100\%$  dari beton normal, jika perbandingan dilakukan pada beton yang mempunyai kekuatan tekan yang sama. Penggantian sebagian atau seluruh agregat halus ringan dengan agregat halus normal akan menaikkan kuat tarik belah namun kenaikan tersebut tidak linier.



Sumber: ACI Committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979 [3]

**Gambar 2.4 Nilai Kuat Tarik Belah Pada Kondisi Air Dry Cured**

#### 4. Rangkak (creep)

Struktur beton berintensitas beban rendah akan menghasilkan deformasi dalam daerah elastis, tetapi lambat laun deformasi ini akan bertambah menurut lamanya pembebanan meskipun kondisi beban tersebut konstan. Gejala ini disebut sebagai rangkak (*creep*). Deformasi akibat rangkak apat beberapa kali lebih besar dari pada defoermasi akibat pembebanan awal. Besar kecilnya rangkak ini tergantung baik pada kondisi material, misalnya rasio air-semen, jenis semen, jenis agregat, maupun pada kelembapan lingkungan, dimensi atau ukuran beton dan ada tidaknya adiktif. Dalam kondisi lembab, dimana kehilangan air dalam beton rendah, nilai rangkak juga akan rendah.

---

Adanya rangkak tidak terlalu mempengaruhi kekuatan elemen struktur, tetapi redistribusi tegangan elemen dan defleksi yang lebih besar dapat terjadi. Tegangan beton akibat beda penurunan titik (*differential settlement*) dapat berkurang karena adanya rangkak. Sebenarnya rangkak dan susut saling berkaitan (saling bergantung), tetapi untuk mempermudah perhitungan umumnya kedua gejala ini ditinjau secara terpisah sehingga dapat ditambahkan satu sama lain.

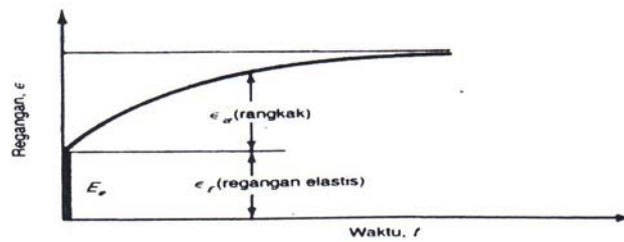
Rangkak tidak dapat langsung dilihat hanya dapat diketahui apabila regangan elastis, susut serta deformasi (regangan) totalnya diketahui. Meskipun susut dan rangkak adalah fenomena yang saling terkait, dapat dianggap berlaku superposisi regangan, yaitu regangan total adalah penambahan antara regangan elastis, susut serta rangkak. Secara matematis dalam persamaan berikut :

$$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_c + \varepsilon_{sh} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- $\varepsilon_t$  = Regangan Total
- $\varepsilon_e$  = Regangan Elastis
- $\varepsilon_c$  = Regangan Rangkak
- $\varepsilon_{sh}$  = Regangan Susut

Rangkak sangat berkaitan dengan susut dan sebagai aturan umum beton yang menahan susut juga cenderung mengalami sedikit rangkak, karena kedua fenomena tersebut berkaitan dengan pasta semen yang terhidrasi. Dengan demikian, rangkak dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisi lingkungan dan ukuran benda uji, tetapi secara prinsip rangkak bergantung pada pembebanan sebagai fungsi waktu. Pada gambar 2.5 dapat dilihat hubungan antara waktu dengan regangan pada beton.



Sumber : Nawy, Edward. G., Reinforce Concrete a Fundamental Approach, 1990

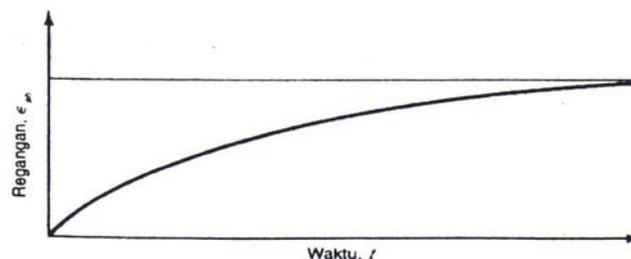
**Gambar 2.5 Hubungan anatar Waktu dengan Regangan Beton**

### 5. Susut (*shrinkage*)

Pada waktu proses hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air, yang dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut, yang menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Susut dapat retak bila tidak dikendalikan dengan baik.

Terdapat dua jenis susut pada beton yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi selama beberapa jam pertama setelah pengecoran segar di cetakan. Permukaan yang diekspos seperti slab lantai akan lebih dipengaruhi oleh udara kering karena besarnya permukaan kontak. Dalam kasus seperti itu, kandungan air akan menguap lebih cepat dari permukaan beton dibandingkan dengan air yang mengalir dari lapisan-lapisan bawah elemen beton. Sedang susut pengeringan terjadi setelah beton mengering dan sebagian besar proses hidrasi kimiawi di pasta semen telah terjadi. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton apabila terjadi kehilangan kandungan air akibat penguapan.

Pada gambar 2.6 dapat dilihat hubungan peningkatan regangan susut  $\epsilon_{sh}$  terhadap waktu.



Sumber : Nawy, Edward. G., Reinforce Concrete a Fundamental Approach, 1990

**Gambar 2.6 Hubungan Peningkatan Regangan Susut Terhadap Waktu**

---

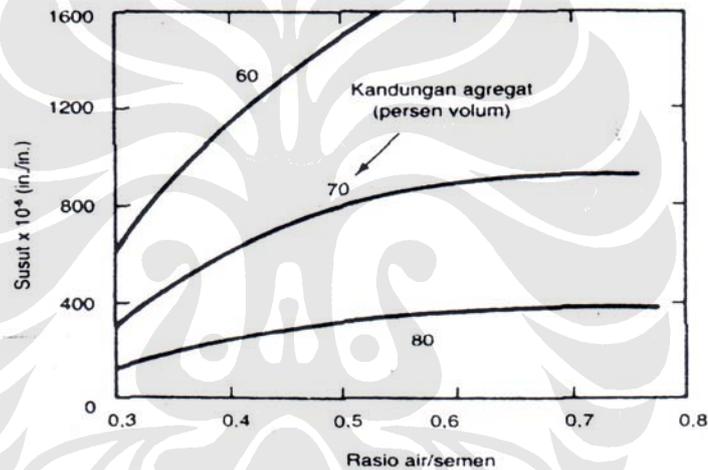
Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton, sedang faktor-faktor lain yang mempengaruhi besarnya susut pengeringan (Nawy, Edward.G.,1990) [13] adalah :

1. Agregat

Beton dengan kandungan agregat yang lebih banyak maka susut yang terjadi lebih sedikit. Beton dengan modulus elatisitas tinggi atau dengan permukaan kasar lebih dapat menahan proses susut.

2. Rasio air/semen

Semakin tinggi rasio air/semen, semakin besar susut yang terjadi. Pada gambar 2.7 dapat dilihat hubungan antara kandungan agregat dan rasio air/semen terhadap susut.



Sumber : Nawy, Edward. G., Reinforce Concrete a Fundamental Approach, 1990

**Gambar 2.7 Hubungan Kandungan Agregat dan Rasio Air/Semen Terhadap Susut**

3. Ukuran elemen beton

Durasi susut akan lebih lama untuk komponen struktur yang lebih besar karena lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan untuk mencapai daerah dalam.

4. Kondisi kelembaban di sekitar

Kelembaban relative pada lingkungan sekitar sangat mempengaruhi besarnya susut, laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban relatif yang lebih tinggi. Temperatur lingkungan juga merupakan faktor. Itu sebabnya susut menjadi stabil pada temperatur rendah.

---

---

5. Banyaknya tulangan

Beton bertulangan menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos.

6. Jenis semen

Semen yang cepat mengering akan mengalami susut lebih banyak dibandingkan jenis-jenis lainnya. Kehalusan butiran dan kuantitas semen juga mempengaruhi susut yang terjadi. Semakin halus ukuran butiran semen maka semakin besar semen tersebut menyerap air, karena permukaan yang bersentuhan dengan air juga semakin besar. Oleh karena itu, susut yang terjadi semakin besar. Pengaruh kuantitas semen terhadap susut beton adalah mengenai jumlah air yang diserap oleh semen. Semakin besar kuantitas semen yang digunakan maka semakin besar juga jumlah air yang diserap, sehingga susut yang terjadi semakin besar.

Regangan total pada beton dapat diasumsikan sebagai superposisi dari berbagai komponen regangan yang diakibatkan oleh beberapa fenomena. Regangan unaksial total beton,  $\epsilon$ , pada waktu  $t$  dari penjumlahan komponen-komponennya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon(t) = \epsilon^m(t) + \epsilon^n(t) \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan  $\epsilon(t)$  = regangan total

$\epsilon^m(t)$  = regangan mekanik

$\epsilon^n(t)$  = regangan non mekanik, yang terdiri dari regangan rangkai  $\epsilon_c(t)$ , regangan susut  $\epsilon_s(t)$ , regangan umur  $\epsilon_a(t)$ , dan regangan akibat temperatur  $\epsilon_T(t)$ , sebagaimana dirumuskan di bawah ini.

$$\epsilon^n(t) = \epsilon_c(t) + \epsilon_s(t) + \epsilon_a(t) + \epsilon_T(t) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

6. Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur  $f_r$  adalah kekuatan tarik beton dalam keadaan lentur akibat momen. Nilai ini ditentukan berdasarkan percobaan pada sebuah balok beton sederhana tanpa tulangan dengan sisi-sisi penampang 150 mm dan panjang 500 mm yang diberi beban pada 2 buah titik dengan jarak 1/3 bentang sampai benda uji patah. Tegangan yang bekerja yaitu tegangan tekan pada

---

---

serat atas dan tarik pada serat bawah dapat dihitung dengan rumus balok biasa yaitu :

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

M = Momen yang bekerja

y = Jarak vertikal antara titik yang dicari tegangannya

I = Momen inersia penampang

Harga kekuatan tarik lentur ini biasanya lebih besar dari pada kekuatan tarik belah. Hal ini disebabkan oleh tidak linernya distribusi dari tegangan tekan beton diambang kehancuran tarik seperti yang dimisalkan dari tegangan nominal  $M_y/I$ . Hubungan kuat tarik lentur dengan kuat tekan oleh ACI dirumuskan sebagai berikut :

$$f_r = 7.5\sqrt{f_c'} \text{ (Psi) atau } f_r = 0.62\sqrt{f_c'} \text{ (MPa)} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Rumus tersebut digunakan untuk beton berbobot normal, sedangkan untuk beton ringan berpasir nilai yang diperoleh dari persamaan tersebut dikalikan dengan faktor 0,85 dan 0,75 untuk beton ringan murni.

### 2.3.2 Klasifikasi Beton Ringan

Berdasarkan proses pembuatannya, beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

1. Beton ringan agregat

Beton ringan agregat adalah beton ringan yang dibuat dengan memakai agregat ringan yang bersifat porous dan mempunyai berat jenis yang rendah (kurang dari 2,6). berat isi beton yang dihasilkan adalah  $300-1850 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan antara 0,3-0,4 MPa. Agregat ini diperoleh dengan jalan pembekahan lempung, batu sabak, batu serpih, perlit, vermikulit. Adapula agregat ringan yang diperoleh secara alami, seperti pumice, scoria, tuff. Kadang kala dalam membuat beton yang lebih ekonomis, dalam campuran beton ringan digunakan agregat halus normal, seperti pasir alam untuk

---

---

menggantikan sebagian atau seluruh agregat halus ringan, beton jenis ini lebih dikenal dengan sebutan “*sanded-lightweight concrete*”. Campuran beton yang menggunakan agregat ringan untuk butiran halus dan kasarnya lebih dikenal dengan sebutan “*all-lightweight concrete*”. Tujuan dari pemakaian agregat halus normal ini untuk meningkatkan kekuatan beton ringan, tingkat mudah dikerjakan (*workability*) dan nilai modulus elastisitas beton ringan tersebut.

2. Beton aerasi

Beton ini dibuat dengan memberikan gelembung udara ke dalam mortar sehingga campuran beton menghasilkan banyak rongga udara, dengan berat isi berkisar antara 200-1100 kg/m<sup>3</sup>. Jenis beton ringan ini biasanya digunakan untuk keperluan insulasi.

3. Beton tanpa agregat halus (*no-fines concrete*)

Beton yang dibuat tanpa agregat halus, melainkan hanya memakai agregat kasar. Sehingga beton yang dihasilkan banyak mengandung rongga. Berat isi dari beton jenis ini tergantung dari gradasi agregatnya. Dengan hanya memakai satu ukuran butiran, beton yang dihasilkan akan mempunyai berat isi 10% lebih rendah dari berat isi beton yang memakai agregat bergradasi baik. Ukuran agregat yang dipakai besarnya antara 10-20 mm. Berat isi beton apabila memakai agregat ringan bisa mencapai 640 kg/m<sup>3</sup> dan 1600-2000 kg/m<sup>3</sup> bila memakai agregat normal. Kekuatan tekan *no-fines concrete* yang dihasilkan adalah 1,4-14 MPa tergantung dari berat isinya, yang juga dipengaruhi oleh kadar semennya.

Pada dasarnya pengurangan berat isi dari beton ringan yang dihasilkan dari masing-masing cara tersebut adalah karena adanya rongga-rongga udara, baik di dalam agregat, mortar, maupun antara partikel agregat kasar. Adanya rongga-rongga ini akan mengurangi kekuatan dari beton ringan tersebut., tetapi dengan adanya rongga-rongga ini membuat beton ringan mempunyai daya insulasi panas yang baik.

---

---

## 2.4 POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

*Polyethylene terephthalate (PET)* merupakan polyester termoplastik yang diproduksi secara komersial melalui produk kondensasi yang dikarakterisasi dengan banyaknya ikatan ester yang didistribusikan sepanjang rantai utama polimer. *Polyethylene terephthalate (PET)* adalah bahan dasar dari botol minuman plastik, dengan nama IUPAC-nya *polioksi etilen neooksitereftaol*.

Proses pembuatan PET memerlukan suhu yang sangat tinggi di atas 100°C untuk produk yang secara komersial memiliki kemampuan kristalisasi cepat. Material ini memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap pelarut yang bagus, dan stabilisasi hidrolitiknya baik (Ehrig, R.J., 1993) [9].

*PET* dan poliester lain pada umumnya bebas dari hasil pembakaran berbahaya CO<sub>2</sub>. Titik leleh *PET* murni di atas 280°C untuk sampel yang “annealing” secara lengkap. Sedangkan produk komersialnya meleleh pada suhu 255°C-265°C, karena hasil kristalisasi berkurang dengan adanya pengotor pada rantai utamanya. Pengotor yang ada dalam *PET* mengakibatkan kekuatan produk akan berkurang, baik sebagai produk film atau serat. Titik transisi gelas bervariasi dalam interval yang luas tergantung pada kemurnian polimernya (Young J.F., Mindness, S., Bentur, A)[22].

*Polyethylene terephthalate (PET)* secara komersial disintesa dari *etilen glikol (EG)* dan *dimethyl terephthalate (DMT)* melalui esterifikasi langsung dengan asam terephthalate (*TPA*) dan memiliki lebih banyak gugus *dietilen glikol* dari pada *PET* yang dibuat dengan proses trans esterifikasi. Polimerisasi terjadi melalui 2 tahap, yaitu pertukaran ester dan tahap polimerisasi. Secara umum tahap pembuatan *PET* adalah (Juwono, H., Harmani, Kurniawan, F., 1999) [11] sebagai berikut :

- Tahap pertama

Melibatkan reaksi pertukaran ester untuk memproduksi *bis (2-hidroksietil) terephthalate* dengan jumlah kecil. Selanjutnya bereaksi secara terus menerus antara *dimethyl terephthalate (DMT)* atau asam terephthalate (*TPA*) dengan *etilen glikol*, akan menghasilkan oligomer dengan massa molekul yang relatif lebih banyak. Reaktan dipanaskan secara bertingkat dari 150 °C - 210 °C dan

*methanol* didestilasi secara terus menerus sampai hilang pada temperatur tersebut.

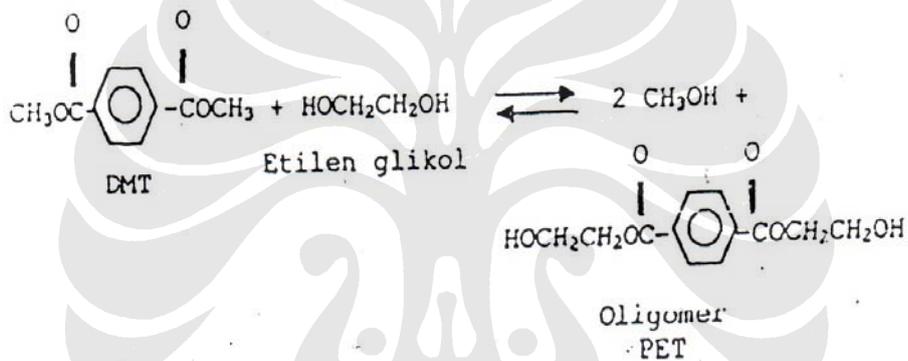
- Tahap kedua

Merupakan tahap polimerisasi, suhu dinaikkan hingga 270°C-280°C dan polimerisasi berlangsung untuk mengeluarkan air dengan cara mengurangi tekana menjadi 0,5-1,0 torr (66-133 Pa). Pada tahap ini merupakan polimerisasi lelehan karena reaksi terjadi pada titik leleh kristalin polimer.

Secara singkat reaksi pembuatan *PET* dapat dilihat di bawah ini :

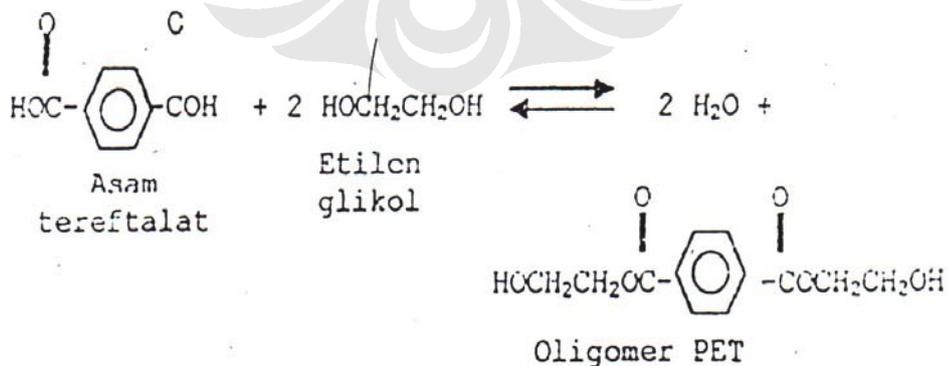
Tahap I :

- Pertukaran ester trans – esterifikasi



**Gambar 2.8 Proses Pertukaran Ester Trans-esterifikasi**

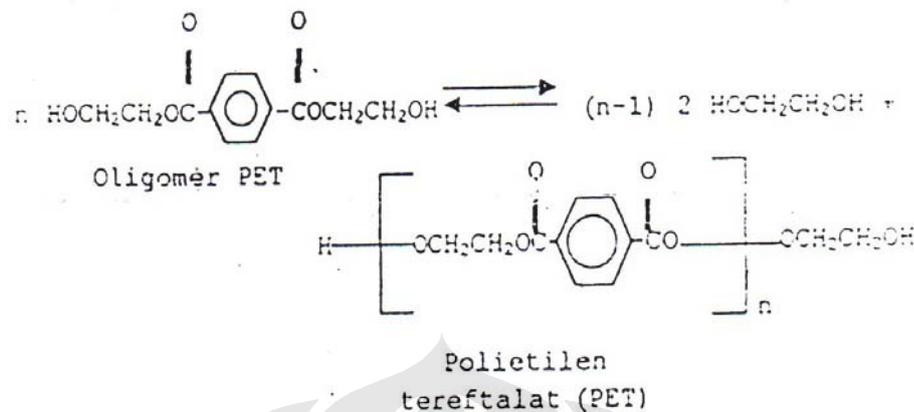
- Esterifikasi



**Gambar 2.9 Proses Esterifikasi**

Tahap II :

- Reaksi Polikondensasi



**Gambar 2.10 Reaksi Polikondensasi**

Pembentukan *oligomer* pada tahap ini merupakan reaksi katalisa pertukaran ester yang dikatalisa oleh garam-garam dari Mg, Co, Mn, Zn atau Ca, pada temperatur dan tekanan tinggi dapat mempercepat reaksi. Dan tahap kedua dikatalis oleh *antimoni*.

*Polyethylene terephthalate (PET)* dapat larut dalam *m-cresol* panas, asam trifluoroasetat, *oklorofenol*, memiliki titik leleh kristalin yang cukup tinggi sekitar 270°C dan sifat mekanik yang baik, tahan terhadap perlakuan kimia, hidrolitik dan pelarut. *PET* digunakan juga dalam teknik pemlastik sebagai pengganti baja, aluminium dalam pembuatan bahan elektronik.

Sifat – sifat fisik dari *Polyethylene terephthalate (PET)* (Derucher, K.N., Heins, C.P., 1981) [8], sebagai berikut :

- a. specific gravity : 0.92
- b. Konduktivitas Thermal :  $8 \times 10^{-4}$  cal / (sec) (cm<sup>3</sup>) (°C)
- c. Ekspansi thermal :  $(16-18) \times 10^{-5}$  in./in. °C
- d. Water absorption : < 0.01
- e. Terdiri atas beberapa warna
- f. Umum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan : botol, kabel listrik.

---

---

Sifat – sifat mekanik dari *Poyethylene terephthalate (PET)* (Derucher, K.N., Heins, C.P., 1981)[8], sebagai berikut :

- a. Kuat tarik (*tensile strength*) :  $(1.5-1.8) \times 10^3$  psi
- b. Kuat tekan (*compressive strength*) : -
- c. Modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) :  $0,19 \times 10^5$  psi
- d. Kuat tumbuk (*Impacts strength*) :  $< 16$  ft-lb/in.s

## 2.5 PROPORSI DAN PERHITUNGAN RANCANG CAMPUR

Proporsi campuran beton ringan dihitung berdasarkan karakteristik dari masing-masing material pembentuknya. Untuk beton ringan proporsi campuran akan dibatasi pada berat beton maksimum yang akan dihasilkan. Hal ini yang harus diperhatikan adalah faktor *workability*, *bleeding* dan *finishability*. Tingkat workabilitas akan mempengaruhi berat jenis dan kekuatan beton yang dihasilkan.

Penentuan proporsi campuran beton mula-mula dipilih berdasarkan kombinasi campuran optimum dari bahan-bahan pembentuknya. Kemudian dilakukan penyesuaian dengan melakukan rancang campur uji coba (*trial mix*) di laboratorium dan kembali disesuaikan dengan keadaan lapangan.

Prinsip dari prosedur perhitungan campuran beton normal, seperti metode volume absolute dapat diaplikasikan untuk beberapa jenis agregat, tetapi tidak dapat dipakai untuk jenis agregat lainnya. Metode volume absolute memerlukan penentuan nilai absorpsi dan berat jenis (*specific gravity*) masing-masing agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD), sedangkan untuk agregat ringan tidaklah mudah menentukan keadaan SSD agregat karena daya absorpsi agregat ringan sangat besar dimana kadar air dalam agregat berbeda-beda, sehingga penentuan nilai berat jenis agregat sulit dilakukan. Dengan demikian metode volume absolut jarang dipakai untuk menghitung proporsi campuran beton ringan.

### 2.5.1 Metode Perhitungan Campuran Beton Ringan Standar SNI 03-3449-02

SNI 03-3449-2002 menentukan tata cara perhitungan campuran beton ringan meliputi persyaratan proporsi campuran, rancangan campuran, bahan yang dipergunakan, pemilihan proporsi campuran beton ringan, perhitungan proporsi

---

---

campuran, koreksi proporsi campuran dan prosedur pembuatan rancangan campuran beton ringan.

Persyaratan proporsi beton ringan harus menghasilkan beton ringan yang memenuhi persyaratan, yaitu: kelecakan (*workability*), berat isi, kekuatan (*strength*), keawetan (*durability*), ekonomis.

Rancangan campuran beton ringan menurut standar SNI 03-3449-02 ditentukan berdasarkan hubungan antara :

1. Kuat tekan beton ringan ( $f'_{c_{Br}}$ ) terhadap bobot isi beton yang diharapkan.
2. Bobot isi beton ringan ( $BI_{Br}$ ) terhadap jumlah fraksi agregat ringan yang digunakan.
3. Kuat hancur agregat ( $f'_{c_A}$ ) tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan atau mortar ( $f'_{c_M}$ )

Agregat ringan yang digunakan untuk pembuatan beton ringan struktural dan beton ringan isolasi harus memenuhi ketentuan menurut SNI 03-2461-1991 tentang spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural serta SNI 03-3984-1995 tentang spesifikasi agregat ringan untuk beton isolasi.

### **2.5.2. Metode Perhitungan Campuran Beton Ringan Standar ACI 211.2-69**

ACI 211.2-69 menentukan dua metode perhitungan campuran beton ringan yaitu:

1. Metode Berat (*Specific Gravity Factor*)

Metode ini digunakan untuk menghitung campuran beton yang memakai agregat halus normal dan agregat kasar ringan, metode ini memakai *specific gravity factor* (berat jenis agregat dengan kandungan air tertentu pada agregat) kemudian diasumsikan berat beton yang dihasilkan dengan agregat tersebut.

2. Metode Volumetrik

Metode ini dipakai untuk proporsi campuran beton ringan (*all-lightweight*) maupun beton yang memakai agregat halus normal dan agregat kasar ringan (*sanded-lightweight*). Metode ini lebih disukai dibanding dengan metode berat dengan data berat isi lepas (*loose*) agregat dalam keadaan kering maupun basah dan kandungan airnya. Diasumsikan terlebih dahulu volume semen, agregat kasar dan halus dan air yang dipakai untuk

---

---

mendapatkan slump tertentu. Setelah diukur nilai slump. Kandungan udara dan berat beton segar dapat diketahui dengan menentukan besarnya *yield* (perbandingan berat material yang dimasukkan dalam molen dengan berat beton segar yang dihasilkan) dan melakukan penyesuaian untuk *trial mix* selanjutnya.

## **2.6 PROSEDUR PEMBUATAN AGREGAT**

### **2.6.1 Pembuatan Benda Uji Agregat Kasar Ringan**

Limbah botol minuman plastik daur ulang/ *Polietilen Terephthalate (PET)* dibuat menjadi potongan-potongan kecil, potongan plastik tersebut dimasukkan ke dalam wadah berbahan teflon atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket dan telah diisi dengan bahan bakar minyak (BBM) sebagai katalisator pembakaran. Kemudian potongan-potongan plastik tersebut dibakar dengan menutup bagian atas wadah agar tidak terjadi perpindahan panas ke luar sehingga suhu yang diperlukan untuk melelehkan plastik dapat tercapai, setelah proses pembakaran selesai hasil lelehan dipanaskan kembali menggunakan alat pemanas dengan panas yang konstan. Hal ini dimaksudkan agar suhu pada lelehan plastik tetap terjaga pada saat dilakukan penuangan lelehan plastik ke dalam loyang/cetakan. Setelah itu lelehan didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan tersebut mengeras. Hasil lelehan yang telah mengeras kemudian dikeluarkan dari dalam loyang/cetakan yang selanjutnya dipecahkan sehingga didapat pecahan-pecahan dengan ukuran-ukuran yang beragam dan bentuk yang menyerupai agregat.

### **2.6.2 Standar Pengujian Agregat Kasar Ringan dan Agregat Halus**

Pengujian terhadap agregat kasar ringan buatan berdasarkan pada standar ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktur”. Dimana pada standar ASTM C330-00 dan SNI 03-2461-1991 terdapat pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap agregat ringan kasar buatan, diantaranya:

---

ASTM C.29	<i>Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates</i>
ASTM C.127	<i>Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates</i>
ASTM C.136	<i>Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates</i>
ASTM C.142	<i>Test Method for Clay Lumps and Friable Particles Aggregates</i>
ASTM C.641	<i>Test Method for Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates</i>
SNI 03-1969-1990	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air
SNI 03-4804-1998	Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat
SNI 03-1968-1990	Pengujian Analisa Ayakan
SNI 03-4142-1996	Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200
SNI 03-1968-1990	Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton

### **2.6.3 Pelaksanaan Pengujian Agregat Kasar Ringan dan Agregat Halus**

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

Metode ini sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan dari agregat kasar. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air ini mengacu pada SNI 03-1969-1990.

Tujuannya untuk memperoleh angka berat jenis tersebut dan angka penyerapan. Peralatan yang digunakan antara lain keranjang kawat No.6 atau No.8, tempat air, timbangan, oven, saringan No.4. Benda uji adalah agregat yang tertahan oleh saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No.4), yang diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara penempatan, sebanyak kira-kira 5 kg.

---

---

Proses pengujian;

- Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar 25°C selama 24 jam.
- Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering), untuk butir yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
- Timbang benda uji dalam keadaan jenuh permukaan kering (BJ)
- Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan gelembung udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu kamar 25°C.
- Masukkan benda uji ke dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.
- Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam sampai tiga jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (BK).
- Perhitungan
  - Berat jenis =  $B_k / B_j - B_a$  .....(2.15)
  - Berat jenis SSD =  $B_j / (B - B_a)$  .....(2.16)
  - Berat jenis semu =  $B_k / (B_k - B_a)$  .....(2.17)
  - Penyerapan air =  $100 ( B_j - B_k ) / B_k$  .....(2.18)

Dimana:

B<sub>k</sub> : berat benda uji kering oven;

B : berat benda uji kering oven permukaan jenuh;

B<sub>j</sub> : berat benda uji kering oven permukaan jenuh di dalam air;

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

Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat mengacu pada SNI 03-4804-1998. Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang di antara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Peralatan yang digunakan yaitu timbangan kapasitas 2-20 kg; batang baja 016 mm dan panjang 610 mm, alat penakar kapasitas (2,8-100) liter, sekop atau

---

---

sendok, oven. Contoh uji ditentukan jumlahnya mendekati (125-200)% dari jumlah yang diuji.

Pengujian ini dimasukkan untuk mengetahui berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi padat dan kondisi gembur.

Proses Pengujian untuk kondisi padat dilakukan dengan cara tusuk dan cara ketuk, yaitu :

1. Cara Tusuk

- Isi penakar 1/3 dari Volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- Tusuk lapisan agregat dengan 25 × tusukan batang penusuk.
- Isi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan tusuk sebanyak 25× dengan batang penusuk.
- Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
- Hitung berat isi agregat :

$$M = (G - T) / V \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

M = berat isi agregat kering oven ( $\text{kg/m}^3$ )

G = berat agregat dan penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar ( $\text{m}^3$ )

F = faktor penakar ( $\text{m}^3$ ).

- Hitung kadar rongga udara :

$$\text{Rongga Udara} = [(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

M = berat isi dalam kondisi kering oven dalam ( $\text{kg/m}^3$ )

S = berat jenis agregat dalam kering

W = kerapatan air: 998 ( $\text{kg/m}^3$ )

---

---

## 2. Cara Ketuk

- Isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- Padatkan lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50×.
- Isi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan ketukkan kembali sebanyak 50×.
- Isi penakar sampai berlebih dan ketuk lagi.
- Ratakan permukaan agregat dengan batang perata sampai rata.
- Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
- Hitung berat isi agregat :

$$M = (G - T) / V \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad \text{.....(2.21)}$$

Dimana :

M = berat isi agregat kering oven ( $\text{kg/m}^3$ )

G = berat agregat dan penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar ( $\text{m}^3$ )

F = faktor penakar ( $\text{m}^3$ ).

- Hitung kadar rongga udara :

$$\text{Rongga Udara} = [(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\% \quad \text{.....(2.22)}$$

Dimana :

M = berat isi dalam kondisi kering oven dalam ( $\text{kg/m}^3$ )

S = berat jenis agregat dalam kering

W = kerapatan air: 998 ( $\text{kg/m}^3$ )

Proses pengujian untuk kondisi gembur dilakukan dengan cara sekop atau sendok, yaitu :

- Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- Ratakan permukaan dengan batang perata.
- Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.

- Hitung berat isi agregat :

$$M = (G - T) / V \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

M = berat isi agregat kering oven ( $\text{kg/m}^3$ )

G = berat agregat dan penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

V = volume penakar ( $\text{m}^3$ )

F = faktor penakar ( $\text{m}^3$ ).

- Hitung kadar rongga udara :

$$\text{Rongga Udara} = [(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

M = berat isi dalam kondisi kering oven dalam ( $\text{kg/m}^3$ )

S = berat jenis agregat dalam kering

W = kerapatan air:  $998 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

### 2.6.3.3 Pengujian Analisa Ayakan

Pengujian Analisa Ayakan mengacu pada SNI 03-1968-1990. Metode ini digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan, tujuannya untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persen-tase butiran.

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

Peralatan yang digunakan antara lain: timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah, mesin guncang jaringan, talam dan alat lainnya. Benda uji berupa jenis-jenis agregat kasar yang diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempatan banyak.

Berat minimum benda uji agregat kasar harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- ukuran maksimum 3,5"; berat minimum 35 kg
- ukuran maksimum 2,5"; berat minimum 25 kg

- 
- 
- ukuran maksimum 1"; berat minimum 10 kg.

Proses pengujian :

- Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
- Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin penggoncang selama 15 menit.
- Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada masing-masing ayakan.
- Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

#### 2.6.3.4 Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200

Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 atau 0,075 mm mengacu pada SNI 03-4142-1996. Metode pengujian ini untuk memperoleh prosentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dengan cara pencucian. Peralatan yang digunakan antara lain : saringan terdiri dari dua ukuran, bagian bawah saringan No. 200 (0,075 mm) dan di atasnya saringan No. 16 (1,18 mm), wadah, timbangan dan oven. Benda uji adalah agregat dalam kondisi kering oven dengan berat kering minimum yang telah ditentukan.

Persiapan pengujian melalui tahapan sebagai berikut; siapkan peralatan yang akan digunakan, tulis identitas benda uji ke dalam formulir, saring contoh agregat untuk mengetahui ukuran maksimum agregat. Siapkan benda uji dalam kondisi kering oven dengan melalui alat pemisah contoh.

Proses Pengujian :

1. Timbang wadah tanpa benda uji.
2. Timbang benda uji dan masukkan ke dalam wadah.
3. Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam.
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan No.200

- (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan pencuci sehingga mempermudah dalam pemisahannya.
5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan No.16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan No.200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
  6. Ulangi proses pengujian 3, 4 dan 5 sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih.
  7. Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan No.16 (1,18 mm) dan No.200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai mencapai berat tetap dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh.
  8. Hitung persen bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) :
    - Berat kering benda uji awal  
 $W_3 = W_1 - W_2$  .....(2.25)
    - Berat kering benda uji sesudah pencucian  
 $W_5 = W_4 - W_2$  .....(2.26)
    - Bahan lolos saringan No.200 (0,075 mm)  
 $W_6 = (W_3 - W_5) / W_3 \times 100$  .....(2.27)
- Dimana :
- $W_1$  = berat kering benda uji + wadah  
 $W_2$  = berat wadah  
 $W_3$  = berat kering benda uji awal  
 $W_4$  = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah  
 $W_5$  = berat kering benda uji sesudah pencucian %  
 $W_6$  = bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

#### 2.6.3.5 Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton

Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton mengacu pada SNI 03-1968-1990. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik di dalam pasir yang menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar atau beton. Tujuannya adalah untuk mendapatkan angka dengan petunjuk larutan

---

---

standar terhadap larutan benda uji pasir. Pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu agregat.

Benda uji pasir harus lolos saringan no. 4, berat minimum 500 gram dan dalam keadaan kering. Peralatan yang digunakan adalah botol gelas berskala, tidak berwarna, mempunyai tutup karet dengan volume 350 mL. Dalam pengujian digunakan larutan standar dari larutan 0,250 gram  $K_2Cr_2O_7$  dalam 1000 mL  $H_2SO_4$  atau menggunakan warna standar *organic plate*.

Prosedur pengujian :

1. Memasukan benda uji kedalam botol gelas sampai mencapai garis skala 130 mL.
2. Tambahkan larutan (3% NaOH + 97% air) dan dikocok sampai volume mencapai 200 mL.
3. Tutup botol, kocok kuat-kuat diamkan 24 jam.
4. Lalu bandingkan warna dengan menggunakan larutan standar *organic plate* no. 3.
5. Jika warna benda uji lebih gelap dari warna larutan standar (lebih besar dari No.3), maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran beton.

## **2.7 PROSEDUR CAMPURAN BETON RINGAN**

### **2.7.1 Parameter Campuran Beton Ringan**

Standar SNI 03-3449-2002 menetapkan tata cara pembuatan rancangan campuran beton ringan dengan agregat ringan agar mendapatkan proporsi campuran bahan-bahan yang dapat menghasilkan beton ringan sesuai dengan penggunaannya pada konstruksi struktural ringan dan sangat ringan.

Agregat ringan adalah agregat dengan berat isi kering oven gembur maksimum  $1100 \text{ kg/m}^3$ . Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  kering udara dan memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

Rancangan campuran beton ringan menurut standar SNI 03-3449-2002 ditentukan berdasarkan hubungan antara :

1. Kuat Tekan beton ringan ( $f'_{c_{Br}}$ ) terhadap bobot isi beton yang diharapkan.
2. Bobot isi beton ringan ( $BI_{Br}$ ) terhadap jumlah fraksi agregat ringan yang digunakan.
3. Kuat hancur agregat ( $f'_{c_A}$ ) tidak lebih besar dari kuat tekan adukan atau mortar ( $f'_{c_M}$ )

Agregat ringan dipilih menurut tujuan konstruksi yang dipilih berdasarkan tabel berikut :

**Tabel 2.2 Jenis agregat ringan yang dipilih berdasarkan tujuan Konstruksi**

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan MPa	Berat Isi Kg/m <sup>3</sup>	
Struktural :			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dan batu serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau abu terbang.
• Minimum	17,24	1400	
• Maksimum	41,36	1850	
Struktural Ringan :			Agregat ringan alam seperti scoria dan batu apung.
• Minimum	6,89	800	
• Maksimum	17,24	1400	
Struktural sangat ringan, sebagai isolasi, maksimum	-	800	Perlit atau vermikulit.

Sumber : SNI 03-3449-2002, Tata Cara Perhitungan Campuran Beton Ringan, 2002

Berdasarkan Tabel 2.2, agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik yang digunakan dalam penelitian ini akan dikategorikan ke dalam agregat ringan struktural yaitu agregat yang dapat menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan antara 17,24 – 41,36 MPa dan berat isi antara 1400-1850 kg/m<sup>3</sup>.

---

---

### 2.7.2 Metode Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan SNI 03-3449.1-2002

Persyaratan proporsi campuran harus menghasilkan beton ringan yang memenuhi persyaratan kelecakan, berat isi, kekuatan, keawetan dan ekonomis. Bahan-bahan yang digunakan antara lain: air, semen dan agregat. Rancangan campuran beton ringan ditentukan berdasarkan hubungan: kuat tekan beton ringan terhadap bobot isi beton yang diharapkan, bobot isi beton agregat ringan terhadap jumlah fraksi agregat ringan yang digunakan serta kuat hancur agregat tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan.

Metode yang digunakan dalam pembuatan rancangan beton ringan standar SNI 03-3449-2002, adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan  $f'_{cB}$  pada umur 28 hari.
2. Menentukan deviasi standar (S), data hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus mengikuti ketentuan yang berlaku untuk beton normal menurut SNI 03-3434-2000, tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
3. Menghitung nilai tambah (Marjin),

$$M = k \times S \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

M = nilai tambah (marjin)

k = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase hasil uji yang lebih rendah dari  $f'c$

S = deviasi standar

4. Menghitung kuat tekan beton ringan yang ditargetkan,  $f'_{cBr}$
5. Menentukan berat isi maksimum beton yang disyaratkan.
6. Menentukan kuat hancur agregat,  $f'_{cA}$  ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
7. Menentukan kuat tekan agregat kasar,  $n_f$  dengan mengacu pada data kuat tekan adukan,  $f'_{cM}$  dan berat isi adukan,  $BI_M$  ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
8. Menentukan Kuat tekan adukan dan berat isi adukan yang telah terpilih.

- 
- 
9. Menentukan susunan campuran adukan (mortar) dan hasil percobaan laboratorium per m<sup>3</sup>.
  10. Menentukan susunan campuran beton ringan dengan proporsi campuran yang sesuai dengan harga fraksi agregat ringan kasar.
  11. Menghitung kadar agregat kasar, semen, air dan agregat halus yang digunakan dan menjumlahkan beratnya. Hasil dari penjumlahan tersebut adalah berat isi beton ringan.
  12. Mengoreksi proporsi campuran terhadap kandungan air dalam agregat.
  13. Membuat campuran uji, mengukur dan mencatat besarnya slump dan kekuatan tekan yang sesungguhnya seperti pada beton normal dengan memperhatikan hal berikut :
    - Melakukan penyesuaian berat isi dan kuat tekan dengan mengubah fraksi agregat ringan.
    - Jika kuat tekan yang didapatkan terlalu rendah, maka kuat tekan adukan dapat dipertinggi, sementara jumlah fraksi volume agregat dijaga konstan atau dengan menjaga kuat tekan adukan tetap, sementara jumlah fraksi volume agregat kasar dikurangi.
    - Jika penyimpangan terlalu besar, pilih bahan-bahan lain, agregat yang lebih kuat atau jenis semen lainnya.

## **2.8 PROSEDUR PERCOBAAN BETON**

### **2.8.1 Pembuatan Benda Uji Beton Ringan**

Setelah diperoleh proporsi bahan dalam pembuatan beton, maka tahapan selanjutnya adalah pembuatan benda uji beton untuk setiap pengujian yang akan dilakukan. Berikut ini merupakan jumlah benda uji untuk masing-masing pengujian.

**Tabel 2.3 Jumlah Benda Uji Untuk setiap Pengujian**

<b>Jenis Pengujian</b>	<b>Bentuk Benda Uji</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Kode</b>
Tes Kuat Tekan Agregat	Kubus 5 × 5 × 5 cm	3	(KK <sub>5</sub> -1) – (KK <sub>5</sub> -3)
Tes Kuat Tekan Beton	Silinder 15 × 30 cm	2	(SB <sub>15</sub> -1) & (SB <sub>15</sub> -2)
	Silinder 10 × 20 cm	3	(SK <sub>10</sub> -1) – (SK <sub>10</sub> -3)
Tes Modulus Elastisitas	Silinder 15 × 30 cm	3	(SB <sub>15</sub> -3) – (SB <sub>15</sub> -5)
Tes Kuat Tarik Belah	Silinder 15 × 30 cm	3	(SB <sub>15</sub> -3) – (SB <sub>15</sub> -5)
Tes Rangkak Beton	Silinder 15 × 30 cm	2	(SB <sub>15</sub> -6) & (SB <sub>15</sub> -7)
Tes Geser Beton	Silinder 10 × 20 cm	3	(SK <sub>10</sub> -4) – (SK <sub>10</sub> -6)
Tes Kuat Lentur	Balok 15 × 15 × 54 cm	3	(BL-1) – (BL-3)
Tes Susut Beton	Balok 10 × 10 × 50 cm	3	(BS-1) – (BS-3)
Tes Kuat Tarik Agregat	Angka 8, t = 3 cm	4	(BU <sub>8</sub> -1) – (BU <sub>8</sub> -4)
Tes Kuat Tarik Beton	Angka 8, t = 3 cm	4	(BUB <sub>8</sub> -1) – (BUB <sub>8</sub> -4)

### **2.8.2 Standar Pengujian Beton Ringan**

Pengujian terhadap beton ringan berdasarkan pada standar ASTM C.330-00, "Standard Specification for Structural Concrete" dan SNI 03-2461-1991, "Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktur". Dimana pada standar ASTM C.330-00 dan SNI 03-2461-1991 terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap beton ringan, diantaranya:

- ASTM C.39            *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*
- ASTM C.496        *Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*
- ASTM C.567        *Test Method for unit Weight of Structural Lightweight Concrete Aggregates*
- ASTM C.469        *Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*
- ASTM C.192        *Practice for Making and Curing Concrete Specimens in the Laboratory*
- ASTM C.617        *Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*

---

ASTM C 157	<i>Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar and Concrete</i>
ASTM C 512-87	<i>Test Method for creep of concrete in compression</i>
ASTM C 78-02	<i>Test Method for Flexural Strength (Using Simple Beam with Third-Point Loading)</i>
SNI 03-4431-1997	Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Dua Titik Pembebanan

### **2.8.3 Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan Segar**

#### 2.8.3.1 Pengujian Slump

Uji ini dimaksudkan untuk mengukur kekentalan adukan beton yang dihasilkan pada setiap pengadukan. Kekentalan beton berpengaruh pada kemudahan pengerjaan (*workability*) dari beton. Adukan ini diambil langsung dari mesin pengaduk.

Proses Pengujian :

- Sebelum alat-alat yang akan digunakan pada pengujian ini, dibasahi permukaannya untuk menghindari adanya penyerapan air dari campuran beton.
- Kerucut Abrams diletakkan di atas bidang alas yang rata sambil ditekan ke bawah pada penyokongnya.
- Adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut dalam 3 lapis yang sama dan setiap lapis ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat baja.
- Setelah selesai, permukaan atasnya diratakan dan dibiarkan selama 30 detik.
- Kemudian kerucut ditarik vertikal ke atas dengan hati-hati
- Segera setelah penurunan kerucut terhadap tinggi semula diukur.
- Hasil pengukuran disebut nilai slump.

#### 2.8.3.2 Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi beton yang dihasilkan pada tahap awal dan mencari nilai *yield* yaitu volume beton segar yang dihasilkan dari total berat bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam *mixer*. Besar nilai *yield*

---

---

beton adalah perbandingan beton segar yang dihasilkan dengan berat total bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam *mixer*.

Proses Pengujian:

- Cetakan yang telah diketahui volumenya (V) ditimbang dan dicatat beratnya (A).
- Isi cetakan dengan adukan hingga penuh dalam 3 lapisan (sesuai prosedur pencetakan sampel) dipadatkan, diratakan permukaannya.
- Permukaan cetakan dibersihkan dari sisa-sisa beton dan ditimbang beratnya (B).
- Berat beton segar (*fresh unit weight*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Berat beton segar} = (B-A)/V \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

## 2.8.4 Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan Mengeras

### 2.8.4.1 Pengujian Berat Isi Kering Udara Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan berat beton setelah mengeras atau berat isi kering udara beton. Perosedur pengujian untuk medapatkan nilai tersebut adalah dengan cara menimbang beton yang telah mengeras, sehingga diperoleh berat isi keringnya. Penimbangan sebaiknya dilakukan sebelum beton di-*capping* sehingga berat belerang dari proses *capping* tidak termasuk dalam berat beton.

### 2.8.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai  $f_c'$  yaitu kuat tekan beton yang diinginkan. Pelaksanaan pengujian kuat tekan berdasarkan standard ASTM C.39, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Proses pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan atas benda uji diberi lapisan belerang (*capping*) untuk meratakan permukaan benda uji.
- Setelah lapisan belerang mengeras benda uji diletakkan pada mesin/alat tekan dan posisinya berada tepat di tengah-tengah lapisan pelat tekan.

- 
- 
- Pembebanan dilakukan perlahan-lahan secara kontinu dengan mesin hidrolik hingga jarum penunjuk berhenti kemudian salah satunya bergerak turun.
  - Beban maksimum ditunjukkan oleh jarum penunjuk dicatat.

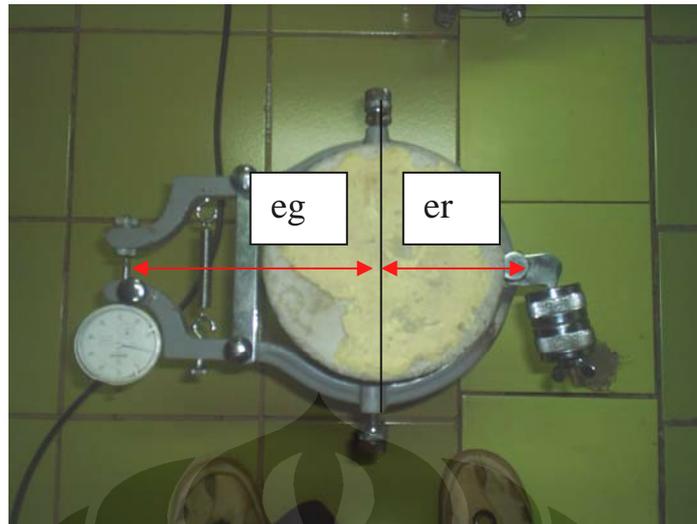
#### 2.8.4.3 Pengujian Modulus Elastisitas dan Angka Perbandingan Poisson

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas yaitu perbandingan antara tegangan terhadap regangan dan angka perbandingan Poisson yaitu perbandingan antara regangan arah lateral terhadap regangan arah aksial. Angka perbandingan Poisson untuk beton normal ataupun beton ringan berdasarkan pada pengujian sebelumnya adalah 0,15 – 0,25 dan nilai rata-rata yang sering digunakan dalam desain adalah 0,20. (Nawy, Edward.G.,1990) [13]

Pelaksanaan pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson ini berdasarkan pada standar ASTM C.469, *Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens*. Pengujian ini menggunakan alat *dial gage*. Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut :

- Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan yang kasar diberi belerang (*capping*).
- Buat tiga buah garis yang mengelilingi benda uji pada posisi 5 cm dari ujung dan di tengah-tengahnya.
- Alat kompresometer dan ekstensometer dipasang pada silinder secara horizontal dengan menggunakan tiga ketiga garis yang telah dibuat.
- Kemudian benda uji diletakkan pada mesin tekan dengan hati-hati agar alat uji yang telah dipasang tidak bergeser.
- Pembebanan dilakukan secara kontinu dengan tiap kenaikan 1 ton, deformasi yang terjadi dicatat. Pembebanan dilakukan sampai beban 40% dari kuat tekan benda uji. Kemudian diturunkan dengan selisih yang sama dan deformasi dicatat.
- Setelah 4 siklus, pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan deformasi yang terjadi dicatat.

Untuk pembacaan dial regangan lateral, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat.



**Gambar 2.11 Koreksi Pembacaan Dial Horizontal**

$$d = g \cdot er / (er + eg) \dots \dots \dots (2.29)$$

$d$  = deformasi total benda uji pada jarak efektif

$g$  = hasil yang terbaca pada alat ukur

$er$  = Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke poros O

$eg$  = Jarak tegak lurus dari dial ke sumbu benda uji dimana terletak pengukur deformasi di dua sisi.

Untuk arah aksial, pengukuran jarak vertikal merupakan panjang dari ring atas hingga ring bawah pada alat uji modulus elastisitas yaitu sebesar  $\pm 20$  cm.

#### 2.8.4.4 Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Dua Titik Pembebanan ini mengacu pada SNI 03-4431-1997. 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 patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan.

Peralatan yang dipakai adalah mesin tekan beton yang dapat menguji kuat lentur dilengkapi dengan manometer dua jarum pembacaan beban, 2 buah perletakan benda uji berbentuk titik, dan dua buah titik pembebanan; ketelitian

pembacaan sebesar 12,5 kg. Alat bantu lain berupa timbangan kapasitas 50 kg dengan ketelitian 0,01 %; pengukur panjang dan jangka sorong.

Benda uji Bentuk dan dimensi benda uji adalah berbentuk bujur sangkar dengan lebar = 15 cm, tebal 15 = cm dan panjang = 54 cm, jumlah benda uji untuk satu kali pengujian berjumlah 3 buah.

Prosedur Pengujian :

1. Mengukur dimensi penampang benda uji dan menimbang berat benda.
2. Membuat garis melintang sebagai penunjuk untuk perletakan dan titik pembebanan, memasang 2 perletakan serta alat pembebanan.
3. Meletakkan benda uji diatas tumpuan, menghidupkan mesin uji tekan, mengatur pembebanan dengan kecepatan 8-10 kg/cm<sup>2</sup> per menit, menghentikan pembebanan setelah beban maksimum tercapai.
4. Untuk menghitung patahnya benda uji di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan dari bagian tarik beton, kuat lentur beton dihitung dengan rumus :

$$2 \phi_1 = p . l . b . h \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

5. Sedangkan untuk menghitung kuat lentur beton dimana patahnya benda uji ada di luar pusat adalah :

$$2 \phi_1 = 3 p . a . b . h \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

dimana :

$\Phi_1$  = Kuat lentur benda uji (MPa),

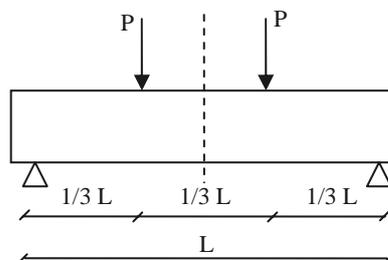
P = Beban maksimum dari mesin uji

I = Jarak antara dua garis perletakan (mm),

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h<sub>2</sub> = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar.



**Gambar 2.12 Proses Pengujian Kuat Lentur**

---

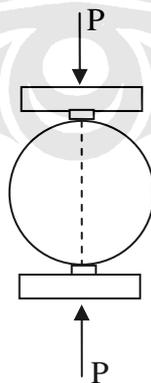
#### 2.8.4.5 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah benda uji silinder beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder, yang diperoleh dari hasil pembebanan. Peralatan: mesin uji tekan untuk uji kuat tarik belah, pelat penekan dengan permukaan rata dengan panjang melebihi ukuran benda uji dan lebar tidak kurang dari 50 mm serta ketebalan tidak kurang dari tebal meja penekan, alat bantu penandaan dan penempatan benda uji dan jangka sorong.

Bahan penunjang uji lainnya terdiri dari dua buah bantalan penekan terbuat dari kayu lapis dengan tebal 13 mm, lebar  $\pm 25$  mm, panjang benda uji. Benda uji dibuat dan dirawat sesuai dengan SNI 03- 2492-1991 ketelitian ukuran diameter  $\pm 0,1$  mm, ketelitian ukuran panjang  $\pm 1$  mm.

Proses Pengujian:

- Ambil benda uji dari tempat perawatan,
- Bungkus dengan kain basah dan bersihkan,
- Catat identitas, tipe, jenis, umur, kondisi, berat, diameter, panjang, pasang lapisan merata beban,
- Letakan pada mesin uji,
- Jalankan mesin tekan dengan penambahan konstan sampai beban maksimum, gambar pola keremukannya.



**Gambar 2.13 Proses Pengujian Kuat Tarik Belah**

---

#### 2.8.4.6 Pengujian Kuat Tarik Agregat dan Beton

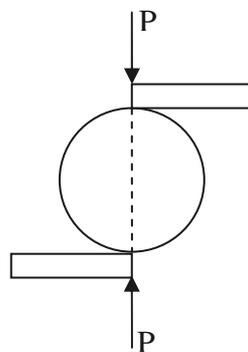
Pengujian kuat tarik beton atau *direct tensile* ini digunakan untuk mengetahui modulus elastisitas tarik dari beton serta ikatan antara pasta semen dan agregat. Prosedur yang digunakan sebagai berikut :

- Membuat benda uji berbentuk angka 8 dengan tebal 2,3 cm
- Setelah benda uji mengalami *curing*, benda uji diletakkan pada alat tes tarik manual.
- Kemudian memasang dial sehingga dapat diketahui regangan akibat beban yang diberikan.
- Memberikan beban secara bertahap sampai benda uji putus dan mencatat setiap perubahan dial.

#### 2.8.4.7 Pengujian Kuat Geser Beton

Kuat geser beton adalah nilai kuat geser dari benda uji berbentuk silinder yang didapat dari hasil bagi antara beban dengan bidang geser benda uji. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Benda uji yang akan dites terlebih dahulu ditandai dengan membuat garis diameter silinder.
- Mengukur besarnya diameter dan panjang benda uji masing-masing sebanyak tiga kali kemudian diambil rata-rata dari ketiga nilai tersebut.
- Memasang benda uji pada alat penguji dengan memperhatikan garis diameter yang telah dibuat agar benda uji tersebut berada tepat di tengah alat penguji.



**Gambar 2.14 Proses Pengujian Kuat Geser**

---

---

#### 2.8.4.8 Pengujian Susut Beton

Prosedur pengujian susut mengacu kepada standar ASTM C 157/C 157 M, *Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar and Concrete*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui susut pada beton yang terjadi akibat proses hidrasi berlangsung. Akibat proses hidrasi, beton menghasilkan panas yang menyebabkan beton susut dan dapat menyebabkan keretakan apabila tidak dikendalikan. Benda uji yang digunakan adalah balok dengan ukuran  $10 \times 10 \times 50$  cm. Prosedur percobaan susut sebagai berikut.

- Membuat benda uji pada cetakan dan memasang baut ukuran 10 pada saat pengecoran. Baut ini akan digunakan sebagai tempat peletakkan dial.
- Meletakkan pada alat susut pada saat umur beton 1 hari, kemudian memasang dial.
- Melakukan pembacaan dial sampai hari yang diperlukan untuk melakukan penelitian.

#### 2.8.4.9 Pengujian Rangkak Beton

Pengujian rangkak dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai perilaku rangkak yang terjadi pada beton ringan. Rangkak merupakan pertambahan regangan menurut waktu yang terjadi akibat pembebanan yang terus menerus. Dari perilaku rangkak yang didapat diketahui/diperkirakan besarnya lendutan jangka panjang yang terjadi pada balok maupun pelat dari suatu struktur bangunan.

Dalam desain struktur biasanya digunakan faktor pengali rangkak terhadap lendutan elastis, karena sangat sulit untuk menentukan besarnya regangan rangkak yang pasti yang diakibatkan oleh kompleksnya variabel-variabel yang berpengaruh. Faktor pengali ( $\phi$ ) yang biasa digunakan adalah 2 untuk umur pembebanan  $\geq 5$  tahun.

Prosedur pengujian rangkak mengacu kepada standar ASTM C 512-87, *Standar Test Method for creep of concrete in compression*, dan diuraikan secara singkat sebagai berikut :

- 
- 
- Benda uji ditimbang dan dicatat beratnya, kemudian bagian atas permukaan benda uji diratakan dengan memberi lapisan belerang;
  - Kemudian buat 2 buah garis pada keliling benda uji silinder dengan jarak kedua garis sama dengan jarak sekrup pada alat uji rangkai/kompresometer. Kedua garis ini dibuat sedemikian sehingga jarak dari masing-masing garis ke ujung benda uji mempunyai jarak yang sama;
  - Kompresor dipasang pada tengah-tengah benda uji secara horizontal dengan mengacu kepada kedua garis yang sudah dibuat;
  - Benda uji yang sudah dipasang dengan kompresometer diletakan pada alat uji rangkai secara hati-hati dan pembebanan dilakukan dengan beban maksimum yang diberikan tidak boleh melampaui 40 % dari kuat tekan benda uji;
  - Segera setelah beban mencapai angka yang diinginkan, jarum penunjuk deformasi pada kompresor dicatat;
  - Pencatatan dilakukan setiap 15 menit selama 3 jam, setiap 1 jam sampai jam ke-enam dan satu kali setiap hari selama 90 hari.

Beban yang diberikan diperiksa setiap hari dan jika ada penurunan maka beban harus segera ditambah agar pembebanan tetap konstan selama pengamatan.