

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian dari skripsi yang dilakukan oleh Moh. Ainun Najib dari Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta tentang pemanfaatan limbah ban karet sebagai pengganti agregat kasar menggunakan proporsi campuran 5%, 10%, 15%. Diperoleh kesimpulan penggunaan limbah ban bekas ternyata menurunkan kuat tekan pada beton tetapi pada pengujian kuat tarik beton dengan campuran ban bekas 10% menghasilkan nilai yang lebih baik dari pada kuat tarik beton normal, dan nilai slumpnya lebih kecil dari beton normal, penambahan presentase limbah ban bekas berpengaruh pada berat jenis beton, semakin banyak penambahan limbah ban bekas maka berat jenis beton akan semakin ringan. Sedangkan penelitian dari skripsi yang dilakukan oleh Michael, dkk dari Universitas Sumatera Utara tentang pengaruh akibat adanya bahan substitusi abu cangkang telur ayam sebagai tambahan semen dan kerak boiler sebagai substitusi pasir menggunakan proporsi 5% dan 7,5%. Diperoleh kesimpulan nilai kuat tekan dari penambahan cangkang telur terbesar diperoleh pada persentase 7,5% sebesar 20,0802076 Mpa.

Perbedaan penelitian yang ingin penulis kaji adalah adakah pengaruh penambahan dengan campuran ban bekas lebih dari 10% serta adakah pengaruh penambahan dengan campuran cangkang telur ayam lebih dari 7,5%. Dengan demikian penulis ingin meneliti lebih lanjut dengan menggunakan proporsi campuran ban bekas 7,5%, 10%, dan 12,5% serta campuran cangkang telur ayam 10%, 15% dan 20%.

2.2 Landasan Teori

Beton (Concrete) yaitu campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Macam-macam beton adalah sebagai berikut :

- a. Beton, ringan semuanya (*Concrete, all-lightweight*) yaitu beton ringan yang mengandung hanya agregat kasar dan halus ringan yang memenuhi ASTM C330M.
- b. Beton, ringan (*Concrete, lightweight*) beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m³.
- c. Beton, normal (*Concrete, normal weight*) yaitu beton yang mengandung hanya agregat yang memenuhi ASTM C33M.
- d. Beton, pasir ringan (*Concrete, sand-lightweight*) yaitu beton ringan yang mengandung hanya agregat halus berat normal yang memenuhi ASTM C33M dan hanya agregat ringan yang memenuhi ASTM C330M.

2.2.1 Komponen - Komponen Penyusun Beton

Bahan material yang digunakan untuk membuat beton terdiri dari agregat halus, agregat kasar dan air. Pada penelitian ini menggunakan bahan dari limbah cangkang telur sebagai pengganti semen serta penambahan ban bekas sebagai pengganti agregat halus.

a. Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. (Bonardo Pangaribuan, Holcim).

Pada umumnya proyek (konsultan dan kontraktor) mempercayakan dan dapat menerima kontrol mutu atas material semen portland pada produsen. Tetapi bila ingin membuktikan kualitas (mutu) semen tersebut maka dapat dilakukan pengujian berat jenis semen dalam laboratorium. Berat jenis semen menurut ASTM C 348-97 yaitu sebesar 3,03 gr/cm³ – 3,25 gr/cm³.

Menurut SNI atau standar tentang semen portland dan semen campuran, sebagai acuan pengecekan jenis dan tipe semen yang digunakan :

- SNI 15-2049-2004 (Semen Portland)
- SNI 15-0302-2004 (Semen Portland Pozolan)
- SNI 15-7064-2004 (Semen Portland Komposit)
- SNI 15-3500-2004 (Semen Portland Campur)

Pada bagian ini hanya akan diulas secara ringkas jenis semen portland yang digunakan untuk konstruksi beton dan adukan mortar.

1. Semen Portland (OPC = *Ordinary Portland Cement*)

Menurut SNI 15-2049-2004 Semen portland didefinisikan sebagai 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. Jenis-jenis semen portland (OPC) pada SNI 15-2049-2004 dikelompokkan berdasar penggunaannya sebagai berikut :

- Tipe I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Tipe II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
- Tipe III : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Tipe IV : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- Tipe V : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi pada sulfat.

2. Semen Portland Pozolan (PPC = *Portland Pozzolan Cement*)

Menurut SNI 15-0302-2004 semen portland pozolan didefinisikan sebagai suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dan pozolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, di mana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland. Jenis-jenis semen portland pozolan (PPC) pada SNI 15-0302-2004 dikelompokkan sebagai berikut :

- IP-U : Dapat digunakan untuk semua adukan beton.
- IP-K : Dapat digunakan untuk semua adukan beton, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- P-U : Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
- P-K : Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jadi semen PPC mengandung 2 unsur utama yaitu semen portland (OPC) dan pozolan (*fly ash*). Persyaratan kimia dan fisik untuk semen portland pozolan (PPC) termasuk pengujian mutunya yang harus dipenuhi masing-masing tipe ditetapkan dalam SNI 15-0302-2004.

3. Semen Portland Komposit (PCC = *Portland Composite Cement*)

Menurut SNI 15-7064-2004 Semen Portland Komposit didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace*

slag), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit. Jadi semen PCC mengandung 3 unsur utama :

- semen portland (OPC)
- gips
- bahan anorganik (bisa lebih dari 1 macam bahan anorganik seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur).

4. Semen Portland Campur (SMC = *Super Masonry Cement*)

Menurut SNI 15-3500-2004 *super masonry cement* didefinisikan sebagai semen hidrolis, yang digunakan terutama dalam pekerjaan menembok dan memplester konstruksi, yang terdiri dari campuran dari semen portland atau campuran semen hidrolis dengan bahan yang bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan dengan bahan lain yang digunakan untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*), dan ketahanan (*durability*). Semen ini cocok digunakan untuk bahan pengikat dan direkomendasikan untuk penggunaan sebagai berikut :

- Konstruksi ringan ($K < 225 \text{ kg/cm}^2$ atau fc' setinggi - tingginya 20 MPa)
- Pembuatan bahan bangunan (hollow brick, batako, paving block, genteng, ubin dll).
- Pemasangan keramik, hollow brick, bata dll.

b. Air

Kualitas air sangat mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas air erat kaitannya dengan bahan-bahan yang terkandung dalam air tersebut. Air diusahakan agar tidak membuat rongga pada beton, tidak membuat retak pada beton dan tidak membuat korosi pada tulangan yang mengakibatkan beton menjadi rapuh.

Pada pengecoran beton pembuatan rumah sederhana atau tidak bertingkat, kebanyakan tukang mengira, semakin encer beton, maka semakin bagus karena permukaan yang dihasilkan semakin mulus tanpa ada rongga, padahal dengan kelebihan air, mutu beton akan anjlok sangat jauh. Hal ini disebabkan faktor air semen yang tinggi dalam beton menyebabkan banyak rongga setelah airnya mengering.

Banyak hal-hal lain yang bisa berdampak karena pemakaian air, berikut ini uraiannya :

1. Air tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter karena dapat mengurangi daya lekat atau bisa juga mengembang (pada saat pengecoran karena bercampur dengan air) dan menyusut (pada saat beton mengeras karena air yang terserap lumpur menjadi berkurang).
2. Air tidak mengandung garam lebih dari 15 gram karena resiko terhadap korosi semakin besar.
3. Air tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter karena bisa menyebabkan korosi pada tulangan.
4. Air tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter karena dapat menurunkan mutu beton sehingga akan rapuh dan lemah.
5. Air tidak mengandung minyak lebih dari 2 % dari berat semen karena akan mengurangi kuat tekan beton sebesar 20 %.
6. Air tidak mengandung gula lebih dari 2 % dari berat semen karena akan mengurangi kuat tekan beton pada umur 28 hari.

7. Air tidak mengandung bahan organik seperti rumput/lumut yang terkadang terbawa air Karena akan mengakibatkan berkurangnya daya lekat dan menimbulkan rongga pada beton.

Syarat air menurut SNI 03-7974-2013 yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama dan hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan "Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)" (ASTM C 109).

Untuk menentukan jumlah air dalam adukan beton dalam 1 m³ penulis berpedoman ada buku referensi "*Propeties of Concrete*" oleh AM Neville. Berdasarkan ukuran maksimum agregat (split) dan slump yan diminta, dapat ditentukan perkiraan air yang digunakan. Berikut tabel keutuhan air :

Tabel 2.1. Kebutuhan Air dalam 1 m³ adukan beton.

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jumlah Air yang Diperlukan (kg/m ³)	% Udara dalam Beton
10	225	3
12,5	215	2,5
20	200	2
25	195	2,5
40	175	1
50	170	0,5
70	160	0,3
150	140	0,2

Sumber : buku referensi "*Properties of Concrete*" oleh AM Neville

c. Agregat Halus Menurut SNI 03-6820-2002

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm.

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6820-2002 adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% berat, sedangkan jika dipakai magnesium sulfat yang hancur maksimum 15% berat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering). Jika kadar lumpur melebihi 5% pasir harus dicuci.

Agregat yang dipakai untuk campuran adukan atau mortar harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-6820-2002 yakni

dengan modulus halus 1,5% sampai 3,8%. Tabel syarat batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.2. Gradasi pasir berdasarkan kategori zona kekasaran pasir

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zone 1 (kasar)	Zone 2 (agak kasar)	Zone 3 (agak halus)	Zone 4 (halus)
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 75	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	33 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 100
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

d. Agregat Kasar Menurut Metode SNI 03 – 1969 – 2008

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Sesuai SNI 03 – 1969 – 2008, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm. Agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut :

1. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal (tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan). Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil (koral) sebagai hasil *desintegrasi* (pembentukan) alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan (*stone crusher*).
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan tidak boleh mengandung zat-zat yang

dapat merusak beton. Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci.

4. Kekerasan dari butir-butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dengan beban penguji 20 ton, dimana harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% berat.
5. Kekerasan dapat diketahui menggunakan mesin pengaus *Los Angeles* dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
6. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.
7. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil bidang-bidang samping dari cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum diantara tulangan-tulangan.
8. Tidak boleh mengandung butiran panjang dan pipih lebih dari 20 % berat.
9. Syarat gradasi agregat kasar menurut SNI 03-1969-2008 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Syarat gradasi kerikil menurut SNI 03-1969-2008

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Basar butir maksimum (mm)		
	40	20	10
38,1	95-100	100	-
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

e. Ban Bekas (Cacahan Ban Bekas)



Gambar 2.1. Cacahan Limbah Ban Karet (*Crumb Rubber*)

Cacahan limbah ban karet yang terkadang disebut serbuk ban bekas yang diistilahkan dengan “*tire crumb*” atau “*crumb rubber*” adalah produk yang ramah lingkungan karena diperoleh dari ban bekas, dan tidak larut dalam tanah ataupun air tanah. Selain mengurangi jumlah limbah karet yang terbuang ke lingkungan, pemakaian kembali limbah produk karet tertentu, dapat menekan harga karet sebagai salah satu komponen penting penentu harga produk jadi yang dihasilkan.

Cacahan ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintesis, diperkuat dengan karbon black yang menyerap minyak encer dari semen aspal selama reaksi yang dapat mengalami pengembangan (*swelling*) dan pelunakan (*softening*) dari cacahan ban bekas. Hal ini meningkatkan kekentalan binder yang dimodifikasi. (*Steven Manolis and Simon Hesp, 2001*) *Crumb rubber* hasil ban bekas akibat gesekan tanah telah diuji karakteristik dari karet tersebut yang dapat dilihat pada Tabel. 2.4.

Tabel 2.4. Spesifikasi *Recycled Crumb Rubber*

Particle size distribution, w/w%	Crumb rubber 1 (CR1)	Crumb rubber 2 (CR2)
0-0,25 mm	64	5
0,25-0,40 mm	32	7
0,40-0,63 mm	4	53
0,63-1,00 mm	-	32
1,00-1,25 mm	-	2
1,25-1,60 mm	-	1
Composition	Crumb rubber 1 (CR1)	Crumb rubber 2 (CR2)
Adherent moisture content, w/w%	0,4	0,3
Part, soluble in acetone, w/w%	8,5	11,9
Part, soluble in chloroform, w/w%	0,3	0
∑ isoprene content, w/w%	58,5	52,3
NR+IR content, w/w%	36,5	27,7
Carbon black content, w/w%	27,2	26,3
Ash content, w/w%	5,1	9,2
Compatibility indeks [*]	2,68	1,31

Sumber : Varga, et, al, 2010

Serbuk ban bekas diukur dalam mesh atau inci dan umumnya karet ukurannya 3/8 inci atau lebih kecil. Ukuran serbuk dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok yaitu :

1. Besar atau kasar (3/8 dan 1/4 inci)
2. Sedang (10-30 mesh atau 0,079 – 0,023 inci)
3. Baik (40-80 mesh atau 0,016 – 0,007 inci)
4. Sangat baik (100-200 mesh atau 0,006 – 0,003 inci)

Ukuran partikel dan distribusi ukuran tergantung dari kebutuhan serbuk ban bekas dan penggunaannya. Dari data penjualan pada industri serbuk ban bekas, pemakaiannya 14% untuk ukuran kasar, 52% untuk ukuran sedang, 22% untuk ukuran baik dan 12% untuk ukuran sangat baik.

2.2.2 Mix Design “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2002”

Perencanaan campuran beton adalah proses memilih bahan-bahan penyusun beton dan dari bahan-bahan tersebut dengan mempertimbangkan syarat mutu beton, kekuatan (*strength*), ketahanan (*durability*), Kemudahan pekerjaan (*Workability*) serta nilai ekonomisnya (anonym, 1991)

Adapun prosedur perencanaan campuran beton berdasarkan metode (SNI 03-2834-2002) adalah sebagai berikut:

a. Menetapkan kuat tekan karakteristik beton

Tetapkan terlebih dahulu nilai kuat tekan beton yang diinginkan kemudian ubah dalam yang disyaratkan f_c' (pada umur 28 hari).

b. Menetapkan deviasi standar

Deviasi standar S ialah alat ukur tingkat mutu pelaksanaan pembuatan pembetonan. Nilai S ini digunakan sebagai salah satu data masukan pada perencanaan Campuran Adukan Beton.

(1) Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman hasil pengujian contoh beton pada masa lalu, maka nilai deviasi standar S tidak dapat dihitung.

(2) Jika pelaksana prosedur beton (pembuat beton) mempunyai data pengalaman, maka menurut “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal” (SK SNI 03-2834-2002) nilai deviasi standar S ditetapkan dengan cara berikut:

Perhitungan nilai deviasi standar berdasarkan pengalaman lapangan oleh dilakukan jika:

(a) Fasilitas produksi beton (pembuat beton) **mempunyai catatan hasil uji**, dengan syarat:

(b) Jenis bahan dasar beton **serupa** dengan yang akan dibuat

(c) Kuat tekan beton yang disyaratkan **pada kisaran 7** dari kuat tekan yang akan dibuat

(d) Jumlah contoh **minimum 30 bh** berurutan atau 2 kelompok contoh yang masing-masing berurutan dengan jumlah seluruhnya **minimum 30 bh**.

Nilai deviasi standar dihitung dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{cr})^2}{N-1}}$$

Dengan : S = deviasi standar (MPa)

f_c = kuat tekan masing-masing silinder beton (MPa)

f_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa)

N = banyaknya nilai kuat tekan beton

(e) Jika jumlah contoh kurang dari 30 bh (syarat ((d)) diatas) tetapi **mempunyai 15 bh sampai 29 bh** dan dari pengujian yang berurutan periode waktu tidak kurang dari 45 hari kalender, maka nilai deviasi standar harus dikalikan faktor pembesar yang tercantum dalam Tabel L-1.1. Pada Tabel L-1.1. tersebut, nilai antara boleh dipakai interpolasi.

Tabel L-1.1. Faktor pembesar jika jumlah contoh 15-19 bh

Jumlah contoh	Faktor pembesar
<15	Tidak ada (lihat butir (a))
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau >30	1,00

c. Nilai tambah (*Margin*)

Perhitungan nilai margin (m) dihitung dengan cara berikut:

(1) Jika pelaksana **mempunyai** pengalaman lapangan, maka nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar S (dari langkah

menetapkan deviasi standar) dengan 2 rumus berikut (diambil yang terbesar):

$$m = 1,34 \cdot S$$

atau

$$m = 2,33 S - 3,5$$

- (2) Jika pelaksana **tidak mempunyai** pengalaman lapangan (lihat langkah menetapkan deviasi standar), maka nilai tambah m diambil dari Tabel L-2.1.

Tabel L-2.1. Nilai tambah m jika pelaksana tidak mempunyai pengalaman

Kuat tekan yang disyaratkan, f_c' (MPa)	Nilai tambah (MPa)
Kurang dari 21	7,0
21 s.d. 35	8,5
Lebih dari 35	10,0

- d. Kekuatan rata-rata

$$F'c = fc' + m$$

Dimana: $F'c$ = kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan

fc' = nilai kuat tekan beton yang direncanakan

m = nilai tambah (margin)

- e. Jenis semen

- f. Jenis agregat

a. Agregat halus :

b. Agregat kasar :

Tabel. Perkiraan Kebutuhan Air Per Meter Kubik Beton

Besarnya Ukuran Maksimum Kerikil (mm)	Jenis Batuan	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

Catatan:

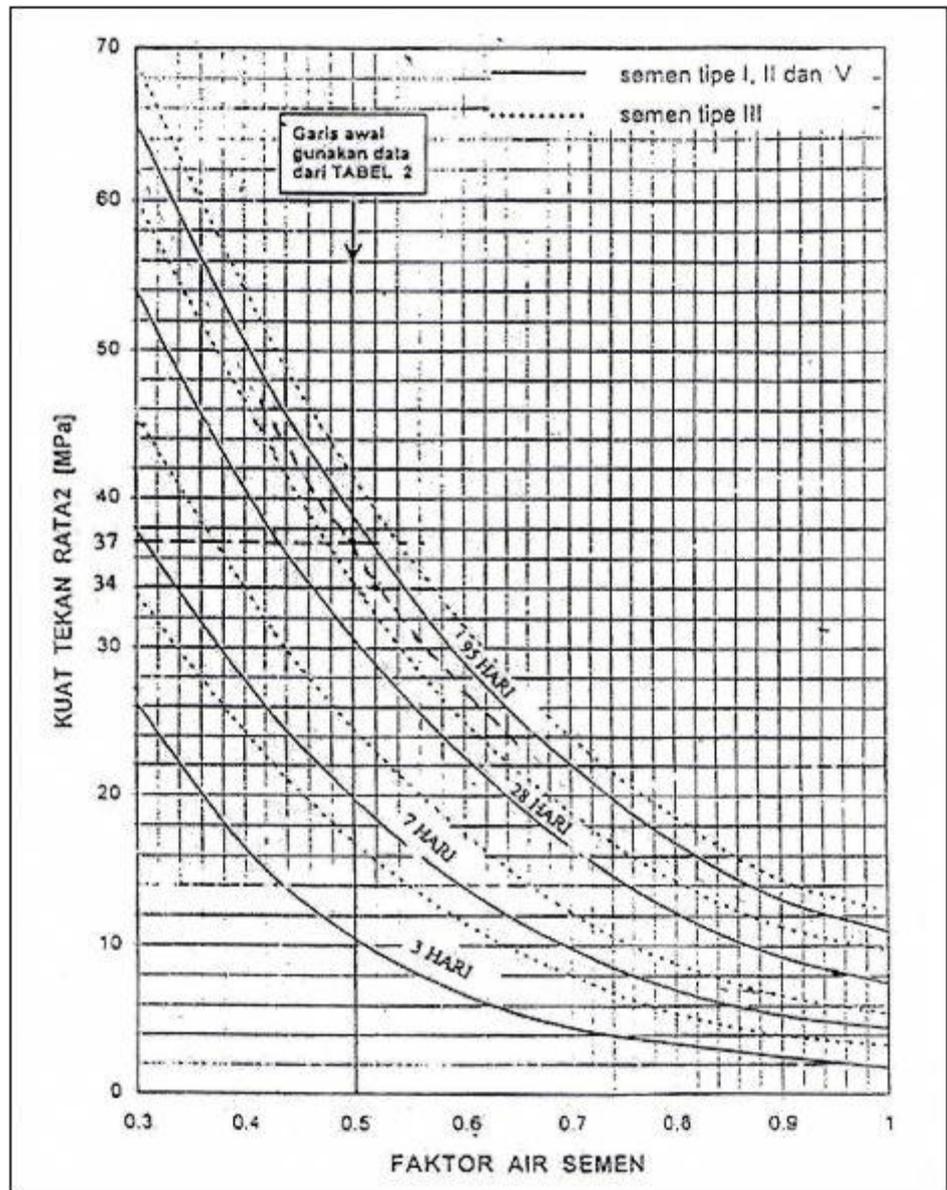
- Koreksi suhu diatas 20°C, setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m³ adukan beton
- Kondisi permukaan: untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambah air ± 10 liter per m³ adukan beton

Tabel Gradasi pasir berdasarkan kategori zona kekerasan pasir

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zone 1 (kasar)	Zone 2 (agak kasar)	Zone 3 (halus)	Zone 4 (agak halus)
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 75	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	33 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 100
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

g. Faktor air semen (FAS)

Berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu 28 hari.



Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen

(Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

h. Menetapkan nilai slump

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

- Cara pengangkutan adukan beton
- Cara penuangan adukan beton
- Cara pemadatan beton segar
- Jenis struktur yang dibuat

Tabel. Penetapan nilai “slump” adukan beton

Keterangan	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Air Yang Diperlukan (%)
Sangat Kering	-	78
Sangat Keras	-	83
Keras	0-30	88
Agak Plastis	30-80	92
Plastis	80-130	100
Encer	130-180	106

- i. Menetapkan ukuran maksimum agregat kasar
- j. Kebutuhan air yang diperlukan tiap m³ beton

Tabel. Perkiraan Kebutuhan Air Per Meter Kubik Beton

Besarnya Ukuran Maksimum Kerikil (mm)	Jenis Batuan	<i>Slump</i> (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

Catatan:

- Koreksi suhu diatas 20°C, setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m³ adukan beton
- Kondisi permukaan: untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambah air ± 10 liter per m³ adukan beton

- a. Ukuran butir maksimum agregat adalah
- b. Nilai slump
- c. Agregat halus merupakan batu tak dipecah, maka

d. Agregat kasar merupakan batu pecah, maka

$$\text{Rumus: } A = 0,67 \times A_h + 0,33 \times A_k$$

Dengan : A_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

A_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

k. Berat semen yang diperlukan

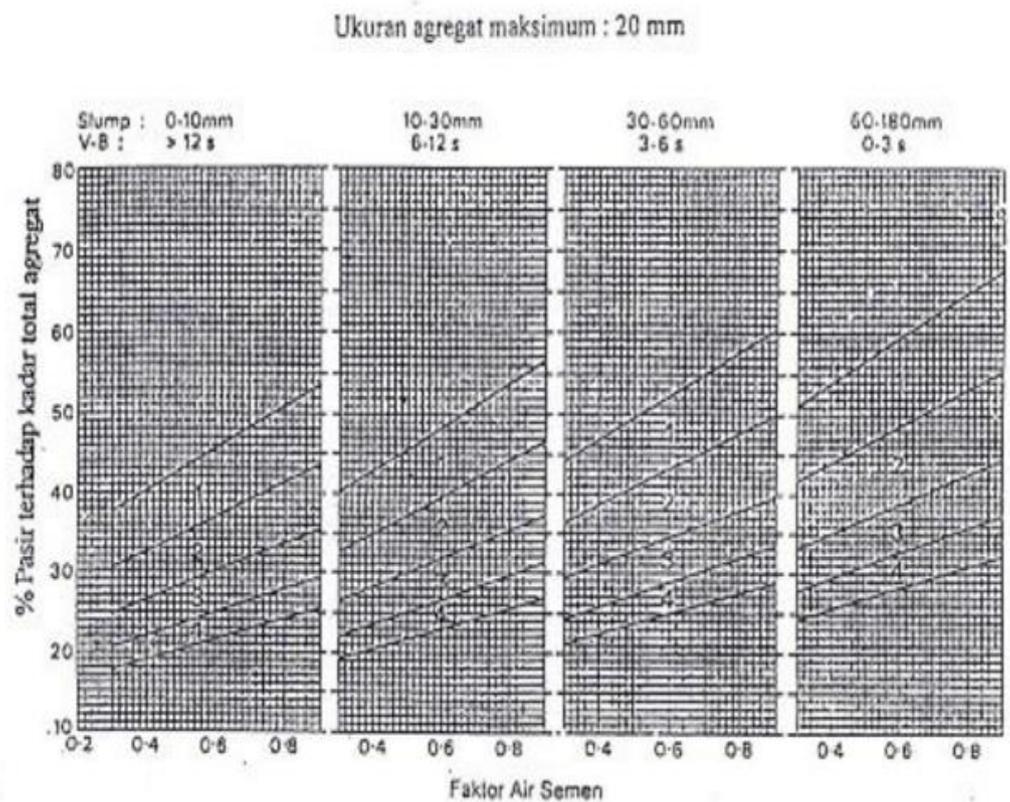
$$W \text{ semen} = A / \text{FAS}$$

l. Kebutuhan semen minimum

m. Penyesuaian kebutuhan semen

n. Penentuan daerah gradasi agregat halus

o. Persentase agregat halus terhadap campuran

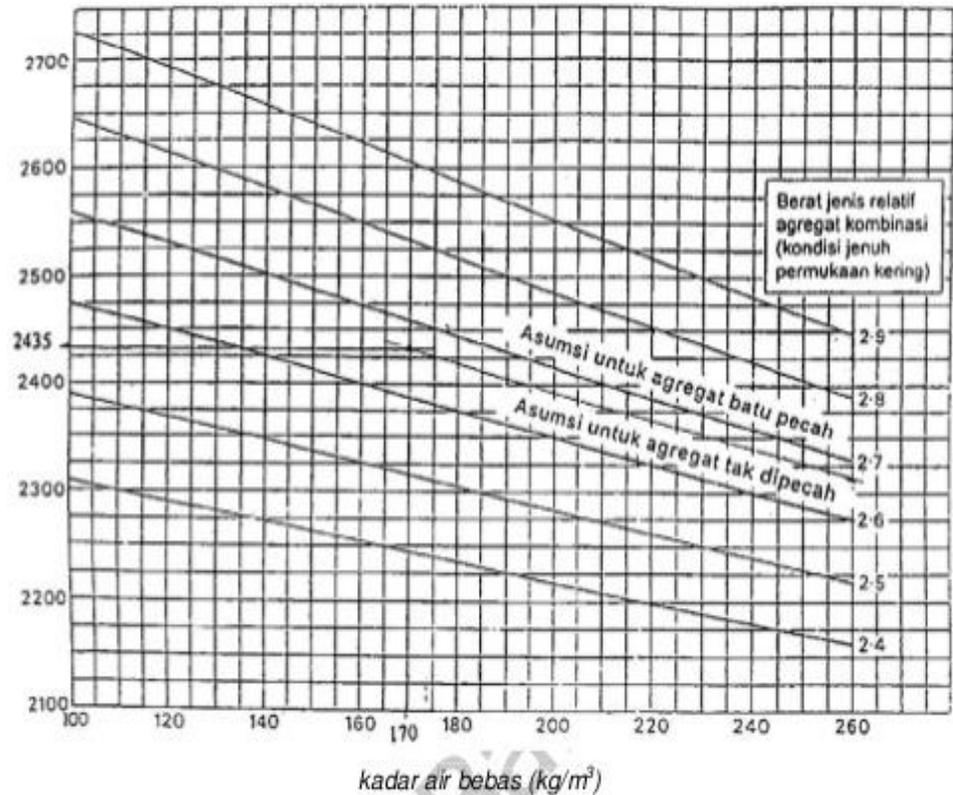


Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan
(Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm)

p. Berat jenis agregat campuran

q. Berat jenis beton

r. Kebutuhan agregat campuran



- s. Kebutuhan agregat halus
- t. Kebutuhan agregat kasar

2.2.3 Pengujian Beton

a. Uji Keleccakan (*Slump Test*) Menurut Metode SNI 1972-2008

Metode pengujian *slump*, bertujuan untuk menyediakan langkah kerja bagi pengguna untuk menentukan slump dari beton semen hidrolis plastis. Hasil uji digunakan dalam pekerjaan, perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan. Cara uji meliputi penentuan nilai slump beton, baik di laboratorium maupun di lapangan. Salah satu contoh, campuran beton segar dimasukkan kedalam sebuah cetakan bentuk kerucut terpancung dan dipadatkan dengan batang penusuk. Cetakan diangkat dan beton dibiarkan sampai terjadi penurunan pada permukaan bagian atas beton. Jarak antara posisi permukaan semula dan posisi setelah penurunan pada pusat permukaan atas beton diukur kemudian dilaporkan sebagai nilai slump beton.

Pengukuran *Slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

1. Kerucut Abrams :

- Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan dibawah terbuka
- Diameter atas 102 mm
- Diameter bawah 203 mm
- Tebal plat minimal 1,5 mm

2. Bentang besi penusuk :

- Diameter 16 mm
- Panjang 60 cm
- Memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16mm

3. Alas :

- Datar
- Dalam kondisi lembab tidak menyerap air
- Kaku

Tabel 2.5. Kategori nilai *slump*

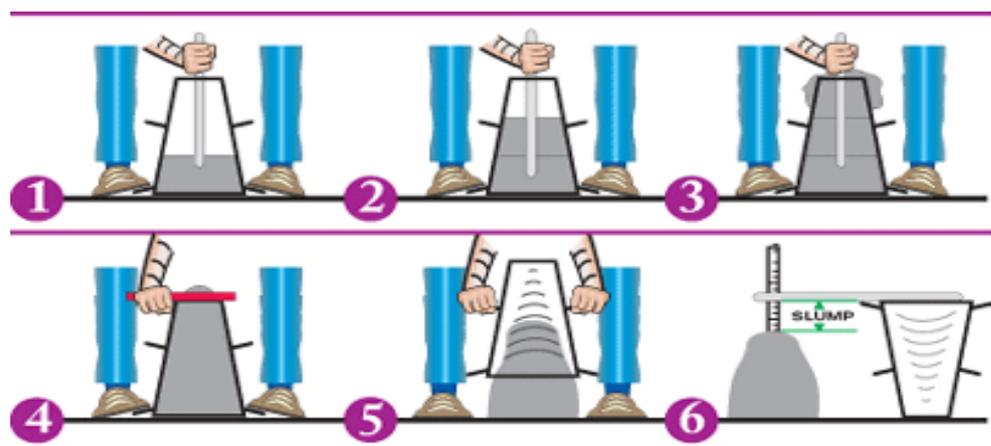
Keterangan	<i>Slump</i> (mm)	Air yang diperlukan (%)
Sangat kering	-	78
Sangat keras	-	83
Keras	0 - 30	88
Agak plastis	30 - 80	92
Plastis	80 - 130	100
Encer	130 - 180	106

Sumber : buku referensi "*Propeties of Concrete*" oleh AM Neville.

Dimana langkah pengujiannya yaitu :

- a. Kerucut Abrams dibasahi, ditempatkan diatas permukaan yang datar, dalam kondisi lembab, tidak menyerap air dan kaku.

- b. Pengisian cetakan dibagi 3 kali, masing-masing sekitar $\frac{1}{3}$ volume cetakan, tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata dan menembus kelapis sebelumnya / dibawahnya, namun tidak boleh menentuh dasar cetakan.
- c. Lapis terakhir dilebihkan pengisiannya. Setelah dipadatkan lalu diratakan dengan menggelindingkan batang penusuk diatasnya.
- d. Segera setelah permukaan atas beton diratakan, cetakan diangkat dengan kecepatan 3 - 7 detik, diangkat lurus *vertical*. Tidak boleh diputar atau digeser kesamping selama mengangkat kerucut.
- e. Seluruh proses dari awal sampai selesainya pengangkatan cetakan tidak boleh lebih lama dari 2,5 menit.
- f. Letakan cetakan disamping beton yang diuji slumpnya (boleh diletakan dibalik posisinya) dan ukur nilai slump penurunan permukaan atas beton pada posisi titik tengah permukaan atasnya.
- g. Jika terjadi kegagalan slump (tidak memenuhi kisaran slump yang diisyaratkan, keruntuhan benda uji termasuk keruntuhan geser), maka pengujian diulang maksimal 3x, jika masih gagal maka beton dinyatakan tidak memenuhi syarat dan ditolak.
- h. Syarat variasi pengukuran yang memenuhi syarat dari 3 pengukuran minimum 2 memenuhi syarat dengan selisih pengukuran tidak lebih dari 21 mm.



Gambar 2.2. Uji Keleccakan (*Slump Test*)

Pengambilan nilai slump dari nilai yang direkomendasikan, diijinkan apabila terbukti dan terpenuhi :

- a. Beton tetap dapat dikerjakan dengan baik
- b. Tidak terjadi pemisahan dalam adukan beton segar
- c. Mutu beton yang tetap disyaratkan terpenuhi.

b. Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. Kuat tekan beton normal antara 20 - 40 MPa. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh: faktor air semen (water cement ratio = w/c), sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan (*workability*), perawatan (*curing*) beton dan umur beton.

Faktor air semen (water cement ratio = w/c) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil nilai w/c nya maka jumlah airnya sedikit yang akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar. Selain itu susunan besar butiran agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

Jenis campuran beton akan mempengaruhi kuat tekan beton. Jumlah pasta semen harus cukup untuk melumasi seluruh permukaan butiran agregat dan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dihasilkan beton dengan kuat tekan yang diinginkan. Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retakretak ini akan menyebabkan kekuatan beton turun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimia penuh.

Berdasarkan SNI 1974:2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

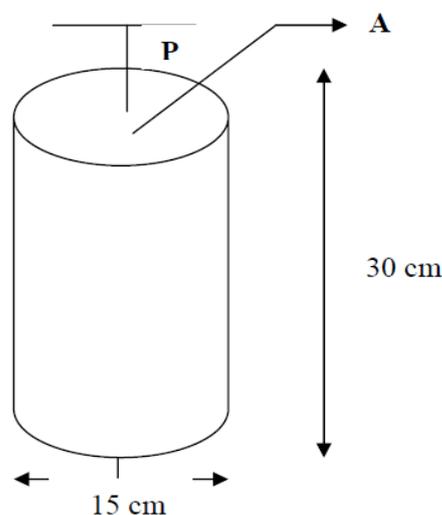
A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton dianggap mencapai 100% setelah beton berumur 28 hari. Menurut SNI T-15-1990-03, perkembangan kekuatan beton dengan bahan pengikat semen portland tipe I berdasarkan umur beton disajikan pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Perkiraan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28
Semen Portland Tipe I	0,46	0,70	0,88	0,95	1,00

Sumber: SNI T-15-1990-03



Gambar 2.3. Uji Tekan Beton

c. Uji Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, nilai kuat tekan dan tarik belah beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan karena masalah penjepitan pada mesin. Ada sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik, dan yang paling sering digunakan adalah tes pembelahan silinder atau tes brasil.

Konstruksi beton yang dipasang mendatar sering menerima beban tegak lurus sumbu bahannya dan sering mengalami rekahan (*splitting*). Hal ini terjadi karena daya dukung beton terhadap gaya lentur tergantung pada jarak dari garis berat beton, makin jauh dari garis berat beton maka makin kecil daya dukungnya.

Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui pengujian *split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, untuk beton normal berkisar antara 9% sampai 15% dari kuat tekan (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*.

Berdasarkan SNI 03-2491-2002, nilai kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus:

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

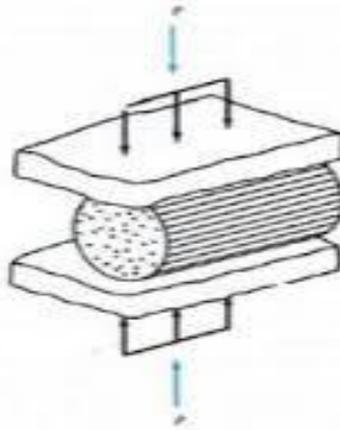
Dimana:

F_{ct} = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = Diameter benda uji silinder (mm)



Gambar 2.4. Penampang Uji Tarik Belah Beton

d. Porositas Beton (ASTM C 642-90)

Pengujian porositas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya nilai porositas. Semakin besar porositas pada benda uji, maka semakin rendah kekuatan tekan beton. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dalam pemuatan material pengisi beton. Hal ini merupakan salah satu penyebab menurunnya kualitas beton dalam memikul beban tekan.

Prosedur pengujian porositas menurut ASTM C 642 – 90, “*Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*” Beton pasca terbakar umumnya memiliki persentase porositas yang lebih besar dibandingkan beton tanpa pemanasan. Hal ini disebabkan karena terjadinya perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen. Pengaruh pemanasan sampai pada temperature 200°C sebenarnya menguntungkan terhadap beton, karena akan menyebabkan penguapan air dan penetrasi ke dalam rongga-rongga beton lebih dalam, sehingga memperbaiki sifat

lekatan antara partikel-partikel. Penelitian oleh Rochman (2006) menunjukkan bahwa kuat tekan beton benda uji silinder maupun kuat lentur benda uji yang dipanaskan dalam oven pada temperatur 200°C meningkat sekitar 10-15% dibandingkan dengan beton normal yang tanpa dipanaskan.

Adapun langkah-langkah pengujian porositas sebagai berikut:

1. Melepas benda uji dari cetakan setelah berumur 1 hari kemudian direndam di dalam bak (*curing*).
2. Sampel beton umur 28 hari diangkat dari bak dan di angin-anginkan.
3. Menyiapkan benda uji lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105 °C selama 24 jam.
4. Benda uji dikeluarkan dari oven dan di angin-anginkan pada suhu kamar 25 °C, kemudian ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi kering oven (C).
5. Benda uji di diamkan selama 24 jam, setelah itu rendam kembali benda uji selama 24 jam, sesudah perendaman selama 24 jam kemudian ditimbang dalam air dan didapatkan berat beton dalam air (A).
6. Benda uji dikeluarkan dari dalam air dan dilap permukaannya untuk mendapatkan kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) kemudian sampel ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi SSD setelah perendaman (B).

Porositas beton dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$n = \frac{B-C}{B-A} \times 100\%$$

Dimana : n = Porositas

A = Berat beton dalam air

B = Berat beton kondisi SSD setelah perendaman

C = Berat beton kondisi kering oven

2.3 Kerangka Pemikiran

Garis besar kerangka pemikiran untuk penelitian terhadap kontribusi kekuatan yang diberikan oleh bekas ban dalam dan cangkang telur pada beton adalah sebagai berikut :



Gambar 2.5. Kerangka Pikiran.