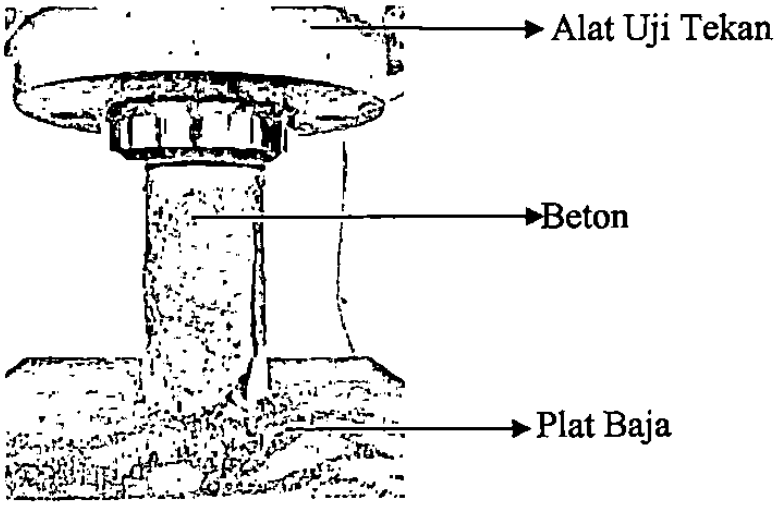
BAB III
LANDASAN TEORI

A. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton seringkali menjadi parameter utama untuk mengenal kinerja beton, karena kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Pemberian gaya ini tegak lurus terhadap sumbunya. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f'c dengan satuan N/mm^2 atau MPa (Mega Pascal). Nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, oleh karena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 1996). Pengujian terhadap kekuatan tekan beton dapat dilakukan dengan cara pengujian tekan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan silinder beton dapat dihitung dengan persamaan 3.1 (Tjokrodimuljo, 2007).

$$f'c = \frac{P}{\quad} \qquad (3.1)$$

fc' = Kuat tekan silinder beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm^2)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 3. 1

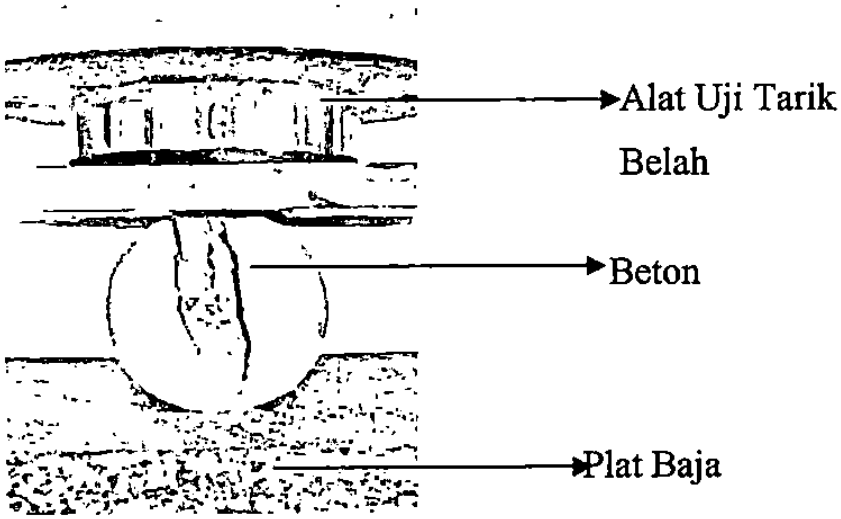
Tabel 3. 1 Jenis Beton Menurut Kuat Tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana (*plain concrete*)	0 – 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton pra-tegang	30 – 40 MPa
Beton tinggi	40 – 80 MPa
Beton sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

B. Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan SNI 03-2491-2002 salah satu kelemahan beton adalah mempunyai kuat tarik yang sangat kecil dibandingkan dengan kuat tekannya yaitu 10%–15% fc'. Kuat tarik belah beton berpengaruh terhadap kemampuan beton di dalam mengatasi retak awal sebelum dibebani. Pengujian terhadap kekuatan tarik beton dapat dilakukan dengan cara pengujian tarik belah dengan menggunakan *split cylinder test* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Dengan membelah silinder beton terjadi pengalihan tegangan tarik melalui bidang tempat kedudukan salah satu silinder dan silinder beton tersebut terbelah sepanjang diameter yang dibebaninya.

Kekuatan tarik belah beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang bidang beton yang terbelah. Menurut SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah beton selinder beton dapat dihitung dengan Persamaan (3.2) :

$$fct = \frac{2P}{\pi LD} \quad \text{.....(3. 2)}$$

dengan:

fct = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban uji maksimum (benda belah/hancur) (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

C. *Grain Size*

Secara morfologi *grain size* dapat diartikan sebagai ukuran butiran yang mengacu pada ukuran butiran untuk suatu bahan granular seperti kristal, tanah liat, pasir, lumpur, dan batu pecah (Andoyo, 2011).

Ukuran partikel bahan granular mempunyai peranan penting dalam teknik sipil, sebab ukuran partikel mempunyai peranan besar dalam pembuatan beton dan juga terhadap sifat dari beton yang dihasilkan. Semakin kecil *grain size* maka kemampuan suatu bahan dalam mengisi pori yang ada di dalam beton akan semakin baik.

Metode paling sederhana dalam penentuan nilai ukuran partikel adalah menggunakan pengayakan. Pengayak terbuat dari kawat dengan ukuran lubang tertentu. Ayakan memiliki ukuran pori atau lubang tertentu yang dinyatakan dalam satuan *mesh*. Istilah *mesh* digunakan untuk menyatakan jumlah lubang tiap inchi linear. Contoh ayakan dapat dilihat pada Gambar 3.3

Gambar 3.3. Saringan dengan Ukuran Pori Tertentu

D. Faktor yang Berpengaruh terhadap Mutu dan Keawetan Beton

Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang diinginkan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasikan sebuah beton yang bermutu tinggi (Mulyono, 2005), diantaranya adalah:

1. Faktor Air Semen (FAS)

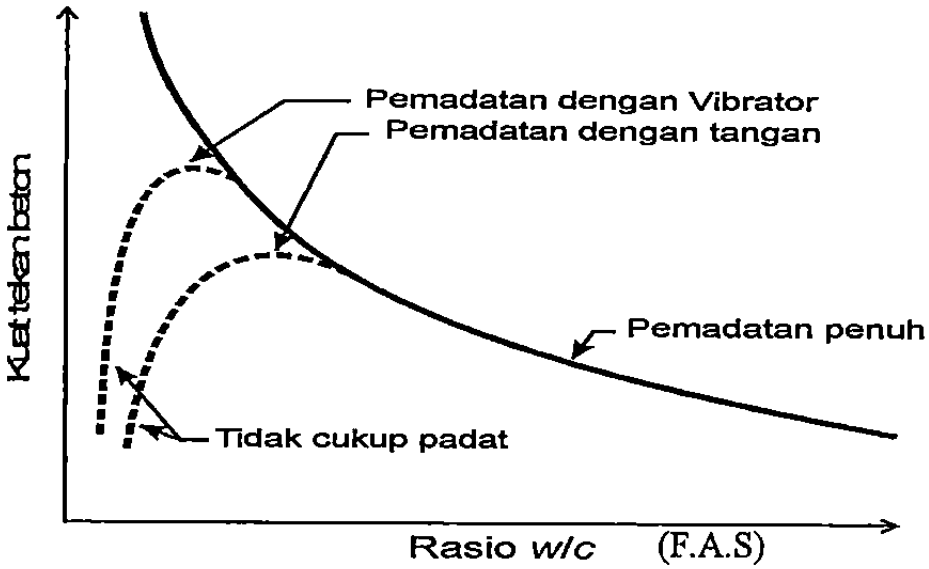
Faktor Air Semen (FAS) merupakan suatu perbandingan antara jumlah air dan jumlah semen yang digunakan dalam suatu campuran beton. FAS sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Dengan demikian ada suatu nilai FAS tertentu yang optimum yang menghasilkan mutu beton maksimum (Mulyono, 2005).

Faktor air semen (fas, *w/c*) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian *w/c* bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan *aditif cementitious*, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998 dalam Mulyono, 2004).

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa secara umum sudah diketahui bahwa semakin tinggi nilai fas, maka semakin rendah mutu kekuatan beton yang

didapatkan. Jika nilai fas semakin kecil, maka nilai kuat tekan beton yang didapatkan akan semakin besar. Idealnya semakin rendah fas, maka kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka di bawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodimuljo, 2007).



Gambar 3.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas (w/c) (Tjokrodimuljo, 2007)

Jika jumlah pasta semen, jenis dan jumlah bahan-bahan tertentu, maka variasi FAS memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1) Semakin kecil nilai FAS makin kental pastanya, sehingga semakin sukar menerima bahan batuan, dan makin sulit susut pengerasannya.
2) Semakin besar nilai FAS, makin encer pastanya, sehingga semakin sulit mengikat bahan batuan dan semakin kurang kohesi pada adukannya, makin rendah hargaya dan makin besar susut pengerasannya.

2. Kualitas agregat halus

Walaupun pasir hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, akan tetapi sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Pemakaian pasir dalam beton

a. menghasilkan kuat tekan beton yang cukup besar.
b. mengurangi susut pengerasan.
c. menghasilkan susunan pampat pada beton.
d. mengontrol *workability* (sifat mudah dikerjakan) pada beton.
e. mengurangi jumlah penggunaan semen Portland.

Selain itu pasir dapat membantu pengikatan kapur karena memungkinkan penetrasi karbondioksida (CO_2) dari udara. Sebagaimana telah diketahui bahwa kapur bakar yang telah padam dapat melakukan pengikatan apabila terjadi kontak terhadap karbondioksida di udara dan mengembang. Oleh karenanya hal ini akan dapat mengurangi susut pengerasan beton.

Kualitas agregat halus yang dapat menghasilkan beton yang baik adalah:

a. Berbentuk bulat.
b. Tekstur halus (*smooth texture*).
c. Modulus kehalusan (*fineness modulus*), menurut hasil penelitian menunjukan bahwa pasir dengan modulus 2,5 s/d 3,0 pada umumnya akan menghasilkan beton mutu tinggi (dengan fas yang rendah) yang mempunyai kuat tekan dan *workability* yang optimal (Larrard, 1990 dalam Mulyono, 2005).
d. Bersih.
e. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

3. Kualitas agregat kasar

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton yang baik adalah:

a. Porositas rendah.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas rendah akan menghasilkan suatu adukan yang seragam (*uniform*), dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai *slump*nya. Akan sangat baik bila bisa digunakan agregat kasar dengan tingkat penyerapan air (*water absorption*) yang kurang dari 1%. Bila tidak, hal ini bisa menimbulkan kesulitan dalam

kekurangan teraturan (*irregularity*) dan deviasi yang besar pada mutu dan nilai *slump* beton yang dihasilkan. Karenanya, sensor kadar air secara ketat pada setiap group agregat yang akan dipakai merupakan suatu tahapan yang mutlak perlu dikerjakan.

b. Bentuk fisik agregat

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam ternyata menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat (Larrard, 1990, dalam Mulyono, 2005). Hal ini tidak lain adalah karena bentuk kubikal dan tajam bisa memberikan daya lekat mekanik yang lebih baik antara batuan dengan mortar.

c. Ukuran maksimum agregat

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemakaian agregat yang lebih kecil (< 15 mm) bisa menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (Larrard, 1990, dalam Mulyono, 2005). Namun pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang baik dalam produksi beton mutu tinggi.

d. Bersih.

e. Kuat tekan hancur yang tinggi.

f. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

4. Jumlah pasta semen

Pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butir-butir agregat terisi penuh dengan pasta semen, serta seluruh permukaan butir agregat terselumuti pasta semen. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat dan tidak seluruh permukaan agregat terselimuti oleh pasta semen, sehingga rekatan antar butir kurang kuat, dan berakibat kuat tekan beton lebih didominasi oleh pasta semen, bukan agregat. Karena umumnya kuat tekan pasta semen lebih rendah dari pada agregat, maka jika terlalu banyak pasta semen kuat tekan beton menjadi

5. **Penggunaan bahan tambah (*admixture*) dan mineral (*additive*)**

Bahan mineral mempunyai komponen aktif yang bersifat pozzolan, yaitu dapat bereaksi dengan kapur besar (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen pada saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Reaksi pozzolan berlangsung dengan lambat sehingga pengaruhnya lebih pada kekuatan akhir dari beton.

6. **Umur beton**

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat (*linier*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-1). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Mulyono, 2005).

Sedangkan menurut Tjokrodimuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sehingga secara umum kekuatan beton tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu sekeliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rasio kuat tekan beton pada berbagai umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber : PBI 1971, NI-2, dalam Tjokrodimuljo, 2007

7. Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan pada proses produksi beton, yaitu pada :

1) Uji material (*material testing*)
2) Sensor dan pengelompokan material (*material sensor and grouping*)
3) Penakaran dan pencampuran (*batching*)
4) Pengadukan (*mixing*)
5) Pengangkutan (*transportating*)
6) Pengecoran (*placing*)
7) Perawatan (*curing*)

8. Pengawasan dan pengendalian pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan

Pengawasan mutu pelaksanaan pembetonan harus dilakukan selama proses pekerjaan berlangsung dengan cara mengambil contoh benda uji yang mewakili pekerjaan yang sedang dilaksanakan, hal ini untuk menghindarkan terjadinya penyimpangan mutu yang dapat terjadi akibat faktor pengaruh kesalahan manusia maupun alam. Apabila kesalahan yang terjadi dapat diketahui sejak dini, maka dapat diambil tindakan guna memperbaikinya.

E. Pengolahan dan Karakteristik Lumpur

Pada dasarnya pengaruh lumpur yang tidak diolah akan lebih banyak merugikan terhadap sifat-sifat beton, beberapa pengaruh yang terjadi bila kadar lumpur terlalu banyak atau melebihi jumlah yang diisyaratkan, sebagai berikut :

1. Lumpur dan tanah liat adalah jenis agregat dengan kekuatan yang rendah, semakin banyak kandungan lumpur dalam campuran beton maupun dalam

2. Semakin banyak jumlah lumpur dalam campuran beton maupun mortar, maka jumlah permukaan lumpur akan semakin banyak, sehingga akan membutuhkan semen yang semakin banyak untuk mengikat permukaan antar masing-masing agregat. Jika digunakan komposisi yang tetap antara semen, pasir, dan kerikil padahal jumlah lumpur melebihi yang diisyaratkan maka kekuatan pengikatannya akan berkurang.
3. Lumpur dan tanah liat adalah material yang banyak menyerap air, sehingga adukan atau campuran beton bias berubah. Ketika beton masih muda, pengikatan antara semen dengan agregat pasir ataupun kerikil akan terganggu. Penambahan air terhadap adukan beton akan membuat kekuatan beton tidak kuat dan akan didapatkan hasil beton yang kurang baik. Penambahan air yang diizinkan terhadap campuran maksimum 9% dari jumlah komposisi air yang diisyaratkan (Pujianto, 2009).
4. Ketika beton telah mengeras, lumpur mempunyai hubungan kontak langsung dengan air melalui pori-pori beton, maka lumpur akan mengembang ataupun menyusut di dalam beton. Jika hal ini terjadi maka dalam waktu yang lama akan mengakibatkan beton menjadi lemah.
5. Apabila lumpur terlalu banyak di dalam beton, maka akan membuat pelaksanaannya (*workability*) menjadi sulit, apabila jumlah air terlalu banyak maka akan membuat pori-pori yang ditinggalakn air setelah mongering akan banyak, hal ini mengakibatkan beton menjadi keropos dan menurunkan kekuatan beton.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pengolahan dan karakteristik lumpur, yaitu dengan cara dikeringkan dan dihancurkan dengan menggunakan mesin penghancur kopi sebagaimana yang telah dilakukan oleh (Soekrisno dkk, 2007 dalam Pujianto, 2009) dalam menghancurkan lempung. Bubuk lumpur atau lempung tersebut dikarakterisasi awal, yaitu dengan pemanasan dan dilanjutkan pengayakan (*meshing*). Ukuran butir bubuk lumpur yang digunakan adalah yang melalui *mesh* 200 (*grain size* < 0,075 mm). Untuk menghilangkan berbagai bahan

F. Perancangan Campuran Beton

Tujuan dari perancangan campuran beton adalah untuk menentukan jumlah komposisi yang tepat antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Perancangan adukan beton bertujuan untuk mendapatkan beton yang baik sesuai dengan bahan dasar yang tersedia (Tjokrodimuljo, 2007). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan campuran beton adalah sebagai berikut :

1. kuat tekan sesuai yang dengan rencana pada usia 28 hari.
2. sifat mudah dikerjakan (*workabilitiy*).
3. sifat awet.
4. ekonomis.

Dalam perancangan campuran beton (*mix design*) ini menggunakan SK SNI : 03-2834-2002 (Tjokrodimuljo, 2007). Langkah-langkah pokok cara perancangan campuran beton (*mix design*) menurut standar ini ialah :

1. Menghitung nilai deviasi standar (S),
2. Menghitung nilai tambah atau margin (m),
3. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan (fc') pada umur tertentu,
4. Menetapkan kuat tekan rata-rata (fcr),
5. Menetapkan jenis semen portland,
6. Menetapkan jenis agregat,
7. Menetapkan nilai faktor air semen,
8. Menetapkan nilai *slump*,
9. Menetapkan besar butir agregat maksimum,
10. Menetapkan air yang diperlukan per meter kubik beton,
11. Menghitung berat semen yang diperlukan,
12. Menetapkan jenis agregat halus,
13. Menetapkan proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran,
14. Menghitung berat jenis campuran,
15. Memperkirakan berat beton,
16. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran,
17. Menghitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 13

18. Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 13-16.

G. Faktor Pengali

Bentuk standar benda uji beton (Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, SNI-03-2847-1992 atau tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, SK SNI-T-15-1991-03) untuk menguji kuat tekan beton adalah silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Bila tidak ada cetakan yg sesuai dapat digunakan cetakan kubus dengan sisi 150 mm.

Apabila bentuk dan ukuran benda uji beton berbeda dengan bentuk dan aturan standar, maka hasil pengujian perlu dikalikan dengan faktor pengali sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kuat tekan dan faktor untuk berbagai ukuran silinder beton (Neville, 1977 dalam Tjokrodimuljo, 2007)

Ukuran silinder		Kuat Tekan (%)	Faktor Pengali
D(mm)	L(mm)		
50	100	108	0,917
75	150	106	0,943
100	200	104	0,962
150	300	100	1,000
200	400	96	1,042