BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (*SNI-03-2847-2002*). Penggunaan beton di dalam bidang konstruksi terbilang sangat umum digunakan karena memiliki banyak keuntungan antara lain bahan yang mudah didapat, harga bahan yang relatif murah kecuali semen *portland,* mampu menahan beban yang besar, serta memiliki nilai kuat tekan yang besar. Namun penggunaan beton juga memiliki kekurangan yaitu rendahnya nilai kuat tarik yang dimiliki. Kekuatan, keawetan, dan sifat lain dari beton tergantung dari kualitas bahan dasar, perbandingan volume campuran, cara pelaksanaan dan pemeliharaannya. (Dipohusodo, 1996)

3.2 Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis dibawah beton normal. Beton ringan memiliki berat jenis dibawah 1900 kg/m^3 (*SNI-03-2847-2002*). Menurut Tjokrodimuljo (1996), cara untuk mendapatkan beton ringan dapat dibedakan menjadi 3 jenis dasar sebagai berikut :

1. Beton agregat ringan
2. Beton busa
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir)

Menurut Prawito (2010), ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam agregat, atau pembuatan rongga udara dalam beton. Beberapa cara tersebut, yakni:

1. Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar 1400 kg/m^3 – 2000 kg/m^3)
2. Beton ringan tanpa pasir (*No Fines Concrete*), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastanya atau sering disebut beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar pori-pori. Berat isi berkisar antara 880 – 1200 kg/m^3 dan mempunyai kekuatan berkisar 7 – 14 MPa.
3. Beton ringan yang diperoleh dengan memasukkan udara dalam adukan atau mortar (beton *aerasi*), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran 0,1 – 1 mm. Memiliki berat isi 200 – 1440 kg/m^3.

3.3 Beton Serat

Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat plastic (*polypropylene*) atau potongan kawat logam. (Tjokrodimuljo, 1996)

Penambahan serat kawat kedalam adukan beton adalah untuk mengatasi sifat-sifat kurang baik dari beton. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan

tulangan serat pada beton yang disebar merata secara acak (*random*) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan. (Sudarmoko, 1990)

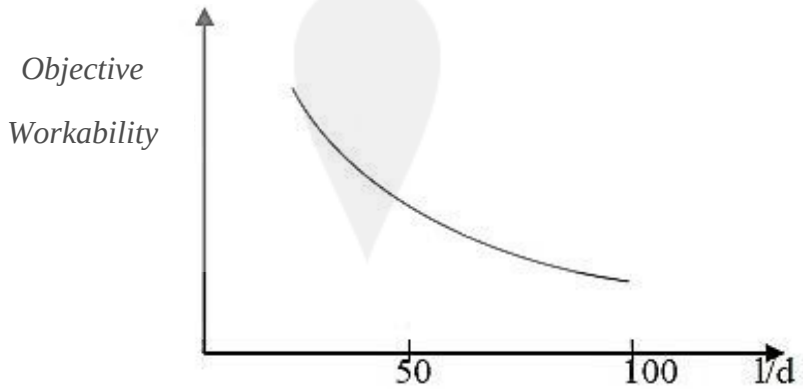
Menurut Soroushian, P. dan Bayazi, Z (1987), *fiber* baja adalah salah satu dari beberapa *fiber* yang sering digunakan dalam campuran beton. Kelebihan *fiber* baja adalah kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi *fiber* ini juga mempunyai kelemahan yaitu korosif. Hal ini akan terlihat bila ada sebagian dari *fiber* yang tidak terlindung/tertutup beton.

3.4 Variabel Beton *Fiber*

Menurut Sorousihan, P. dan Bayasi, Z. (1987) dalam pembuatan beton *fiber* ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, antara lain :

3.4.1 Aspek rasio

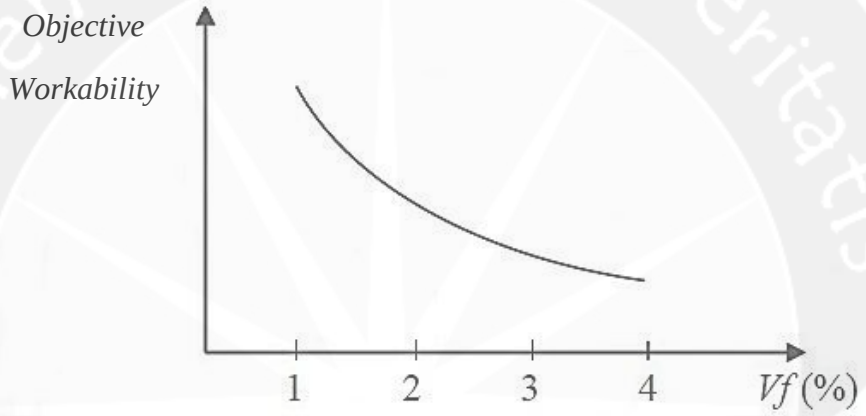
Aspek rasio adalah tingkat kelangsingan *fiber*. Secara empirisnya merupakan nilai perbandingan antara panjang *fiber* dengan diameter *fiber*. Semakin besar nilai aspek rasio akan semakin mengurangi kelecakan beton. Pengaruh aspek rasio terhadap *workability* dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh Aspek Rasio Terhadap *Workability*

3.4.2 Volume Fraksi *(Vf)*

Volume fraksi adalah prosentase volume *fiber* yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Semakin tinggi volume fraksi yang ditambahkan ke dalam campuran beton, maka kelecakan adukan beton akan semakin rendah. Grafik mengenai pengaruh pengunaan volume fraksi campuran beton *fiber* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh Volume Fraksi Terhadap Workability

3.5 Bahan Penyusun Beton

3.5.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah salah satu bahan terpenting didalam pembuatan beton yang berfungsi sebagai pengikat antara butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat. Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir akan menjadi mortar semen, dan jika ditambah dengan kerikil/batu pecah disebut beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Berdasarkan SNI-15-2049-2004, Semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya adalah sebagai berikut:

1. Jenis I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi terhadap sulfat

3.5.2 Air

Air merupakan salah satu bahan terpenting dan termurah dalam proses pembuatan beton. Air sendiri berfungsi untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam proses pengerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnyan dapat digunakan sebagai campuran

beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini.

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.5.3 Agregat

Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar (Nawy, 1990). Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar (kerikil, batu pecah) dan agregat halus (pasir).

3.5.3.1 Agregat Kasar

Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar (antara 5 mm sampai 40 mm). Sifat dari agregat kasar akan mempengaruhi kekuatan akhir dari beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar dapat dibedakan menjadi 3 berdasarkan berat jenisnya, yaitu sebagai berikut:

a. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gram/cm^3. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis 2,3 gram/cm^3 dan biasa disebut beton normal.

b. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm^3. Misalnya magnetil (Fe_3O_4), barites ($BaSO_4$) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm^3 yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm^3 misalnya batu apung (*pumice*), tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*) dan busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

Pemilihan agregat ringan dapat ditentukan berdasarkan tujuan konstruksi seperti yang terdapat pada tabel 3.1 (SK SNI T-03-3449-2002).

Tabel 3.1 Jenis Agregat Ringan Yang dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi

KONSTRUKSI BANGUNAN		BETON RINGAN		JENIS AGREGAT RINGAN
		KUAT TEKAN (MPa)	BERAT ISI (Kg/m^3)	
Struktural	Minimum	17,24	1400	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu
	Maksimum	41,36	1850	Serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu terbang
Struktural Ringan	Minimum	6,89	800	Agregat ringan alam : scoria atau batu apung
	Maksimum	17,24	1400	
Struktural Sangat Ringan Sebagai Isolasi	Minimum	-	-	Perlit atau vemikulit
	Maksimum	-	8000	

Sumber : SK SNI T-03-3449-2002

3.5.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintregasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm (lolos saringan no. 4).

Menurut PBI (1971), syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak. Hal demikian dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams Harder dengan menggunakan larutan NaOH.
4. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan harus memenuhi syarat sebagai berikut:
    a. Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
    b. Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
    c. Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80%-90% berat.

Pada umumnya agregat halus yang dipergunakan sebagai bahan dasar pembentuk beton adalah pasir alam. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian, pasir sungai dan pasir laut (Tjokrodimuljo, 1996).

3.6 Faktor Air Semen (FAS)

Menurut Mulyono (2004), faktor air semen dapat didefinisikan sebagai rasio berat air terhadap berat total semen. Telah diketahui secara umum bahwa semakin besar nilai faktor air semen, semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian untuk menghasilkan sebuah beton mutu tinggi faktor air semen dalam beton haruslah rendah. Akan tetapi hal ini menyebabkan kesusahan dalam pengerjaannya. Umumnya nilai faktor air semen untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimumnya 0,65. Tujuan pengurangan faktor air semen ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen saja, namun kenyataannya pemakaian nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 akan sulit dalam pengerjaannya (Tjokrodimuljo, 1996).

3.7 Nilai *Slump*

Nilai *slump* dipakai sebagai salah satu penentu kekuatan beton. Nilai *slump* yang terlalu besar menghasilkan beton yang kurang baik, nilai *slump* yang terlalu kecil menghasilkan beton yang sukar dikerjakan. Maksud pemeriksaan nilai *slump* adalah untuk mengukur konsistensi campuran adukan beton secara pendekatan (tidak tepat). Pada umumnya, besar nilai *slump* tergantung pada jenis dan banyaknya semen portland, jumlah air campuran, dan gradasi bahan batuan.

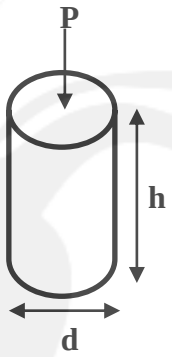
Pengujian *slump* dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm,

dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm (Mulyono, 2004).

3.8 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diaeter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (*fc'*) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).



Gambar 3.3 Benda Uji Tekan Silinder

Rumus untuk mendapatkan nikai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut.

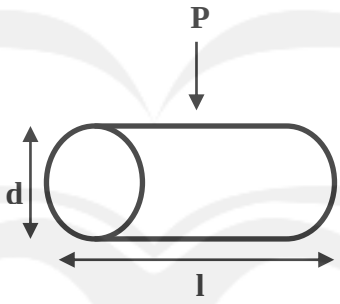
$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3-1}$$

keterangan :
f'c : kuat tekan beton (MPa)
P : beban tekan (N)
A : luas penampang benda uji (mm^2)

Sifat beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan tinggi (antara 20-50 MPa pada umur 28 hari). Dengan kata lain dapat diasumsikan bahwa mutu beton ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 1996).

3.9 Kuat Tarik Belah Beton

kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut. Benda uji diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja mesin uji tekan (SNI 03-2491-2002). Sketsa pengujian kuat tarik belah beton dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Benda Uji Tarik Belah Silinder

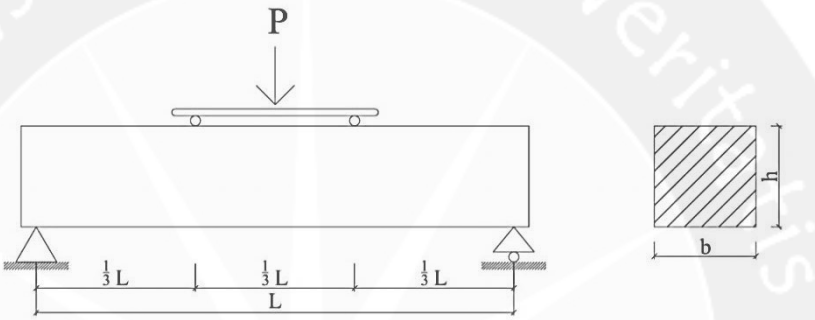
Rumus untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton digunakan rumus berdasarkan percobaan di laboratorium sebagai berikut:

$$f'ct = \frac{2 \times p}{\pi \times l \times d} \qquad (3\text{-}2)$$

Keterangan :
f'ct : kuat tarik belah (MPa)
P : beban tekan (N)
d : diameter benda uji (mm)
l : panjang benda uji (mm)

3.10 Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah (SNI 03-4431-2011). Kuat lentur merupakan faktor penting dalam menentukan sifat-sifat mekanis dan karakteristik beton itu sendiri. Sketsa pengujian kuat lentur balok dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sketsa pengujian kuat lentur balok

Rumus rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur balok beton adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat (1/3 jarak titik perletakan) dibagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan:

$$\sigma = \frac{PL}{bh^2} \tag{3-3}$$

2. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) dibagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan:

$$\sigma = \frac{Pa}{bh^2} \tag{3-4}$$

Keterangan :
σ : kuat lentur (MPa)
P : beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)
L : panjang bentang antara kedua balok tumpuan (mm)
b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
h : tinggi tampang lintang patah arah vertikal (mm)
a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sisi titik dari bentang (mm)

Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.

3.11 Modulus Elastisitas Beton

Menurut Murdock dan Brook (1986), tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari desakan yang diberikan itu. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji (Kusumo, 2013).

Nilai modulus elastisitas ini akan ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan regangan, kurva ini dipengaruhi oleh tegangan beton dan regangan beton. Semakin tegak kurva dan memiliki garis linier yang panjang, berarti beton tersebut memiliki kuat desak yang besar pula. Dengan semakin bertambahnya beban maka makin berkurangnya kekuatan material sehingga kurva tidak linier lagi. Biasanya modulus sekan mempunyai nilai 25-50% dari kuat tekan *f'c* yang diambil sebagai modulus elastisitas. (Wang & Salmon, 1986).

Untuk menghitung modulus elastisitas ada beberapa cara yang dapat digunakan, diantaranya dengan menggunakan rumus pada SNI 03-2847-2002 untuk modulus elastisitas pada beton, yaitu:

untuk beton normal $$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \quad (3\text{-}5)$$

Keterangan:
Ec : Modulus elastisitas beton (MPa)
f'c : Kuat tekan beton (MPa)

Dalam penelitian ini nilai modulus elastisitas didapat dengan melakukan pengujian langsung di laboratorium dengan mengamati perubahan panjang dengan *compressometer*. Untuk memperoleh nilai modulus elastisitas beton digunakan perhitungan secara umum yang dapat dituliskan pada persamaan 3-7, 3-8, dan 3-9.

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3\text{-}6)$$

$$f = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (3\text{-}7)$$

$$\varepsilon = \frac{0{,}5 \times \Delta P}{P_0} \quad (3\text{-}8)$$

Keterangan :
E : modulus elastisitas beton tekan (MPa)
f : tegangan (MPa)
ε : regangan
P_{maks} : Beban maksimum benda uji (N)
P_o : Panjang awal benda uji (mm)
A_o : luas tampang benda uji (mm^2)
ΔP : perubahan panjang benda uji (mm)