

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton non serat. Beton non serat ialah beton yang mempunyai berat isi 2200–2500 kg/m³ dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Beton non serat dengan kualitas yang baik yaitu beton yang mampu menahan kuat desak/hancur yang diberi beban berupa tekanan dengan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen (F.a.s) dan zat tambahan (*admixture*) bila diperlukan (Alam, dkk).

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikno, 2003). Secara proporsi komposisi unsur pembentuk beton adalah:

Tabel 3. 1 Unsur Beton

Agregat Kasar + Agregat Halus (60 % - 80 %)	
Portland Cement : 7 % - 15 %	Air (14 % - 21 %)
Udara : 1 % - 8 %	

Mutu beton ditentukan oleh banyak faktor antara lain (Sutikno, 2003):

- a. Faktor Air Semen (FAS).
- b. Perbandingan bahan-bahannya.
- c. Mutu bahan-bahannya.
- d. Susunan butiran agregat yang dipakai.
- e. Ukuran maksimum agregat yang dipakai.
- f. Bentuk butiran agregat.
- g. Kondisi pada saat mengerjakan.
- h. Kondisi pada saat pengerasan.

Keuntungan dari beton antara lain (Sutikno, 2003):

1. Mudah dicetak artinya beton segar dapat mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran berapapun tergantung dari keinginan.
2. Ekonomis artinya bahan-bahan dasar dari bahan lokal kecuali *Portland cement*, hanya daerah-daerah tertentu sulit mendapatkan pasir maupun

kerikil. Dan cetakan dapat digunakan berulang-ulang sehingga secara ekonomis menjadi murah.

3. Awet dan tahan lama artinya beton termasuk berkekuatan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap perkaratan dan pembusukan oleh kondisi lingkungan. Bila dibuat secara baik kuat tekannya sama dengan batu alam.
4. Tahan api artinya tahan terhadap kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah.
5. Energi efisien artinya beton kuat tekannya tinggi mengakibatkan jika dikombinasikan dengan baja tulangan dapat dikatakan mampu dibuat struktur berat. Beton dan baja boleh dikatakan mempunyai koefisien muai hampir sama.
6. Dapat dicor ditempat artinya beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sangat sulit. Juga dapat disemprotkan pada permukaan beton yang lama untuk menyambungkan dengan beton baru (di *grouting*).
7. Bentuknya indah artinya dapat dibuat model sesuka hati menurut selera yang menghendakinya.

Kerugian dari beton antara lain (Sutikno, 2003:2):

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.
2. Beton segar mengerut pada saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah, sehingga perlu diadakan dilatasi pada beton yang panjang untuk memberi tempat untuk kembang susut beton.

3. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air dan air membawa kandungan garam dapat merusak beton.
4. Beton bersifat getas sehingga harus dihitung dengan teliti agar setelah digabungkan dengan baja tulangan dapat bersifat kokoh terutama pada perhitungan bangunan tahanan gempa.

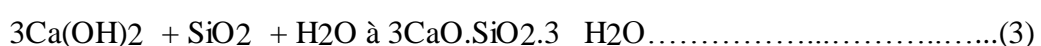
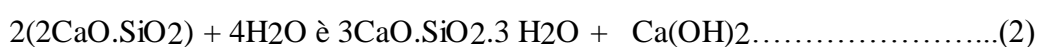
3.2. Bahan Pembuat Beton

3.2.1 Semen

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen *portland* dengan pozolan halus, yang di produksi 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, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen *portland* pozolan.

Proses hidrasi semen dipengaruhi oleh komposisinya. Salah satunya yaitu silika (SiO₂) yang ada di dalam semen. SiO₂ akan mengeliminir Ca(OH)₂ dan bereaksi membentuk CSH pada proses hidrasi semen, sehingga pada akhirnya akan meningkatkan kuat tekan semen. Hal ini disebabkan Ca(OH)₂ di dalam mortar / beton akan bersifat merugikan dan menurunkan kuat tekan semen.

Reaksinya yaitu :



3.2.2 Air

Fungsi dari air disini antara lain adalah sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (*Mindess, dkk., 2003*). Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (*PUBI-1982*), antara lain:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/ liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO₃.
5. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

3.2.3 Kerikil

Pada beton biasanya terdapat sekitar 70% sampai 80 % volume agregat terhadap volume keseluruhan beton, karena itu agregat mempunyai peranan yang penting dalam propertis suatu beton (*Mindess et al., 2003*). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan

variasi dalam perilaku (Nawy, 1998). Dua jenis agregat adalah :

1. Agregat Halus (pasir alami dan buatan)

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 – 06). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (SK SNI T-15-1991-03). Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam standar ASTM C 33/ 03 “Standard Specification for Concrete Aggregates”.

Tabel 3. 2 Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5 mm	100	100
4,75 mm	95 - 100	97,5
2,36 mm	80 - 100	90
1,18 mm	50 - 85	67,5
600 µm	25 - 60	42,5
300 µm	5 - 30	17,5
150 µm	0 - 10	5

(Sumber: ASTM C 33/ 03)

2. Agregat Kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan dari *blast furnance*)

Menurut ASTM C 33 - 03 dan ASTM C 125 - 06, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. Ketentuan mengenai agregat kasar antara lain :

- Harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori.
- Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- Tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton, seperti zat – zat yang relatif alkali.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %. Apabila kadar lumpur melampaui 1 %, maka agregat kasar harus dicuci.

Persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton berdasarkan standar yang direkomendasikan *ASTM C 33/ 03* “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*” (lihat Tabel 2.1). Dan standar pengujian lainnya mengacu pada standar yang direkomendasikan pada *ASTM*.

Tabel 3. 3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90 -100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 - 5	2,5

(Sumber: *ASTM C 33/ 03*)

3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. (Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton, SK SNI S-18-1990-03).

Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) atau ACI (*American Concrete Institute*) dan yang paling utama memperhatikan petunjuk dalam manual produk dagang.

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*).

1. *Chemical admixtures* (bahan tambah kimia)

Menurut standar ASTM, terdapat 7 jenis bahan tambah kimia, yaitu:

- a. Tipe A, *Water-Reducing Admixtures*
- b. Tipe B, *Retarding Admixtures*
- c. Tipe C, *Accelerating Admixtures*
- d. Tipe D, *Water Reducing and Retarding Admixtures*
- e. Tipe E, *Water Reducing and Accelerating Admixtures*
- f. Tipe F, *Water Reducing, High Range Admixtures*
- g. Tipe G, *Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*

2. Pozolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu non seras membentuk senyawa kalsium hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Standar mutu pozolan menurut ASTM C618-92a dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya.

Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas *pozzolan* tersebut adalah :

Kelas N : Pozolan alam atau hasil pembakaran, *pozzolan* alam yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah diatomoid, opaline cherts dan shales, tuff dan abu vulkanik atau pumicite, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

Kelas C : *Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara.

Kelas F : *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara.

3. Serat (*fibre*) merupakan bahan tambah berupa serat kayu, baja, kaca. Penambahan serat ini ditujukan untuk meningkatkan mutu beton yang semakin hari semakin dibutuhkan dan untuk memperbaiki sifat mekanik beton (kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur).

3.3 Beton Serat

3.3.1. Definisi Beton Serat

Beton serat ialah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah adanya retak-retak sehingga menjadikan beton serat lebih daktil daripada beton biasa Kardiyono (1994).

3.3.2. Perilaku Beton Serat

Beton serat mempunyai kelebihan dibanding beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturnya antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan lentur (*tensile and flexural strength*), kelelahan (*fatigue life*), ketahanan terhadap pengaruh susut (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap keausan (*abrasion*) (Soroushian and Bayashi, 1987).

Menurut As'ad (2008), beton serat memberi banyak keuntungan antara lain:

- a. Serat terdistribusi secara acak di dalam volume beton pada jarak yang relatif dekat satu sama lain. Hal ini akan memberi tahanan berimbang ke segala arah dan memberi keuntungan material struktur yang dipersiapkan untuk menahan beban gempa dan angin.
- b. Perbaikan perilaku deformasi seperti ketahanan terhadap impak, daktilitas yang lebih besar, kuat lentur, dan kapasitas torsi yang lebih baik.
- c. Meningkatkan ketahanan beton terhadap formasi dan pembentukan retak
- d. Peningkatan ketahanan pengelupasan (*spalling*) dan retak pada selimut beton akan membantu menghambat korosi besi tulangan dari serangan kondisi lingkungan yang berpotensi korosi.

3.4. Self Compacting Concrete

Beton memadat mandiri, biasa disebut dengan *SCC*, adalah campuran beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat atau mesin penggetar (*vibrator*). *SCC* pertama kali diperkenalkan oleh Okamura pada tahun

1990-an, sebagai upaya mengatasi persoalan pengecoran di Jepang. Campuran SCC segar ini lebih cair daripada campuran beton konvensional. Campuran ini dapat mengalir dan memadat ke setiap sudut struktur bangunan yang sulit dijangkau oleh pekerja dan mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding*. Selain itu campuran ini mampu mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan materialnya (As'ad,2012) .

3.5. Viscocrete 1003

Sika *Viscocrete*-1003 adalah generasi terbaru dari *Superplasticizer* untuk beton dan mortar. Secara khusus dikembangkan untuk produksi beton dengan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tahan lama serta mengurangi segregasi dan *bleeding* secara signifikan.

Sika *Viscocrete*-1003 bekerja melalui penyerapan permukaan partikel-partikel semen yang menghasilkan suatu efek-efek separasi sterikal. Beton yang dihasilkan dengan Sika *Viscocrete*-1003 memperlihatkan sifat-sifat sebagai berikut:

- Kemampuan mengalir yang sangat baik (dihasilkan pada tingginya pengurangan penempatan dan usaha-usaha pemadatan)
- Kemampuan *Self compact*-nya kuat
- Pengurangan air yang sangat ekstrim (ditunjukkan pada tingginya berat jenis dan kuat beton)

- Mengurangi penyusutan dan keretakan
- Meningkatkan ketahanan terhadap karbonasi pada beton
- Meningkatkan hasil akhir
- Mengurangi kecenderungan *bleeding* dan segregasi

Sika *Viscocrete*-1003 tidak mengandung klorin atau bahan-bahan lain yang dapat menyebabkan karat / bersifat korosif pada tulangan baja. Sehingga cocok digunakan untuk beton dengan tulangan atau pra-tekan, serta memberikan beton dengan kekecekan yang panjang dan tergantung pada desain pencampuran dan kualitas material yang digunakan, partikel-partikel self-compacting dapat dipertahankan lebih dari 1 jam pada suhu 30°C.

Silica fume merupakan material *pozzolan* yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon dan *alloy* besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*). *Silica fume* merupakan bahan pengisi (*filler*) dalam beton yang mengandung kadar silika yang tinggi. Kandungan SiO₂ mencapai lebih dari 90%. Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi.

1) Sifat-sifat Fisik *Silica fume*

Sifat-sifat fisik *silica fume* adalah (dari Wulandari: 24) sebagai berikut:

- a) Warna: bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap.
- b) *Spesifik gravity*: 2,0-2,5.
- c) *Bulk density*: 250-300 kg/m³.

d) Ukuran: 0,1-1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen).

2) Sifat Kimia *Silica fume*

Silica fume merupakan material yang bersifat *pozzollonic*. Dalam penggunaannya, *silica fume* berfungsi sebagai pengganti sebagian dari jumlah semen dalam campuran beton, yaitu sebanyak 5%-15% dari total berat semen. Kandungan SiO₂ dalam *silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa *kalsium silikat hidrat* (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.

3) Keunggulan dan Kendala Penggunaan *Silica fume*

Keunggulan-keunggulan penggunaan *silica fume* dalam beton adalah sebagai berikut:

- a) Meningkatkan kuat tekan beton;
- b) Meningkatkan kuat lentur beton;
- c) Memperbesar modulus elastisitas beton;
- d) Mengecilkan regangan beton;
- e) Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
- f) Mencegah reaksi *alkali silica* dalam beton;
- g) Meningkatkan kepadatan (*density*) beton;
- h) Meningkatkan ketahanan terhadap *abrasi* dan korosi;
- i) Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.

3.6. Serat Polypropylene

Serat Polypropylene merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan – bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali fiber digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan beton untaiannya itu akan terurai. Serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton (Arde : 2005), mengurangi retak – retak akibat penyusutan, meningkatkan daya tahan terhadap impact dan meningkatkan daktilitas (Dina : 1999).

Beberapa keuntungan penggunaan serat *polypropylene* dalam campuran beton, adalah sebagai berikut : (Dina : 1999)

1. memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre – hardening stage* sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
2. memperbaiki ketahanan terhadap kikisan
3. memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan
4. memperbaiki ketahanan terhadap penembusan air dan bahan kimia
5. memperbaiki keawetan beton.

Dalam sebuah penelitian, kadar *silica fume* yang optimum dapat meningkatkan kuat beton tersebut. Jumlah pencampuran *silica fume* sekitar 5% atau lebih, karena dengan penambahan *silica fume* 5% dapat meningkatkan kuat tarik belah beton sebesar 20% dari beton biasa.

3.7. Pengujian Beton Segar

Salah satu pengujian dalam beton *Self Compacting Concrete* adalah pengujian beton segar yang nantinya akan diuji beberapa hal untuk mengukur karakteristik *workability* SCC. Berdasarkan EFNARC,2005 beberapa pengujian terhadap karakteristik beton *Self Compacting Concrete* ,yaitu :

- *Flowability* dengan *slump flow test*

Pengujian *Slump cone* ini digunakan untuk mengetahui *flowability*, *fillingability*, serta tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

- *Viscosity* dengan *T500 slump flow test / V-funnel test*

V-Funnel test ini digunakan untuk mengetahui *fillingability* campuran beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

- *Passing ability* dengan *L-box test*

Pengujian L-Box digunakan untuk mengetahui *passingability* beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

3.8. Pengujian Kuat Tekan

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

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton adalah :

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3-1)$$

Keterangan : f_c' = kuat tekan beton (MPa)
 A = luas bidang desak benda uji (mm^2)
 P = beban tekan (N)

3.9. Pengujian Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah benda uji silinder beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan (Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, SK SNI M60-1990-03).

Berdasarkan Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, maka untuk mendapatkan nilai kuat tarik masing-masing benda uji menggunakan rumus seperti di bawah ini.

$$f_t' = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan : f_t' = kuat tarik belah beton pada umur 28 hari (N/mm^2)
 P = beban maksimum (N)
 L = tinggi silinder beton (mm)
 D = diameter silinder beton (mm)

3.10. Pengujian Kuat Geser

Kuat geser balok adalah kemampuan beton menahan sebagian gaya geser, sedangkan kekuatan geser diatas kemampuan beton itu sendiri dan dilimpahkan kepada tulangan baja geser.

Metode pengujian kuat geser dapat dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b x d \dots\dots\dots (3-3)$$

Sedangkan untuk kuat geser ideal, dihitung dengan rumus :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (3-4)$$

Untuk mengetahui kekuatan dari beton itu sendiri ,dihitung dengan rumus :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (3-5)$$

Keterangan :

f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

V_c = kuat geser beton (N)

V_n = kuat geser ideal atau nominal (N)

V_s = kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan geser (N)

V_u = beban geser terfaktor (N)

ϕ = faktor reduksi kuat geser

d = tinggi specimen (mm)

b_w = lebar efektif penampang balok (mm).

3.11. Pengujian Kuat Lentur (*Modulus of rupture*)

Kuat lentur balok adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji.

Metode pengujian kuat lentur balok dengan dua titik pembebanan diatur dalam SNI 03-4431-2011. Kuat lentur beton untuk keruntuhan dibagian tengah bentang dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots(3-6)$$

Sedangkan untuk keruntuhan pada bagian tarik diluar tengah bentang, dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{3.P.a}{bd^2} \dots\dots\dots(3-7)$$

Keterangan :

R = kuat lentur beton

P = beban maksimum yang terjadi

L = panjang bentang

B = lebar spesimen

d = tinggi specimen

a = jarak rata-rata dari garis keruntuhan dan titik perletakan

terdekat diukur pada bagian tarik specimen.