

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Beton dipakai sebagai komponen struktur. Beton diperoleh dengan cara mencampur semen portland, air dan agregat dengan perbandingan yang telah tertentu. Secara umum bahan penyusun beton dibedakan manjadi dua, yaitu bahan aktif yang berupa air dan semen sebagai bahan pengikat dan bahan pasif yang berupa agregat sebagai bahan pengisi. Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara buturan-butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak/padat.

Kekuatan, keawetan dan sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan-bahan dasar penyusun beton, proporsi campuran bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan dan rawatan keras (curing) selama proses pengerasan. Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa factor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah jenis semen, jumlah semen, factor air semen, kepadatan, sifat agregat, serta umur beton. (Tjokrodimulyo, 1992)

3.2 Material penyusun beton

3.2.1 Semen Portland

Bahan baku pembentuk semen adalah kapur (CaO) dari kapur, Silika (S_3O_2) dari lempung, Alumunium (Al_2O_3) dari lempung.

Ketika semen dicampur dengan air timbullah reaksi kimia antara campuran-campurannya dengan air. Reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan, ada empat yang paling penting yaitu :

1. Tricalcium Aluminate (C_3A)
2. Dicalcium Silikat (C_2S)
3. Tricalcium Silikat (C_3S)
4. Tetra Calsium Aluminaferrita (C_4AF), (Nawy, 1990).

Povovic (1998), menyatakan hubungan antara komposisi campuran semen dan kekuatan berdasarkan perbedaan umur dapat dilihat dalam persamaan fungsi linier yang terdapat pada persamaan (3.1)

$$F = \text{strength} = a (C_3S) + b (C_2S) + c (C_3A) + d (C_4AF) \quad (3.1)$$

dengan : a, b, c, d = koefisien (dapat dilihat pada tabel 3.1)

C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF = komponen semen (%)

Tabel 3.1 Koefisien untuk persamaan 3.1 (Popovic, 1998)

Senyawa Kimia	Umur			
	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari
C_3S	8.5	27.4	40.0	48.8
C_2S	0.3	-1.1	-5.1	19.1
C_3A	11.3	24.1	58.4	100.1
C_4AF	-6.5	-9.8	-0.2	30.8

Tabel 3.1 merupakan koefisien untuk mencari kandungan semen dengan menggunakan persamaan 3.1. Kandungan semen tersebut dapat berupa kekuatan semen, umur, kandungan udara, rawatan keras dan proporsi dari kandungan semen itu sendiri. Adapun sifat dari keempat senyawa kimia tersebut adalah sebagai berikut :

1. Unsur C_3S , merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air, C_3S akan segera berhidrasi dan menghasilkan panas serta berpengaruh besar terhadap pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari.
2. Unsur C_2S , pada penambahan air reaksi C_2S lebih lambat daripada C_3S , sehingga berpengaruh pada pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir serta membuat semen tahan terhadap serangan kimia juga mengurangi besar susutan pengeringan.
3. Unsur C_3A , bila dicampur dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam tetapi kekuatannya sangat rendah.
4. Unsur C_4AF , kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau kekuatan beton, warna abu-abu pada semen disebabkan oleh senyawa ini.

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran-butiran mineral sebagai bahan campur dalam campuran beton yang biasanya menempati sekitar 75 % dari total beton. Agregat halus atau pasir yang digunakan berupa pasir alam dengan ukuran kurang dari 5 mm. Agregat kasar sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5 – 40 mm, didapat dari alam atau dari mesin pemecah batu yang telah disaring dengan ukuran tertentu.

Adapun pengaruh sifat-sifat agregat terhadap campuran beton adalah sebagai berikut (Bale, 1999) :

1. Sebagai bahan pengisi (filler).
2. Memberikan stabilitas volume dan keawetan.
3. Memberikan sifat dapat dikerjakan dan keseragaman campuran.
4. Membantu semen dalam merekatkan agregat kasar.
5. Mencegah segregasi pasta semen dan agregat kasar.
6. Memberikan kekuatan pada beton.

3.2.3 Air

Di dalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan.

Seperti pada reaksi kimia lainnya, semen dan air dikombinasikan dalam proporsi tertentu. Untuk semen portland, 1 bagian berat semen membutuhkan sekitar 25 % bagian berat air untuk hidrasi (Murdock dan Brook, 1986).

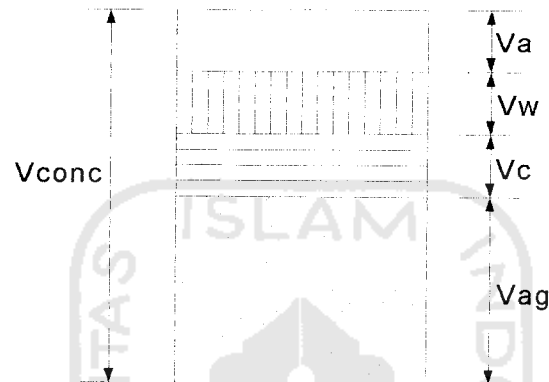
Menurut Popovic (1998), udara void dalam pasta semen merupakan hasil konsolidasi yang tidak sempurna atau proses penguapan air yang terlalu cepat atau kedua-duanya. Volume dari udara void (V_a), sebenarnya menunjukkan kandungan yang konstan dalam umur pasta semen atau beton. Proporsi dari porositas kapiler (V_w) menurun sejalan dengan umur beton dalam kondisi di bawah normal karena proses hidrasi keluar dari pori-pori tersebut secara berangsur-angsur.

Persamaan dibawah ini menunjukkan kandungan volume beton

$$V_c + V_{ag} + V_w + V_a = V_{conc} \quad (3.1)$$

dengan : V_c, V_{ag} = volume semen dan volume agregat dalam beton

V_w, V_a, V_{conc} = volume air, udara dalam beton dan volume sample beton.



Gambar 3.1 Skema komposisi beton segar

3.3.4 Serat Plastik Nylon

Pada umumnya, senar pancing termasuk sebagai golongan Polyamid Nylon 6 (Tata dan Saito, 1992). Karakteristik nylon 6 ini adalah :

1. Mempunyai berat jenis 1,14.
2. Melunak pada suhu 170 C – 180 C dan meleleh pada suhu 215 C
3. Tahan terhadap alkali dan asam-asam lemah dingin, tetapi tidak tahan asam-asam dalam keadaan panas.
4. Nylon 6 larut dalam asam formiat.

Poliamid (nylon) adalah resin dengan ikatan amida $-NH-CO-$, dan dari strukturnya dapat dibagi menjadi polikondensat dari amin $[-NH-R-NHCO-R'-CO-]$ dan dikarboksilat yang disebut nylon $[-NH-R-CO-]$ yang didapat dari polikondensasi asam aminokarboksilat atau karena polimerisasi pembukaan cincin dari laktam, dan

disebut nylon m, dengan m sebagai jumlah karbon dalam asam amino karboksilat atau laktam.

3.3 Beton Serat

Beton serat adalah campuran beton dengan penambahan serat dalam konsentrasi tertentu. Serat yang biasa digunakan biasanya berupa serat alami seperti bambu, ijuk, serat tebu, dan sebagainya, atau serat buatan seperti bendrat, plastik, dan bahan-bahan lain. Serat yang dicampurkan dengan maksud untuk membantu beton dalam menahan gaya tarik (Jati dan Bayu, 2000).

Banyak sekali serat yang dapat dipakai, mulai dari serat karbon yang sangat mahal sampai dengan serat alam yang sangat murah. Tiap jenis serat akan mempunyai keuntungan dan kerugiannya sendiri-sendiri (Sudarmoko, 1993).

1. Serat baja (*steel fibres*) dipakai kalau dibutuhkan kuat lentur beton yang tinggi, tetapi serat baja akan mengakibatkan terjadinya balling dari serat selama proses pengadukan.
2. *Glass fibres* digunakan untuk proses penyemprotan dimana glass fibres dan mortar dengan kadar semen tinggi disemprotkan secara bersama-sama pada suatu permukaan meskipun kepekaannya yang tinggi terhadap lingkungan yang alkalin menghambat pemakaian jenis serat ini.
3. Serat polimer mempunyai berat jenis yang rendah dan permukaan hidropobik yang tidak menyerap air adukan. Tetapi kelemahannya serat polimer mempunyai modulus elastis yang rendah, kelekatan yang jelek dengan pengadukan beton, mudah terbakar serta mempunyai titik leleh yang rendah.
4. Serat karbon dapat digunakan untuk meningkatkan kekakuan lawan retak, regangan dan tegangan retak serta kuat batas mortar. Meskipun demikian

kelemahan serat karbon dalam hal keliatan memerlukan pertimbangan khusus dalam pemakaiannya.

5. Serat alami, yaitu berupa ijuk dan kelapa. Campuran beton dengan serat ini dapat menghasilkan sifat beton yang daktail dan umumnya kuat tariknya rendah. Kelemahan serat ini tidak tahan terhadap serangan kimia dan tidak tahan lama karena bisa membusuk.

Serat dapat meningkatkan beberapa sifat struktural beton tetapi tidak seluruh sifat dapat ditingkatkan. Seperti serat baja, gelas dan karbon akan menghasilkan struktur yang kuat dan kaku serta menghasilkan daya redaman yang tinggi terhadap gaya-gaya kejut.

Soroushin dan Bayasi (1987), mengemukakan sifat dasar dari beberapa serat yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sifat dasar serat

Tipe	Berat Jenis	Kuat Tarik (ksi)	Modulus Young (10^3 ksi)	Fraksi Volume	Diameter (inch)	Panjang (inch)
Baja	7,86	100 - 300	30	0,75 - 3,0	0,0005 - 0,04	0,5 - 1,5
Gelas	2,70	sd 180	11	2,0 - 8,0	0,004 - 0,03	0,5 - 1,5
Plastik	0,91	sd 100	0,14 - 1,20	1,0 - 3,0	sd 6,1	0,5 - 1,5
Karbon	1,60	sd 100	sd 7,20	1,0 - 5,0	0,0004 - 0,0008	0,02 - 0,5

Dengan peningkatan sifat mekanik beton yang diharapkan, maka serat harus memiliki syarat-syarat tertentu. Adapun syarat-syarat yang harus dimiliki serat agar dapat meningkatkan kualitas beton dan dapat dikerjakan dengan mudah adalah sebagai berikut, (Warsena, 1998) :

1. Durabilitas / keawetan

Serat harus tahan terhadap lingkungan beton, faktor yang mempengaruhi antara lain reaksi terhadap alkali, ketahanan abrasi mekanik selama proses pengadukan dan pengerjaan beton, ketahanan korosi, perubahan fase atau bentuk akibat perubahan suhu.

2. Ikatan

Ikatan mekanik dari kimia atau penjangkaran serat dalam beton adalah hal penting untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan. Sifat ini sangat sulit diukur dan dievaluasi serta sangat berpengaruh terhadap sifat komposit.

3. Sifat Mekanik

Sifat ini antara lain kekuatan, kekerasan dan keliatan. Yang diharapkan dari serat adalah memiliki kekuatan yang tinggi, kekerasan, keliatan serta kemampuan menyerap energi. Sifat-sifat tersebut penting selama pembebanan maupun menahan retak yang terjadi.

4. Penyebaran

Serat diharapkan mempunyai sifat yang mudah dikerjakan, dalam pengertian penyebarannya dapat merata keseluruhan bagian beton tanpa terjadi penggumpal.

Adapun aplikasi beton serat dan peningkatan yang dapat ditunjukkan dalam tabel 3.3. (Soroushian dan Bayasi, 1987)

Tabel 3.3 Aplikasi pemakaian beton serat dan sifat-sifat yang diperbaiki

Aplikasi	Perbaikan												
	Daktilitas (serapan energi)	Kekakuan dan Kekuatan Dinamis	Ketahanan Kejut	Kuat Tarik dan Lentur	Kuat Geser	Tingkat Pelayanan (Retak dan Lendutan)	Ketahanan Terhadap Kelelahan	Pengurangan Ukuran dan Berat	Ketahanan, Abrasi dan Korosi	Ketahanan Kavitasi	Ketahanan Terhadap Beban Aksial Berbagai Arah	Perilaku pada Suhu Tinggi	Pengurangan Serapan Air
Struktur Tahan Gempa	x	x		x	x	x		x			x		
Perkerasan Jalan dan Lapangan Terbang			x	x			x	x	x				
Struktur Cangkang				x	x	x		x			x		
Portal, Balok dan pelat	x			x	x	x		x			x		
Struktur Jembatan	x	x		x	x	x	x	x			x		
Struktur Tahan Ledakan	x	x	x	x	x	x		x			x		
Penampungan Air				x		x		x					x
Struktur Keairan				x		x	x	x	x	x	x		x
Beton Prategang dan Pracetak	x			x	x	x		x			x		
Beton dan baja kekuatan tinggi	x			x		x					x		
Pelapisan pada Bangunan Industri						x			x				
Struktur Tahan Api									x			x	
Penambalan dan Perbaikan Shotcrete				x		x							
Struktur Penahan Tanah				x		x			x	x			x
Pipa Beton				x		x		x	x	x	x		x
Reaktor Nuklir	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Terowongan Pertambangan				x	x	x			x	x	x		x

Pada penelitian ini digunakan serat plastik nylon yang berasal dari benang pancing merk Danyl yang banyak dipasaran, dengan variasi diameter 0.40 mm, 0.60 mm, 0.95 mm.

Adapun perhitungan jumlah serat yang digunakan adalah sebagai berikut :

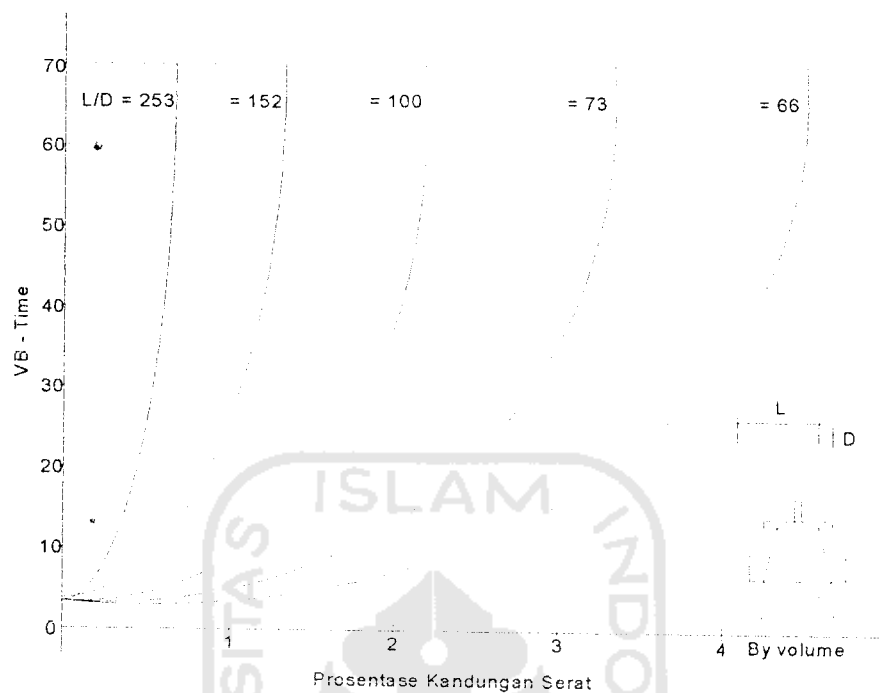
$$\text{Volume 1 silinder beton} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h \quad (3.2)$$

$$\text{Volume 1,5 \% silinder beton} = 1,5 \% \times \text{Vol. 1 silinder beton} \quad (3.3)$$

Panjang serat yang diperlukan untuk 1 silinder beton :

$$= \frac{\text{volume 1,5 \% silinder beton}}{\text{luas tampang serat}} \quad (3.4)$$

Aspek ratio serat yang tinggi akan menyebabkan serat cenderung menggumpal menjadi suatu bola (balling effects) yang sulit disebar secara merata dalam proses pengadukan. Dalam penelitian Briggs dkk (1974) menyimpulkan bahwa nilai l/d yang baik terletak antara 50-100. Serat dengan l/d > 100 jika dicampurkan ke dalam adukan beton akan terjadi penggumpalan (balling effect), sehingga menyulitkan dalam pengadukan. Sedangkan jika nilai l/d < 100 akan menyebabkan tidak terjadinya ikatan yang baik antara beton dengan serat dan serat mudah terpercarkan oleh geteran. Semakin tinggi kandungan serat dalam adukan, semakin sulit pengadukannya sehingga VB-time semakin tinggi seperti terlihat pada gambar 3.2. (Sudarmoko, 1993)



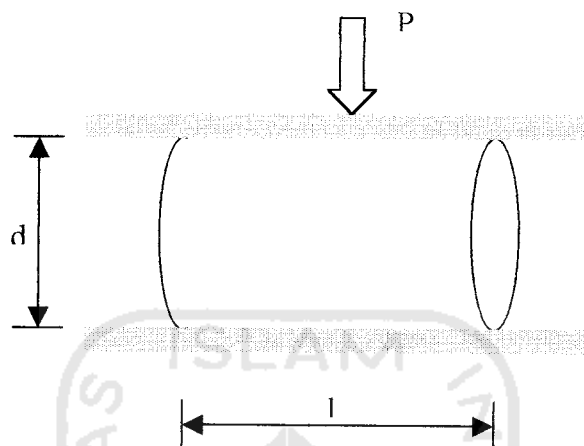
Gambar 3.2 Pengaruh aspek ratio serat terhadap VB-Time

VB-Time adalah salah satu cara untuk mencari kelecakan adukan beton/beton serat. Alat ini terdiri dari kerucut (yang biasa dipakai untuk slump test) yang diletakkan di dalam sebuah kontainer silinder dan ditempatkan diatas meja getar. Adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut (dalam 3 lapis), kemudian kerucut diangkat ke atas. Adukan beton yang tertinggal dalam kontainer digetarkan sampai bentuk kerucut berubah menjadi rata. Waktu penggetaran yang diperlukan dinamakan “VB-Time”, dan menunjukkan tingkat kelecakan adukannya. Bila adukan mempunyai VB-Time antara 5 s/d 25 detik, maka adukan tersebut dapat diterima. (Suhendro, 1992).

3.4 Kuat Tarik

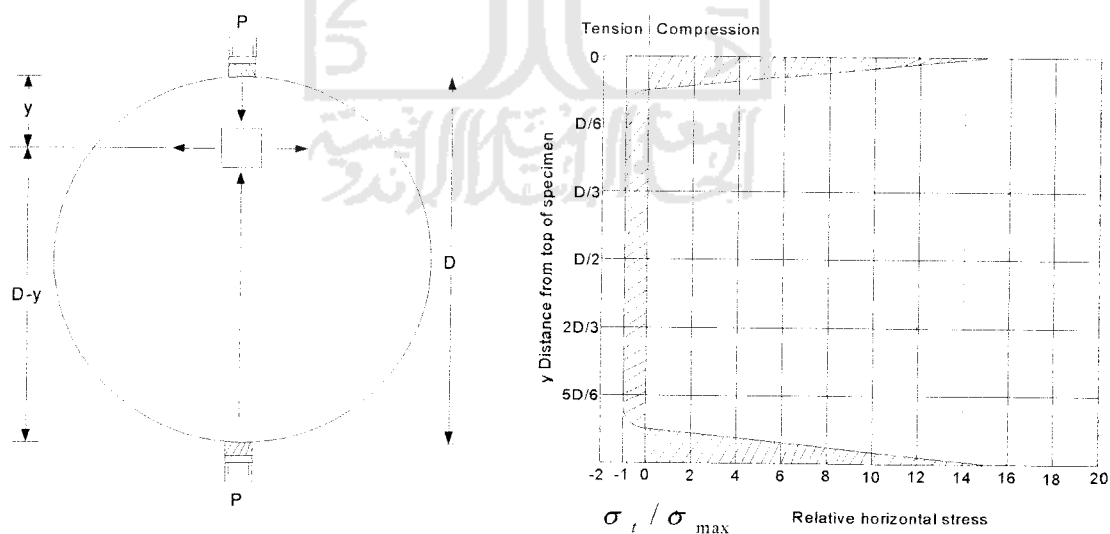
Menurut Nawy (1990), kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan karena masalah pemjepitan (gripping) pada mesin. Ada

sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik, dan yang paling sering digunakan adalah tes belah silinder atau tes Brasil.



Gambar 3.3 Pengujian kuat tarik beton dengan metode belah silinder

Popovic (1998) menggambarkan tekanan kompresif beton pada tes pembelahan silinder sebagai berikut :



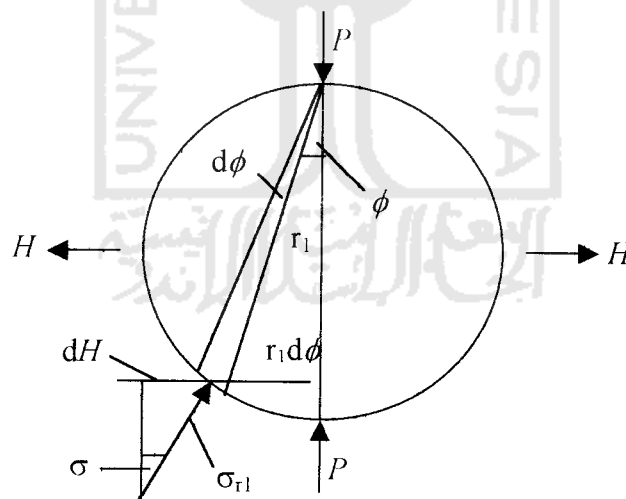
Gambar. 3.4 Distribusi tegangan horizontal dalam bidang internal antara dua beban generatris pada tes pembelahan silinder

Pada gambar 3.4 terlihat bahwa beban kompresif vertikal dapat digunakan dan disebarakan sebagai suatu garis. Maka, tekanan vertikalnya bersifat kompresif dan tekanan horizontalnya juga bersifat kompresif namun, akan menjadi tarik segera setelah keduanya menjauhi permukaan eksternal atau luar sehingga bidang beban tegangan tarik yang hampir sama akan muncul pada 80 % dari permukaan vertikalnya.

Adapun tegangan tarik maksimum pada permukaannya adalah :

$$\sigma_m = \frac{2P}{\pi d.D} \quad (3.6)$$

Timoshenko (1934) mengemukakan ulasan teori tentang rumus tegangan dari percobaan belah silinder tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 3.5 Gaya horizontal akibat beban vertical

Apabila sebuah piring ditekan dengan gaya P pada arah diameternya seperti pada gambar 3.5, maka gaya horizontal pada piring tersebut adalah sebagai berikut :

$$dH = r_1 \cdot d\phi \cdot \sigma_{r1} \cdot \sin \phi = D \cdot \sigma_{r1} \cdot \cos \phi \cdot \sin \phi \cdot d\phi$$

$$\sigma_{r1} = \frac{2P}{\pi D}$$

$$dH = D \frac{2P}{\pi D} \cos \phi \sin \phi d\phi = \frac{P}{\pi} \sin 2\phi d\phi$$

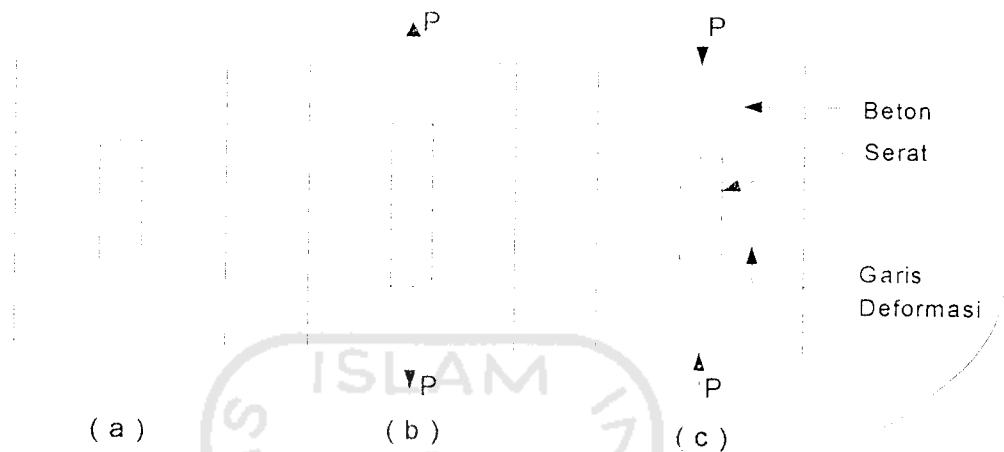
Akibat P dari atas dan bawah :

$$\begin{aligned} H &= \frac{2P}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin 2\phi d\phi \\ &= \frac{2P}{\pi} \left[-\frac{1}{2} \cos 2\phi \right]_0^{\pi/2} \\ &= \frac{2P}{\pi} \left[-\frac{1}{2} \cos 2\phi \right]_0^{\pi/2} \\ &= \frac{2P}{\pi} \left[-\frac{1}{2} (-1 - 1) \right] \\ &= \frac{2P}{\pi} \end{aligned}$$

Gaya H ini untuk satu satuan panjang dengan tinggi merupakan diameter piring. Jika piring tersebut merupakan silinder dengan diameter D dan panjang L , maka tegangan horizontal yang terjadi adalah :

$$\sigma = \frac{H}{DL} = \frac{2P}{\pi DL}$$

Balaguru (1992), menggambarkan sistem serat-matriks pada beton sebagai berikut :



Gambar 3.6 Hubungan Serat-Beton, tanpa beban: (a) beban tarik: (b), beban tekan: (c)

Sampel sistem kandungan serat-beton ditunjukkan pada gambar 3.3. Pada bagian tanpa beban, tegangan untuk serat dan beton dianggap nol (Gambar 3.3 (a)). Pada saat diberi beban tarik dan beban desak terjadi tegangan dan perubahan bentuk. Dalam kasus ini hidrasi semen dapat menyebabkan tegangan pada beton dan serat, ketika diberikan beban pada beton, sebagian beban ditransfer ke serat. Karena ada perbedaan kelangsingan antara beton dan serat, maka terjadi tegangan geser pada serat. Tegangan geser ini membantu perpindahan beban yang diberikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (b) dan (c).

Adapun kuat tarik gabungan beton serat menurut Suhendro (1992) adalah sebagai berikut .:

$$f_{if} = 0,97 \times f_c \times (1 - V_f) + \left[3,41 \times V_f \times \left(\frac{l}{d} \right) \right] \quad (3.7)$$

dengan : f_c = kuat tarik beton biasa (N/mm^2) V_f = fiber volume fraction (%)

l/d = fiber aspect ratio f_{if} = kuat tarik beton fiber (N/mm^2)

Persamaan yang dinyatakan Suhendro (1992) dalam penelitiannya untuk mencari kuat tarik beton serat bendrat ini adalah persamaan non dimensional, karena pada penjumlahan aspek ratio serat tidak memiliki satuan.

Kuat tarik untuk beton serat menurut Callister (1993) adalah sebagai berikut :

untuk $l > l_c$

$$(TS)_c = (TS)_f \times V_f \left(1 - \frac{l_c}{2l} \right) + (TS)'_m (1 - V_f) \quad (3.8)$$

dengan : $(TS)_c$ = kuat tarik beton komposit, $(TS)_f$ = kuat tarik serat

l = panjang serat, l_c = panjang kritis serat, $(TS)'_m$ = kuat tarik beton

untuk $l < l_c$

$$(TS)_c = \frac{l \tau_c}{d} V_f + (TS)'_m (1 - V_f) \quad (3.9)$$

dengan : τ_c = kekuatan ikatan serat – beton, d = diameter serat

Callister (1993) mengatakan bahwa panjang kritis serat adalah pertambahan panjang serat setelah ditarik.

Bolton (1993), menyatakan kuat tarik beton komposit (serat) adalah sebagai berikut :

$$\text{kuat tarik komposit } (\sigma_c) = \sigma_f f_f + \sigma_m f_m \quad (3.10)$$

dengan : σ_f = kuat tarik serat, f_f = volume serat, σ_m = kuat tarik beton

f_m = volume beton

Menurut Bolton (1993), bahwa kuat tarik beton serat berbanding lurus dengan kuat tarik serat ditambah kuat tarik beton.

3.5 Hipotesis

Beton dengan penambahan serat plastik nylon mempunyai kuat tarik yang lebih tinggi di bandingkan dengan beton tanpa serat, karena kuat tarik gabungannya adalah penjumlahan dari kuat tarik beton dengan kuat tarik serat. Kuat tarik beton akan mencapai maksimum dengan panjang serat 70 mm dan diameter 0,95 mm pada perbandingan l/d konstan.