

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang dicampur dengan agregat halus, agregat kasar, dan air. Beton dapat memakai bahan campuran tambahan (*admixture*). Pada beton biasanya terdapat tulangan yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik yang bekerja pada beton. Beton yang kuat terhadap gaya tekan dan lemah terhadap tarik, maka diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan beban - beban yang bekerja. (Nawy, Edward G, 2008).

Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (Mulyono, 2004). Standar peraturan perencanaan bangunan beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2013.

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang paling penting dan paling banyak digunakan. Beton bertulang digunakan pada semua jenis struktur besar maupun struktur kecil seperti bangunan, jembatan, perkerasan jalan, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, jembatan yang melintasi lembah (*viaduct*), drainase serta fasilitas irigasi, tangki, dan sebagainya (McCormac, Jack, 2004).

2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Terdapat beberapa kelebihan pada beton bertulang antara lain :

- a) Beton bertulang memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan material yang lainnya.
- b) Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap cuaca ekstrim
- c) Struktur beton bertulang sangat kokoh.
- d) Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi dibandingkan dengan material yang lainnya.
- e) Dibandingkan dengan bahan lain, beton bertulang memiliki usia layan yang panjang.

- f) Beton bertulang merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pembangunan pondasi tapak, dinding basement, dan tiang tumpuan jembatan.
- g) Salah satu ciri khas beton bertulang adalah kemampuan untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
- h) Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja.
- i) Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti struktur baja.

Selain mempunyai kelebihan, beton bertulang juga mempunyai kekurangan yang perlu kita ketahui. Beberapa kekurangan atau kelemahan beton bertulang diantaranya adalah:

- a) Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan), sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
- b) Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton sampai beton tersebut mengeras. Biaya pembuatan bekisting sangat mahal. Di Amerika Serikat, biaya bekisting berkisar antara sepertiga hingga dua pertiga dari total biaya suatu struktur beton bertulang, dengan nilai sekitar 50%.
- c) Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Kekuatan beton berkisar antara 5% hingga 10% kekuatan baja meskipun berat jenisnya kira-kira 30% dari berat baja. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.
- d) Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti struktur baja dan kayu.

2.1.2 Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang yakni :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

P = gaya tekan (kN)

A = luas tampang melintang (mm^2)

Deformasi atau regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal yang dihasilkan dari gaya tarik maupun gaya tekan yang dikenakan pada suatu bahan. Rumus untuk mencari regangan pada beton bertulang yakni :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana $\Delta L = l - l_0$

Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

L = panjang semula (mm)

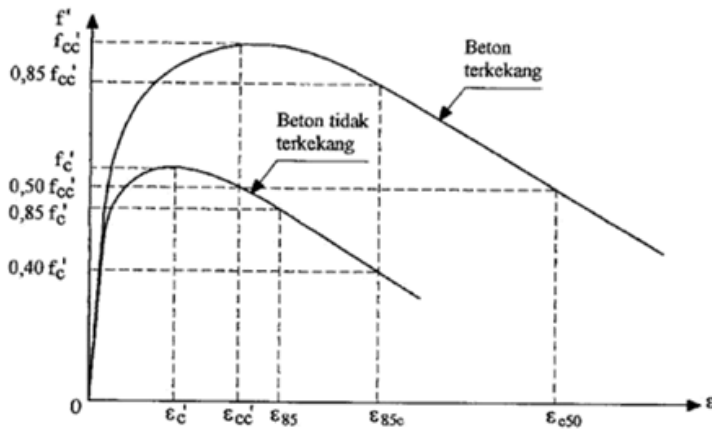
2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang

Perilaku tulangan lateral dalam kolom akan mempengaruhi hubungan tegangan – regangan beton, dimana bentuk hubungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa variabel, terutama kuat tekan beton, rasio tulangan lateral terhadap volume inti beton (*concrete core*), tegangan leleh tulangan lateral, dan spasi tulangan lateral. Selain itu tidak kalah pentingnya adalah pengaruh dari tingkat laju pembebanan, karena karakteristik tegangan – regangan beton pada dasarnya memiliki unsur *time – dependent* [Scott dkk. (1982), Dilger dkk. (1988), Azizinamini dkk. (1994)], Saatcioglu & Baingo (1999)]

Tulangan transversal yang dipasang pada kolom dapat berfungsi sebagai kekangan untuk memperlambat pengembangan transversal beton. Pemasangan tulangan transversal pada beton terutama pada struktur kolom dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas, apabila dibandingkan dengan beton tanpa tulangan transversal. Tulangan transversal sangat berperan dalam mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mencegah terjadi buckling pada tulangan longitudinal, dan mencegah keruntuhan geser pada kolom. Semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak pula tulangan transversal yang diperlukan agar struktur lebih kuat dan daktil.

Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dengan beton tidak terkekang hampir sama. Berarti pada tegangan awal tersebut, tulangan transversal belum aktif memberikan tahanan lateral. Deformasi lateral yang

disebabkan oleh beban aksial yang bekerja pada beton, mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton.



Gambar 2.1. Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang

Sumber : Razvi & Saatcioglu (1992)

Pada tegangan sekitar $0,4 f'_c$, perilaku kurva tegangan – regangan beton mulai non – linier. Tingkat tegangan ini ditandai dengan mulai runtuhnya selimut beton dan mempunyai perilaku tegangan – regangan yang berbeda dengan inti beton. Deformasi lateral beton menimbulkan reaksi dari kekangan berupa tahanan lateral. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibanding dengan beton tidak terkekang.

Pada grafik beton terkekang juga terlihat bahwa setelah puncak terjadi penurunan tegangan yang lebih landai, artinya mempunyai daktilitas yang lebih besar dibanding dengan beton tidak terkekang. Pola seperti ini disebabkan karena daya dukung inti beton sebagian besar berasal dari tahanan tulangan lateral, sehingga penurunan tegangan beton mempunyai pola tegangan – regangan tulangan lateral yang daktil.

Tegangan puncak dari beton terkekang terlihat terjadi pada regangan yang lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Setelah tegangan pada regangan puncak, pada beton tidak terkekang mulai terjadi penurunan tegangan.

Sebaliknya pada regangan yang sama pada beton terkekang, dengan bertambahnya deformasi aksial terjadi peningkatan kekuatan, yang tergantung dari besarnya tegangan lateral, sampai mencapai tegangan puncak. Kekangan pada beton juga meningkatkan sisa kekuatan setelah runtuh (*residu strength*).

2.2 Tulangan Longitudinal

Terdapat beberapa macam material yang biasanya dipakai pada tulangan longitudinal, contohnya seperti baja dan bambu. Namun, baja merupakan material yang saat ini cepat habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak sekali penelitian yang membuktikan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan baja. Perbedaan mengenai perbedaan tulangan bambu dan baja adalah :

- Tulangan baja

Penggunaan baja sebagai tulangan adalah hal yang sering dilakukan oleh banyak orang. Hal ini dikarenakan tulangan ini mudah di produksi dalam jumlah banyak, tidak mudah terbakar, tidak menyerap air, dan banyak lagi kelebihan lainnya. Tulangan baja yang tersedia di pasaran dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Baja Tulangan Polos (BJTP)

Tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/sengkang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 Mpa dengan ukuran $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 14$ dan $\emptyset 16$

2. Baja Tulangan Ulir atau Deform (BJTD)

Tulangan Ulir/deform digunakan untuk untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa. Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran adalah D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36.

- Tulangan bambu

Bambu mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, yakni kuat tarik antara 100-400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$ dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001). Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm² (Morisco, 1996). Kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 100-400 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang (Morisco, 1999).

Bambu mempunyai serat yang sejajar, sehingga kekuatan terhadap gaya normal cukup baik, bambu berbentuk pipa sehingga momen lembamnya cukup tinggi oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur dan berat bambu sekitar $\frac{1}{9}$ dari berat besi.

Selain itu bambu memiliki beberapa kelebihan sebagai tulangan pada beton, yaitu:

- Tulangan bambu lebih ekonomis dibandingkan dengan tulangan baja
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah
- Pertumbuhannya bambu cepat
- Material bambu merupakan jenis material konstruksi yang ringan
- Material bambu dapat diperbaharui dan memiliki kuat tarik yang tinggi

2.2.1 Fungsi Tulangan Longitudinal

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, kolom, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang, atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut. Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang.

2.3 Tulangan Transversal (Sengkang)

Sewaktu beban vertikal dan momen lentur pada kolom ditahan oleh tulangan longitudinal, gaya gempa lateral ditahan oleh tulangan transversal yang dipasang secara rapat. Tulangan transversal sebaiknya didesain untuk menahan pengembangan retak geser diagonal. Lebih lanjut, tulangan longitudinal diikat bersama tulangan transversal dan mencegahnya dari tekuk yang berlebihan, dan mengekang beton di dalam kolom. Tulangan transversal biasa disebut tulangan sengkang. Tulangan sengkang membantu mencegah hancurnya beton pada penampang inti kolom sehingga kolom dapat menahan beban vertikal yang lebih besar.

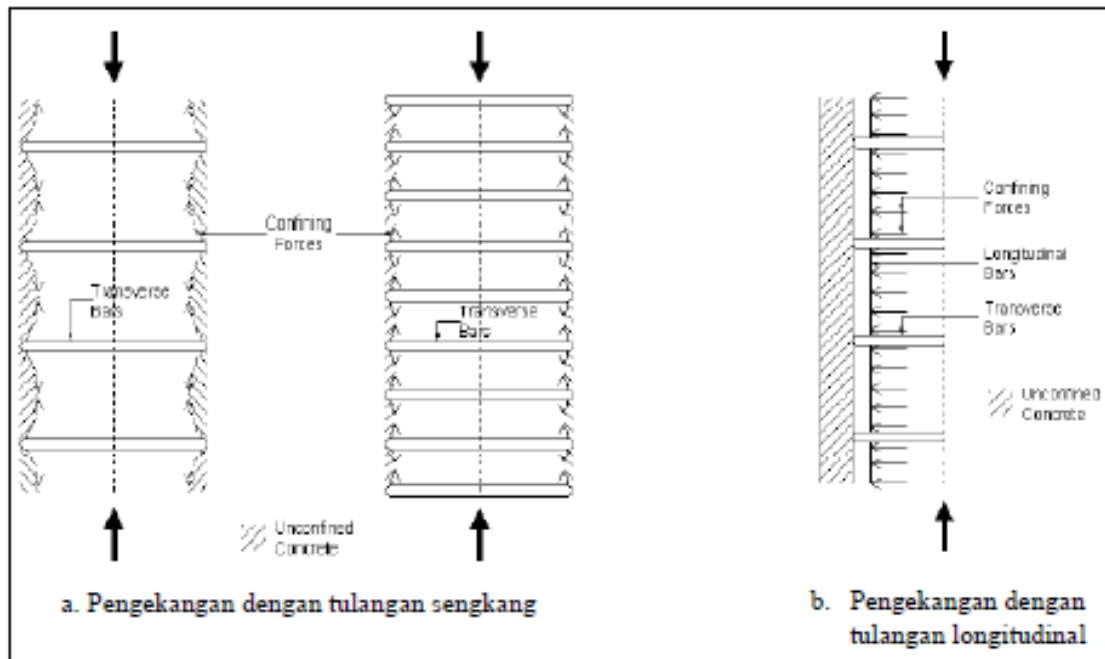
Terdapat beberapa fungsi pada tulangan transversal (sengkang) :

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser
2. Sengkang sebagai pengekang (*confinement*)
3. Sengkang sebagai penahan tekuk (*buckling*)
4. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok

2.3.1 Pengaruh Tulangan Transversal (Sengkang)

Tulangan transversal atau dapat disebut juga sengkang pada kolom berpengaruh pada kekuatan penampangnya sehingga akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah

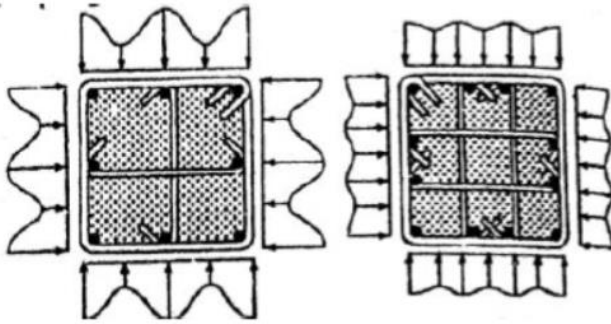
tekuk (*buckling*) yang dihadapi. Pada kolom, eksentrisitas dapat terjadi akibat timbulnya momen yang antara lain disebabkan oleh kekangan pada ujung-ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pelaksanaan pemasangan yang kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Semakin pendek jarak sengkang pada kolom semakin besar kekuatan kolom tersebut.



Gambar 2.2. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal

Ada banyak variabel yang mempengaruhi kapasitas aksial dan bentuk kurva tegangan-regangan suatu kolom beton bertulang. Beberapa variabel yang dominan tersebut antara lain:

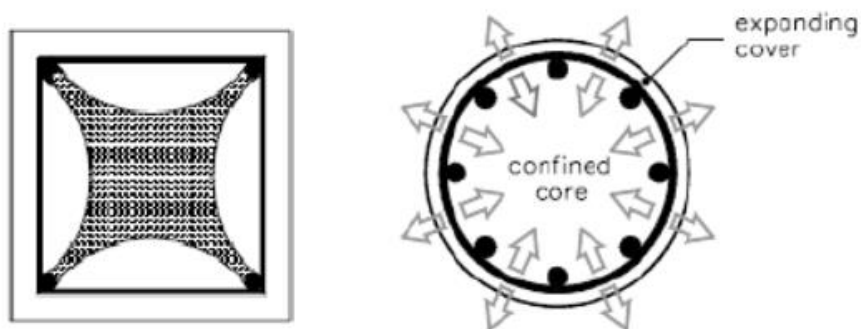
- a. Rasio volumetrik sengkang dan beton merupakan perbandingan antara volume sengkang dengan volume inti beton yang terkekang dihitung dari as ke as sengkang. Semakin kecil rasio volumetrik maka efek pengekangan akan semakin besar. Untuk memperoleh rasio volumetrik yang semakin kecil dapat dilakukan dengan tiga cara.
 1. Memperbanyak volume sengkang maka dapat menambah nilai tegangan pengekang dalam arah transversal.



Gambar 2.3. Variasi tegangan pengekan akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal)

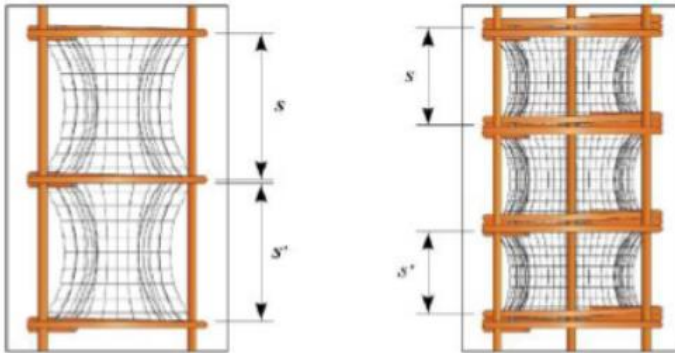
Sumber : Tavio (2011)

2. Memperbesar diameter tulangan, perbandingan antara diameter sengkang terhadap panjang sengkang, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekan yang lebih efektif. Dari Gambar 2.4 di bawah dapat dilihat bahwa daerah yang diarsir merupakan daerah yang tidak efektif terkekang. Bila diameter sengkang kecil, maka sengkang hanya akan berperilaku sebagai pengikat antar sudut dikarenakan kekakuan lenturnya kecil. Karena kekakuannya kecil, maka bagian tengahnya (daerah antara dua sudut) akan melendut sehingga keefektifan pengekan bagian tengah sengkang menjadi lebih kecil. Dengan diameter sengkang yang lebih besar, luas area yang terkekang efektif bisa bertambah karena kekakuan lenturnya besar. Dari Gambar 2.4 tersebut dapat dilihat keefektifan sengkang spiral dalam menahan inti beton lebih baik daripada sengkang persegi, karena pada pengekan spiral hampir seluruh daerah inti beton (yang berada di dalam sengkang) terkekang dengan baik.



Gambar 2.4. Efektifitas pengekan. (a) sengkang persegi; (b) spiral

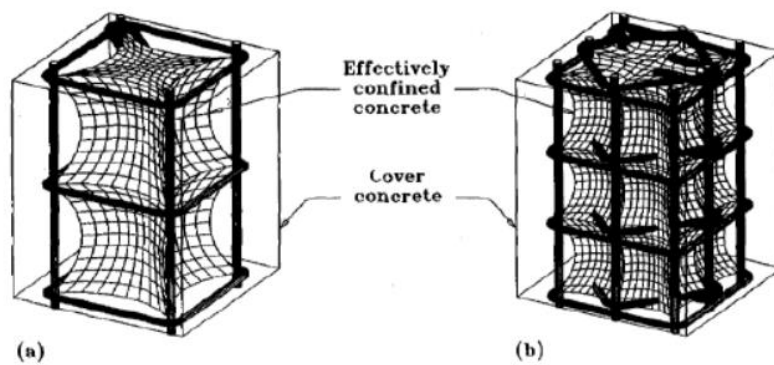
3. Memperkecil jarak sengkang, perbandingan jarak/spasi antar sengkang terhadap dimensi penampang inti, karena semakin rapat sengkang akan menambah keefektifan pengekanan, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5 dibawah. Semakin renggang jarak sengkang maka akan semakin banyak volume beton yang tidak terkekang dan mungkin akan rontok (*spalling*).



Gambar 2.5. Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekanan

Sumber : Cusson dan Paultre (1995)

- b. Kuat leleh baja tulangan sengkang (f_{yh}), karena variabel ini menentukan kuat batas ultimate dari tegangan pengekan lateral.
- c. Jumlah dan ukuran tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga mengkekang betonnya. Tulangan longitudinal harus ditempatkan agak rapat disepanjang sengkang karena sengkanglah yang memberikan reaksi pengekanan pada tulangan longitudinal (tulangan lentur) dengan tulangan transversal (sengkang) akan meningkatkan efisiensi pengekanan.
- d. Kuat tekan beton (mutu beton), karena beton dengan kuat tekan rendah (*low strength concrete*) agak lebih daktail daripada beton mutu tinggi (*high strength concrete*).



Gambar 2.6. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat

Sumber : Cusson (1995)

2.4 Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang mudah ditanam dan dapat tumbuh secara alami. Terdapat ratusan macam jenis bambu, tetapi dari ratusan jenis itu, hanya ada empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu yang dapat dimanfaatkan dan umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004).

Bambu dipilih sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Setiya Budi, 2010).

2.4.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) berbagai daerah di Indonesia dikenal dengan nama tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung dan lainnya (Morisco, 1999:2-4). Bambu petung dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m diatas permukaan laut. Pertumbuhannya cukup baik khususnya daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang umumnya warna hijau kekuning kuningan. Panjang batang dapat mencapai antara 10 sampai 14 meter, panjang ruas berkisar antara 40 sampai 60 centimeter dengan diameter antara 6 sampai 15 centimeter dan tebal dindingnya antara 10 sampai 20 milimeter.

2.4.2 Bambu Apus

Bambu apus termasuk dalam genus *Gigantochloa* yang memiliki rumpun yang rapat. Bambu apus dikenal juga sebagai bambu tali, awi tali, atau pring tali. Bambu apus/tali kuat terhadap tarik, terutama kulit bambu yang merupakan pelindung dan bagian terkuat dari bambu. Selain itu, bambu ini juga mudah dilenturkan dibanding bambu jenis lain, tahan lama sekalipun tanpa pengawetan, dan mudah didapatkan.

2.4.3 Kuat Tarik Bambu

Bambu memiliki banyak kelebihan, dimana salah satunya memiliki kuat tarik yang tinggi yang dapat dipersaingkan dengan kuat tarik baja. Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.
2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia atau ruas.

Kuat tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1.

Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 - 2940	98,07
Tekan	245 - 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196,1 x 10 ³

Sumber: Morisco (1999)

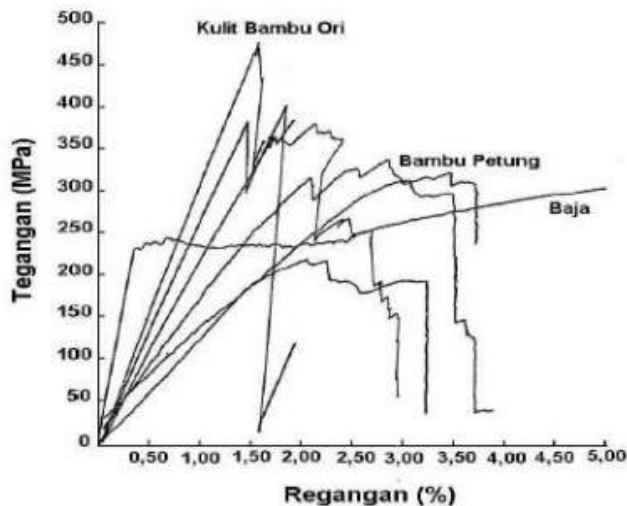
Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik dengan empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*),

dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2.

Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55



Gambar 2.7. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.7 tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Selain bambu ori, kuat tarik rata-rata dari bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

2.4.4 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998) .

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3.

Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37,52
	Dewasa	46,59
	Tua	43,13

Sumber : Sidik Mustafa (2010)

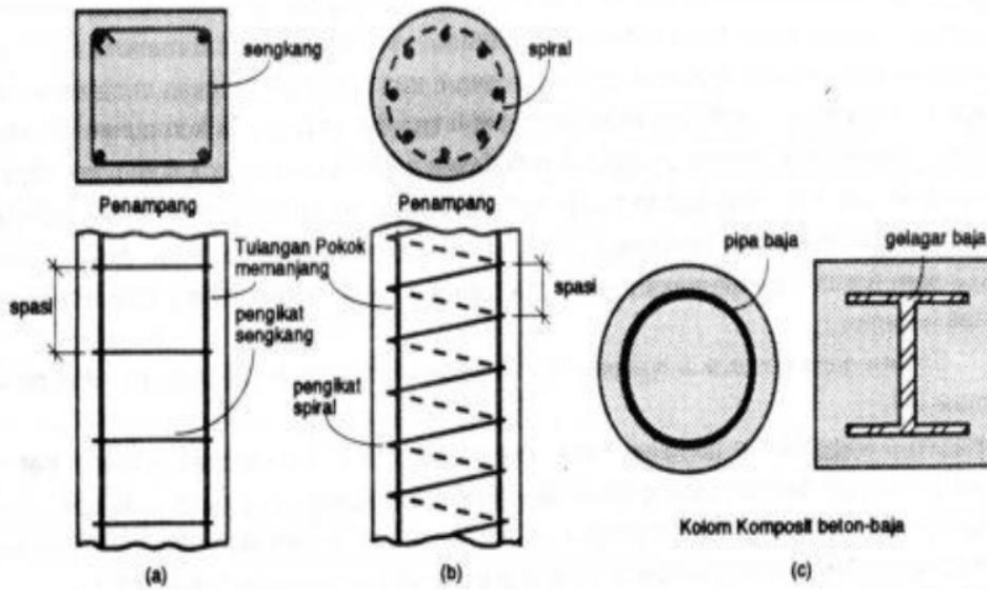
2.4.5 Perlakuan Bambu Sebagai Tulangan

Penelitian terkait bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto Rico. Bambu akan mengembang ketika pori bambu menyerap air dan saat beton telah mengeras dan menyusut, bambu akan menyusut dengan tingkat yang lebih besar dari beton. Oleh karena itu, tulangan bambu perlu diberi perlakuan khusus berupa pemberian lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir. Sehingga permukaan bambu akan menjadi kasar dan daya lekat bambu terhadap beton menjadi tinggi.

2.5 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi bawah lebih awal hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1985)

Kolom merupakan struktur tekan karena beban yang bekerja adalah aksial tekan sepanjang sumbu bahan. Kolom merupakan elemen struktur yang harus direncanakan dan dihitung secara cermat mengenai kekuatan terhadap beban yang bekerja, karena elemen struktur ini berhubungan erat dengan kestabilan bangunan. Kolom terbagi menjadi 3 variasi jenis kolom antara lain kolom persegi, kolom bulat dan kolom komposit. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.8. Variasi jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit

2.5.1 Kolom Pendek Dengan Beban Aksial

Kolom pendek dengan beban aksial Beton dan baja dianggap sebagai satu kesatuan dalam kolom yang dibebani dengan beban aksial. Tegangan & regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom, akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ($\epsilon_c = \epsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu $\sigma_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\sigma_s A_s$ atau $f_s A_s$.

Rumus untuk mencari kuat beban aksial pada kolom adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \dots\dots\dots(2-3)$$

Untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni (Sri Murni Dewi, 2013) adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots\dots\dots(2-4)$$

Untuk analisis kuat beban aksial kolom retrofit bertulang bambu dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\%[0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

- P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)
- A_g = luas penampang bruto beton (mm²)
- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)
- A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)
- $f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom retrofit diambil rumus 50% kuat beban aksial kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat beban aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat beban puncak turun kolom asli.

2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau disebut juga sebagai modulus young adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin mudah benda menjadi elastis sehingga mampu mengalami perpanjangan atau perpendekan. Sebaliknya, semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Rumus modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

- E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)
- σ = Tegangan (kN/mm²)
- ϵ = Regangan

2.7 Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996)

Rumus kekakuan :

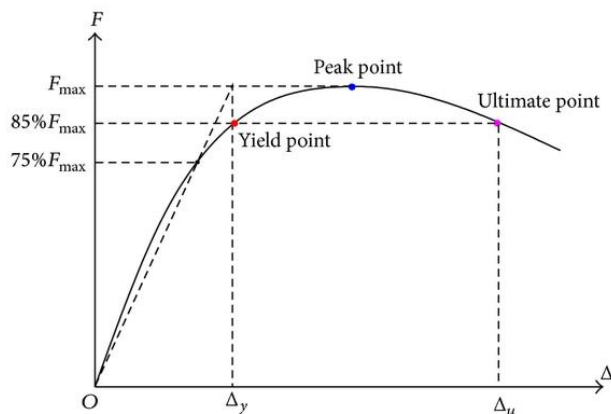
$$k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)



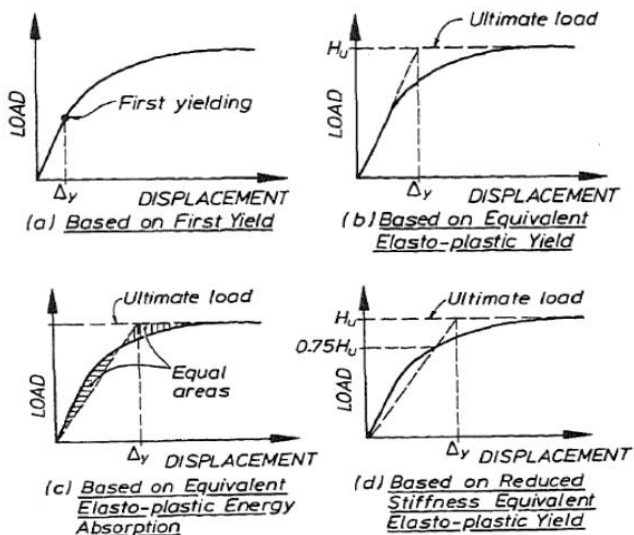
Gambar 2.9. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik tersebut, ada beberapa nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis sering didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk kembali ke bentuk awal setelah dibebani (Anonim, 2009). Sedangkan pada grafik hubungan gaya tekan dan deformasi seperti di atas, nilai kekakuan elastis didapat dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur tersebut mengalami fase elastis, fase plastis akan muncul bila beban terus ditambah. Di fase plastis inilah mulai terbentuk sendi plastis dan kemampuan elastis struktur mulai hilang yang berarti struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani. Fase plastis ditandai dengan mulai keluarnya retak awal. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi (Wiratman,

2002). Fase terakhir dari kekakuan adalah kekakuan runtuh yang terjadi setelah beban *ultimate* tercapai.

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2.10. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

2.8 Daktilitas

Keliatan (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bisa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa kerusakan. Keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan (Anonim,2010). Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

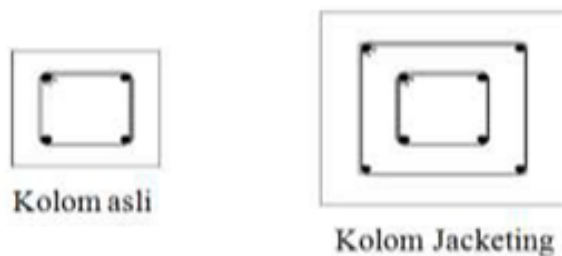
$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

- μ_{Δ} = Nilai daktilitas
- Δu = Deformasi *ultimate* (mm)
- Δy = Deformasi leleh (mm)

2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode *Concrete Jacketing*

Sistem *concrete jacketing* adalah suatu sistem perbaikan atau perkuatan beton dengan cara memperbesar penampang dengan memberikan tambahan selimut beton yang sudah ada sebelumnya. Keuntungan utama dari sistem ini adalah memberikan peningkatan dan pertambahan batas daripada kekuatan dan daktilitas beton. Keuntungan kedua, bahwasannya *jacket* dalam melindungi dari kerusakan fragment dan struktur yang diperbaiki memiliki kemampuan dalam menerima beban, karena jacket dapat mengurangi kegagalan geser langsung (*direct shear*), namun dapat juga menyediakan peningkatan kapasitas struktur itu sendiri.



Gambar 2.11. Tampak atas kolom dengan perkuatan *concrete jacketing*.

Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun sebagai berikut:

- a. Kelebihan:
 1. Mampu meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan struktur.
 2. Mampu menambah kekakuan struktur.
 3. Mampu meningkatkan stabilitas struktur.
 4. Biaya lebih ekonomis
- b. Kekurangan:
 1. Ukuran kolom retrofit akan menjadi lebih besar sehingga akan mengurangi ruang kosong yang ada.
 2. Dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata apabila jika pengecoran *concrete jacketing* ini tidak diperhatikan dengan baik.
 3. Kemampuan kapasitas perkuatan dari metode *concrete jacketing* lebih rendah dibandingkan perkuatan dengan metode *steel jacketing*.