

## **BAB IV**

### **TINJAUAN PONDASI TIANG PANCANG**

### **BETON PRATEGANG**

#### **4.1. Pengertian**

Beton Prategang adalah suatu sistem struktur beton khusus, dengan cara memberikan tegangan awal tertentu pada struktur sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai rencana. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategangan adalah untuk menimbulkan tegangan tekan terlebih dahulu, sehingga diharapkan sewaktu beban bekerja tegangan tarik total akan berkurang atau bahkan hilang. Melalui cara ini retak-retak yang terjadi pada kondisi beban kerja dapat dikurangi seminimum mungkin.

Tiang pancang beton prategang adalah suatu jenis pondasi tiang pancang yang menggunakan beton prategang sebagai strukturnya dan dipancang dengan menggunakan alat pemancang.

#### **4.2. Dasar Perencanaan**

Suatu komponen struktur beton prategang sangat jarang dimanfaatkan untuk menahan tekanan atau diprategangkan untuk keperluan tekan. Sebenarnya beton dapat memikul beban tekan dengan lebih baik tanpa diprategangkan dengan baja. Dan sukar membayangkan bahwa kawat baja dapat menambah kekuatan suatu komponen struktur yang mengalami tekanan aksial. Akan tetapi, banyak komponen

struktur tekan, di samping menahan beban tekan langsung juga menahan beban transversal. Lenturan akibat beban transversal ini mungkin akan lebih besar dari tegangan tekan aksial pada titik-titik tertentu, sehingga menimbulkan sedikit tarikan pada beton. Dengan demikian sebaiknya kita memperkuat tiang yang demikian terhadap kemungkinan tarikan. Dengan kata lain, beberapa komponen struktur tekan sebenarnya merupakan struktur komponen lentur.

Komponen struktur yang dibuat sebagai pracetak, mungkin akan menahan lenturan pada saat diangkat dan dipancang, atau memikul gaya lateral akibat gempa setelah pembangunan selesai. Oleh karena itu sebaiknya komponen tersebut diberi gaya prategang agar mampu menahan sejumlah lenturan dan mengurangi lendutan akibat gaya transversal.

#### **4.3. Tegangan-Tegangan Ijin**

Pertimbangan-pertimbangan utama dalam perencanaan tiang pancang beton prategang adalah tegangan-tegangan yang timbul selama penanganan dan pemancangan yang sifatnya sementara. Selain itu juga tegangan-tegangan yang disebabkan oleh beban permanen (beban mati dan beban hidup), beban berulang (beban hidup) dan beban tidak tetap seperti angin, gempa dan lain-lain.

Tegangan - tegangan yang diijinkan pada beton dan baja untuk kondisi-kondisi beban yang berlainan seperti yang ditetapkan oleh SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.11.4 dan 3.11.5 pada pemancangan tiang beton prategang disusun dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.1. Tegangan-tegangan yang diperkenankan pada beton dan baja

<b>Tegangan Beton</b>	
<p>1. Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya pratekan (sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut :</p> <p>(1) serat terluar mengalami tegangan tekan</p> <p>(2) serat terluar mengalami tegangan tarik kecuali seperti yang diijinkan dalam (3)</p> <p>(3) serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana mengalami tegangan tarik</p> <p>Bila tegangan tarik terhitung melampaui nilai tersebut di atas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non pratekan atau pratekan) dalam daerah tarik untuk memikul gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh.</p>	<p><math>0,60 f_{ci}</math></p> <p><math>0,25 \sqrt{f_{ci}}</math></p> <p><math>0,50 \sqrt{f_{ci}}</math></p>
<p>2. tegangan beton pada tingkat beban kerja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan pratekan yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut :</p> <p>(1) serat terluar mengalami tegangan tekan</p> <p>(2) tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan</p> <p>(3) tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan dari komponen.</p>	<p><math>0,45 f_c</math></p> <p><math>0,50 \sqrt{f_c}</math></p> <p><math>\sqrt{f_c}</math></p>
<p>3. tegangan ijin beton yang dicantumkan di atas boleh dilampaui bila dapat ditunjukkan dengan pengujian atau analisis bahwa kemampuan strukturnya tidak berkurang.</p>	

<b>Tegangan Baja</b>	
1. akibat gaya penjangkaran tendon tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon pratekan atau jangkar,	$0,94 f_{py}$
2. sesaat setelah pemindahan gaya pratekan tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$ ,	$0,82 f_{py}$
3. tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon.	$0,70 f_{pu}$

Tegangan lentur yang timbul di bawah kondisi-kondisi penanganan yang berlainan, seperti pengangkatan dari tempat percetakan, penyimpanan dan pengangkutan, harus diselidiki. Analisis tegangan umumnya didasarkan atas berat tiang pancang ditambah kelonggaran 50 % untuk tumbukan dengan tegangan tarik dibatasi sampai  $0,5\sqrt{f_c}$ .

Pada saat pemancangan, tiang pancang juga akan mengalami tegangan lentur. Tegangan lentur yang terjadi tersebut adalah berupa tegangan dinamik. Tegangan dinamik yang timbul selama pemancangan tiang merupakan fungsi kompleks dari tiang pancang dan sifat-sifat tanah yang dipengaruhi oleh tahanan pemancangan, berat pemukul dan tinggi pukulan, material pelindung dan parameter-parameter lainnya. Tegangan pancang merupakan tekanan dan tarikan berganti-ganti yang mencapai nilai kira-kira sebesar 7 - 28 N/mm<sup>2</sup> (tekan) dan 10

N/mm<sup>2</sup> (tarik) atau bahkan lebih tinggi pada kondisi-kondisi tertentu. Tegangan tarik mungkin timbul pada tiang pancang yang lebih panjang dari 12 m, pada kondisi pemancangan yang lunak ujungnya. Di dalam hal tiang pancang lebih pendek, tegangan pancang tarik jarang sekali timbul.

Untuk menahan tegangan pancang, maka oleh berbagai pihak yang berwenang di seluruh dunia ditetapkan nilai prategang efektif minimum. Untuk tiang pancang lebih pendek dari 12 m nilainya berkisar antara 2,8 sampai 4,9 N/mm<sup>2</sup> dan untuk tiang pancang dengan panjang antara 12 m - 52 m nilainya berkisar antara 4,9 sampai 8,4 N/mm<sup>2</sup> (N. Krishna Raju, 1989).

#### 4.4. Kapasitas Tiang Pancang Beton Prategang.

##### 4.4.1. Kapasitas Beban Aksial Tiang

Jika kekuatan silinder beton adalah  $f'_c$ , maka kekuatan batas beton pada tiang pancang secara aman dapat diambil sebesar  $0,85.f'_c$ . Pada beban batas, besar gaya prategang yang tinggal dalam tendon adalah sekitar 60 % dari gaya prategang efektif. Kekuatan batasnya dapat dihitung dengan rumus :

$$P_n = ( 0,85.f'_c - 0,6.f_{pe} ).A_g \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

Standar yang ditetapkan oleh "Prestressed Concrete Institute" menyatakan bahwa beban tekan maksimum (  $P'$  ) yang diijinkan pada tiang pancang beton prategang tidak boleh melebihi nilai kapasitas dukung aksial sebagai berikut :

$$P' = ( 0,33.f'_c - 0,27.f_{pe} ).A_g \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

di mana :  $h'/r < 50$

$h'$  = panjang efektif bebas tiang (mm)

$r$  = radius girasi penampang transformasi tiang

$f_{pe}$  = tegangan prategang efektif (MPa)

$A_g$  = luas penampang tiang ( $\text{mm}^2$ )

Sedangkan untuk tiang dengan  $h'/r > 50$ , prosedur desain didasarkan pada kekuatan batas tiang di bawah kombinasi beban aksial dan lentur (T.Y. Lin, 1982).

#### 4.4.2. Kapasitas Momen Tiang

Pada suatu penampang tiang pancang beton prategang yang dibebani oleh gaya prategang efektif ( $P_e$ ) dengan pusat gaya prategang berada tepat pada pusat penampang ( $\Sigma e = 0$ ), maka pada saat pengangkatan terjadi tegangan tarik pada serat terluar. Hubungan antara tegangan tarik ijin dan momen yang mengakibatkan retak, diperlihatkan dalam rumus teori elastis berikut ini :

$$f_{ctu}' = -\frac{P_e}{A_g} + \frac{M'.C}{I_t} \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

Jika  $f_{pe} = \frac{P_e}{A_g}$ , maka :

$$f_{ctu}' = -f_{pe} + \frac{M'.C}{I_t}$$

$$\text{Jadi : } M' = (f_{ctu}' + f_{pe}) \frac{I_t}{C} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

dimana :

$P_e$  = gaya prategang efektif total (MPa)

$A_g$  = luas beton ( $\text{mm}^2$ )

$M'$  = momen yang mengakibatkan retak (N.m)

$C$  = jarak antara sumbu netral penampang terhadap serat terluar ( $\text{mm}^2$ )

$I_t$  = momen inersia penampang transformasi ( $\text{mm}^4$ )

$f_{ctu}$  = tegangan tarik ijin (MPa)

$f_{pe}$  = gaya prategang efektif setelah kehilangan (MPa)

#### 4.4.3. Kapasitas Kombinasi Antara Beban Aksial dan Momen

Kombinasi antara beban aksial dan momen yang diijinkan pada penampang tiang pancang beton prategang dapat diperoleh dengan cara meninjau tegangan yang terjadi, baik akibat gaya prategang efektif, beban konsentris, maupun akibat momen eksternal.

Tegangan pada serat terluar penampang dapat dihitung dengan cara elastis biasa sebagai berikut :

$$f_c = - \frac{P_e}{A_g} - \frac{P}{A_t} \pm \frac{M.C}{I_t} \quad (4.5)$$

dimana :

$A_g$  = luas penampang tiang ( $\text{mm}^2$ )

$A_t$  = luas penampang transformasi tiang ( $\text{mm}^2$ )

$I_t$  = momen inersia penampang transformasi ( $\text{mm}^4$ )

$C$  = jarak antara sumbu netral penampang terhadap serat terluar (mm)

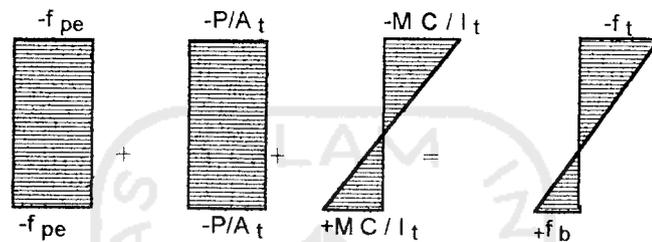
Jika  $f_{pe} = P_e / A_g$ , rumus di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$f_c = -f_{pe} - \frac{P}{A_t} \pm \frac{M.C}{I_t} \dots\dots\dots (4.6)$$

dimana :

$f_{pe}$  = tegangan beton prategang efektif per satuan luas penampang (Mpa)

Tegangan yang terjadi pada penampang tersebut dapat digambarkan dalam bentuk pola tegangan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1. Pola tegangan penampang tiang pancang beton prategang

Tegangan yang terjadi harus lebih kecil daripada tegangan tekan ijin ( $f_{ccu}$ ) maupun tegangan tarik ijin ( $f_{ctu}$ ) sesuai dengan tabel 4.1, sehingga momen batas (M) dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

1. Untuk serat tarik

$$f_c \leq f_{ctu}$$

$$-f_{pe} - \frac{P}{A_t} + \frac{M.C}{I_t} \leq f_{ctu} \dots\dots\dots (4.7)$$

maka :

$$M \leq (f_{ctu} + f_{pe} + \frac{P}{A_t}) \frac{I_t}{C} \dots\dots\dots (4.8)$$

2. Untuk serat tekan

$$f_c \leq f_{ccu}$$

$$\left| -f_{pe} - \frac{P}{A_t} - \frac{M.C}{I_t} \right| \leq | -f_{ccu} | \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

maka :

$$M \leq (f_{ccu} - f_{pe} - \frac{P}{A_t}) \frac{I_t}{C} \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

Momen yang digunakan dalam perencanaan adalah momen yang terkecil antara momen yang dibatasi oleh tegangan tarik ijin ( $M_1$ ) dan momen yang dibatasi oleh tegangan tekan ijin ( $M_2$ ).

#### 4.5. Penulangan Tiang Pancang Beton Prategang

Luas baja prategang ( $A_{ps}$ ) yang diperlukan, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_{ps} = \frac{P_e}{f_{pse}} \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

dimana :  $f_{pse}$  = tegangan baja prategang efektif (Mpa),

$P_e$  = gaya prategang efektif (N),

=  $f_{pe} \cdot A_g$

$f_{pe}$  = tegangan pada seluruh penampang akibat gaya prategang efektif / nilai prategang efektif (MPa)

$A_g$  = Luas penampang bruto ( $mm^2$ )

Kebutuhan baja prategang yang paling efisien bisa didapatkan dengan cara mengoptimalkan penegangan baja melalui pemanfaatan tegangan baja prategang

efektif ( $f_{pse}$ ) semaksimal mungkin, asal memenuhi persyaratan-persyaratan sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03, yaitu nilai terkecil antara  $0,82 f_{py}$  dan  $0,74 f_{pu}$ .

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam merencanakan jumlah tulangan prategang adalah batas minimum dari nilai prategang efektif ( $f_{pe}$ ). Dengan demikian gaya prategang yang memenuhi syarat adalah,

$$P_{e \text{ min}} = f_{pe \text{ min}} \cdot A_g \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

sehingga luas baja prategang yang diperlukan adalah,

$$A_{ps \text{ perlu}} = \frac{P_{e \text{ min}}}{f_{pse}} = \frac{f_{pe \text{ min}} \cdot A_g}{f_{pse}} \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

Selain ketentuan di atas, berdasarkan teori dan pengalamannya, Gerwick telah menganjurkan suatu luas baja prategang minimum yang tidak kurang dari 0,5 % penampang bruto ( N. Khrisna Raju ). Jadi,

$$A_{ps \text{ min}} = 0,005 \cdot A_g \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

Tulangan pengikat yang digunakan pada tiang pancang beton prategang umumnya berupa ikatan spiral. Ikatan spiral dipasang sepanjang seluruh tiang pancang dengan jarak yang semakin dekat ke arah kepala dan ujung tiang pancang untuk melawan gaya pemecah yang timbul selama pemancangan.