

## BAB III

### ANALISIS DAN DISAIN FLATE PLATE BETON PRATEGANG

Pada Bab III ini akan membahas landasan teori analisis serta disain *flate plate* beton prategang. Bab ini akan dibagi dalam sembilan subbab yaitu pengertian analisis disain, disain pendahuluan, analisis struktur *flate plate*, analisis lentur, transfer momen dari pelat ke kolom, analisis geser, analisis *end block*, flow chart disain *flate plate* beton prategang.

#### 3.1. Pengertian

Analisis *flat plate* beton prategang adalah proses penentuan parameter – parameter yang berkaitan dengan perencanaan struktur *flat plate* beton prategang. Parameter yang dimaksudkan disini meliputi dimensi, luas penulangan , tegangan tendon dan beton dan sebagainya.

Sedangkan disain *flat plate* beton prategang adalah proses penentuan dimensi penampang dan kemampuan struktur *flat plate* beton prategang untuk dapat menahan perilaku – perilaku struktur pelat yang terjadi, seperti gaya lentur, gaya geser dan lendutan.

#### 3.2. Disain Pendahuluan

Disain pendahuluan ini merupakan penentuan parameter-parameter awal sebelum dimulai pendisainan yang akan dijelaskan dalam tiga subbab, yaitu

penampang *flate plate* beton prategang, penempatan profil tendon, penentuan tegangan rata-rata.

### 3.2.1. Penampang *Flate Plate* Beton Prategang

Penampang *flat plate* beton prategang direncanakan dengan memperhitungkan tahanan minimum yang diperlukan pada kekuatan batas tertentu. Untuk masing – masing nilai tahanan rencana, diperhitungkan harus lebih besar atau sama dengan jumlah beban rencana yang diperoleh dengan mengalikan beban-beban eksternal terhadap faktor-faktor beban yang telah ditetapkan.

Untuk mendisain ketebalan *flat plate* beton prategang beberapa ahli telah memberikan batasan untuk mempermudah dalam disain. Menurut Nilson tebal pelat beton prategang diambil antara 1/45 sampai 1/50 dari panjang bentangan, sedangkan Naaman (1982) memberikan nilai tebal pelat untuk muatan hidup sebesar 2,4 kN/m<sup>2</sup> biasanya diambil antara 1/40 sampai dengan 1/55 dari panjang bentangan. Untuk tebal pelat yang lebih kecil dari 1/55 dipakai pelat dengan balok atau pelat dengan penebalan sekeliling kolom (*drop panel*). Dalam perencanaan ini diambil pendekatan tebal pelat :

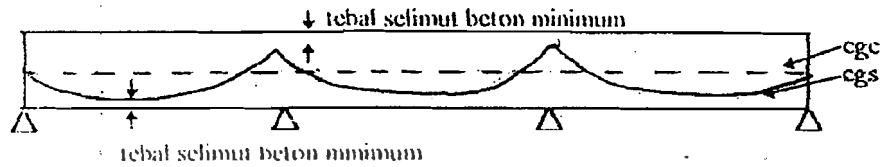
$$h = L / 45 \dots\dots\dots(3.1.)$$

Tebal selimut beton (pb) yang dianjurkan berkisar antara 19mm sampai dengan 32mm untuk pelat yang ditumpu tidak bebas, sedang untuk pelat yang ditumpu bebas berkisar antara 19mm sampai 50mm.

### 3.2.2. Penempatan Profil Tendon

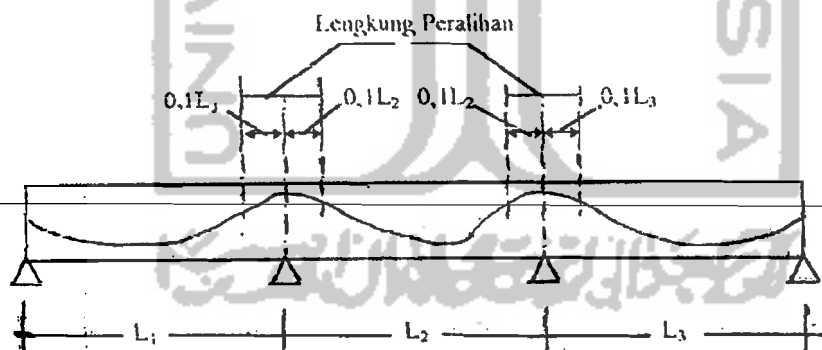
Untuk mendapatkan disain yang lebih ekonomis gaya prategang harus diperhitungkan seefektif mungkin. Jadi pada perletakan dalam letak kabel harus

seatas mungkin dan bagian lapangan harus sebawah mungkin. Diusahakan letak garis c.g.s bertemu garis c.g.c. pada tumpuan ujung, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1** Tata letak tendon ideal

Pada Gambar 3.1 merupakan tata letak tendon ideal dalam perhitungan. Pada kenyataannya tata letak tendon seperti ini tidak dapat digunakan karena adanya belokan tajam pada tumpuan dalam. Tata letak tendon yang sebenarnya akan membentuk kurva lengkung terbalik yang disebut lengkung peralihan. Panjang lengkung ini adalah 0,1 dari panjang tiap bentangan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Tata Letak Tendon Sebenarnya (Lin, 1993)

Dalam konsep *load balancing* lengkung peralihan pada gambar diatas dapat diabaikan dalam disain, sehingga tata letak tendon ideal menjadi titik penentu dalam perencanaan (Lin, 1993).

### 3.2.3. Tegangan Rata-rata Beton

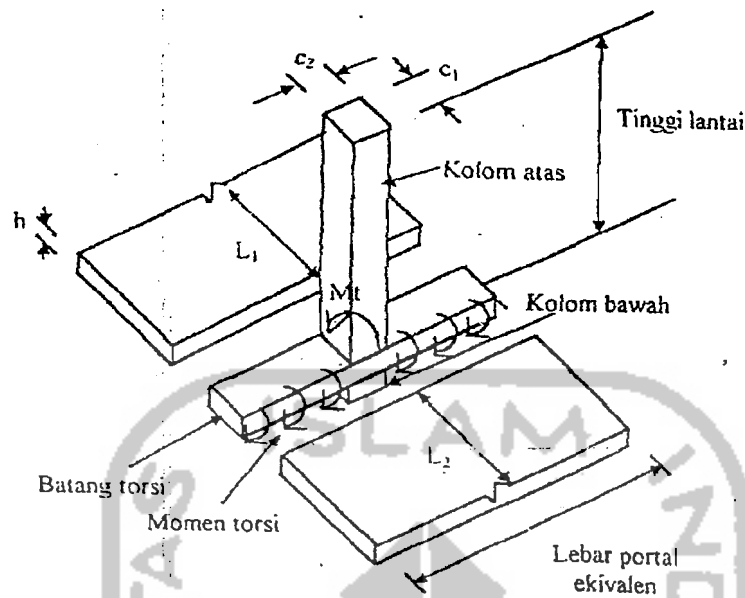
Tegangan rata – rata beton adalah gaya prategang akhir (setelah kehilangan prategangan) dibagi dengan luas penampang total dari beton. Menurut ACI untuk pelat beton prategang dengan *unbonded tendon*, tegangan rata – rata minimum adalah 0,86 dan maksimum 3,5 MPa. Nilai minimum ini dimaksudkan untuk membatasi adanya tarikan dan keretakan yang berlebihan, sedangkan harga maksimum dimaksudkan untuk membatasi adanya perpendekan elastis dan *creep* yang berlebihan (Naaman, 1982).

### 3.3. Analisa Struktur *Flat Plate*

Pada subbab ini akan membahas mengenai gaya-gaya yang bekerja pada struktur *flat plate* sehingga didapatkan nilai momen-momen. Subbab ini akan dibagi dalam dua pokok bahasan yaitu pendekatan portal ekuivalen dan momen disain.

#### 3.3.1. Pendekatan Portal Ekuivalen

Pendekatan portal ekuivalen digunakan untuk menganalisis distribusi total momen pelat dua arah. Pada pendekatan ini, struktur dibagi menjadi portal (*frame*) menerus yang berpusat pada kolom dalam masing – masing arah yang saling tegak lurus. Masing – masing portal ini terdiri atas sederetan kolom dan slab lebar dengan balok (*column strips*), diantara garis pusat panel. Berdasarkan statika, beban yang bekerja harus diperhitungkan untuk dua arah yang saling tegak lurus (Nawy,1995). Untuk mengetahui lebih lanjut dapat kita lihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Batang – batang Rangka Ekivalen (Nawy, 1995)

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa daya dukung terhadap rotasi tidak hanya dipengaruhi oleh kekakuan lentur dari kolom-kolom, tetapi juga oleh kekakuan puntir dari gelagar jalur pelat. Dengan adanya tahanan puntiran  $M_t$  pada kolom, maka penampang pada kolom tersebut akan berotasi dengan sudut yang lebih kecil dari penampang-penampang lainnya yang bekeja. Untuk memperhitungkan deformasi torsional balok tumpuan, yang kolom ekivalen yang fleksibilitasnya merupakan jumlah dari fleksibilitas kolom aktual dan fleksibilitas balok transversal atau jalur slab. Asumsi ini dirumuskan dengan persamaan:

$$\frac{1}{K_{cc}} = \frac{1}{K_{cc}} + \frac{1}{K_s} \dots\dots\dots(3.2)$$

Atau dapat dirumuskan :

$$K_{cc} = \frac{\sum K_{cc}}{1 + (\sum K_c / K_t)} \dots\dots\dots(3.3.)$$

Kekakuan kolom untuk portal ekuivalen :

$$K_c = \frac{4EI}{L_n - 2h} \dots\dots\dots(3.4.)$$

Kekakuan torsional balok transversal pada jalur kolom :

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} \cdot C}{L_2 \cdot (1 - c_2 / L_2)} \dots\dots\dots(3.5.)$$

dengan besar konstanta torsional  $C = \sum (1 - 0,63x/y)x^3 y/3$

Kekakuan slab dirumuskan :

$$K_s = \frac{4E_{cs} I_s}{L_n - c_1 / 2} \dots\dots\dots(3.6.)$$

Faktor distribusi untuk momen jepit ujung (FEM) adalah :

$$DF = \frac{K_s}{\sum K} \dots\dots\dots(3.7.)$$

dengan  $\sum K = K_{cc} + K_{s(kiri)} + K_{s(kanan)}$

Besar momen jepit ujung dihitung dengan  $wl^2/12$  dan selanjutnya besarnya momen disain dapat dicari dengan bantuan program *Sap 90*.

### 3.3.2. Momen Disain

Momen disain dengan pendekatan teori statis didapatkan dengan kombinasi distribusi momen rangka  $M_u$  yang dihasilkan dari penjumlahan beban mati dan beban hidup berfaktor dengan momen sekunder  $M_s$  yang dihasilkan dari tendon.

Metode *load balancing* memperhitungkan kedua momen primer  $M_p$  dan momen sekunder  $M_s$ . Oleh karena itu untuk nilai beban layan (*service load*), hanya beban *unbalance*  $W_{unb}$  digunakan untuk analisa kekuatan lentur (Nawy, 1995).

Jika  $M_p = P_e \cdot e$  adalah momen primer, dan  $M_{bal}$  adalah momen yang dihasilkan oleh  $W_{bal}$  maka momen sekunder dapat dicari dengan persamaan :

$$M_s = M_{bal} - M_p \dots \dots \dots (3.8.)$$

Jika  $\overline{M_n}$  adalah FEM yang dihasilkan dari beban terfaktor  $W_n$ , maka momen disain dirumuskan dengan persamaan :

$$M_p = \overline{M_n} - M_s \dots \dots \dots (3.9.)$$

Momen disain tersebut dalam perencanaan harus dikalikan dengan faktor reduksi yang disyaratkan SK SNI T15 1991.

### 3.4 Analisis Lentur

Pada subbab analisis lentur ini akan membahas tentang pengaruh lentur terhadap struktur, yang dibagi dalam dua pokok bahasan yaitu tegangan lentur ijin dan analisis lentur pada keadaan batas.

#### 3.4.1. Tegangan Lentur Ijin

Pada saat transfer beban yang terjadi hanyalah beban mati sedang pada saat layan beban yang terjadi merupakan beban mati dan beban hidup. Penjumlahan tegangan-tegangan yang terjadi pada kedua keadaan tersebut harus lebih kecil atau sama dengan tegangan-tegangan total yang diijinkan.

SK SNI T15 1991 pasal 3.11.4, mensyaratkan tegangan ijin yang terjadi pada serat terluar baik pada saat transfer maupun saat layan adalah berikut ini.

1. Tegangan beton segera setelah transfer gaya prategang (sebelum kehilangan prategang), tidak boleh melampaui nilai berikut :
  - a. serat terluar yang mengalami tekan adalah  $0,6f'_{ci}$ ,
  - b. serat terluar yang mengalami tarik adalah  $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ ,
  - c. serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung secara sederhana mengalami tarik adalah  $0,5\sqrt{f'_{ci}}$ .

Bila tegangan tarik melampaui nilai tersebut diatas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non prategang atau pratekan), yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh.

2. Tegangan beton pada saat *service load* (setelah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang), tidak boleh melampaui nilai berikut :
  - a. serat terluar yang mengalami tegangan tekan adalah  $0,45f'_{ci}$ ,
  - b. serat terluar dalam daerah tarik adalah  $0,5\sqrt{f'_{ci}}$ .

Persamaan tegangan beton adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{P}{A_c} \pm \frac{M}{S} \dots\dots\dots(3.10.)$$

Tulangan tambahan untuk struktur *flat plate* yang didefinisikan sebagai pelat masif dengan tebal merata, luas minimum dan distribusi tulangannya harus memenuhi tiga ketentuan berikut.

1. Tulangan lekatan tidak diperlukan pada daerah momen positif apabila tegangan tarik beton yang didapatkan pada beban kerja (setelah dikurangi kehilangan prategang) tidak melampaui  $f'_{ci} / 6$ .



2. Apabila tegangan tarik beton pada daerah positif yang didapat dari perhitungan beban kerja melampaui  $f'c / 6$ , luas minimum tulangan lekatan harus dihitung sebesar :

$$A_s = \frac{N_c}{0,5f_y} \dots\dots\dots(3.11.)$$

tulangan lekatan harus didistribusikan pada daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan sedekat mungkin pada serat terluar penampang dan tegangan leleh rencana  $f_y$  tidak melampaui 400 Mpa.

3. Dalam daerah momen negatif pada kolom penumpu, luas tulangan lekatan minimum dalam setiap arah harus dihitung dengan :

$$A_s = 0,00075 h l \dots\dots\dots(3.12.)$$

tulangan lekatan didistribusikan dalam suatu lebar pelat antara dua garis yang berjarak  $1,5h$  diluar muka kolom yang berhadapan. Paling sedikit dalam setiap arah harus dipasang empat batang tulangan dan jarak spasi tulangan tidak boleh lebih dari 300mm.

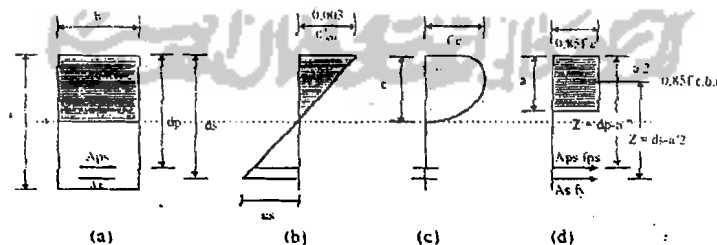
#### 3.4.2 Analisis Lentur Pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit)

Beton prategang yang dipakai dalam perencanaan *flat plate* menggunakan konstruksi beton yang penampangnya mempunyai dua macam tulangan, yaitu tulangan aktif (kabel prategang) dan tulangan pasif (tulangan non prategang) atau disebut beton prategang parsial. Pada beton prategang parsial tegangan tarik diperbolehkan, tetapi kemungkinan retak sangat kecil dengan kata lain tegangan tarik yang timbul harus lebih kecil dari kekuatan ijin tarik beton (Hadipratomo, 1994).

Untuk menentukan momen ketahanan nominal suatu penampang beton prategang hal yang perlu diketahui yaitu dimensi penampang, sifat bahan dan jumlah penulangan. Dalam menentukan momen ketahanan nominal diperlukan suatu anggapan – anggapan sebagai berikut :

1. penampang yang rata tetap rata setelah pembebanan, akibatnya diasumsikan bahwa ada distribusi regangan linier sepanjang penampang beton sampai beban batas.
2. terdapatnya rekatan yang sempurna antara baja dan beton, hasil langsung dari asumsi ini bahwa perubahan regangan baja sama dengan perubahan regangan beton pada beban sama,
3. batas regangan tekan beton  $\epsilon_{cu} = 0,003$  ,
4. kekuatan tarik beton diabaikan  $f_{ct} = 0$  .
5. blok tegangan tekan didekati dengan blok tekan persegi dengan tegangan merata  $0,85f_c$  dengan lebar balok  $b$  dan tinggi  $a = \beta_1 c$  .

Analisa tegangan dan regangan serta kopel tegangan dalam pada kondisi batas diperlihatkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4. Blok Tegangan dan Regangan Batas yang Diasumsikan**

(Dipohusoso, 1994)

Pada Gambar 3.4a diperlihatkan suatu penampang beton prategang persegi dengan baja prategang  $A_{ps}$  ditempatkan dalam jarak  $d_p$  dan tulangan non prategang  $A_s$  dalam jarak  $d_s$  dari sisi tekan atas. Pada saat kondisi ultimit, regangan tarik baja (tendon) sama dengan saat beton tekan mencapai regangan batas (0,003) seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.4b.

Distribusi tegangan tekan beton pada penampang tersebut berupa garis lengkung dengan nilai nol pada garis netral, dari Gambar 3.4c tampak bahwa  $f_c$  yang merupakan tegangan maksimum posisinya tidak pada serat tepi luar tetapi agak masuk kedalam. Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney memberi usulan merubah menjadi bentuk persegi panjang dengan intensitas tegangan beton ditentukan sebesar  $0,85f_c$  dan dianggap bekerja pada daerah tekan selebar  $b$  dan sedalam  $a$ , seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4d.

Gaya tarik dan gaya tekan dalam yang timbul pada penampang beton, arah garis kerjanya sejajar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan sejauh  $z$ . Sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam maksimum yang disebut momen kapasitas nominal penampang terlentur. Untuk menentukan jarak  $z$  pada Gambar 3.4d, harus dicari dulu nilai  $a$  yang didapat dari keseseimbangan gaya – gaya dari blok tegangan pada Gambar 3.4 yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$0,85f_c b a = A_{ps}f_{ps} + A_s f_y \dots\dots\dots(3.13.)$$

Dari persamaan diatas maka nilai  $a$  dapat dihitung,

$$a = \frac{A_s f_y - A_{ps} f_{ps}}{0,85 f_c b} \dots\dots\dots(3.14.)$$

Momen kapasitas nominal penampang kolom tersebut didapatkan dengan persamaan berikut :

$$M_n = A_s \cdot f_y (d_s - a/2) + A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - a/2) \dots \dots \dots (3.15.)$$

Dalam penentuan harga  $f_{ps}$  dapat dicari berdasarkan ketentuan berikut.

1. Untuk struktur yang menggunakan *unbounded tendon* dan perbandingan antara panjang bentang terhadap tinggi komponen struktur tidak lebih dari 35,

$$f_{ps} = f_{sc} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho_p} \dots \dots \dots (3.16.)$$

dengan batasan :  $f_{ps} < f_{py}$

$$f_{ps} < f_{sc} - 400$$

2. Untuk struktur yang menggunakan *unbounded tendon* dan perbandingan antara panjang bentang terhadap tinggi komponen struktur lebih dari 35,

$$f_{ps} = f_{sc} + 70 + \frac{f'_c}{200\rho_p} \dots \dots \dots (3.17.)$$

dengan batasan :  $f_{ps} < f_{py}$

$$f_{ps} < f_{sc} - 200$$

Momen kapasitas nominal beton setelah dikalikan dengan faktor reduksi harganya harus lebih besar dibandingkan dengan kekuatan momen yang diakibatkan oleh beban ( $M_u$ ), seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\phi M_n \geq M_u \dots \dots \dots (3.18.)$$

### 3.5. Transfer Momen Pelat ke Kolom

Apabila ada momen-momen utama yang disalurkan dari pelat ke kolom yang terjadi karena tidak seimbang beban-beban gravitasi di kedua sisi kolom, atau adanya pembebanan horisontal akibat angin atau gempa, tegangan geser pada penampang kritis tidak lagi terdistribusi secara seragam. Sebagian dari momen tidak seimbang harus dianggap disalurkan sebagai lentur yang bekerja pada lebar pelat efektif diantara garis-garis yang jauhnya 1,5 kali tebal pelat dari kolom tumpuannya. (Nilson 1993).

Koefesien transfer momen tak seimbang sebagai lentur diberikan oleh SK SNI T15 1991 pasal 3.6.3.3 sebesar :

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)(c_2 + d)}} \dots \dots \dots (3.19.)$$

Momen kapasitas pada lebar efektif tersebut harus lebih besar dari momen tidak seimbang dikalikan dengan koefesien transfer.

$$\phi M_n \geq \gamma_f M_1 \dots \dots \dots (3.20.)$$

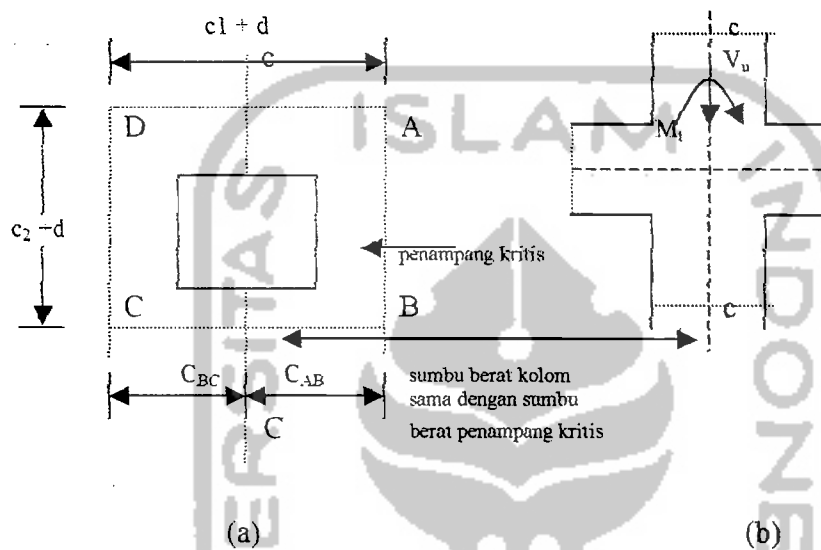
Sisa dari momen yang ditransfer oleh lentur tersebut dianggap sebagai geser eksentris terhadap pusat dari penampang kritis yang jaraknya  $d/2$  dari perimeter kolom. Koefesien tranfer geser dirumuskan pada persamaan 3.21.

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f \dots \dots \dots (3.21.)$$

Faktor geser dan faktor momen tidak seimbang yang ditransfer sebagai geser apabila disuperposisikan akan menghasilkan tegangan geser maksimum yang digunakan untuk perencanaan geser. Selanjutnya masing-masing distribusi tegangan geser di sekitar kolom dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

### 1. Kolom Interior

Gaya geser rencana  $V_u$  dan momen rencana tak seimbang  $M_u$  pada Gambar 3.5b dianggap bekerja pada muka kolom dan harus ditransfer ke sumbu berat penampang kritis, yaitu sumbu c-c.



**Gambar 3.5** Penampang kritis geser pada kolom interior

Dari Gambar 3.5a dapat dicari luas penampang kritis  $A_c$ , jarak dari pusat berat ke sebelah kiri dan kanan penampang kritis penampang terluar  $c$  dan momen inersia polar pada kolom interior dapat dicari.

$$A_c = 2(c_1 + c_2 + 2d) d \dots\dots\dots (3.22.)$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d)d^3}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2} \dots\dots\dots (3.23.)$$

$$C_{AB} = C_{CD} = 0,5(c_1 + d) \dots\dots\dots (3.24.)$$

Momen tak seimbang dan reaksi vertikal yang diteruskan ke kolom menyebabkan tegangan geser yang besarnya dianggap berubah secara linier

dengan bertambahnya jarak dari pusat ke penampang kritis. Besar tegangan geser yang disuperposisikan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_l C_{AB}}{J_c} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v M_l C_{CD}}{J_c} \dots\dots\dots(3.26)$$

## 2. Kolom eksterior

Dengan cara yang sama besar tegangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_l - V_u g) C_{AB}}{J_c} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_l - V_u) C_{CD}}{J_c} \dots\dots\dots(3.28.)$$

dengan nilai,

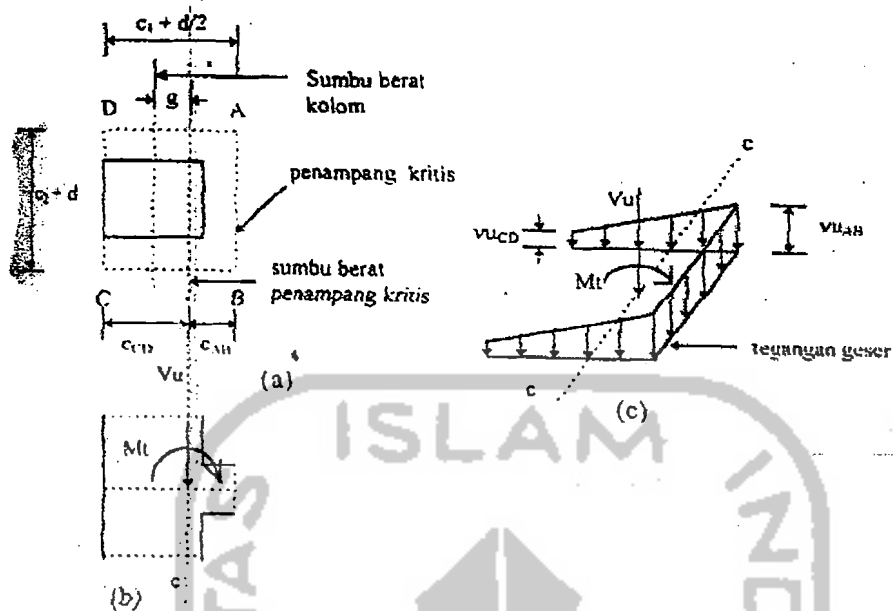
$$A_c = 2(c_1 + c_2 + 2d) d \dots\dots\dots(3.29.)$$

$$C_{AB} = \frac{(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} \dots\dots\dots(3.30.)$$

$$C_{CD} = (c_1 + d/2) - C_{AB} \dots\dots\dots(3.31.)$$

$$J_c = \frac{(c_1 + d/2)d^3}{6} + \frac{2d}{3} (C_{AB}^3 + C_{CD}^3) + (c_2 + d)d(C_{AB}^2) \dots\dots\dots(3.32.)$$

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai transfer momn dari pelat ke kolom pada kolom interior dapat kita lihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Distribusi tegangan geser pada kolom eksterior (Nilson, 1993)

3. Kolom sudut

Besarnya tegangan geser yang disuperposisikan dihitung dengan persamaan :

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{AB}}{J_c} \dots \dots \dots (3.33.)$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_t - V_u) C_{CD}}{J_c} \dots \dots \dots (3.34.)$$

dengan nilai,

$$A_c = (c_1 + c_2 + d)d \dots \dots \dots (3.35.)$$

$$C_{AB} = \frac{2(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} \dots \dots \dots (3.36.)$$

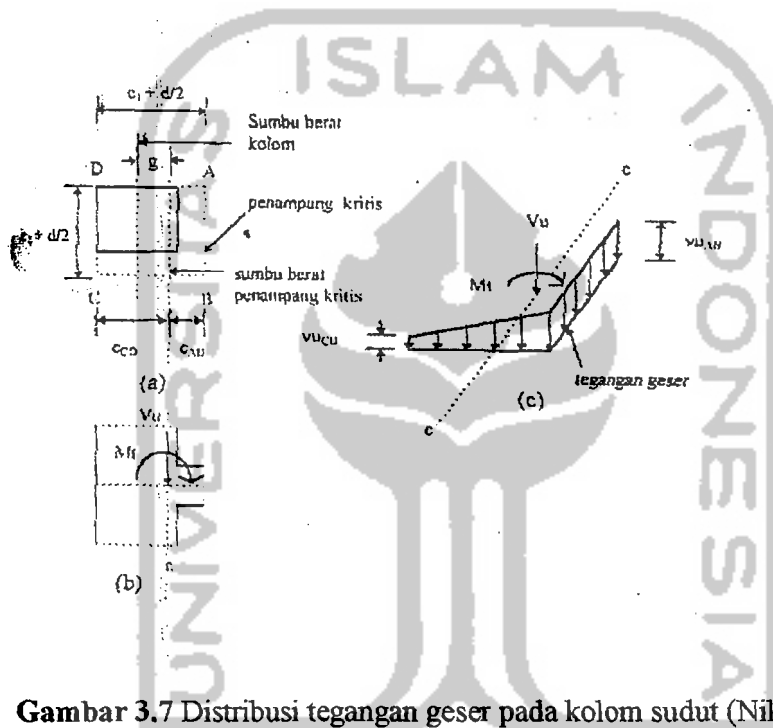
$$C_{CD} = (c_1 - d/2) - C_{AB} \dots \dots \dots (3.37.)$$

$$g = C_{CD} - c_1/2 \dots \dots \dots (3.38.)$$



$$J_c = \frac{d(c_1 + d/2)^3}{12} + \frac{d^3(c_1 + d/2)}{12} + d(c_1 + d/2) \left[ \frac{(c_1 + d/2)}{2} - C_{AB} \right]^2 + d(c_2 - d/2) C_{AB}^2 \dots \dots \dots (3.39.)$$

Untuk lebih jelas mengenai transfer momen untuk kolom sudut ini dapat kita lihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Distribusi tegangan geser pada kolom sudut (Nilson, 1993)

### 3.6. Analisis Geser

Pada subbab analisa geser ini berbicara tentang pengaruh geser terhadap struktur *flat plate* beton prategang, disini akan dibagi dalam dua pokok bahasan yaitu kapasitas geser beton dan disain penulangan geser.

#### 3.6.1. Kapasitas Geser Beton

Analisa geser pada *flat plate* dilakukan dengan menganggap bahwa gaya

geser  $V_u$  ditahan oleh tahanan geser yang terdistribusi secara seragam disekeliling penampang kritis  $b_o$  pada suatu jarak sebesar  $d/2$  dari sisi kolom pendukungnya yang sering disebut sebagai daerah punching shear (geser pons).

SK SNI T15 1991 pasal 3.4.12.4 memberikan batasan kapasitas geser yang dapat ditahan oleh kolom beton prategang pada pelat dua arah adalah sebagai berikut:

$$V_c = 0,3\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d} \dots\dots\dots(3.40)$$

Persamaan 3.40 dapat digunakan apabila memenuhi syarat – syarat di bawah ini :

1. tidak ada bagian dari penampang kolom yang jaraknya lebih dekat dari empat kali tebal pelat ke suatu tepi yang tidak menerus,
2.  $f'_c$  tidak boleh diambil lebih besar dari 35 Mpa,
3.  $f_{pc}$  pada setiap arah tidak boleh kurang dari 0,9 Mpa dan tidak boleh lebih dari 3,5 Mpa.

Bila tegangan geser ijin tidak memenuhi persamaan 3.40 maka tegangan geser ijin dihitung dengan persamaan 3.41.

$$V_c = (1 - 2\beta_c)\sqrt{f'_c}/6 \leq \sqrt{f'_c}/3 \dots\dots\dots(3.23.)$$

### 3.6.2. Disain Penulangan geser

Tulangan geser digunakan apabila gaya geser yang terjadi melebihi kapasitas geser beton. Tulangan geser tersebut harus dapat memikul kelebihan gaya geser yang tidak ditahan oleh beton. Kapasitas geser penampang beton apabila dipakai tulangan geser tidak boleh melampaui  $(\sqrt{f'_c}/6) b_o d$ .

SK SNI T15 1991 pasal 3.4.11.4 juga mensyaratkan profil baja untuk shearhead yang digunakan tidak boleh lebih besar dari 70 kali tebal badan profil baja dan semua flens tekan dari profil baja yang digunakan harus ditempatkan dalam jarak  $0,3d$  dari bagian permukaan pelat yang tertekan. Besar gaya geser pada seluruh panjang dari lengan shearhead adalah konstan dan bagian dari gaya geser total yang ditahan oleh lengan *shearhead* berbanding lurus dengan  $\alpha_v$ , yang merupakan perbandingan antara kekakuan lentur relatif dengan penampang beton yang ada disekitarnya.

Besar nilai  $\alpha_v$  dihitung dengan persamaan berikut :

$$\alpha_v = \frac{E_s I_s}{E_c I_c} \dots \dots \dots (3.44)$$

Penampang beton yang dipakai mempunyai lebar efektif  $c_2+d_2$  dengan  $c_2$  merupakan lebar kolom yang diukur tegak lurus terhadap arah lengan. *Shearhead* yang fleksibel ternyata tidak efektif sehingga SK SNI T15 1991 mensyaratkan harga kekakuan relatif lengan *shearhead* paling sedikit 0,15.

*Shearhead* dipasang pada kepala kolom dan dicor pada pelat beton, sehingga antara shearhead dan pelat memebentuk penampang komposit yang akan bekerja sama di dalam menahan geser. *Shearhead* mempunyai pengaruh yang dapat memindahkan letak penampang kritis hingga berada diluar kolom, sehingga akan diperoleh keuntungan ganda yang juga merupakan tujuan dari perencanaan geser pelat yaitu bertambahnya besar keliling efektif  $b_o$  dan berkurangnya gaya geser total.

Penampang kritis geser *flat plate* tegak lurus terhadap bidang pelat dan memotong setiap lengan *shearhead* sejauh  $(3/4)[l_v - (c_1/2)]$  diukur dari muka kolom ke ujung lengan *shearhead*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.8.

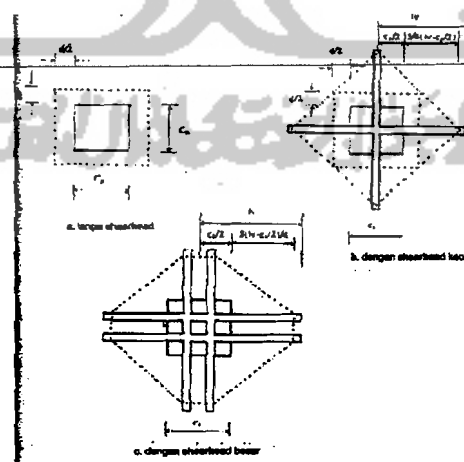
Besar keliling penampang kritis dapat dicari dengan menyamakan  $V_u$  dengan kuat geser maksimal pada penampang kritis. Sebagai contoh pada penampang kritis pada gambar 3.8b dengan menggabungkan kedua persamaan itu maka besar keliling penampang kritis dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$V_u = \phi(\sqrt{f'_c}/3)b_o d \dots\dots\dots(3.45.)$$

$$b_o = \frac{3V_u}{d\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots(3.46.)$$

Panjang profil baja yang dibutuhkan untuk menahan gaya geser ( $l_v$ ) dapat dihitung dari tinjauan gambar 3.8b. Dengan menggunakan torema segitiga siku-siku maka  $l_v$  dapat dicari dengan persamaan :

$$\{3/4(l_v - c_1/2) + c_1/2\}\sqrt{2} = b_o/4 \dots\dots\dots(3.47.)$$



**Gambar 3.8** Penampang kritis geser flat plate dengan shearhead (Nilson, 1993)

Kuat momen plastis perlu untuk setiap lengan profil penahan geser dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_p = \frac{V_u}{\phi 2\eta} [h_v + \alpha_v (L_v - c_1 / 2)] \dots \dots \dots (3.48)$$

*Shearhead* tersebut dapat mengurangi momen jalur kolom karena lebar perletakan efektif bertambah besar. Besar pengurangan momen berbanding lurus dengan ukuran dan bagian beban yang ditahan oleh *shearhead*. Besar momen secara konservatif dapat diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_v = \frac{\phi \alpha_v V_u (l_v - c_1 / 2)}{2\eta} \dots \dots \dots (3.31)$$

SK SNI T15 1991 memberikan batasan untuk pengurangan momen tersebut tidak boleh lebih besar dengan nilai terkecil dari :

1. 30% dari momen terfaktor total yang perlu untuk setiap jalur kolom pelat,
2. perubahan dalam momen jalur kolom sepanjang  $l_v$ ,
3. kuat momen plastis perlu ( $M_p$ ).

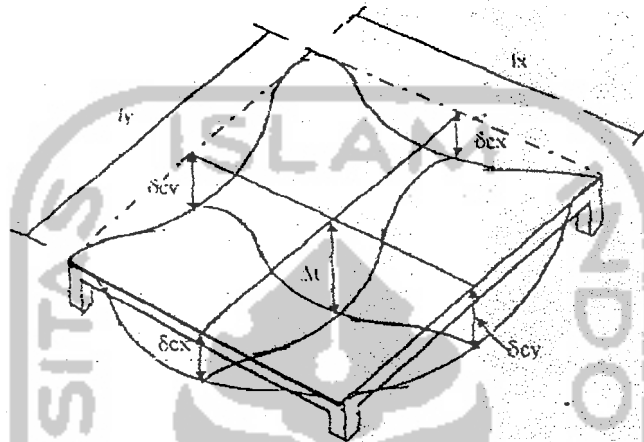
Kuat geser disain terfaktor tidak boleh melampaui kuat geser nominal yang disediakan oleh penampang beton dan tulangan geser.

$$V_u \leq \phi V_n \dots \dots \dots (3.32)$$

SK SNI T15 1991 pasal 3.4.11 memberikan batasan untuk tulangan geser biasa, kuat geser nominal tidak boleh diambil lebih besar dari  $(0,5\sqrt{f_c})b_o d$ , sedangkan untuk profil kepala geser (*shearhead*) adalah  $(0,6\sqrt{f_c})b_o d$ .

### 3.7. Analisis Lendutan

Lendutan pada *flat plate* terjadi pada dua arah, dan lendutan maksimum terletak pada tengah bentang dari jalur kolom dalam satu arah ditambah lendutan tengah bentang dari jalur tengah dalam arah lainnya.



Gambar 3.9 Analisa lendutan pada *flat plate* (Nawy, 1996)

Menurut Nawy (1996) lendutan dalam arah x dan y pada bentang *flat plate* dapat diperhitungkan dengan menjumlahkan komponen lendutan berikut :

1. Perletakan diasumsikan terjepit sepenuhnya, sehingga lendutan

dirumuskan :

$$\delta' = \frac{Wl^4}{384E_c I_{frame}} \dots \dots \dots (3.51.)$$

Untuk jalur kolom :

$$\delta_c = \delta' \frac{M_{colstrip}}{M_{frame}} \frac{E_c I_{cs}}{E_c I_c} \dots \dots \dots (3.52.)$$

Untuk jalur tengah :

$$\delta_s = \delta \frac{M_{slabstribe} E_c I_{cs}}{M_{frame} E_c I_s} \dots \dots \dots (3.53.)$$

2. Lendutan ditengah bentang,  $\delta''\theta L = \theta L/8$ , dengan memperhitungkan rotasi ujung kiri sedang ujung kanannya terjepit sempurna,  $\theta L$  (bagian kiri) sama dengan  $M_{net}/K_{ec}$  kekakuan dari kolom yang ekivalen,

3. Lendutan ditengah bentang,  $\delta''\theta R = \theta R/8$ , akibat rotasi ujung kana sedangkan ujung kirinya terjepit sempurna, dengan  $\theta R$  sama dengan  $M_{net}/K_{ec}$  sehingga :

$$\delta_{cx} \text{ atau } \delta_{cy} = \delta_c + \delta''\theta L + \delta''\theta R \dots \dots \dots (3.54.)$$

$$\delta_{sx} \text{ atau } \delta_{sy} = \delta_s + \delta''\theta L + \delta''\theta R \dots \dots \dots (3.55.)$$

Dari persamaan 3.54 dan 3.55 diperoleh total lendutan :

$$\Delta_t = \delta_{sx} - \delta_{cy} = \delta_{sy} + \delta_{cx} \dots \dots \dots (3.56)$$

4. Untuk lendutan pada dua arah, dijumlahkan lendutan yang terjadi pada kedua arah x dan y,

$$\Delta_t = \frac{(\Delta_x + \Delta_y)}{2} \dots \dots \dots (3.57)$$

5. Lendutan total untuk jangka panjang harus memperhitungkan beban yang akan bekerja tetap  $W_{sust}$ ,

$$W_{sust} = (W_{unb} - WL) + 0,65 WL \dots \dots \dots (3.58.)$$

$$\delta_{long-t} = \frac{W_{sust}}{W_{unb}} \times \Delta_t \times FaktorCreep \dots \dots \dots (3.59.)$$

6. Total defleksi tengah panel arah x dan y setelah memperhitungkan pengaruh waktu,

$$\Delta_{tot} = \Delta t + \delta_{long-t} \dots \dots \dots (3.60.)$$

Lendutan yang terjadi tidak boleh melampaui batas lendutan maksimum yang telah ditetapkan oleh SK SNI T15 1991 pasal 3.2.5.3 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Lendutan Maksimum (SKSNI, 1991)

| TIPE KOMPONEN STRUKTUR   | LENDUTAN YANG DIPERHITUNGAN  | BATAS LENDUTAN  |
|--|--|-----------------|
| Atap datar tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar                   | Lendutan akibat beban hidup, L   | $\frac{1}{180}$ |
| Lantai tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar                            | Lendutan akibat beban hidup, L   | $\frac{1}{360}$ |
| Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar.       | Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban yang bekerja dan lendutan seketika yang terjadi akibat penambahan sembarang beban hidup) | $\frac{1}{480}$ |
| Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak rusak akibat lendutan yang besar. |  | $\frac{1}{240}$ |

### 3.8. Perhitungan *End Block*

Dalam merencanakan luas pelat angkur, ACI memberikan batasan tegangan beton yang tidak boleh dilampaui, yaitu sebagai berikut :





1. segera setelah pengangkutan,

$$f_b = 0,8 f'_c \sqrt{A_2/A_1} - 0,2 \leq 1,25 f'_c \dots\dots\dots(3.61)$$

2. setelah kehilangan prategangan,

$$f_b = 0,6 f'_c \sqrt{A_2/A_1} \leq f'_c \dots\dots\dots(3.62.)$$

Perbandingan luas pelat ekuivalen  $A_2$  dengan  $A_1$  diambil maksimal 2,7 ,dikarenakan pada perbandingan tersebut penyaluran tegangan dari pelat  $A_1$  ke  $A_2$  masih efektif.

Besar tegangan ujung yang akan diantisipasi oleh *end block* dirumuskan :

$$T = \frac{M_{\max}}{h - x} \dots\dots\dots(3.45)$$

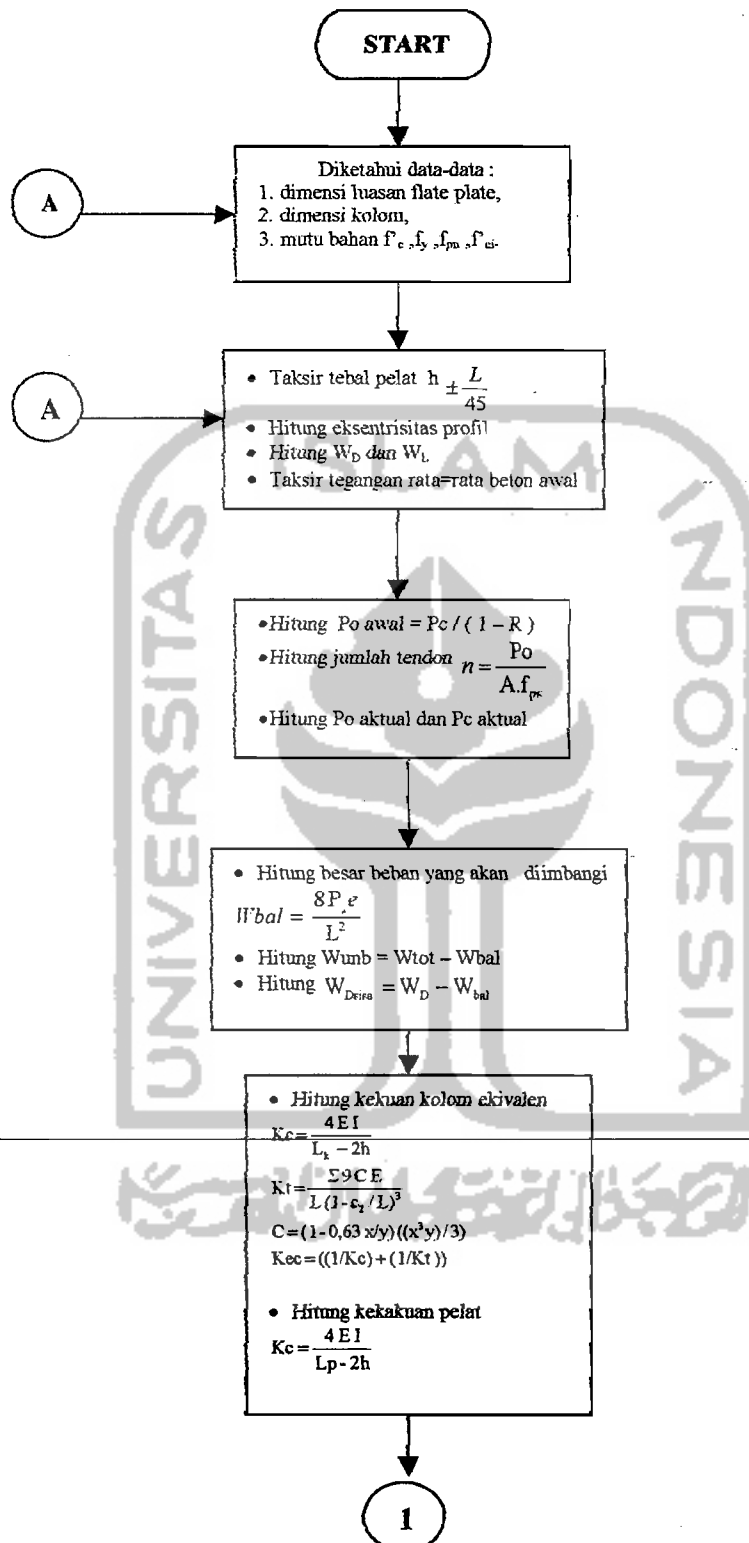
Kebutuhan tulangan sengkang ujung :

$$A_s = \frac{T}{f_y} \dots\dots\dots(3.46.)$$

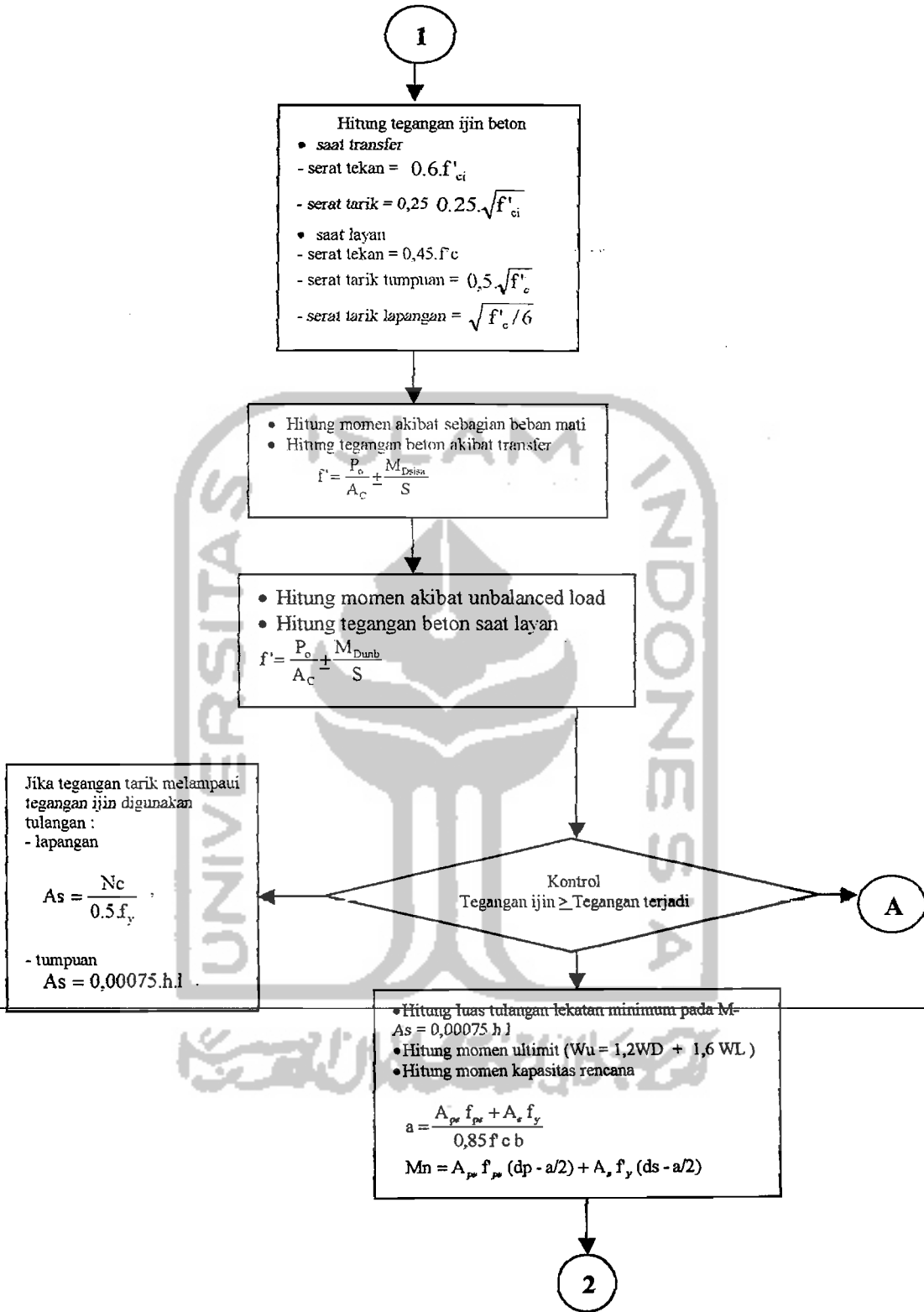
Untuk beton pasca tarik, sengkang tersebut harus didistribusikan pada jarak  $h/2$  dari ujung permukaan.

### 3.9.Flow Chart Disain *Flate Plate* Beton Prategang

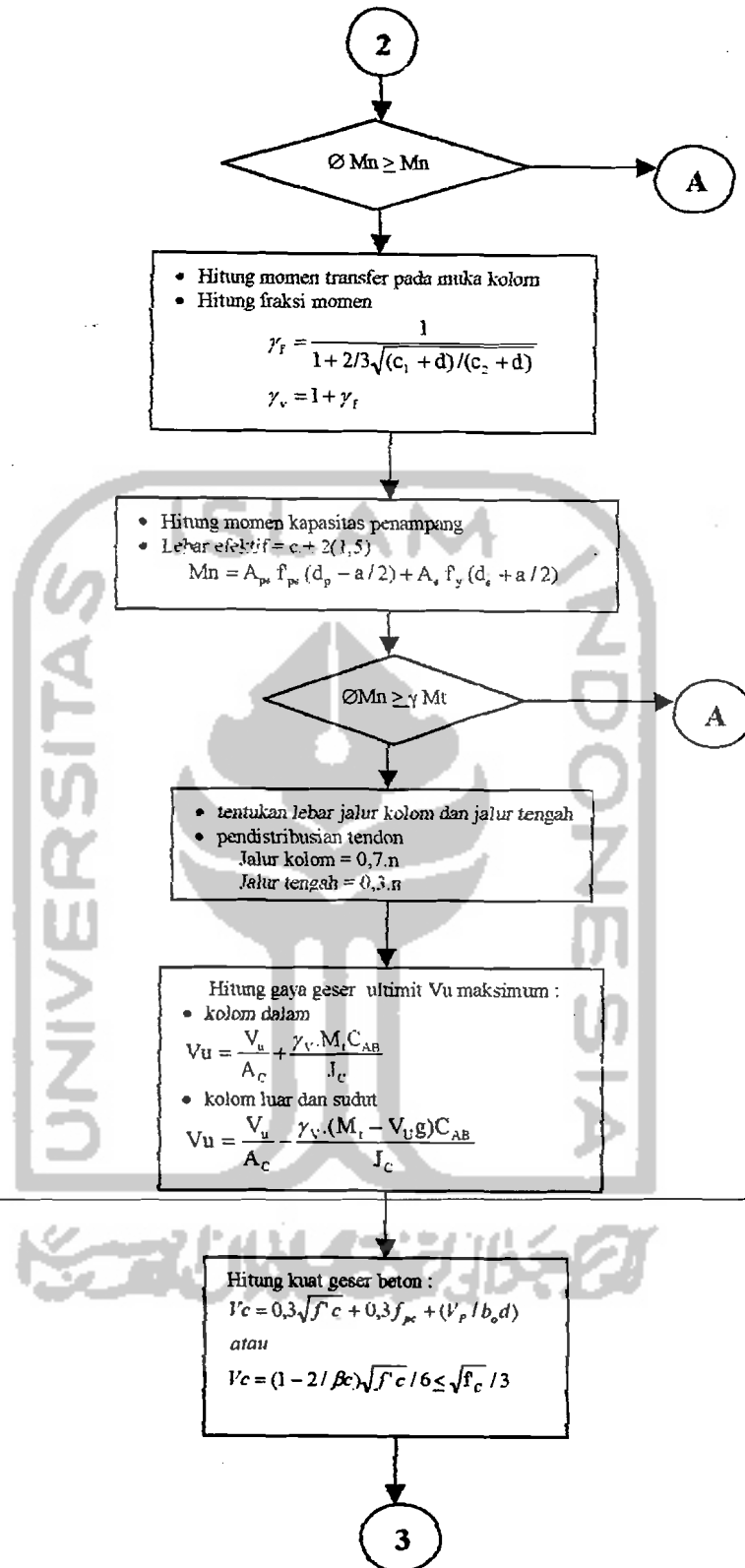
Untuk mengetahui langkah-langkah pendimensian *flate plate* beton prategang seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya akan digambarkan dalam bentuk flow chart seperti pada Gambar 3.10.



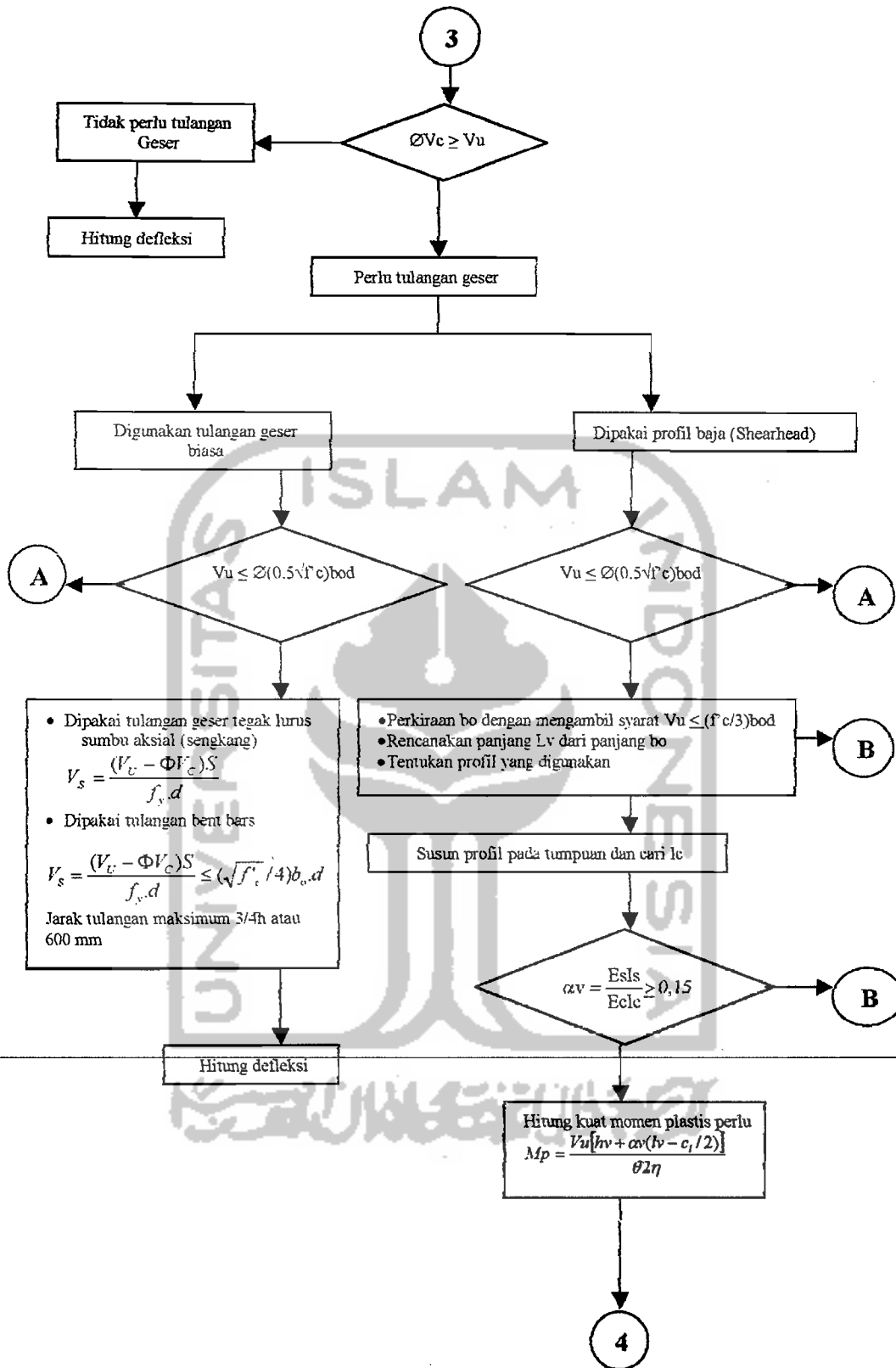
Gambar 3.10 Flow chart desain flate plate beton prategang



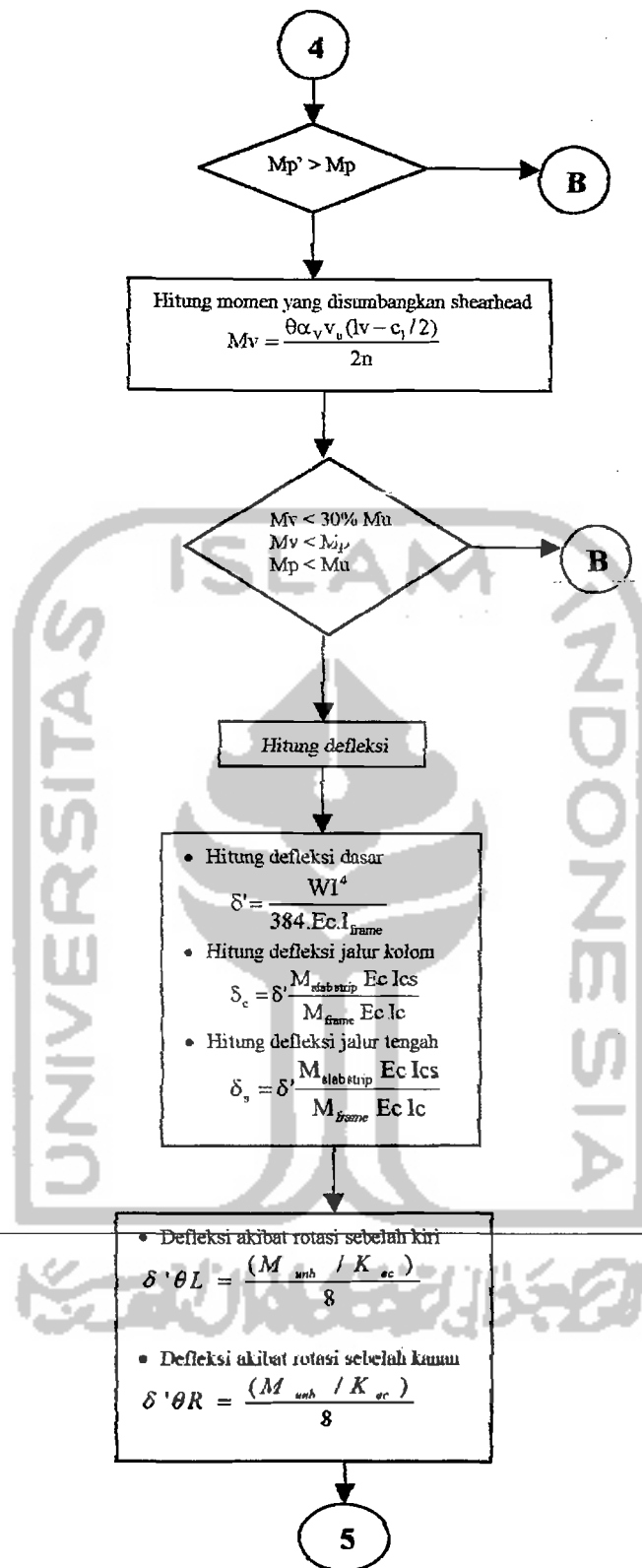
Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *flate plate* beton prategang



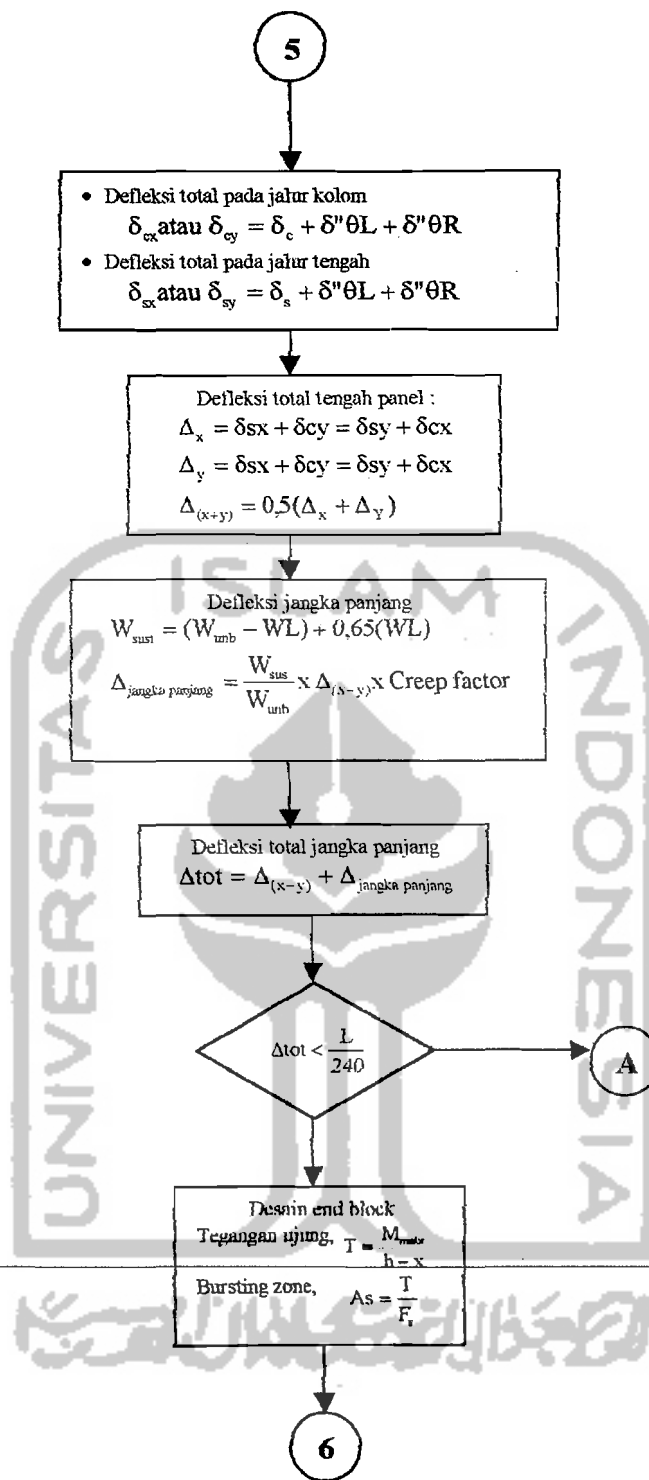
Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *flate plate* beton prategang



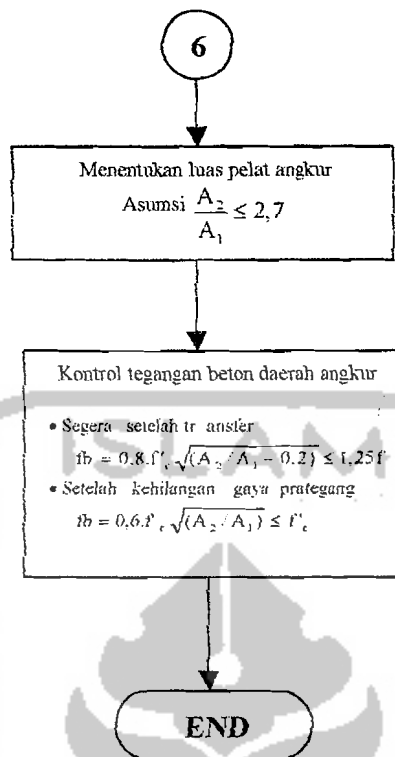
Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *flate plate* beton prategang



Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *flate plate* beton prategang



Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *flat plate* beton prategang



Gambar 3.10 Lanjutan flow chart desain *plate plate* beton prategang