

## BAB II STUDI PUSTAKA

### 2.1 Endblock

*Daerah dengan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi dan sangat berpotensi terjadinya bahaya retak pada bagaian ujung balok posttension disebut dengan “anchorage zone” atau “end zone”.*

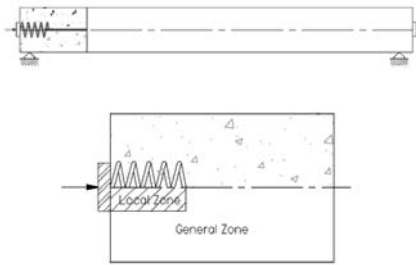
(Antoine E. Naaman: 1976)

Pada sistem pascatarik, plat anker digunakan untuk mentransfer gaya dari tendon ke beton. Gaya prategang ditransfer dengan model yang terpusat dan pada bagian ujung akan mengalami tegangan dan gaya lokal yang besar. Sehingga dibutuhkan endblock untuk mendistribusikan pemusatan tegangan ini dalam bentuk tegangan tekan linear.

Bagian endblock yang mengalami tegangan yang kompleks disebut daerah anker (*anchorage zone*). *Endblock* dapat didefinisikan sebagai suatu volume beton dimana gaya prategang yang terpusat pada anker menyebar kearah transversal menjadi terdistribusi linear diseluruh tinggi penampang disepanjang bentang. Panjang daerah ini mengikuti prinsip St.Venant, yaitu bahwa tegangan menjadi seragam dilokasi sejauh kira-kira sama dengan tinggi penampang ( $h$ ) diukur dari lokasi pengangkeran. Keseluruhan prisma yang mempunyai panjang transfer  $h$  tersebut adalah zona anker total.

Zona ini terdiri atas dua bagian:

1. **Zona umum:** Zona ini identik dengan zona anker total. Panjangnya sama dengan tinggi penampang  $h$  untuk kondisi standar.
2. **Zona lokal:** Zona ini adalah prisma beton di sekeliling dan tepat di depan alat anker dan mengekang penulangan didalamnya. Panjang zona lokal ini harus ditinjau sebagai yang terbesar diantara lebar maximum atau panjang alat anker yang mengekang penulangan.



**Gambar 2. 1.** Zona Lokal dan Zona Umum pada Endblock (Songwut Hengpratane, 2004)

Penulangan yang diberikan di seluruh zona anker harus sedemikian hingga mencegah retak dan pecahnya beton akibat gaya tekan terpusat yang disalurkan melalui anker. Selain itu, pengecekan tegangan tumpu di beton pada zona lokal harus dilakukan, yang merupakan akibat dari gaya tekan tersebut, untuk menjamin bahwa kapasitas tumpu tekan ijin beton tidak dilampaui.

### 2.1.1. Distribusi Tegangan pada *Endblock*

Beban yang diberikan pada permukaan *endblock* akan menghasilkan tegangan tekan longitudinal dan tegangan tarik transversal yang besar. Dengan meningkatnya jarak dari ujung permukaan, tegangan tersebut akan terdistribusi hingga jarak yang sama dengan ketinggian balok, dan setelah itu distribusi tegangan menjadi linear, seperti yang dapat diprediksi dengan analisis elastis untuk pengaruh gaya prategang eksentris.

Pada balok pascatarik, transfer dan distribusi beban secara gradual tidak mungkin terjadi karena gayanya bekerja secara langsung di muka ujung balok melalui plat tumpu dan anker. Adanya transisi secara tidak gradual pada tegangan tekan longitudinal dari yang terpusat menjadi linear menimbulkan tegangan tarik transversal besar dalam arah yang tegak lurus dengan tegangan tekannya.

Perubahan dalam arah tegangan tekan utama akan disertai dengan tegangan tarik yang bekerja pada arah yang tegak lurus. Pola dan besarnya tegangan yang terjadi pada beton tergantung pada lokasi distribusi dari gaya terpusat yang diberikan pada tendon.

Gaya prategang yang diberikan pada struktur merupakan gaya yang ditransfer Pada struktur merupakan gaya terpusat pada suatu bidang yang terdistribusi secara radial, sehingga perhitungannya tegangan berdasarkan pada penyebaran gaya pada koordinat polar. Thimosenko dan Godier (1976) telah merumuskan penyebaran tegangan yang bekerja pada bahan yang semi elastis dengan persamaan sebagai berikut:

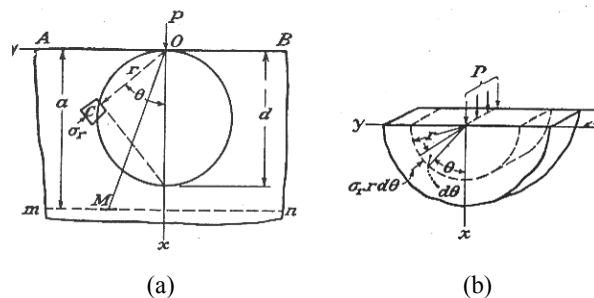
$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left[ -\frac{3r^2 z}{R^3} + \frac{(1-2\nu)R}{R+z} \right] \quad (2.1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{(1-2\nu)P}{2\pi R^2} \left[ \frac{z}{R} - \frac{R}{R+z} \right] \quad (2.2)$$

$$\sigma_z = -\frac{3Pz^3}{2\pi R^5} \quad (2.3)$$

$$\tau_{rz} = \tau_{zr} = -\frac{3Pz^3}{2\pi R^5} \quad (2.4)$$

Tegangan-tegangan inilah yang kemudian dikonversi dalam bentuk tegangan kartesian ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ) untuk mendapatkan tegangan transversal dan longitudinal pada endblock.



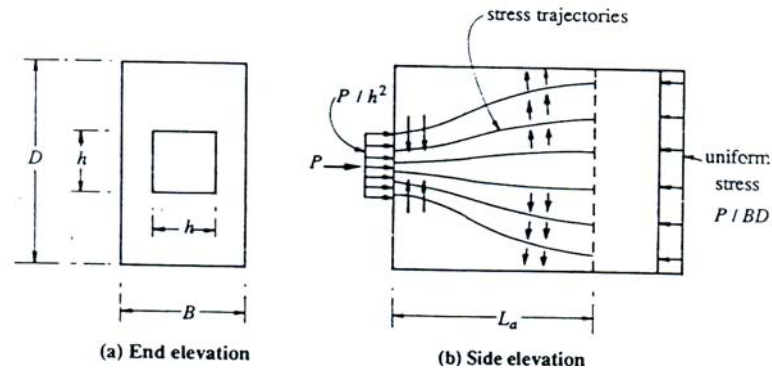
**Gambar 2.2** Pola penyebaran radial gaya terpusat pada sebuah elemen (Thimosenko, Godier 1976)

Berdasarkan analisis tegangan radial, tegangan akan berbanding terbalik dengan jari-jari, sehingga semakin jauh dengan pusat gaya teagangan pun akan

semakin kecil, dan apabila lokasi titik yang ditinjau lebih dari  $\pi/2$  maka tegangan akan bernilai positif atau dengan kata lain akan menerima tegangan tarik.

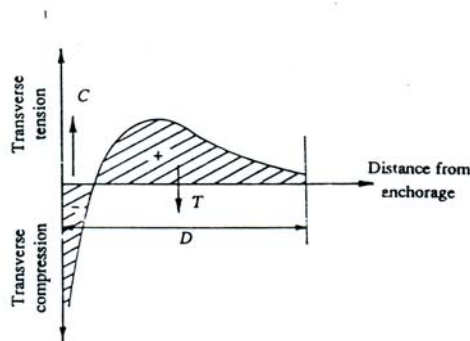
### 2.1.2. Isobar dan Trayektori Tegangan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada *endblock* terdahulu, perilaku *endblock* dapat diprediksi dengan menganalisa distribusi tegangan yang dapat digambarkan melalui isobar dan trayektori tegangan. Seperti yang terlihat pada gambar 2.3, untuk plat angker tunggal dengan penampang berbentuk persegi.



Gambar 2.3 Trayektori tegangan untuk angkur konsentris (Nawy, 1996)

Tegangan tumpu yang besar didepan plat angker menyebar disepanjang daerah angker, menghasilkan tegangan transversal, sampai pada jarak  $L_a$  dari plat angker distribusi tegangan dan regangan linear diprediksikan dengan teori balok sederhana. Distribusi tegangan in terjadi pada daerah angker diilustrasikan pada gambar 2.4.

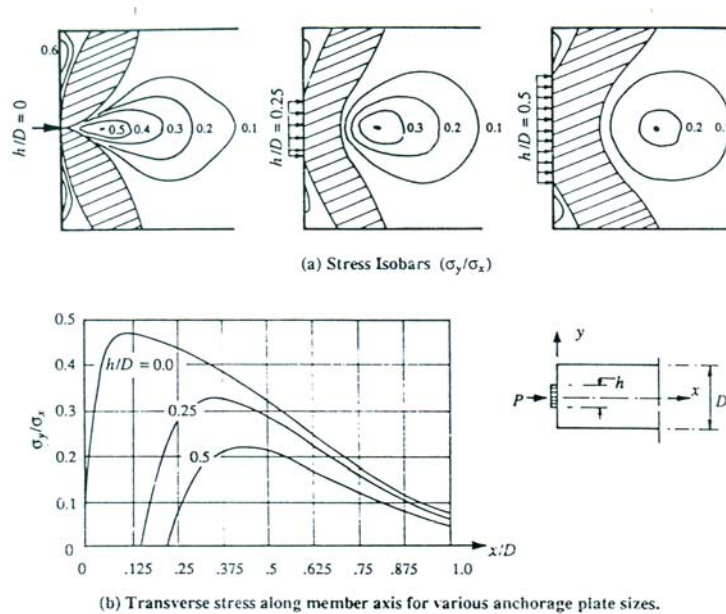


Gambar 2.4 Distribusi tegangan transversal angker tunggal konsentris (Nawy, 1996)

Trayektori tegangan dibelakang angker berbentuk cembung dari garis pusat penampang, seperti yang ditunjukkan, sehingga menghasilkan komponen transversal dari tegangan normal tekan pada sumbu penampang. Lebih jauh lagi dari pengangkeran, trayektori tegangan tekan berbentuk cekung dari sumbu penampang sehingga menghasilkan tegangan tarik transversal. Trayektori tegangan pada daerah yang langsung berada dibelakang plat tumpu dimana tegangan tekan cukup besar, dan semakin membesar dengan meningkatnya jarak dari plat angker. Variasi tegangan transversal disepanjang sumbu penampang ditunjukkan pada gambar 2.3

Tingkat kemiringan dari trayektori tegangan tergantung pada dimensi plat angker. Plat angker yang semakin kecil akan mengakibatkan besarnya kemiringan trayektori dan pemusatan tegangan, sehingga akan mengakibatkan meningkatnya tegangan tarik dan tekan pada *endblock*. (Edward G. Nawy:1996) Gaya tarik transversal (sering disebut gaya *brusting* atau *spalling*) harus diperhitungkan dengan akurat sehingga penulangan transversal pada daerah angker dapat didisain untuk menahan gaya tersebut.

Analisis elastis dapat digunakan untuk menganalisis daerah angker dapat dilakukan untuk mengetahui lokasi permulaan terjadinya retak. Penyelidikan sebelumnya yang dengan menggunakan metode fotoelastis (Tesar; 1932, Guyon; 1953) dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada daerah angker. Gambar 2.5 menunjukkan isobar tegangan ( $\sigma_y/\sigma_0$ ) pada daerah angker dengan satu angker pada pusat penampang. Isobar ini mirip dengan yang didapatkan melalui metode fotoelastis yang dilakukan oleh Guyon (1953),  $\sigma_y$  adalah tegangan transversal dan  $\sigma_0$  adalah tegangan tekan longitudinal rata-rata, daerah yang diarsir adalah daerah yang mengalami tekan.

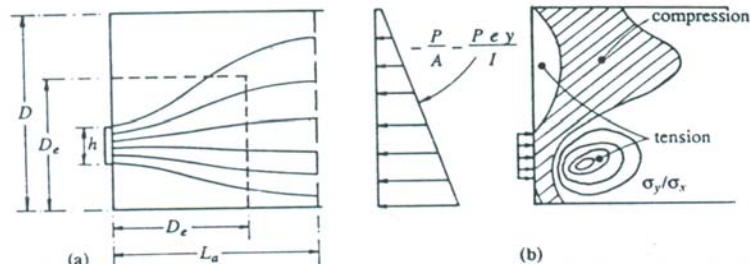


**Gambar 2. 5** Distribusi tegangan transversal anker tunggal konsentris (Arthur Nilson, 1987)

Pengaruh dari berbagai macam pelat anker baik besar maupun lokasi tegangan transversal disepanjang sumbu dapat dengan jelas dilihat pada gambar. Dengan meningkatnya ukuran plat, besar tegangan tarik maximum akan menurun dan lokasinya semakin menjauh dari ujung. Tegangan tarik juga muncul pada permukaan ujung dari daerah anker pada bagian sudut pojok dari plat anker. Walaupun tegangan ini relatif besar, tegangan ini bekerja pada daerah yang kecil dan menghasilkan tegangan tarik yang kecil pula. Guyon (1953) menyarankan bahwa tegangan tarik sekitar 4% dari gaya prategang longitudinal yang berada dekat dengan permukaan ujung membebani daerah anker apabila  $a/h$  lebih besar dari 0.1.

Lokasi dari sumbu dimana gaya prategang bekerja pada sumbu balok diperhitungkan memiliki pengaruh pada besar dan distribusi tegangan pada daerah anker. Apabila jarak dari gaya yang bekerja juga meningkat akan mengakibatkan tegangan tarik pada daerah anker juga akan meningkat. Gambar 2.6 menggambarkan trayektori tegangan daerah anker dengan penampang prismatis dengan lokasi plat anker yang memiliki eksentrisitas. Dengan panjang  $x$  dari muka beban, pemusatan tegangan tumpu terdistribusi secara asimetris. Trayektori

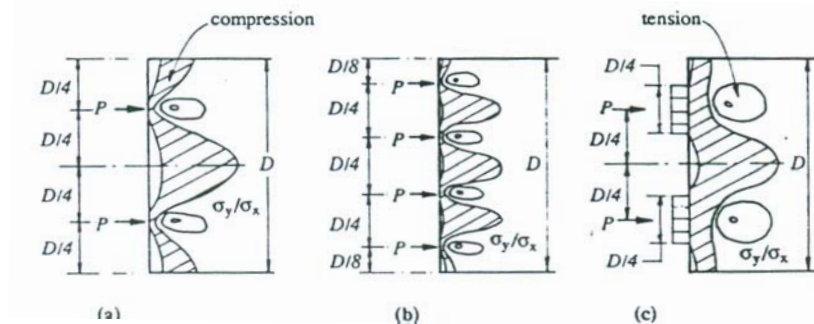
tegangan yang menunjukkan aliran gaya akan mengakibatkan jarak yang tidak sama, namun akan menghasilkan tegangan tarik dan tekan transversal disepanjang sumbu angker dengan cara yang sama dengan angker yang terletak pada pusat penampang.



**Gambar 2. 6** Trayektori Tegangan dan Isobar Angkur Eksentris (Nawy, 1996)

Isobar yang ditunjukkan pada gambar 2.6. gaya *brusting* yang besar terjadi dibelakang plat angker dan semakin jauh, tegangan tarik pada bagian ujung semakin membesar. Tegangan tarik ini, atau tegangan *spalling*, adalah khusus untuk angker dengan beban eksentris.

Isobar tegangan transversal pada daerah angker yang terdiri atas banyak plat angker ditunjukkan pada gambar 2.7. Panjang daerah pengangkeran yang menerima tegangan transversal yang cukup signifikan ( $L_a$ ) berkurang dengan penambahan jumlah angker yang simetris. Daerah yang langsung berada pada masing-masing angker memiliki tegangan *brusting* dan isobar tegangan disusun dalam angker tunggal yang lebih dekat diletakan pada daerah ujung dari *endblock* seperti yang terlihat pada gambar.



**Gambar 2. 7** Isobar tegangan transversal *endblock* dengan multi angkur (TY. lin, 1981)

Isobar yang muncul pada penampang ini dimaksudkan hanya untuk memvisualisasikan perilakunya. Beton adalah material yang elastis linear dan keretakan daerah angker pada beton prategang tidak terjadi tepat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan 2.7. Sehingga analisis elastis linear yang menunjukkan daerah tarik yang cukup besar, baik dibelakang plat angker dan pada bagian permukaan balok, dimana keretakan pada beton dapat diprediksi selama pemberian tegangan berlangsung. Formasi keretakan mengurangi kekakuan dalam arah transversal dan menimbulkan redistribusi tegangan yang cukup signifikan pada daerah angker.

Dengan demikian, kekuatan pengangkeran sangat dibutuhkan di daerah transfer beban dalam bentuk tulangan tertutup, sengkang, atau alat-alat pengangkeran yang menutupi semua prategang utama dan penulangan longitudinal nonprategang. Dalam hal balok pascatarik, kekuatan vertikal perlu diberikan untuk mengekang kait dimuka ujung dibelakang plat tumpu.

### **2.1.3. Penelitian Eksperimental dan Numeris**

Beberapa metode yang biasanya dipergunakan berdasarkan analisis elastis dapat dipergunakan untuk menentukan tegangan ini. Metode-metode ini termasuk metode yang diusulkan oleh Guyon, magnel, zelinski dan Rowe. Walaupun metode ini cukup untuk memahami tingkat tegangan yang terjadi pada daerah angker, namun metode ini tidak memberikan gambaran akurat mengenai kondisi yang terjadi pada daerah angker.

Beberapa penelitian eksperimental dan numeris telah dilakukan oleh berbagai pakar untuk mengetahui perilaku lebih jauh terhadap endblock. Kendala yang biasa dihadapi adalah menentukan besarnya tegangan tarik maksimum pada daerah angker beton prategang pasca tarik cukup rumit dan membutuhkan waktu yang cukup panjang bahkan untuk menentukan kuat lentur balok prategang itu sendiri. Tegang tekan yang terjadi secara tiba-tiba pada daerah angker hampir sama



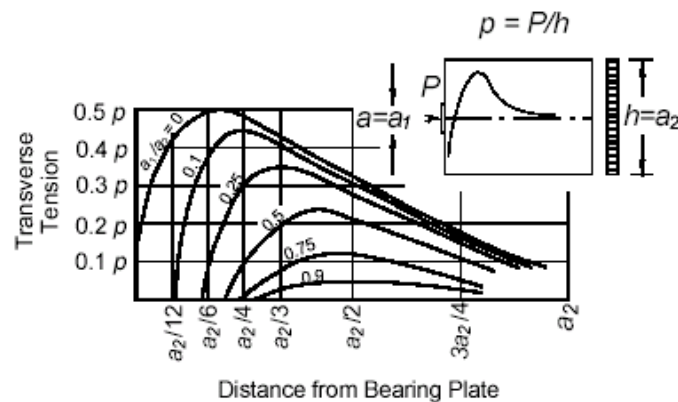
dengan tegangan tekan beton, sehingga akan disertai dengan regangan inelastik dan deformasi yang besar.

Seperti yang telah dilakukan oleh Songwut Hengprathanee dengan judul penelitiannya : **Linear And Nonlinear Finite Element Analyses Of Anchorage Zones In Post-Tensioned Concrete Structures**, memberikan penjelasan hasil penelitian dari beberapa pakar sebelumnya, diantaranya:

**a. Guyon (1953)**

Guyon (1953) menyelidiki perilaku beban konsentris yang diterapkan pada penampang persegi. pada penelitian ini, metode deret fourier digunakan untuk menyelesaikan hubungan antara gaya prategang dan rasio relatif ketinggian plat anker terhadap tinggi penampang ( $a/h$ , dimana  $a$  adalah ketinggian plat anker dan  $h$  adalah ketinggian penampang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8).

Hubungan ini sangat mempengaruhi disain daerah anker,



**Gambar 2.8.** Distribusi Tegangan Brusting Guyon (Songwut Hengprathanee, 2004)

**b. Morsch (1924) and Guyon (1953)**

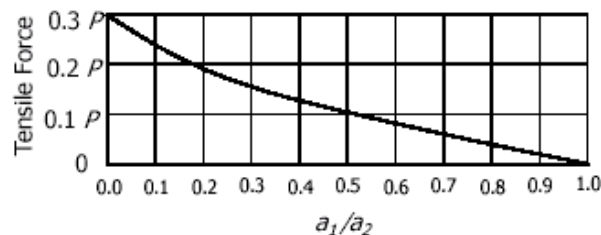
Morsch (1924) mengembangkan metode untuk memperkirakan gaya brusting berdasarkan teori elastisitas dan disain penampang melintang berdasarkan tegangan ijin pada saat beban kerja. metode tersebut menjamin tingkat keamanan yang cukup dan kontrol retak pada struktur beton. Kontribusi yang paling luar biasa dari Morsch adalah pengembangan model truss, yang juga dikenal dengan analogi truss. metode tersebut memberikan suatu ilustrasi yang sangat baik dari

prilaku gaya yang terjadi pada struktur beton bertulang. Dan hal ini menjadi referensi yang sangat penting pada masa itu.

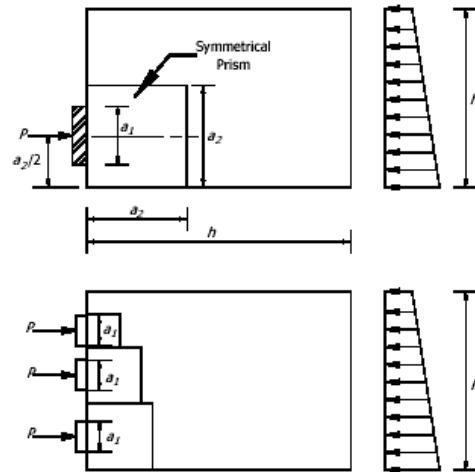
Deskripsi pertama mengenai pengaruh gaya brusting pada beban konsentris pada anchorage zone dan perbandingan palt ankur dengan lebar penampang ( $a/h$ , atau  $a/h$  diperkenalkan melalui pendekatan teori guyon). Morch juga memperkenalkan model yang dibuat berdasarkan aliran tegangan pada penampang yang konsentris dan kemudian dikenal dengan model *strut dan tie*. Model tersebut menyatakan bahwa aliran tegangan pada struktur sederhana dibangun dari strut tekan dan tie tarik. Hal ini telah dibuktikan secara konsisten oleh st. Venant.

$$T_{burst} = \frac{P}{4} \left[ 1 - \left( \frac{a}{h} \right) \right] \quad (2.5)$$

Selain memberikan panduan disain mengenai beban konsentris pada anchorage zone menggunakan teori elastisitas (gambar 2.8), Guyon (1953) juga memberikan panduan disain lain untuk memperkirakan gaya tarik brusting, menggunakan perbandingan lebar plat ankur dan terhadap lebar potongan melintangnya. Pada kasus beban eksentris, teori prisma simetris guyon dapat diterapkan (gambar 2.10). Prisma simetris menyatakan bahwa dimensi melintang prisma adalah sama dengan dua kali jarak tependek dari pusat tendon ke bagian ujung anchorage zone. konsep ini dapat disesuaikan untuk kasus banyak ankur sama baiknya dengan sistem satu ankur. Penyelidikan Guyon dirujuk oleh banyak peneliti dan ditemukan bahwa ini dapat diandalkan.



**Gambar 2.9** Peraturan Disain Gaya Brusting Guyon (Songwut Hengprathanee, 2004)



**Gambar 2.10** Prisma Simetris Guyon untuk beban eksentris (Songwut Hengprathanee, 2004) Tesar (1932) membahas mengenai spalling force berdasarkan penyelidikan penampang photoelastis. Untuk aplikasi beban eksentris pada anchorage zone, spalling force dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_s = \left(0.04 + \left| \frac{(a - a')}{(a + a')} \right|^3 \right) P \quad (2.6)$$

Dimana  $T_s$  adalah spalling force,  $a$  adalah jarak ujung terkecil, dan  $a'$  adalah jarak ujung terjauh.

### c. Yettram and Robbins (1969, 1970, and 1971)

Pada penyelidikan yang dilakukan oleh Yettram dan Robbins (1969, 1970, 1971), analisis linear elastis elemen hingga diterapkan untuk menyelidiki daerah angker dengan kasus beban konsentris, eksentris dan banyak angkur. Baik untuk penyelidikan dua dimensi maupun tiga dimensi yang dilakukan dengan menggunakan tegangan datar pada bentuk persegi. Hasilnya dipergunakan untuk membandingkan penelitian elastis yang dilakukan oleh Guyon (1953) dan Iyengar (1961) dan terhadap hasil eksperimental (Zelinski dan Rowe (1960, 1962). Pada kasus angkur dengan beban konsentris, jarak satu per empat dari tinggi balok dilaporkan merupakan lokasi dengan tegangan merata dan efek poisson rasio cukup signifikan pada distribusi tegangan. Prisma simetris Guyon juga ditemukan cukup

dapat diandalkan dalam menahan tegangan brusting. Temuan yang sangat berarti pada penyelidikan penampang non persegi adalah perluasan dari tegangan brusting pada penampang non persegi adalah lebih besar dari pada penampang persegi. dan *flang* (sayap) memainkan peranan yang penting dalam mereduksi spalling forces. balok I dengan *endblock* pun juga diselidiki, dan hasilnya menunjukkan bahwa panjang *endblock* adalah kritis tegangan brusting pada bagian tersebut. Penelitian mengenai anchorage zone dengan menggunakan metode analisis elemen hingga pun dilakukan oleh Egeberg(1968), yang menghasilkan perbandingan dengan yang dihasilkan oleh Guyon (1953) dan Magnel (1954).

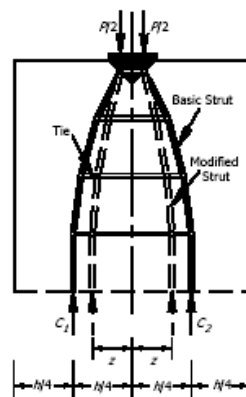
#### **d. Sanders (1990)**

Sanders (1990) melakukan penelitian eksperimental untuk beberapa konfigurasi dari *endblock* yang umum digunakan dengan 36 benda uji. 31 benda uji dengan tendon lurus, termasuk 17 diantaranya dengan anchorage zone yang konsentris, 6 anchorage zone eksentris, dan 8 multiple anchorage zone. Benda uji lainnya yang diselidiki adalah untuk tendon miring dan tendon dengan layout parabola. Pada penelitian ini, benda uji didisain untuk memenuhi seluruh konfigurasi dasar yang mungkin dapat ditemukan pada struktur beton prategang pada umumnya.

Pada penelitian *endblock* dengan konfigurasi beban konsentris, seluruh benda uji didisain untuk menyelidiki distribusi tegangan pada penulangan Brusting dan perilaku daerah anker tanpa penulangan, dengan memperhatikan parameter-parameter lain seperti penggunaan duct, dan lateral postensioned. Untuk pengujian multiangker, penelitian dibagi dalam dua kelompok yang terdiri atas benda uji dengan sumbu konsentris dan dengan sumbu yang eksentris. Test yang identik dilakukan pada pengujian angkur tunggal. Pada penelitian ini digunakan konfigurasi tendon miring dan tendon lengkung, pada 4 benda uji didisain dengan konfigurasi khusus dengan tendon parabola dengan kemiringan pada permukaan tumpuan. Hanya beberapa benda uji yang digunakan pada rangkaian tes ini termasuk dua tendon.

Sanders menunjukkan bahwa metode yang digunakan untuk memperkirakan beban retak pertama menggunakan model analisis elastis yang diajukan Guyon (1953) seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 cukup akurat. Pecahnya tegangan tarik pada puncak tegangan tarik sama dengan perbandingan rasio  $a/h$  yang bertujuan untuk memperkirakan gaya prategang yang menyebabkan munculnya keretakan. Akan tetapi, hal ini ditemukan bahwa menggunakan kriteria keruntuhan Ottosen's (1977) untuk menemukan tegangan tarik (Brusting stress) pada masing-masing beda uji dapat meningkatkan peningkatan prediksi beban retak yang lebih konservatif bila dibandingkan dengan hasil pengujian. Sebagai hasilnya Sanders menyarankan menggunakan nilai  $4,2(fc')^{0,5}$  sebagai tegangan tarik pada beton sesuai dengan tegangan puncak Brusting yang diberikan pada model distribusi tegangan Guyon (Gambar 2.8) dapat memberikan hasil yang konservatif.

Untuk prediksi model beban ultimit, model strut and tie digunakan untuk mengevaluasi penyelesaian yang mungkin pada beban ultimit. Kapasitas ultimit baja tulangan harus di cek dan pengecekan strut harus dilakuakn. Teori balok-kolom yang digunakan untuk menjelaskan pola distribusi tegangan pada kasus keretakan pada anchorage zone pada pusat penyebaram pada bagian ujung dari benda uji atau 1,5 kali lebar benda uji. hal ini mengakibatkan modifikasi strut and tie model, sudut dispersi dari strut tekan berkurang dan hal ini mengakibatkan peningkatan beban ultimit pada daerah angker. Menggunakan model strut and tie yang dimodifikasi.



**Gambar 2.11** Modified Strut-And-Tie Model (Songwut Hengprathanee, 2004)

#### 2.1.4. Prilaku Daerah Angker

Pada daerah disekitar plat angker mengalami tegangan tekan tegangan tarik yang besar. Besarnya tegangan tekan yang secara tiba-tiba pada daerah dibelakang pelat dapat menyebabkan pecah/retak beton (karena regangan yang sangat besar) yang menghasilkan tegangan tarik dalam arah transversal pada beton.

Tegangan tarik transversal yang dihasilkan akibat distribusi trayektori tegangan longitudinal tekan mengakibatkan terjadinya retak longitudinal pada daerah angker. Daerah yang sama dimana tegangan muncul dengan tiba-tiba sebagai pemusatan gaya.

Panjang pengangkeran pada sistem pascatarik dan besarnya gaya transversal (baik tarik maupun tekan), yang bekerja tegaklurus terhadap gaya prategang longitudinal, tergantung pada besarnya gaya prategang, dimensi serta lokasi plat angker. Baik angker tunggal maupun angker banyak biasa dipergunakan untuk konstruksi pascatarik. Pemilihan yang tepat mengenai jumlah, dimensi akan meminimalisir penulangan transversal yang dibutuhkan di daerah angker.

Pemusatan tegangan yang terjadi pada bagian daerah angker pada sistem pascatarik jarang terjadi pada sistem pratarik. Karena transfer prategang yang bertahap, dan tegangan yang besar di belakang plat tumpu pada daerah angker tidak terjadi pada konstruksi pratarik. Pemusatan tegangan tekan yang besar dalam arah longitudinal terjadi di penampang tumpuan pada segmen kecil dimuka ujung balok, baik pada balok pratarik maupun pada balok pascatarik, akibat dari gaya prategang yang besar. Pada balok pascatarik transfer beban terpusat dari gaya prategang ke beton disekitarnya secara gradual terjadi diseluruh panjang  $l_a$  dari muka penampang tumpuan sampai pada dasarnya menjadi seragam.

Retak longitudinal juga terjadi didaerah agker. Apabila tegangan tersebut melebihi *modulus rapture* beton, maka balok ujung akan terbelah (retak) secara longitudinal, kecuali apabila penulangan vertikal digunakan. Lokasi tegangan beton dan keretakan baik *spalling* maupun *brusting* bergantung pada lokasi dan distribusi gaya terpusat horizontal yang diberikan oleh tendon partegang ke plat angker.

Terkadang luas penampang perlu diperbesar secara gradual dilokasi yang semakin mendekati tumpuan dengan cara membuat lebar badan ditumpuan sama dengan lebar sayap untuk mengakomodasi tendon yang ditinggikan. Namun peningkatan luas penampang tersebut tidak berkontribusi dalam mencegah retak *spalling* atau *brusting*, dan tidak mempunyai pengaruh pada pengurangan tarik transversal dibeton. Pada kenyataannya, baik hasil pengujian maupun hasil analisis teoritis dari masalah tegangan tiga dimensi menunjukkan bahwa tegangan tarik dapat membesar.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada daerah anker terjadi tegangan yang kompleks. Besarnya tegangan tersebut dapat menyebabkan kegagalan pada struktur. Kegagalan pada daerah anker mungkin kebanyakan terjadi akibat masalah-masalah yang muncul pada masa konstruksi. Kegagalan-kegagalan tersebut sulit dan mahal untuk diperbaiki dan biasanya dilakukan dengan mengganti elemen struktur secara keseluruhan. Kegagalan pada daerah anker biasanya terjadi akibat keretakan pada struktur yang tidak terkontrol atau retaknya beton akibat penulangan transversal yang tidak cukup dan pengangkatan yang kurang baik. Kegagalan *bearing* secara tiba-tiba dibelakang plat anker juga sering terjadi dan biasanya disebabkan oleh dimensi pelat tumpu yang tidak cukup atau kualitas beton yang kurang baik (Gilbert, Mickleborough: 1990). Oleh karena itu perhatian yang cukup baik harus diberikan baik dalam hal disain maupun konstruksi dari daerah anker pada beton prategang pascatarik.

### **Metode perencanaan SNI**

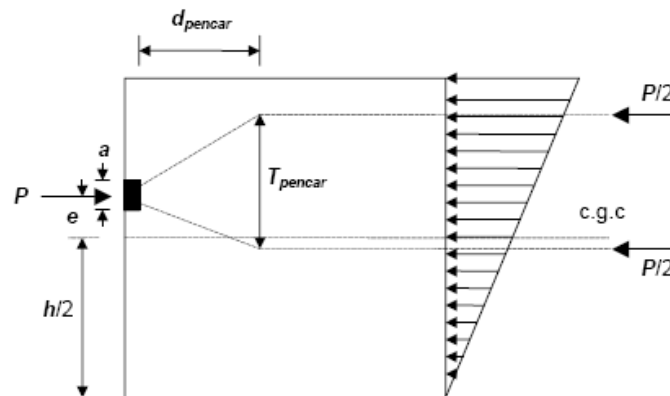
Dalam metode perencanaan SNI ditentukan beberapa persyaratan yang digunakan dalam mendisain daerah anker. Ketentuan-ketentuan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Metode berikut boleh digunakan untuk merencanakan daerah pengangkutan global selama prosedur yang dipakai telah terbukti dapat menghasilkan nilai perkiraan kekuatan yang sama dengan yang diperoleh dari hasil pengujian:

- a) Model keseimbangan yang berdasarkan teori plastisitas (model penunjang dan pengikat),
  - b) Analisis tegangan linier (termasuk analisis elemen hingga), atau
  - c) Persamaan-persamaan yang disederhanakan.
- (2) Persamaan-persamaan yang disederhanakan tidak boleh digunakan bilamana komponen struktur mempunyai penampang yang bukan persegi, mempunyai diskontinuitas pada atau di dekat daerah pengankuran global yang dapat merubah aliran gaya, mempunyai jarak tepi minimum yang kurang dari 1,5 kali dimensi lateral ankur pada arah tersebut atau mempunyai ankur majemuk. Salah satu metode perhitungan yang dapat digunakan untuk perencanaan daerah pengankuran global diperlihatkan pada Gambar 39, yaitu:

$$T_{pencar} = 0.25 \sum P_{su} \left(1 - \frac{a}{h}\right) \quad (2.7)$$

$$d_{pencar} = 0.5(h - 2e) \quad (2.8)$$



**Gambar 2. 12** Contoh Model Penunjang dan Pengait

- (3) Urutan penarikan tendon harus dicantumkan dalam gambar rencana dan diperhitungkan dalam perencanaan.
- (4) Pengaruh tiga dimensi harus ditinjau dalam perencanaan dan dianalisis dengan menggunakan prosedur tiga dimensi atau disederhanakan dengan meninjau penjumlahan dari pengaruh-pengaruh dari kedua bidang yang saling tegak lurus.



- (5) Untuk angkur antara, tulangan non-prategang harus dipasang untuk menyalurkan gaya minimum sebesar **0,35 $P_{su}$**  ke bagian beton yang berada di belakang angkur. Tulangan tersebut harus dipasang secara simetris mengelilingi angkur dan harus mempunyai panjang penyaluran yang memadai baik di depan maupun di belakang angkur.
- (6) Bilamana digunakan tendon melengkung pada daerah pengangkuran global, maka tulangan non-prategang harus dipasang untuk menahan gaya-gaya radial dan belah, kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.
- (7) Tulangan minimum dengan kuat tarik nominal sama dengan 2 % dari masing-masing gaya tendon terfaktor harus dipasang pada arah-arang ortogonal yang sejajar dengan sisi belakang dari daerah pengangkuran untuk membatasi *spalling* (pecah), kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.
- (8) Kuat tarik beton harus diabaikan dalam perhitungan kebutuhan tulangan.

### Metode Perencanaan T.Y. Lin

Metode analisis yang dilakukan oleh T.Y Lin didasari atas metode elastis linear, dengan menggunakan analisis elemen hingga untuk memvisualisasikan distribusi tegangan yang terjadi pada endblock, seperti pada gambar 2.14.

Beberapa ketentuan dan formulasi berikut ini dapat digunakan dalam disain dan analisis daerah angker.

#### (1) Bantalan (Bearing) untuk Angkur

Perhitungan tegangan tumpuan rata-rata di beton ( $f_{cp}$ ) :

- Pada beban kerja :

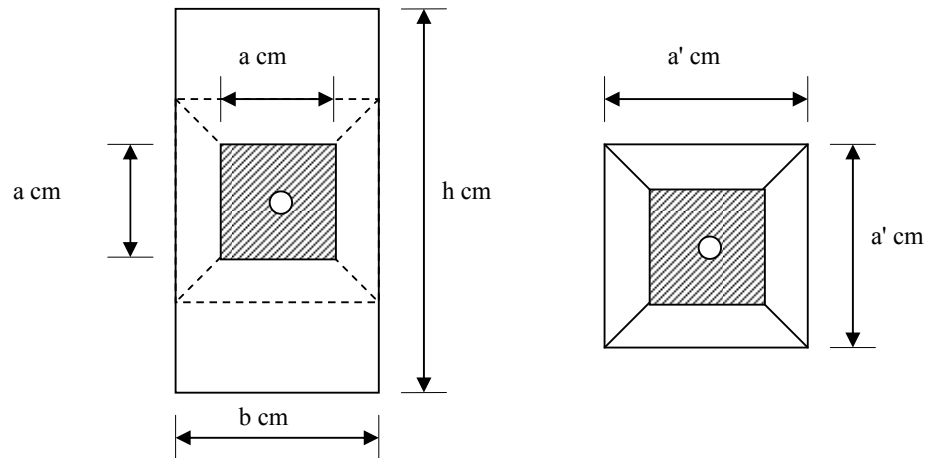
$$f_{cp} = 0,6 f_c' \sqrt{A_b' / A_b}$$

Tatapi tidak lebih besar dari  $f_c'$

- Pada beban peralihan :

$$f_{cp} = 0,8 f_{ci}' \sqrt{A_b' / A_b} - 0,2$$

Tetapi tidak lebih besar dari  $1,25 f'_{ci}$



**Gambar 2.13** Penyebaran gaya tekan pada plat angker

Perhitungan :

Dianggap  $A'_b/A_b > 1,0$

$$f_{cp} = 0,6 f'_c \sqrt{A'_b / A_b}$$

Cek Beban Peralihan

$$f_{cp} = 0,8 f'_{ci} \sqrt{A'_b / A_b} - 0,2$$

## (2) Tegangan tarik transversal pada Block Ujung

Tegangan tekan langsung rata-rata ( $f$ ) :

$$f = F/A$$

Dimana :

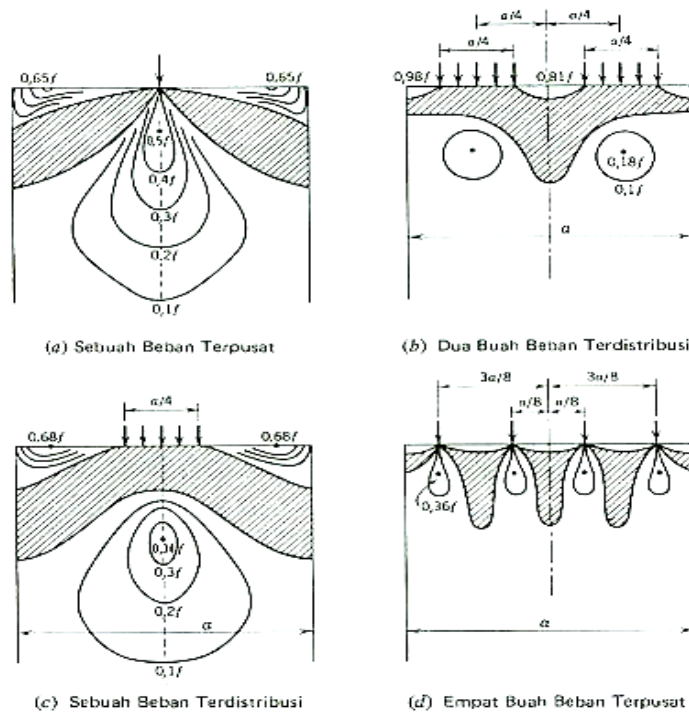
$F$  = gaya prategang aksial total pada ujung balok

$A$  = luas penampang balok

*Perhitungan Tagangan Umum:*

$$f = F/A$$

*Perhitungan berdasarkan Isobar tegangan*



Gambar 2. 14 Distribusi Tegangan Endblock (TY. Lin, 1981)

### (3) Daerah Pengukuran

Disain sengkang untuk untuk mengontrol retak horizontal pada ujung gelagar I yang diberikan pada gaya pratarik :

$$A_t = 13,55 \frac{T}{f_s} \cdot \frac{h}{l_t}$$

Gambar 2. 1. Zona Lokal dan Zona Umum pada Endblock .....	7
Gambar 2. 3 Trayektori Tegangan untuk Angkur pada Pusat Penampang .....	9
Gambar 2. 4 Distribusi Tegangan Transversal Untuk Angkur Tunggal .....	9
Gambar 2. 5 Distribusi Tegangan Transversal Untuk Satu Angkur .....	11
Gambar 2. 6 Trayektori Tegangan dan Isobar untuk Angkur Eksentris .....	12

Gambar 2. 7 Isobar Tegangan Transversal untuk Endblock Multi Angku .....	12
Gambar 2. 12 Contoh Model Penunjang dan Pengait.....	21
Gambar 2. 13 Penyebaran gaya tekan pada plat angker.....	23
Gambar 2. 14 Distribusi Tegangan Endblock (TY. Lin, 1981) .....	24

<b>BAB II</b> .....	6
<b>STUDI PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Endblock</b> .....	6
<b>2.1.1. Distribusi Tegangan pada <i>Endblock</i></b> .....	7
<b>2.1.2. Isobar dan Trayektori Tegangan</b> .....	9
<b>2.1.3. Penelitian Eksperimental dan Numeris</b> .....	13
<b>2.1.4. Prilaku Daerah Angker</b> .....	19
<b>2.2. Metode perencanaan SNI</b> .....	20
<b>2.3. Metode Perencanaan T.Y. Lin</b> .....	22