

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Menurut T.Y. Lin (1957), ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini penting bagi seorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang dengan seefisien mungkin. Ketiga konsep tersebut dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. Sistem Prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

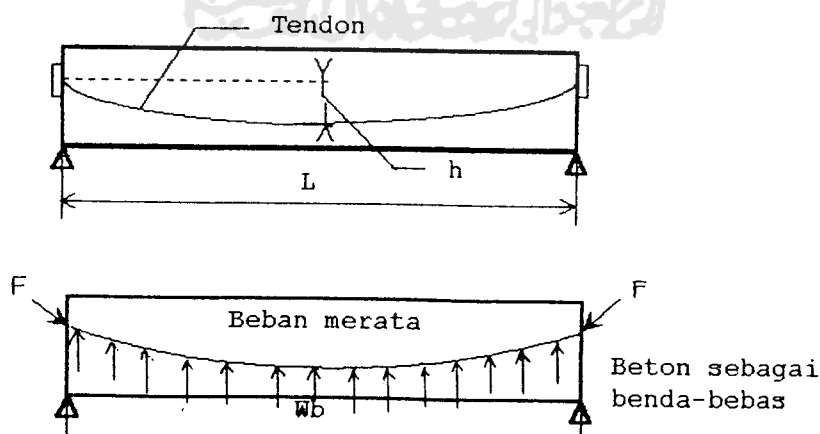
Konsep ini dikemukakan oleh Eugene Freyssinet. Beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis. Hal ini dikarenakan beton tidak mengalami retak di bagian tarik balok walaupun terjadi tarikan. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan, yaitu : gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang (tendon).

2. Sistem Prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Seperti halnya pada beton bertulang, konsep ini mempertimbangkan juga kombinasi dari baja dan beton, yaitu baja menahan tarik dan beton menahan gaya desak, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel gaya untuk melawan momen eksternal. Kelebihan beton prategang merupakan modifikasi pemakaian beton bertulang dengan memakai baja berkekuatan tinggi.

3. Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban.

Konsep ini menganggap beton sebagai benda bebas (*freebody*) dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja merata pada beton sepanjang bentangan, sehingga diperoleh gaya-gaya yang bekerja menjadi seimbang.



Gambar 2.1. Konsep beban berimbang dari prategang

jika F = gaya prategang,
 L = panjang bentangan,
 h = tinggi parabola.

Penjelasan mengenai Gambar di atas adalah sebagai berikut. Mula-mula balok prategang dianggap berada di atas dua tumpuan (*simple beam*) dengan tendon berbentuk parabola.

Beban yang terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam rumus dibawah ini.

$$w_b = \frac{8Fh}{L^2} \dots\dots\dots (2-1)$$

dianggap menahan beban reaksi secara merata, sehingga beban yang bekerja adalah selisih beban di atasnya (*eksternal*) dengan reaksinya.

2.2 Sistem Prategang

Metode pelaksanaan prategang pada tendon, dilakukan dua cara yang sering digunakan, yaitu pratarik (**pretensioned**) yang dimaksudkan untuk menggambarkan metode sistem prategang karena tendon-tendon ditarik sebelum beton dicor. Alternatif dari sistem pratarik, adalah sistem pasca tarik (**posttensioned**), dalam metode ini kabel ditarik setelah beton mengeras.

2.3 Bahan-bahan Beton Prategang

2.3.1 Beton

Beton yang digunakan untuk metode prategang harus memenuhi kriteria sebagai berikut ini:

1. Persyaratan Kekuatan Beton

Dalam perencanaan di lapangan, beton yang lebih kuat biasanya dibutuhkan untuk pekerjaan beton prategang daripada untuk beton bertulang konvensional. Di Amerika Serikat, beton untuk prategang umumnya digunakan beton yang mempunyai kekuatan tekan berkisar 24 hingga 55 MPa untuk sampel beton silinder yang berumur 28 hari. Sedangkan untuk sampel beton kubus diambil 1,25 kali kekuatan sampel beton silinder.

2. Karakteristik Regangan Beton

Pada beton prategang, regangan-regangan beton sangat penting untuk diketahui. Karena hal ini untuk memperkirakan kehilangan gaya prategang pada baja dan untuk memperhitungkan pengaruh-pengaruh lain dari pemendekan pada beton, seperti : regangan elastis, rangkai, dan susut.

3. Teknik Pembuatan Beton

Sebenarnya semua standar teknik pembuatan beton mutu tinggi dapat diterapkan pada beton prategang, asalkan tidak mengurangi kekuatan tinggi yang disyaratkan, tidak boleh memperbesar terjadinya rangkai dan susut, tidak boleh menghasilkan efek yang merugikan, seperti karat pada kabel baja mutu tinggi.

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pembuatan beton mutu tinggi, yaitu:

- a. cara pemadatan beton,
- b. nilai faktor air semen (fas) dan slump beton yang dipilih diusahakan bernilai rendah,
- c. penambahan zat untuk mempercepat pengikatan harus ditimbang, karena pengikatan yang terlalu cepat dapat mengakibatkan retak-retak akibat susut sebelum penerapan prategang. Pengeringan dengan uap sangat dianjurkan karena tidak menimbulkan retakan.

4. Perencanaan Berat Sendiri Beton

Dalam perencanaan berat sendiri beton harus dipertimbangkan untuk bangunan apa konstruksi beton prategang ini dibuat. Hal ini penting untuk beban mati yang merupakan bagian terbesar dari beban struktur, atau bila berat komponen struktur merupakan faktor yang dipertimbangkan saat pengangkutan dan pengangkatan. Untuk mereduksi masalah tersebut dipilih alternatif yaitu pemakaian beton ringan untuk beton prategang.

2.3.2 Baja Untuk Tendon

Baja mutu tinggi adalah bahan yang harus dipakai agar menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton. Cara pembuatan baja mutu tinggi dapat dikerjakan dengan pencampuran (*alloying*) baja dengan karbon. Semakin tinggi kadar karbon semakin kuat dan keras baja yang dihasilkan tetapi semakin kurang liat. Cara lain untuk memperbaiki sifat baja tersebut dapat

dilakukan dengan beberapa cara, antara lain: pengerjaan panas (*flame hardening*) dan pengerjaan dingin (*cold work*). Pengerjaan panas (*flame hardening*) dilakukan dengan cara memanasi permukaan baja sampai di atas suhu rekristalisasi kemudian didinginkan secara mendadak dengan cara dicelupkan ke dalam air atau minyak. Pengerjaan dingin (*cold work*) dikerjakan dengan cara penggilasan permukaan baja oleh roda baja yang keras.

Pemakaian baja mutu tinggi untuk tendon dipilih di antara tiga jenis, yaitu: kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*), dan batang (*bar*). Tendon jenis kawat di lapangan terdapat dua bentuk, bentuk polos dan berulir, serta disuplai dalam bentuk gulungan panjang. Karena itu tendon kawat cocok digunakan untuk beton pratarik yang memerlukan rekatan langsung dengan beton. Keuntungan lainnya, karena kawat tendon sangat panjang sehingga dapat digunakan untuk membuat beberapa balok beton prategang dalam satu kali tarikan. Meskipun demikian tendon kawat dapat pula digunakan untuk beton pasca tarik tetapi dirasakan tidak efektif dibandingkan dengan tendon jenis untaian kawat (*strand*).

Strand dibuat di pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama sehingga dapat mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada saat operasi penarikan tendon. Tendon jenis ini mempunyai kuat batas yang tinggi

di atas 1700 MPa tergantung jumlah kawatnya. Di Amerika Serikat, *strand* dengan tujuh kawat sering digunakan dalam beton prategang baik untuk pratarik maupun pasca tarik, meskipun harganya lebih mahal dari pada kumpulan kawat dengan kekuatan tarik yang sama. Tendon tujuh kawat mempunyai karakteristik rekatan dengan beton yang lebih baik dan hemat dalam penarikannya.

Pemakaian tendon batang di lapangan terdapat dalam bentuk polos dan ulir. Pemakaian dalam beton prategang terbatas pada balok yang bentangnya pendek. Diameter tendon batang dimulai 25,4 mm sampai 34,9 mm dengan kekuatan tegangan tarik berkisar 1000 MPa sampai 1600 MPa.

2.3.3 Pengangkuran Ujung

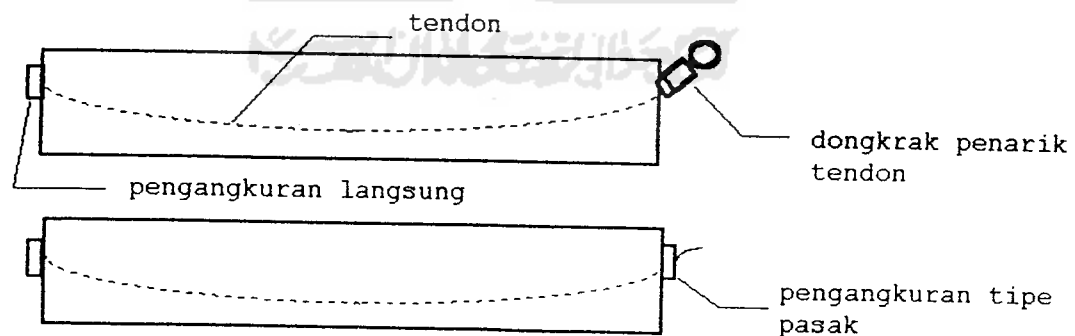
Prinsip pengangkuran ujung tendon dalam prakteknya terdapat perbedaan cara pelaksanaan pengangkuran unung menurut sistem prategang yang dipakai. Untuk sistem pratarik, cara yang sederhana yaitu dengan menarik kabel-kabel di antara dinding penahan (*bulkhead*) dan kemudian diangkurkan pada ujung-ujung pelataran kerja. Setelah beton mengeras kabel-kabel dipotong dan dilepaskan dari dinding penahan dan gaya prategang dialihkan ke beton dengan kabel yang dipasangkan angkur baja menempel di ujung-ujung balok beton.

Prinsip pengangkuran gaya prategang ke ujung-ujung

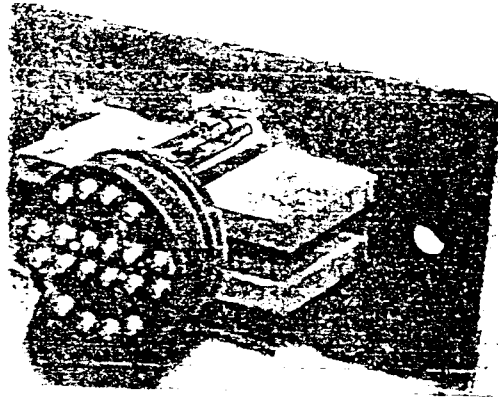
balok beton dengan sistem pasca tarik ada dua metode, yaitu:

1. dengan prinsip kerja pasak yang menghasilkan penjepit geser pada kabel,
2. dengan perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut yang dipasang pada ujung kabel.

Kedua metode ini dibuat secara sistematis. Setelah beton mengeras, mula-mula tendon-tendon diselipkan melalui selubung kemudian di salah satu ujung tendon dibuat pengangkuran perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut. Setelah angkur dibuat, lalu dioperasikan penarikan kemudian gaya prategang ditambatkan pada angkur jenis pengangkuran pasak yang menahan gesekan tendon. Gambar 2.2 di bawah ini menggambarkan metode pengangkuran tendon.



Gambar 2.2 Prinsip pengangkuran pada sistem pasca tarik



Gambar 2.3 Angkur ujung



Gambar 2.4 Angkur tipe pasak

2.3.4 Bahan Pelengkap

Di antara bahan pelengkap yang dibutuhkan untuk beton prategang antara lain adalah bahan pengisi (*grouting*) untuk selubung tendon (*sheath*). Untuk sistem pratarik tidak ada selubung yang diperlukan. Untuk sistem pascatarik, ada dua macam selubung (*conduit*), yaitu untuk sistem prategang dengan rekatan (*bonded*), dan yang untuk tanpa rekatan (*unbonded*).

Jika tendon diberi rekatan, umumnya dengan *grouting* melalui selubungnya, biasanya dipakai semen biasa atau semen yang mempunyai kemampuan tinggi dicampur dengan air. Sedangkan untuk tendon tanpa rekatan, biasanya dipakai plastik atau kertas tebal sebagai pembungkus dan

tendon diberi minyak (*grease*) untuk mempermudah penarikan dan untuk mencegah karat.

2.4 Kehilangan Gaya Prategang

Seperti yang telah dikemukakan di atas, besar gaya prategang tendon setelah terjadinya penyaluran adalah lebih kecil dibandingkan dengan gaya dongkraknya. Dalam hal ini, kehilangan prategang terjadi disebabkan terjadinya perpendekan elastis dari beton, slip pada ankur, dan akibat gesekan yang terjadi sepanjang kabel, serta kehilangan prategang dapat pula disebabkan oleh terjadinya penyusutan dan rangkak pada beton serta relaksasi pada baja yang bertegangan tinggi.

Menurut Komisi 423 ACI-ASCE 1958, besarnya perkiraan kehilangan gaya prategang secara total untuk yang diakibatkan perpendekan elastis, penyusutan, rangkak, serta relaksasi, tetapi tidak termasuk kehilangan yang terjadi akibat gesekan serta slip pada ankur, adalah:

untuk proses pratarik ("*pretensioned*") : 241 MPa

untuk proses pascatarik ("*posttensioned*") : 172 MPa.

Perkiraan ini, umumnya dipakai untuk perancangan konstruksi jembatan. Kemudian pada tahun 1975, AASHTO mengeluarkan ketentuan mengenai nilai kehilangan gaya prategang seperti tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Jumlah Kehilangan Gaya Prategang Total AASTHO

Jenis Baja Prategang	Kehilangan Gaya Prategang Total	
	$f'_c = 28$ MPa	$f'_c = 35$ MPa
Strand Pratarik	-	310 MPa
Kawat atau strand Pasca-tarik ^a	220 Mpa	230 MPa
Batang	150 MPa	160 Mpa

^a Kehilangan gaya prategang tidak termasuk akibat gesekan.

Sedangkan *The Posttensioning Institute* (1976) mencantumkan rekomendasi untuk keseluruhan kehilangan gaya prategang pada Tabel 2.2 sebagai petunjuk untuk beton Prategang sistem Pascatarik.

Tabel 2.2. Nilai Pendekatan Kehilangan Gaya Prategang Sistem Pasca tarik

Material Tendon Pasca Tarik	Kehilangan Gaya Prategang	
	Pelat	Balok dan balok-anak
Strand stress relieved 270 dan kawat stress relieved 240	210 MPa	240 MPa
Batang	140 MPa	170 MPa

Pemakaian perkiraan keseluruhan kehilangan gaya prategang seperti yang diuraikan di atas, direkomendasikan hanya untuk keadaan umum saja.

Untuk kasus-kasus cara perkiraan kehilangan gaya

secara total tidak dipakai, misalnya : pada batang-batang yang mempunyai proporsi yang tidak umum, panjang bentang yang khusus, atau apabila dipakai beton ringan, maka harus dilakukan suatu perkiraan kehilangan secara terpisah. Rumus-rumus untuk mencari perkiraan kehilangan gaya prategang (f_s) untuk masing-masing bagian yang menyebabkan perpendekan beton dapat disebutkan dibawah ini.

1. Slip pada Angkur

$$f_{s,slip} = E_s \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan L adalah panjang kabel

2. Perpendekan elastis beton

$$f_{s,elastis} = \frac{T_o - T_f}{A_s} = \frac{nT_f}{A_c} = \frac{nT_o}{A_T} \dots\dots\dots (2-3)$$

3. Susut pada Beton

$$f_s = \Delta_{sh} \cdot E_s \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan Δ_{sh} = regangan susut dalam beton

4. Rangkak dalam beton

$$\Delta f_s = C_t \cdot n \cdot f_c \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan

$C_t = 2,0$ untuk pratarik dan $1,6$ untuk pascatarik

$f_c =$ Tegangan tekan yang terjadi pada beton.

5. Relaksasi dari Tegangan Baja

Umumnya besar kehilangan tegangan diambil antara 2 sampai

3% dari tegangan awal baja.

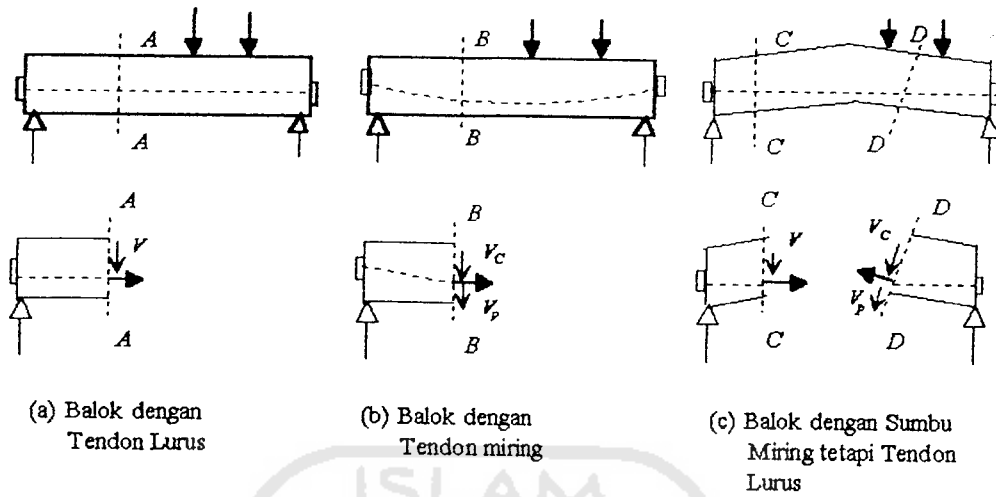
6. Gesekan antara tendon dan bahan lain di sekelilingnya untuk mengatasi kehilangan gaya prategang ini ada beberapa metode, salah satunya adalah metode penarikan berlebihan (*overtensioned*) dari yang direncanakan asal tidak melebihi titik leleh tendon. ACI membatasi gaya dongkrak sampai $0,80f_{pu}$.

2.5 Kekuatan Geser Pada Beton Prategang

Kekuatan beton prategang di dalam menahan lenturan telah cukup dikenal, tetapi kekuatannya di dalam menahan geseran atau kombinasi geser dan lentur tidak dapat diramalkan dengan teliti. Sekitar tahun 1955, banyak balok prategang telah diuji kekuatannya terhadap kekuatan lentur, tetapi hanya sedikit terhadap tarikan. Akan tetapi antara tahun 1955 dan 1961, ratusan contoh balok beton telah diuji untuk menentukan kekuatannya menahan geseran atau momen dan geser. Pada kenyataannya dapat dikatakan bahwa balok beton prategang lebih dapat diandalkan kekuatannya dalam menahan geseran daripada balok beton bertulang konvensional. Hal ini dapat dilihat pada bangunan yang dibuat dengan beton prategang masih tetap berdiri, walaupun telah berusia tua.

Kekuatan geser yang dihasilkan beton prategang dihitung dari persamaan perancangan yang merupakan perluasan dari pengalaman terhadap struktur beton

bertulang biasa.



Gambar 2.3 Gaya Geser yang dipikul beton dan tendon

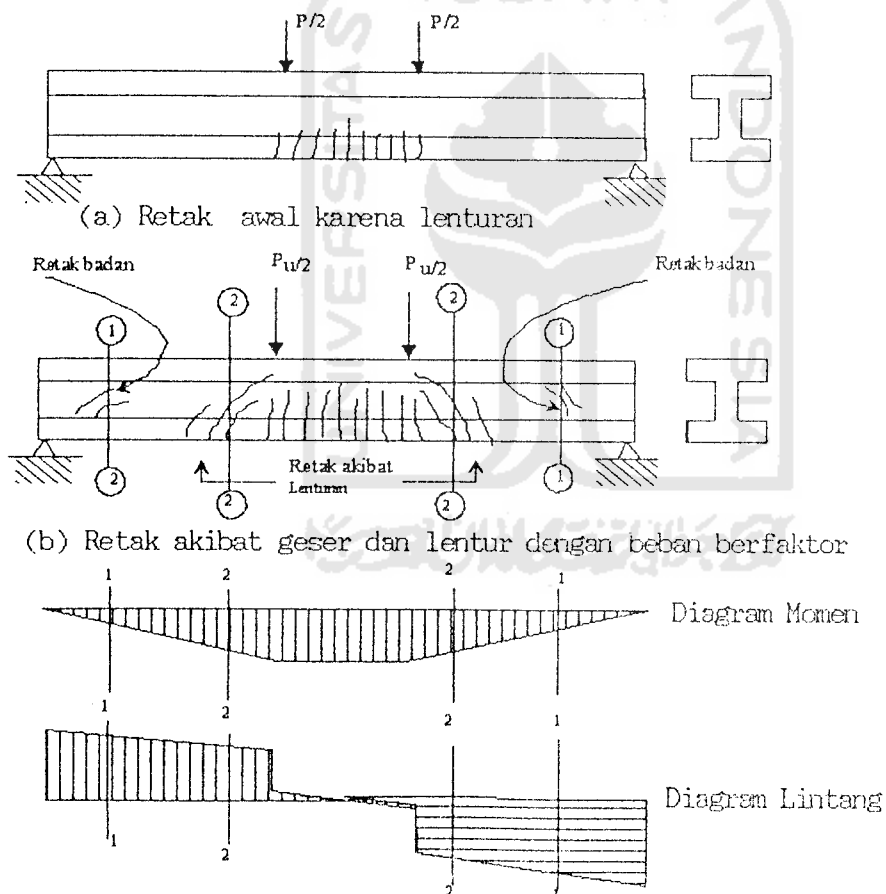
Gambaran umum dari geseran pada balok prategang akan diterapkan Gambar 2.3 di atas. Balok (a) diberi gaya prategang dengan tendon lurus. Dengan meninjau penampang sembarang A - A, gaya geser V pada penampang tersebut sepenuhnya dipikul oleh beton dan bukan oleh tendon yang diberi gaya prategang tegak lurus. Balok (b) diberi gaya prategang dengan tendon yang miring. Penampang B - B memperlihatkan tendon memikul gaya lintang (gaya geser) dan sisanya sebagian lagi dipikul oleh beton, sehingga :

$$V_c = V - V_p \dots\dots\dots (2-6)$$

- dengan V_c = kekuatan geser pada beton,
- V = kekuatan geser total,
- V_p = kekuatan geser tendon

Sedangkan pada penampang C - C balok (c) memperlihatkan bahwa walaupun tendon dibuat menyudut terhadap sumbu balok, sedikit pun tidak memikul gaya geser vertikal. Pada penampang D - D, memperlihatkan tendon tidak tegak lurus terhadap geser sehingga tendon memikul gaya tersebut.

Pendekatan dalam peraturan ACI mempunyai dasar yang rasional untuk mempertimbangkan bagaimana retak akibat geser yang terjadi pada struktur prategang.



Gambar 2.4 Perkembangan Retak balok akibat Geseran

Pada Gambar 2.4 perkembangan retak yang terjadi pada penampang sangat berpengaruh pada gaya geser dan momen. Mula-mula retak dimulai pada tengah bentang yang disebut

retak lentur akibat momen, Gambar 2.4(a); kemudian pengaruh kombinasi geseran dan momen mengakibatkan kehancuran pada penampang 2-2, Gambar 2.4(b) Retak miring di badan (*web*) pada penampang 1-1 dari balok, disebabkan geseran yang dominan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan, bahwa ada dua jenis kehancuran yang terjadi pada balok akibat geseran: pertama, retak terdapat di badan akibat tarikan utama yang tinggi, dan kedua retak akibat lentur yang mula-mula vertikal dan sedikit demi sedikit berkembang menjadi retak miring akibat geseran.

