4. HUBUNGAN BALOK-KOLOM

4.1. Pendahuluan

Ketentuan hubungan balok kolom (join) baik pada peraturan lama (SNI 03-2847-1992) maupun peraturan baru (SNI 03-2847-2002) terdapat beberapa perbedaan khususnya dalam hal kuat geser. Pada peraturan lama terdapat perumusan-perumusan antara lain mengenai tegangan geser horizontal dan vertikal nominal dalam join, geser yang dipikul beton dalam join dan luas tulangan join. Peraturan baru memperhitungkan pegaruh pengekangan lateral dari balok-balok yang bertemu pada join.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
Pasal 23.5.1 Ketentuan Umum	**Pasal 3.14.6.1. ketentuan umum, yaitu :**
(1) Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25f_y.	(1) Gaya di dalam tulangan balok longitudinal pada sisi muka join harus ditentukan dengan asumsi bahwa tegangan di dalam tulangan tarik lentur adalah 1,25f_y dan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan ketentuan dalam ayat 3.2.3.
(2) Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan 11.3.	
(3) Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang dan diangkur sesuai dengan 23.5(4) untuk tulangan tarik dan pasal 14 untuk tulangan tekan.	(7) Tulangan longitudinal balok yang berakhir di dalam suatu kolom harus diteruskan hingga sisi muka terjauh dari inti kolom terkekang dan dijangkarkan menurut ayat 3.14.6 butir 4 untuk tarik dan menurut pasal 3.5 untuk tekan :
(4) Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.	

Penjelasan :

Terbentuknya rotasi inelastik pada muka join dari suatu struktur beton bertulang berhubungan dengan regangan pada tulangan lentur yang melebihi regangan lelehnya. Konsekuensinya gaya geser join yang disebabkan oleh tulangan lentur dihitung berdasarkan tegangan sebesar $1.25f_y$ pada tulangan lentur tersebut (ACI 318R-02). Faktor pengali sebesar 1.25 telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu karena tegangan leleh aktual tulangan yang lebih besar dari nilai nominalnya dan adanya pengaruh *"strain hardening"* pada tulangan baja (ACI-ASCE 352, 1991). Semakin besar gaya tarik pada tulangan baja, mengakibatkan semakin besar pula gaya geser pada join (ACI 318R-99).

Kekuatan join harus direncanakan dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan yang memperhitungkan beban lentur, aksial, geser dan torsi sesuai dengan pasal 11.3 SNI 03-2847-2002.

Pada peraturan baru terdapat syarat dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok. Penelitian telah menunjukkan tulangan longitudinal balok dapat mengalami slip dalam join selama terjadinya gempa. Slip yang terjadi dapat memperbesar rotasi join. Selain itu tulangan longitudinal balok dapat menerima tegangan ikat (*bond stress*) yang sangat besar. Untuk menghindari terjadinya slip dan juga mengurangi kemungkinan kegagalan struktur akibat *"loss of bonding"*, maka diberikan pembatasan rasio dimensi kolom terhadap diameter tulangan longitudinal balok untuk beton berat normal maupun beton ringan (ACI 318R-02). Rasio untuk beton berat normal yaitu sebesar 20. Karena kurangnya data maka modifikasi untuk beton ringan digunakan faktor sebesar 1,3 yang diambil dari pasal 14 SNI 03-2847-2002. Sehingga rasio minimum dimensi kolom terhadap diameter tulangan longitudinal balok untuk beton ringan sebesar : 1,3 x 20 = 26.

SNI 03-2847-2002	**SNI 03-2847-1992**
Pasal 23.5.2. Tulangan transversal	**Pasal 3.14.6.1. ketentuan umum, yaitu :**
(1) Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup sesuai 23.4(4) harus dipasang di dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh	(5) Himpunan sengkang horisontal ini harus didistribusikan secara merata diantara tulangan balok longitudinal atas dan bawah.

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
Pasal 23.5.2. Tulangan transversal komponen-komponen struktur sesuai 23.5(2(2)). (2) Pada hubungan balok-kolom di mana balok-balok, dengan lebar setidak-tidaknya sebesar tiga per empat lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidak-tidaknya sejumlah setengah dari yang ditentukan pada 23.4(4(1)). Tulangan transversal ini dipasang didaerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal yang ditentukan 23.4(4(2b)) dapat diperbesar menjadi 150 mm. (3) Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, tulangan transversal yang ditentukan pada 23.4(4) harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar daerah inti kolom; terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada hubungan tersebut.	

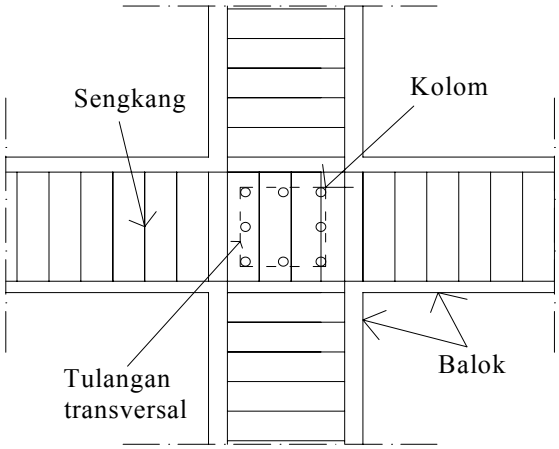
Penjelasan :

Meskipun gaya geser yang terjadi pada join rendah, tulangan transversal tetap diperlukan di sekeliling tulangan longitudinal kolom (ACI 318R-02). Tulangan transversal pada join ditujukan untuk menyediakan pengekangan yang cukup bahkan setelah terjadi *spalling* pada beton (ACI 318R-99). Tulangan transversal yang diberikan harus sesuai dengan pasal 23.4(4) SNI 03-2847-2002 yaitu persyaratan tulangan transversal kolom pada daerah sendi plastis.

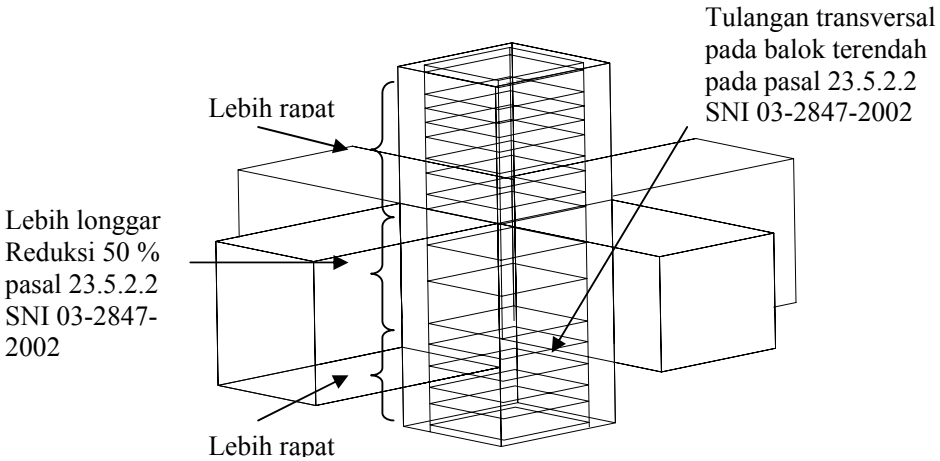
Jumlah tulangan transversal yang disyaratkan di atas tidak memperhitungkan besarnya gaya geser yang terjadi pada join. Persyaratan sebesar 50 % tersebut menunjukkan adanya efek yang menguntungkan yang disediakan oleh balok-balok pengekang tersebut (*transverse beam*) dalam menahan *bursting pressures* yang terjadi pada join tersebut (ACI 318R-83). Jadi apabila balok-balok dengan lebar minimal sebesar tiga per empat lebar kolom merangka pada keempat sisi join maka tulangan transversal ini dapat direduksi sebesar 50 % (ACI 318R-

,1989). Ketentuan mengenai tulangan transversal tersebut tidak terdapat pada peraturan lama.

Apabila pada join lebar balok lebih besar daripada lebar kolom maka tulangan balok yang tidak terkekang oleh tulangan kolom dapat diberi pendukung lateral yang disediakan oleh balok-balok yang merangka pada join tersebut ataupun dengan memberikan tulangan transversal (ACI 318R-02).



Gambar 4.1 Tampak atas tulangan transversal balok pada hubungan balok-kolom



Gambar 4.2 Tulangan transversal balok pada hubungan balok-kolom

SNI 03-2847-2002	**SNI 03-2847-1992**
Pasal 23.5.3. Kuat geser (1) Kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.	**Pasal 3.14.6.1. ketentuan umum, yaitu :** (2) Niai V_{jh} tidak boleh melebihi 1,5 $\sqrt{fc'}$

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
Pasal 23.5.3. Kuat geser	**Pasal 3.14.6.1. ketentuan umum, yaitu :**

Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya : 1,7 $\sqrt{f_c'}\ A_j$

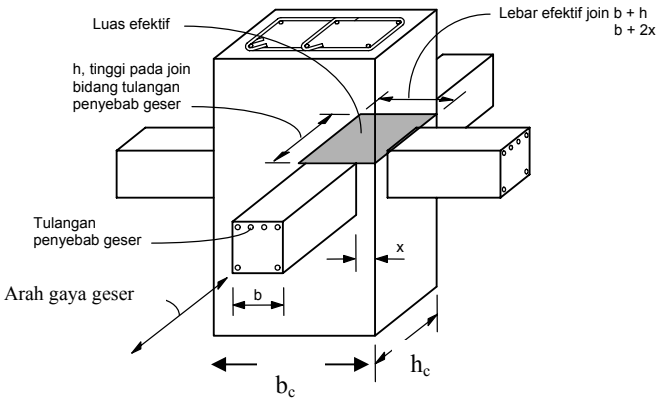
Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan : 1,25 $\sqrt{f_c'}\ A_j$

Untuk hubungan lainnya : 1,0 $\sqrt{f_c'}\ A_j$

Luas efektif hubungan balok-kolom A_j ditunjukan pada Gambar 43.

Suatu balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya tiga per empat bidang muka hubungan balok-kolom tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok-kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok pengekang yang merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.

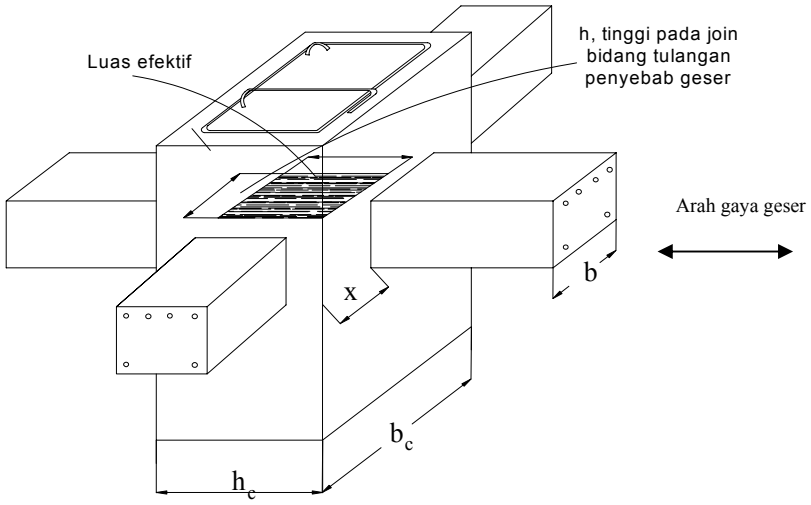
(2) Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada tiga per empat nilai-nilai yang diberikan pada 23.5(3(1)).



Gambar 43. Luas efektif hubungan balok-kolom

Penjelasan :

Faktor yang menentukan dalam menghitung kapasitas join adalah luas efektif (A_j) join seperti ditunjukkan dalam gambar 43 SNI 03-2847-2002. Kekuatan geser join tidak ditentukan oleh tulangan geser (transversal) dari join tersebut (ACI 318R-02). Komite 318 ACI telah menetapkan bahwa kekuatan join merupakan fungsi dari kekuatan beton (f_c').



Gambar 4.3. Luas efektif hubungan balok-kolom

Gaya geser rencana V_u seharusnya dihitung pada bidang horizontal di tengah join dan memenuhi persamaan : $\Phi V_n \geq V_u$ dengan $\Phi = 0.85$ (ACI-ASCE 352, 1991). Kekuatan geser nominal V_n pada join dirumuskan sebagai berikut :

$$V_n = \gamma \sqrt{f_c'}\, A_j$$

Untuk hubungan yang terkekang pada keempat sisinya :

$$V_n = 1{,}7 \sqrt{f_c'}\, A_j$$

Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan :

$$V_n = 1{,}25 \sqrt{f_c'}\, A_j$$

Untuk hubungan lainnya :

$$V_n = 1{,}0 \sqrt{f_c'}\, A_j$$

Berdasarkan penelitian, join dengan tegangan geser yang rendah menunjukkan perilaku yang lebih baik dari pada meningkatkan jumlah tulangan pada join tersebut. Tegangan geser pada join sangat menentukan dalam hal

kekuatan dan kekakuan join tersebut. Tegangan geser join yang rendah dapat menstabilkan kehilangan kekuatan dan kekakuan tanpa tergantung pada jumlah tulangan pada join tersebut (Durrani dan Wight, 1985). Dari percobaan yang dilakukan didapatkan batas nilai γ untuk join interior adalah 1,7.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ehsani dan Wight untuk join eksterior didapatkan bahwa untuk join yang mempunyai tegangan geser rendah mengalami kerusakan yang lebih sedikit dibandingkan dengan join yang mempunyai tegangan geser lebih tinggi. Pada join dengan tegangan geser tinggi, tulangan pada balok tertarik dan tulangan pada kolom mengalami slip pada saat pembebanan awal. Dari hasil penelitian didapatkan batas nilai γ untuk join eksterior sebesar 1,25. Hubungan balok-kolom (join) yang didesain dengan tegangan geser yang tidak melebihi ketentuan di atas menunjukkan perilaku yang baik dalam menerima beban gempa bolak-balik. Dengan adanya balok-balok pengekang (*transverse beams*) dapat meningkatkan tegangan geser rencana pada join tersebut (ASCE, 1981).

Jika tegangan geser ultimate pada join lebih besar dari nilai yang disyaratkan di atas ($\Phi V_n \leq V_u$) maka dimensi join harus ditingkatkan untuk mengurangi tegangan geser yang terjadi. Hal ini lebih baik dari pada menyediakan tulangan transversal yang lebih banyak. Tulangan transversal yang banyak pada join dapat menyebabkan terjadinya pertemuan tulangan yang terlalu rapat pada join tersebut sehingga akan menyulitkan pada waktu pelaksanaan (Ehsani dan Wight, 1985). Dalam hal memperbesar dimensi join, perencana dapat memperbesar ukuran kolom atau tinggi balok. Memperbesar ukuran kolom dapat meningkatkan kapasitas geser join sedangkan memperbesar tinggi balok dapat mengurangi jumlah tulangan lentur pada balok sehingga mengurangi tegangan geser yang diteruskan ke join tersebut (ACI 318R-83). Peningkatan kekuatan beton juga merupakan cara untuk memperbesar kapasitas geser join (ACI 318R-99).

Dimensi join dinyatakan dalam luasan join, yaitu A_j yang dirumuskan :

$$A_j = b_j \times h \qquad (4.2)$$

dimana : b_j = lebar efektif join

h = tinggi kolom

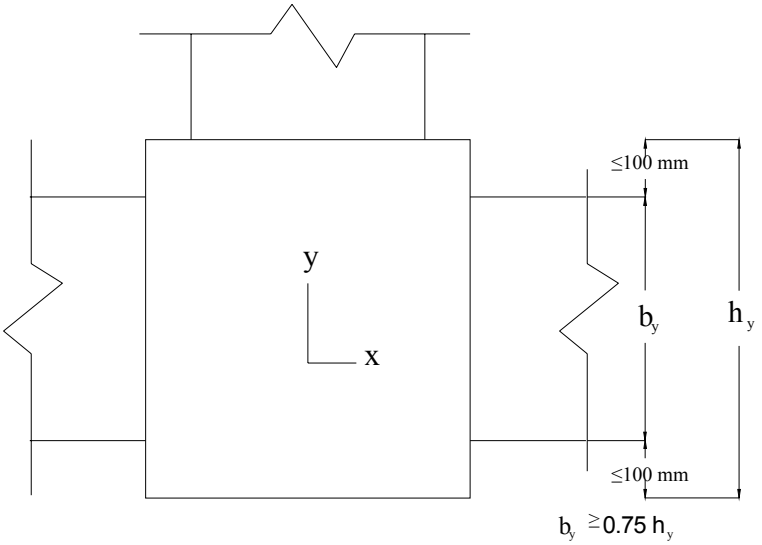
Bilamana terdapat suatu balok yang merangka pada suatu tumpuan yang mempunyai lebar yang lebih besar maka lebar efektif join tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :

(a) Lebar balok ditambah tinggi join (h)

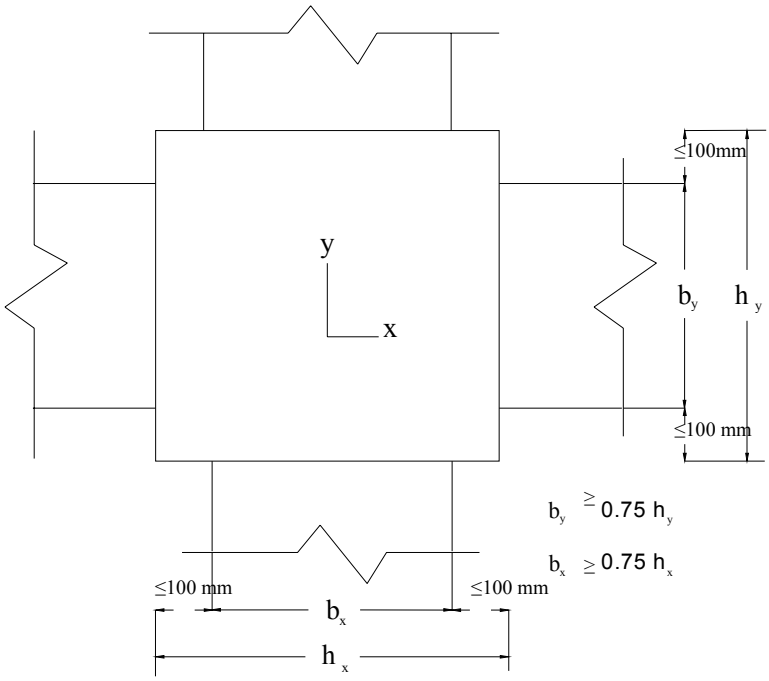
(b) Dua kali jarak tegak lurus yang terkecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 43 SNI 03-2847-2002.

Suatu join interior mempunyai komponen struktur horizontal yang merangka pada keempat sisi join tersebut. Komponen struktur horizontal ini seharusnya menutupi paling sedikit tiga per empat bidang muka join tersebut. Jika keempat komponen horizontal tersebut tidak memenuhi persyaratan di atas maka join tersebut diklasifikasikan sebagai join eksterior dengan batasan nilai γ yang sesuai dengan peraturan di atas. Sedangkan join eksterior mempunyai paling sedikit dua komponen struktur horizontal yang merangka pada sisi yang berlawanan pada join. Lebar dari komponen horizontal tersebut seharusnya menutupi paling sedikit tiga per empat lebar kolom. Jika kedua komponen horizontal tersebut tidak memenuhi persyaratan di atas maka join tersebut diklasifikasikan sebagai "hubungan lainnya" (*corner*) dengan batasan nilai γ yang sesuai dengan peraturan di atas. Tidak semua join yang mempunyai komponen horizontal pada keempat sisinya diklasifikasikan sebagai join interior. Jika dimensi komponen horizontal tersebut tidak memenuhi persyaratan maka komponen horizontal tersebut tidak dianggap memberikan kekangan dan nilai γ yang digunakan menjadi lebih rendah. Demikian halnya untuk pengklasifikasian join eksterior (ACI-ASCE 352, 1991).

Ketentuan mengenai kuat geser pada peraturan lama tidak memperhatikan kekangan yang diberikan balok-balok yang merangka pada sisi join. Maksimum kuat geser yang dapat diterima oleh join adalah sebesar 1,5 $\sqrt{fc'}$ untuk semua jenis join.



Gambar 4.4. Persyaratan dimensi komponen horizontal kolom eksterior



Gambar 4.5. Persyaratan dimensi komponen horizontal kolom interior

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
Pasal 23.5.4. Panjang penyaluran tulangan tarik	**Pasal 3.14.6.2. panjang penyaluran tulangan tarik, yaitu :**
(1) Panjang penyaluran ℓ_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal tidak boleh diambil lebih kecil daripada $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh persamaan 126 berikut ini, $\ell_{dh} = f_y d_b / (5{,}4\sqrt{f_c'})$ (126) untuk diameter tulangan sebesar 10 mm hingga 36 mm. Untuk beton ringan, panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standar 90° tidak boleh diambil lebih kecil daripada $10d_b$, 190 mm, dan 1,25 kali nilai yang ditentukan persamaan 126. Kait standar 90° harus ditempatkan di dalam inti terkekang kolom atau komponen batas.	(1) Panjang penyaluran ℓ_{dh} dari suatu batang tulangan dengan kait standar 90 derajat dalam beton normal tidak boleh kurang dari $8d_b$, 150 mm dan panjang perlu yang ditentukan oleh Pers (3.14-18). $\ell_{dh} = f_y d_b / (5{,}4\sqrt{f_c'})$ (3.14-18) untuk batang tulangan D-10 hingga D-35 Untuk beton dengan agregat ringan, panjang penyaluran dari suatu batang tulangan dengan standar kait 90 derajat tidak boleh kurang dari 10_{db}, 190 mm dan 1,25 kali panjang perlu ditentukan oleh Pers. (3.14-18). Kait 90-derajat tersebut harus terletak di dalam inti yang terkekang dari suatu kolom atau suatu komponen struktur pembatas;
(2) Untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik ℓ_d tanpa kait tidak boleh diambil lebih kecil daripada (a) dua setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada 23.5(4(1)) bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang daripada 300 mm, dan (b) tiga setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada 23.5(4(1)) bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.	(2) Panjang penyaluran ℓ_d, dari suatu batang tulangan lurus yang mempunyai ukuran D-10 hingga D-35 tidak boleh kurang dari (a) dua setengah (2,5) kali panjang perlu menurut ketentuan dalam ayat 3.14.6 butir 2 sub butir 1 bila tinggi dari beton yang dituang dalam satu kali penuangan di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm dan (b) tiga setengah (3,5) kali panjang perlu menurut ayat 3.14.6 butir 2 sub butir 1 bila tinggi dari beton yang dituang dalam satu kali penuangan di bawah batang tulangan tersebut melebihi 300 mm
(3) Tulangan tanpa kait yang berhenti pada hubungan balok-kolom harus diteruskan melewati inti terkekang dari kolom atau elemen batas. Setiap bagian dari tulangan tanpa kait yang tertanam bukan di dalam daerah inti kolom terkekang harus diperpanjang sebesar 1,6 kali.	(3) Batang tulangan lurus yang berakhir pada suatu join harus menembus inti terkekang dari suatu kolom atau suatu komponen struktur pembatas. Setiap bagian dari panjang penanaman lurus yang tidak terletak di dalam inti yang terkekang harus ditingkatkan dengan suatu faktor sebesar 1,6.
(4) Bila digunakan tulangan yang dilapisi epoksi, panjang penyaluran pada 23.5(4(1)) hingga 23.5(4(3)) harus dikalikan dengan faktor-faktor yang berlaku yang ditentukan pada 14.2(4) atau 14.5(3(6)).	

Penjelasan :

Panjang penyaluran minimum untuk tulangan baja berulir dengan kait standar untuk beton berat normal ditentukan dengan menggunakan persamaan 126 SNI 03-2847-2002 atau persamaan 3.14-18 SNI 03-2847-1992. Persamaan tersebut didasarkan pada pasal 14.5 SNI 03-2847-2002 mengenai penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik. Pasal 14.5(2) SNI 03-2847-2002 merumuskan panjang penyaluran dasar l_{hb} untuk suatu batang berkait dengan f_y = 400 MPa yaitu :

$$l_{hb} = 100 d_b / \sqrt{f_c'} \qquad (4.3)$$

Panjang penyaluran, l_{dh} untuk batang ulir dalam kondisi tarik yang berakhir dalam suatu kait standar harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{hb} dengan fakor-faktor yang sesuai dengan pasal 14.5(3) SNI 03-2847-2002. Faktor-faktor tersebut antara lain faktor sengkang atau sengkang ikat (0,8), faktor minimum selimut beton (0,7), faktor beban siklis (1,1) dan faktor 1,25 untuk *overstrength* pada tulangan baja (ACI 318R-99). Nilai l_{hb} pada persamaan 4.3 dikalikan dengan faktor-faktor di atas sehingga menjadi :

$$l_{dh} = (0{,}8 \times 0{,}7 \times 1{,}25 \times 1{,}1) \times 100\ d_b / \sqrt{f_c'}$$

$$l_{dh} = 77\ d_b / \sqrt{f_c'} = fydb / (5{,}4 \sqrt{f_c'})$$

Panjang penyaluran, l_{dh} yang dirumuskan di atas tidak boleh kurang dari $8d_b$ ataupun 150 mm sesuai pasal 14.5(1) SNI 03-2847-2002. Untuk beton ringan, panjang penyaluran pada persamaan 126 SNI 03-2847-2002 dinaikkan 25% sebagai kompensasi dari karakteristik ikatan tulangan baja yang bervariasi. Persyaratan minimum panjang penyaluran tulangan tarik tanpa kait merupakan perkalian dari panjang penyaluran pada persamaan 126 SNI 03-2847-2002 sesuai

dengan ketebalan beton di bawah tulangan tersebut. Persyaratan 23.5(4(2b)) berlaku untuk tulangan tarik atas (ACI 318R-02).

Jika panjang penyaluran tulangan tarik tanpa kait yang disyaratkan melebihi daerah inti kolom terkekang maka panjang penyaluran tulangan tanpa kait yang berada di luar daerah inti kolom terkekang tersebut harus diperbesar sebesar 1,6 kali. Hal ini disebabkan tegangan ikat batas (*limiting bond stress*) di luar daerah inti kolom terkekang lebih kecil dari pada di dalam daerah inti kolom terkekang tersebut (ACI 318R-02). Panjang penyaluran tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$l_{dm} = 1{,}6\ (l_d - l_{dc}) + l_{dc}$$

atau

$$l_{dm} = 1{,}6\ l_d - 0.6\ l_{dc} \qquad (4.4)$$

dimana :

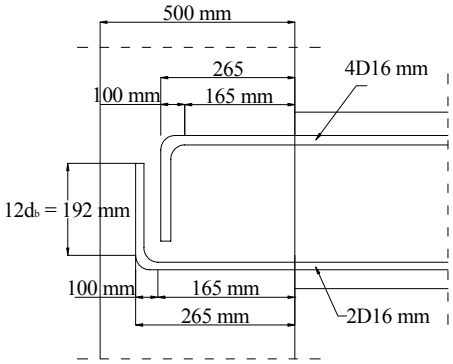
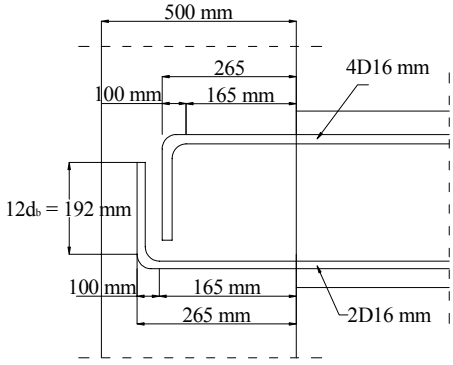
l_{dm} = panjang penyaluran minimum jika batang tulangan tidak seluruhnya tertanam dalam inti kolom terkekang.

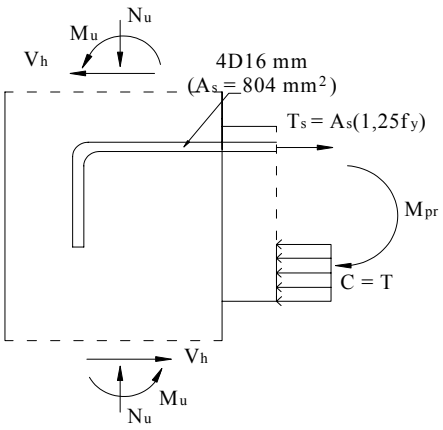
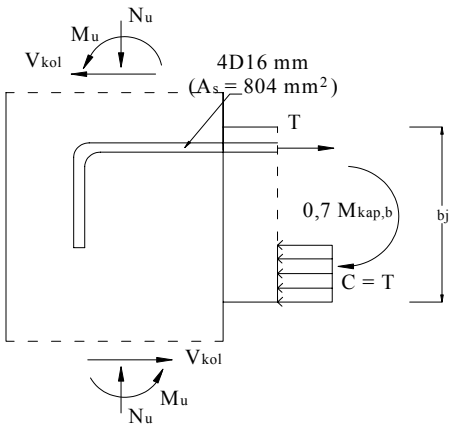
l_d = panjang penyaluran minimum untuk tulangan tanpa kait yang tertanam dalam inti kolom terkekang (pasal 23.5.4(3) SNI 03-2847-2002).

l_{dc} = panjang batang tulangan yang tertanam dalam inti kolom terkekang.

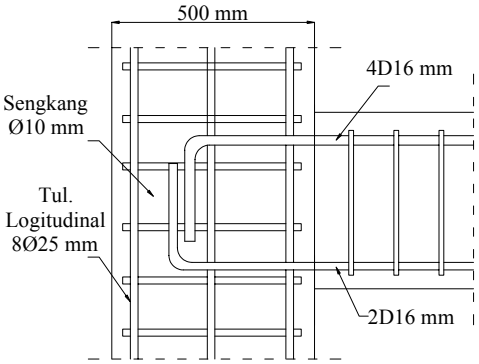
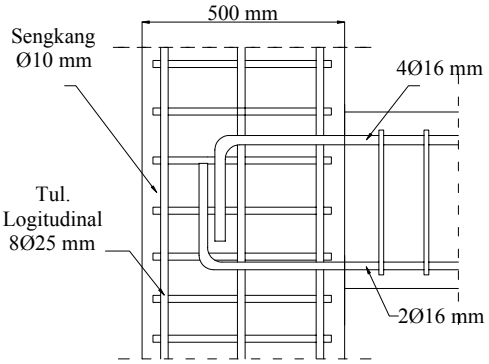
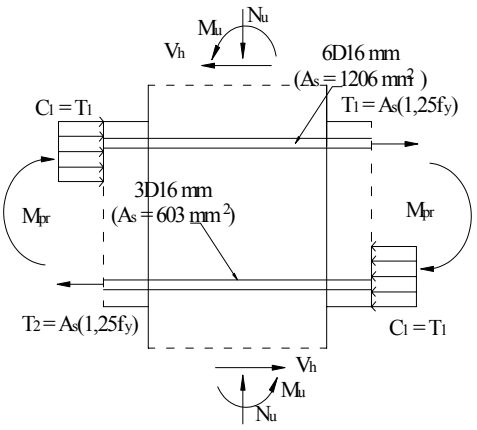
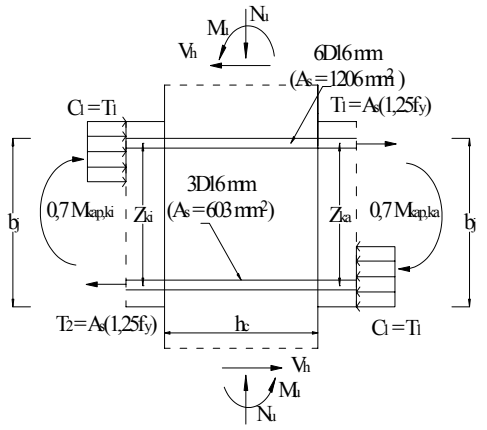
Apabila digunakan tulangan yang dilapisi epoksi maka panjang penyaluran yang disyaratkan pada pasal 23.5(4(1)) hingga 23.5(4(3)) harus dikalikan dengan faktor-faktor yang ditentukan pada pasal 14.2(4) yaitu faktor lokasi penulangan (α), faktor pelapis (β), faktor ukuran batang tulangan (γ), faktor beton agregat ringan (λ) dan pada pasal 14.5(3(6)) yaitu faktor untuk tulangan berlapis epoksi sebesar 1,2.

Contoh perhitungan untuk hubungan balok-kolom :

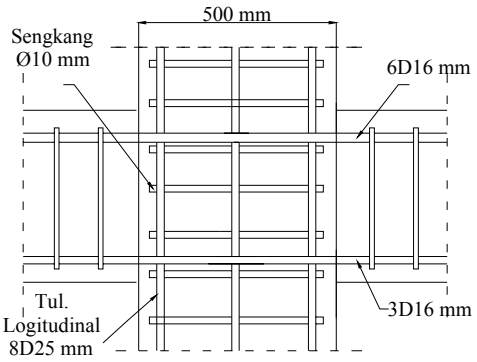
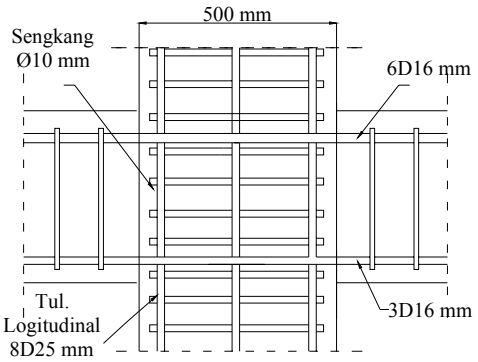
SNI 03-2847-2002	**SNI 03-2847-1992**
SRPMK (Asumsi gaya dalam pada as-as)  Panjang penyaluran ℓ_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° $\ell_{dh} \geq f_y d_b / (5{,}4\sqrt{f_c'})$ $\ell_{dh} \geq 8 d_b$ $\ell_{dh} \geq 150$ mm Tulangan atas dan bawah $\ell_{dh} = 400.16 / (5{,}4\sqrt{20}) = 265{,}02$ mm $\ell_{dh} = 8.16 = 128$ mm $\ell_{dh} = 150$ mm Jadi dipakai $\ell_{dh} = 265{,}02$ mm **Join eksterior** $T = A_s(1{,}25 f_y) = 804.1{,}25.400 = 402$ kN $V_h = \frac{M_{pr}}{h} = \frac{165{,}06}{4} = 41{,}27$ kN $V_u = 402 - 41{,}27 = 360{,}73$ Kn	**Daktilitas Tingkat 3** (Asumsi gaya dalam pada as-as)  Panjang penyaluran ℓ_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° $\ell_{dh} \geq f_y d_b / (5{,}4\sqrt{f_c'})$ $\ell_{dh} \geq 8 d_b$ $\ell_{dh} \geq 150$ mm Tulangan atas dan bawah $\ell_{dh} = 400.16 / (5{,}4\sqrt{20}) = 265{,}02$ mm $\ell_{dh} = 8.16 = 128$ mm $\ell_{dh} = 150$ mm Jadi dipakai $\ell_{dh} = 265{,}02$ mm **Join eksterior** $l_{ki} = 0$ $l^*_{ki} = 0$ $l_{ka} = 6$ m $l^*_{ka} = 6\text{-}0{,}5 = 5{,}5$ m tinggi = 4 m $M_{nak,ki} = 0$

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
$\emptyset V_c = \emptyset\ 1{,}25\sqrt{f_c'}\ A_j$ $\emptyset V_c = 0{,}8.\ 1{,}25.\ \sqrt{20}\ 500.500$ $= 1118{,}03$ kN > V_u OK  h_c = 500-(2*40) = 420 mm A_{ch} = 420 x 420 = 176400 mm^2 A_g = 500 x 500 = 250000 mm^2 Diketahui sengkang kolom Ø10 dengan jarak spasi 100 m $A_{sh} \geq$ $\rho_s = 0{,}12\, f_c'/f_{yh}$ $A_{sh} = 0{,}12.S.h_c.f_c'/f_{yh}$ $= 0{,}12.100.420.20/240$ $= 420$ mm² $A_{sh} = 0{,}3\ (sh_c f_c'/f_{yh})[(A_g/A_{ch})\text{-}1]$ $A_{sh} = 0{,}3\ (100.420.20/240)x$ $[(250000/176400)\text{-}1]$ A_{sh} = 438,10 mm² Sengkang rangkap Ø10 mm A tersedia 4 x 78,5 = 314 mm^2 Jumlah sengkang = 2 lapis	$M_{nak,ka}$ = 134,64 kNm $M_{kap,b\ ki}$ = 0 $M_{kap,b\ ka}$ = 168,29 kNm  $V_{kol} = \dfrac{0{,}70\left(\frac{l_{ki}}{l_{ki}^*}M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka}^*}M_{kap,ka}\right)}{1/2\ (h_{k,a} + h_{k,b})}$ $V_{kol} = \dfrac{0{,}70\left(0 + \frac{6}{5{,}5}168{,}29\right)}{1/2\ (4+4)}$ V_{kol} = 32,13 kN $T = C = 0{,}70\ \dfrac{M_{kap}}{Z}$ $= 0{,}7.\dfrac{168{,}29}{0{,}4} = 294{,}51$ kN $V_{j.h} = C_{kl} + T_{ka} - V_{kol}$ $= 0 + 294{,}51 - 32{,}13 = 262{,}38$ kN $V_{j.v} = b_j/h_c * V_{j,h}$ $= 500/500 * 262{,}38 = 262{,}38$ kN **Kontrol tegangan geser horizontal minimal** $1{,}5.\sqrt{f_c'} = 6{,}71$ MPa

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
	(Pasal 3.14.6.1(2)) bila $b_c > b_b$, maka : $b_j = \min(b_c, b_b + h_c/2)$ $= \min(500, 300+500/2)$ $b_j = 500$ mm $h_c = 500$ mm $V_{jh} = V_{jh} / (b_j.h_c)$ $= 1{,}55$ N/mm^2 < 6,71 MPa (Ok) **Penulangan geser horizontal** $0{,}1.\ f_c^{'} = 2$ MPa $N_u = 599{,}90$ kN $V_{ch} = 2/3\ \sqrt{N_{uk}/A_g - 0{,}1 f_c^{'}}\, b_j h_e$ $V_{ch} = 2/3$ $\sqrt{599{,}90.10^3 / 500^2 - 0{,}1.20}.0{,}5.0{,}5$ $= 0{,}92$ kN $V_{sh} + V_{ch} = V_{jh}$ $V_{sh} = 262{,}38 - 0{,}92 = 261{,}46$ kN $A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y} = \frac{261{,}46}{400} = 653{,}65$ mm^2 Sengkang rangkap Ø10 mm A tersedia 4 x 78,5 = 314 mm^2 Jumlah sengkang = 3 lapis **Penulangan geser vertikal** $V_{cv} = A'_{sc}\ \frac{V_{jh}}{A_{sc}}\left(0{,}6 + \frac{N_{u,k}}{A_g f_c^{'}}\right)$ $V_{cv} = A'_{sc}\ \frac{V_{jh}}{A_{sc}}\left(0{,}6 + \frac{N_{u,k}}{A_g f_c^{'}}\right)$ $= \frac{262{,}28}{1}\left(0{,}6 + \frac{599{,}90.10^3}{500^2.20}\right)$ $= 262{,}28$ x 0,72 = 188,84 kN

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
	$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv} = 73,54$ kN $A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y} = \frac{73,54.10^3}{400} = 183,85$ mm^2 n tul = 3Ø25 = 1471,88 mm^2 > 275,05 (OK)
	
Join interior	**Join interior**
	
$h_c = 420$ mm $A_{ch} = 420 \times 420 = 176400$ mm^2 $A_g = 500 \times 500 = 250000$ mm^2 Diketahui sengkang kolom Ø10 dengan jarak spasi 100 m $A_{sh} \geq$ $\rho_s = 0,12 f_c'/f_{yh}$	$l_{ki} = 6$ $l_{nki} = 6\text{-}0,5 = 5,5$ m $l_{ka} = 6$ m $l_{n\,ka} = 6\text{-}0,5 = 5,5$ m tinggi = 4 m $M_{nak,ki} = 134,64$ kNm $M_{nak,ka} = 194,39$

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
$A_{sh} = 0{,}12.S.h_c.f_c'/f_{yh}$ $= 0{,}12.100.420.20/240$ $= 420$ mm² $A_{sh} = 0{,}3\ (sh_c f_c'/f_{yh})[(A_g/A_{ch})\text{-}1]$ $A_{sh} = 0{,}3\ (100.420.20/240)x\ [(250000/176400)\text{-}1]$ $A_{sh} = 438{,}10$ mm² **Reduksi 50 %** (Pasal 23.5.3(2)) $A_{sh} = 219{,}05$ mm² Sengkang rangkap Ø10 mm A tersedia 4 x 78,5 = 314 mm² Jumlah sengkang = 1 lapis $T_1 = As'.(1{,}25fy) = 1206.1{,}25.400$ $= 603$ kN $T_2 = As.(1{,}25fy) = 603.1{,}25.400$ $= 301{,}5$ kN $M_u = \frac{235{,}72+126{,}77}{2} = 181{,}25 kNm$ $V_h = \frac{2.181{,}25}{4} = 90{,}62$ kN Gaya geser netto (V_u) $T_1 + C_2 - V_h = 603 + 301{,}5 - 90{,}62$ $= 813{,}88$ kN $\emptyset V_c = 0{,}8.\ 1{,}7.\ \sqrt{20}\ 500.500$ $= 1520{,}52$ kN > V_u OK	$M_{kap,b\ ki} = 128{,}59$ kNm $M_{kap,b\ ka} = 242{,}99$ kNm $V_{kol} = \frac{0{,}70\left(\frac{l_{ki}}{l_{ki}^*}M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka}^*}M_{kap,ka}\right)}{1/2\ (h_{ka} + h_{kb})}$ $V_{kol} = 70{,}94$ kN $C_{ki} = 0{,}70\frac{M_{kap}}{Z} = 0{,}70.\frac{128{,}59}{0{,}4}$ $= 225{,}03$ kN $T_{ka} = 0{,}70\frac{M_{kap}}{Z} = 0{,}7.\frac{242{,}99}{0{,}4}$ $= 425{,}23$ kN $V_{j.h} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$ $= 225{,}03 + 425{,}23 - 78{,}52$ $= 571{,}74$ kN $V_{j.v} = bj/hc * Vj,h$ $= 500/500 * 571{,}74 = 571{,}74$ kN **Kontrol tegangan geser horizontal minimal** $1{,}5.\sqrt{f_c'} = 6{,}71$ MPa (Pasal 3.14.6.1(2)) bila $b_c > b_b$, maka : $b_j = \min(b_c, b_b + h_c/2)$ $= \min(500, 300+500/2)$ $b_j = 500$ mm $h_c = 500$ mm $V_{jh} = V_{jh} / (b_j.h_c)$ $= 1{,}55$ N/mm2 < 6,71 MPa (Ok) **Penulangan geser horizontal** $0{,}1.\ f_c' = 2$ MPa $N_u = 1031{,}44$ kN

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992
	$V_{ch} = 2/3 \sqrt{N_{uk} / A_g - 0{,}1 f_c'} b_j h_e$ $V_{ch} = 2/3$ $\sqrt{1031{,}44.10^3 / 500^2 - 0{,}1.20}.0{,}5.0{,}5$ = 1,13 kN $V_{sh} + V_{ch} = V_{jh}$ V_{sh} = 571,74 – 1,13 = 570,61 kN $A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y} = \frac{570{,}61.10^3}{400}$ = 1426,52 mm^2 Sengkang rangkap Ø10 mm A tersedia 4 x 78,5 = 314 mm^2 Jumlah sengkang = 5 lapis **Penulangan geser vertikal** $V_{cv} = A'_{sc} \frac{V_{jh}}{A_{sc}} \left(0{,}6 + \frac{N_{u,k}}{A_g f_c'} \right)$ $V_{cv} = A'_{sc} \frac{V_{jh}}{A_{sc}} \left(0{,}6 + \frac{N_{u,k}}{A_g f_c'} \right)$ $= \frac{570{,}74}{1} \left(0{,}6 + \frac{1031{,}44}{500^2.20} \right)$ = 570,74 x 0,806 = 460,02 kN $V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$ = 111,72 kN $A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y}$ = 279,31 mm^2 n tul = 3Ø25 = 1471,88 mm^2 > 279,31 mm^2 (OK)

SNI 03-2847-2002	SNI 03-2847-1992