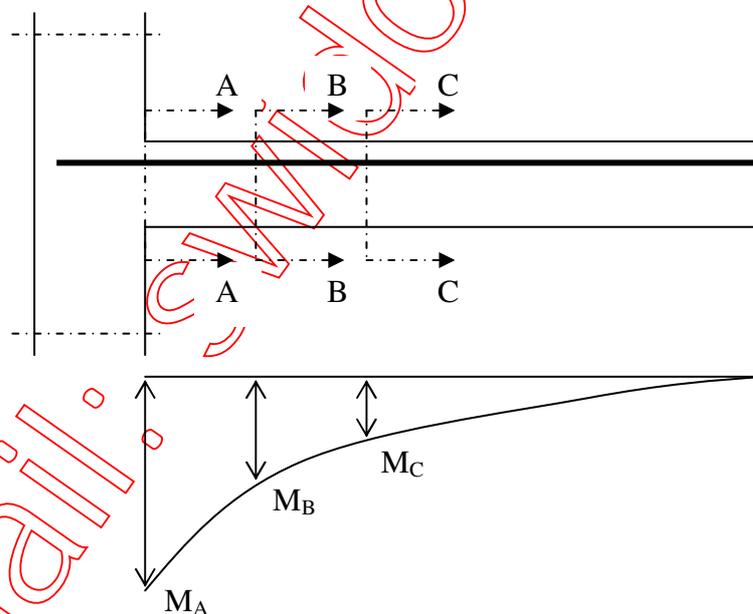


6 PANJANG PENYALURAN TULANGAN

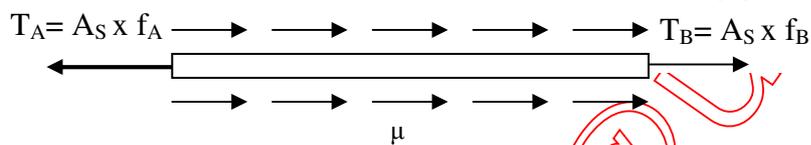
Penyaluran gaya secara sempurna dari baja tulangan ke beton yang ada di sekelilingnya merupakan syarat yang mutlak harus dipenuhi agar beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit. Penyaluran gaya ini ditentukan adanya gaya lekat antara permukaan baja dengan beton. Tegangan lekat antara baja dengan beton yang timbul pada balok beton bertulang, bernilai setara dengan variasi perubahan momen lentur di sepanjang balok. Apabila balok menahan momen yang besarnya tidak merata di sepanjang balok, sedangkan ukuran tulangan yang digunakan sama di sepanjang balok, maka akan terjadi tegangan baja yang tidak merata pula di sepanjang balok tersebut. Ilustrasi kasus di atas dapat dilihat pada balok kantilever Gambar 6-1.



Gambar 6-1 Balok Kantilever

Pada balok kantilever tersebut tampak bahwa momen di potongan A-A lebih besar dari momen di potongan B-B, dan momen di titik B lebih besar dari momen

di titik C. Apabila tegangan pada baja tulangan tarik dihitung maka akan diperoleh tegangan tulangan tarik di titik A lebih besar daripada titik B, dan tegangan tulangan tarik di titik B lebih besar daripada titik C. Berdasar uraian di atas, maka dengan luas tulangan yang sama baik di titik A, B, dan C akan diperoleh besaran gaya tarik ($T = A_s \times f_s$) yang berbeda-beda. Perbedaan gaya tarik ini menyebabkan timbulnya gaya lekat (μ) antara permukaan baja dan beton, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6-2.



Gambar 6-2 Tegangan Lekat di Permukaan Tulangan

Pada ujung kiri balok kantilever tersebut tulangan tarik tertanam ke dalam beton pada kolom, agar tulangan tersebut tidak tercabut (lolos) dari dalam beton maka gaya lekat antara baja tulangan dengan beton harus mampu menahan gaya tarik pada baja tulangan sebesar $T_A = A_s \times f_A$. Tegangan baja tulangan tarik diambil sebesar f_y agar baja tulangan benar-benar tidak tercabut meskipun tulangan telah mengalami leleh bahkan putus. Panjang penanaman ini selanjutnya disebut sebagai panjang pengankuran (karena bergungsi seperti angkur) atau panjang penyaluran (karena berfungsi menyalurkan gaya tarik T dari tulangan ke beton).

Secara teoritis, agar baja tulangan tidak tercabut dari dalam beton bila tertarik maka kuat lekat antara baja tulangan dengan beton minimal harus sama dengan kuat leleh baja, atau memenuhi Persamaan berikut:

$$\mu \cdot \pi \cdot d \cdot l_{db} \geq f_y \cdot A_s = T \quad (6-1)$$

di mana:

μ = Tegangan lekat maksimum antara baja dan beton (MPa)

l_{db} = Panjang penyaluran dasar (mm)

d = Diameter tulangan

Gaya tarik dan tekan tulangan pada setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang pengankuran, kait atau alat mekanis, atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Kait sebaiknya tidak dipergunakan untuk menyalurkan tulangan tertekan.

A. Penyaluran batang ulir dan kawat ulir tertarik

Perhitungan panjang penyaluran pada baja tulangan yang menahan gaya tarik harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Panjang penyaluran l_d , dinyatakan dalam diameter d_b , untuk batang ulir dan kawat ulir tertarik harus ditentukan berdasarkan Butir (2) atau (3) di bawah ini, tetapi l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.
2. Untuk batang ulir atau kawat ulir, l_d/d_b harus diambil sebagai berikut:

TABEL 6.1 FORMULASI PANJANG PENYALURAN TULANGAN YANG MENERIMA BEBAN TARIK

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang melingkupi l_d tidak kurang dari ketentuan minimum dalam peraturan atau	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b		
Kasus-kasus lain	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

3. Untuk batang ulir atau kawat ulir, l_d/d_b harus diambil:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \quad (6-2)$$

Dalam persamaan di atas, nilai $(c + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5.

4. Faktor-faktor yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir tertarik pada formulasi di atas (Tabel 6.1 dan Persamaan 6-2) adalah sebagai berikut:

α = faktor lokasi penulangan

Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar di cor pada komponen dibawah panjang penyaluran atau sambungan (terletak di sisi atas)	1,3
Tulangan lain	1,0

β = faktor pelapis

Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Catatan: Hasil perkalian $\alpha\beta$ tidak perlu diambil lebih besar dari 1,7

γ = faktor ukuran batang tulangan

Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0

λ = faktor beton dengan agregat ringan

Beton dengan agregat ringan	1,3
Beton dengan agregat ringan tetapi dipersyaratkan f_{ct} , maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Beton dengan agregat normal	1,0

Catatan: Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang dipakai tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

c = spasi atau dimensi selimut beton, mm

Pergunakan nilai terkecil antara jarak dari pusat batang atau kawat ke permukaan beton terdekat dan setengah spasi sumbu-ke-sumbu batang atau kawat yang disalurkan.

$$K_{tr} = \text{index tulangan transversal}, K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn}$$

dimana:

A_{tr} adalah luas penampang total dari semua tulangan transversal yang berada dalam daerah berspasi s dan yang memotong bidang belah potensial yang melalui tulangan yang disalurkan, mm^2 .

f_{yt} adalah kuat leleh yang ditentukan untuk tulangan transversal, Mpa

s adalah spasi maksimum dari sumbu-ke-sumbu tulangan transversal yang melingkupi l_d , mm

n adalah jumlah batang atau kawat yang disalurkan sepanjang bidang belah

Sebagai penyederhanaan perencanaan, diperbolehkan memakai $K_{tr} = 0$ bahkan untuk kondisi di mana tulangan transversal dipasang.

5. Tulangan lebih

Reduksi panjang penyaluran diperbolehkan apabila tulangan pada komponen lentur melebihi yang dibutuhkan dari analisis, kecuali apabila angkur atau penyaluran untuk f_y memang secara khusus dibutuhkan atau tulangan direncanakan berdasarkan aturan pada SNI 03-2847-2002 Butir 21.2(1(4)) (A_s perlu) / (A_s terpasang).

B. Penyaluran batang ulir tertekan

Perhitungan panjang penyaluran pada baja tulangan yang menahan gaya tekan harus memenuhi ketentuan berikut:

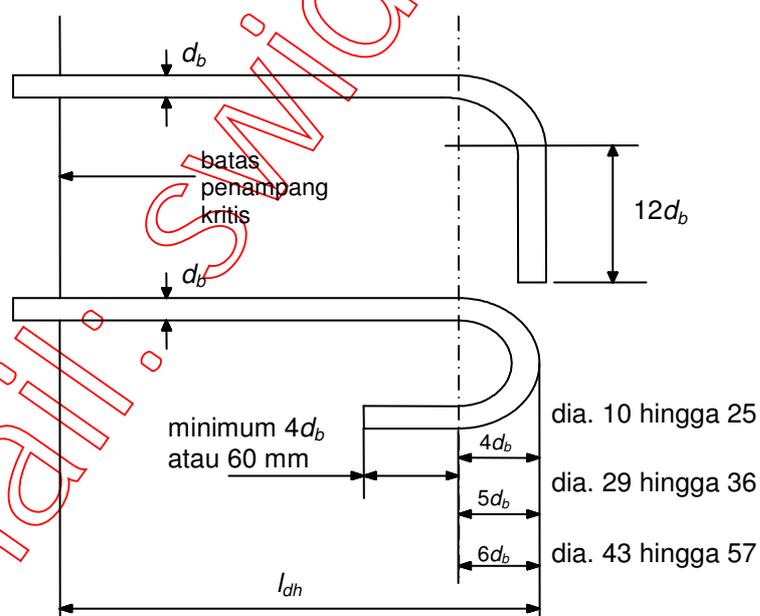
1. Panjang penyaluran l_d , dalam mm, untuk batang ulir tertekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{db} pada Butir (2) dengan faktor modifikasi yang berlaku sesuai dengan Butir (3) di bawah ini, tetapi l_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

2. Panjang penyaluran dasar l_{db} harus diambil sebesar $d_b f_y / (4\sqrt{f'_c})$, tetapi tidak kurang dari $0,04d_b f_y$.
3. Panjang penyaluran dasar l_{db} dapat dikalikan dengan faktor yang berlaku untuk:

Tulangan lebih Tulangan yang jumlahnya melebihi luasan yang diperlukan	$\frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{s\text{ terpasang}}}$
Spiral dan sengkang Tulangan yang berada di dalam lilitan spiral berdiameter minimal 6 mm dan jarak lilitannya tidak lebih dari 100 mm atau di dalam sengkang D-13 yang memenuhi Butir 7.10(5) dan sumbu-ke-sumbu berspasi tidak lebih dari 100 mm	0,75

C. Penyaluran tulangan tarik berkait

Penyaluran baja tulangan juga dapat dilakukan dengan memberikan kait, cara ini biasa dilakukan jika ruang yang tersedia tidak mencukupi untuk diterapkan penyaluran lurus. Penyaluran jenis ini hanya boleh diberikan untuk tulangan tarik dengan ketentuan:



Gambar 6-3 Detail Kaitan untuk Penyaluran Kait Standar

1. Panjang penyaluran l_{dh} , dalam mm, untuk batang ulir tertarik yang berakhir pada suatu kait standar (Butir 7.1 dalam SNI 03-2847-2002) harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{hb} pada Butir (2) dengan faktor atau faktor-faktor modifikasi yang berlaku yang sesuai dengan Butir (3) berikut ini, tetapi l_{dh} tidak boleh kurang dari $8d_b$ ataupun 150 mm (Gambar 6-3).
2. Panjang penyaluran dasar l_{hb} untuk suatu batang kait dengan f_y sama dengan 400 MPa harus diambil sebesar $100d_b / \sqrt{f'_c}$
3. Panjang penyaluran dasar l_{hb} harus dikalikan dengan faktor atau faktor-faktor yang berlaku untuk:

Kuat leleh batang Batang dengan $f_y \neq 400$ MPa	$f_y/400$
Selimit beton Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil, dengan tebal selimit samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm, dan untuk kait 90 derajat dengan selimit pada kaitan tidak kurang dari 50 mm	0,7
Senggang atau sengkang ikat Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil dengan kait yang secara vertikal atau horizontal tercakup di dalam sengkang atau sengkang ikat yang dipasang sepanjang panjang penyaluran l_{dh} dengan spasi tidak melebihi $3d_b$ di mana d_b adalah diameter batang kait	0,8
Tulangan lebih Bila pengangkuran atau penyaluran untuk f_y tidak secara khusus diperlukan, maka tulangan dalam komponen struktur lentur yang dipasang lebih dari keperluan berdasarkan analisis	$\frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{s\text{ terpasang}}}$
Beton agregat ringan	1,3
Tulangan berlapis epoksi	1,2

4. Untuk batang yang disalurkan dengan kait standar pada ujung yang tidak menerus dari komponen struktur dengan kedua selimit samping dan selimit atas (atau bawah) terhadap kait kurang dari 60 mm, batang kait harus dilingkupi dengan sengkang atau sengkang pengikat sepanjang

panjang-penyuluran l_{dh} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$, di mana d_b adalah diameter batang kait. Untuk kondisi ini faktor pada Butir (3) bagian ketiga (senggang atau senggang ikat) tidak boleh digunakan.

5. Kait tidak boleh dianggap efektif dalam menyalurkan batang tekan.

D. Sambungan lewatan

Baja tulangan selalu diproduksi dengan panjang tertentu yang disebabkan pertimbangan untuk kemudahan pengangkutan maupun berat sendirinya. Pada umumnya baja tulangan diproduksi dengan panjang standar 12 meter, ukuran ini tidak selalu dapat diterapkan secara langsung terutama untuk elemen pelat dan balok dengan bentang yang cukup besar melalui beberapa tumpuan menerus. Untuk kemudahan dalam proses konstruksi maka baja tulangan harus dipotong untuk kemudian disambung pada bagian yang menerima momen terkecil. Penyambungan batang-batang baja tulangan dapat dilakukan dengan beberapa cara, di antaranya:

- Sambungan lewatan: mengandalkan secara penuh pada kekuatan lekat antara dua tulangan yang saling dilewatkan, penyambungan dengan cara ini biasanya dibatasi untuk diameter tulangan maksimum 33 mm.
- Sambungan dengan las: secara ekonomis dapat digunakan jika ukuran baja tulangan lebih besar dari 33 mm.
- sambungan mekanis: dengan memasang lengan pengunci yang disambungkan pada ujung tulangan dengan syarat harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekan sesuai dengan kebutuhan, paling tidak 125 persen dari kuat leleh batang yang disambung

Atas dasar pertimbangan ekonomis dan kemudahan pengerjaan, sambungan lewatan merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Sambungan lewatan harus direncanakan menurut ketentuan berikut:

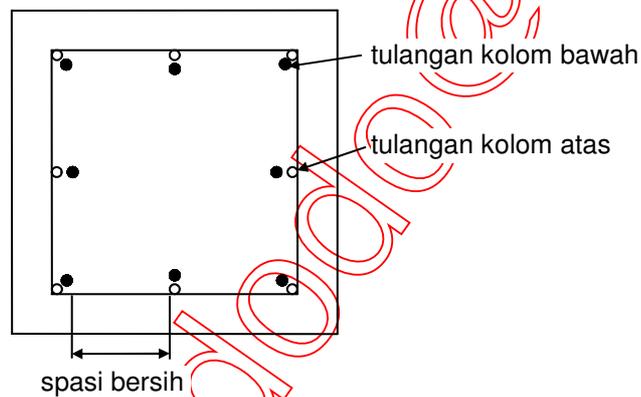
1. Sambungan batang dan kawat ulir tertarik

- a. Panjang minimum sambungan lewatan tarik harus diambil berdasarkan persyaratan kelas yang sesuai tetapi tidak kurang dari 300 mm. Ketentuan masing-masing kelas sambungan tersebut adalah:

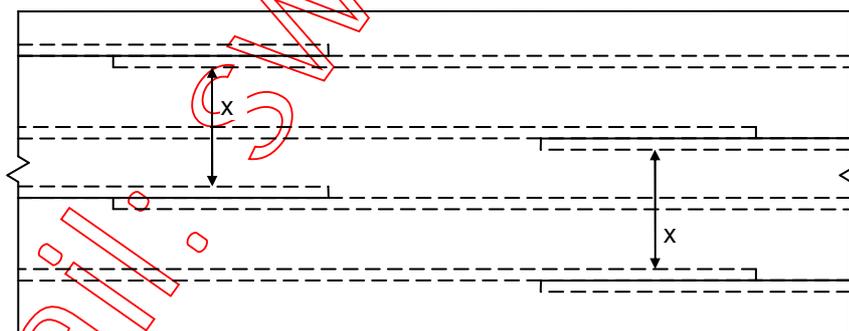
Sambungan kelas A $1,0 l_d$

Sambungan kelas B $1,3 l_d$

di mana l_d adalah panjang penyaluran tarik untuk kuat leleh f_y yang sesuai, tanpa memasukkan faktor modifikasi.



(a)



(b)

Gambar 6-4 Spasi bersih antara batang-batang yang disambung

- b. Sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir tertarik harus menggunakan sambungan Kelas B dengan perkecualian sambungan Kelas

A diperbolehkan apabila: (a) luas tulangan terpasang paling sedikit dua kali dari yang dibutuhkan berdasarkan analisis pada keseluruhan panjang sambungan, dan (b) paling banyak setengah dari keseluruhan tulangan disambung di dalam panjang lewatan perlu (Tabel 6.2).

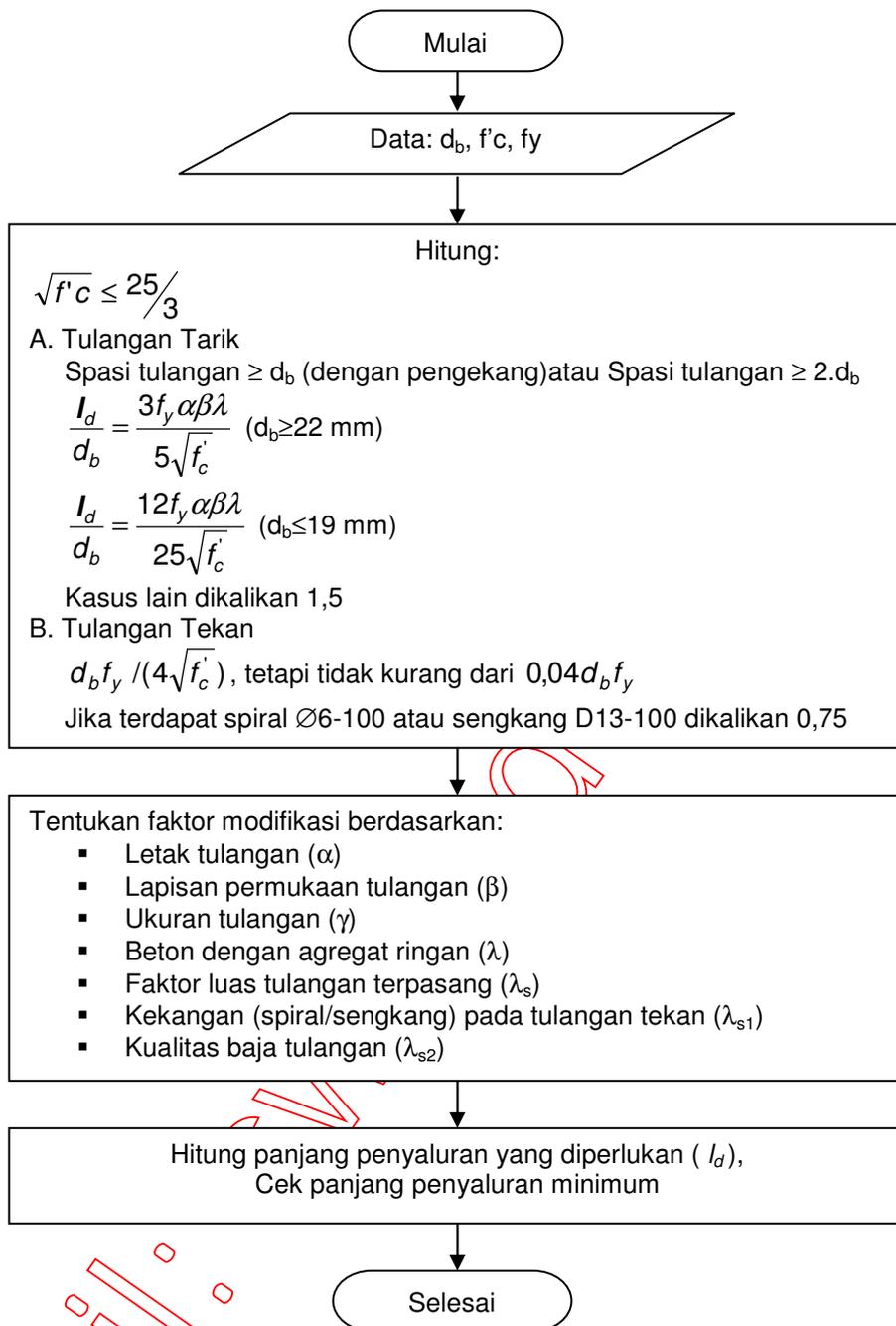
TABEL 6.2 PANJANG LEWATAN TARIK

$\frac{A_s \text{ terpasang}}{A_s \text{ perlu}}$	Persentase maksimum A_s yang disambung di dalam panjang lewatan perlu	
	50 %	100 %
≥ 2	Kelas A	Kelas B
< 2	Kelas B	Kelas B

2. Sambungan batang ulir tertekan

- a. Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan yang menerima beban tekan adalah $0,07f_y d_b$, untuk f_y 400 MPa atau kurang, atau $(0,13f_y - 24)d_b$ untuk f_y yang lebih besar dari 400 MPa, tetapi tidak kurang dari 300 mm, Untuk f'_c kurang dari 20 MPa, panjang lewatan harus ditambah sepertiganya.
- b. Bila batang-batang tertekan dengan diameter yang berbeda disambung secara lewatan, maka panjang lewatan harus diambil sebagai nilai terbesar dari panjang penyaluran batang yang lebih besar, atau panjang sambungan lewatan batang yang lebih kecil. Batang dengan ukuran-ukuran D-45 dan D-55 boleh disambung lewatan dengan batang D-35 dan batang lain yang lebih kecil.

Dalam perencanaan panjang penyaluran harus dilalui beberapa tahapan utama, yaitu: (1) menghitung panjang penyaluran yang diperlukan berdasarkan jenis gaya yang bekerja pada tulangan tersebut, (2) memperhitungkan faktor-faktor modifikasi yang sesuai, (3) menghitung panjang penyaluran sesungguhnya yang diperlukan dan dilanjutkan dengan memeriksa ketentuan panjang penyaluran minimum yang harus dipenuhi. Tahapan-tahapan tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 6-5.



Gambar 6-5 Diagram Alir Perencanaan Panjang Penyaluran

E. Contoh-Contoh Aplikasi

Contoh 6-1

Rencanakan panjang penyaluran yang diperlukan untuk baja tulangan ulir pada empat kasus berikut:

- Tulangan berdiameter 22 mm di pasang pada sisi atas, dengan kuat leleh (f_y) 400 MPa, kuat tekan karakteristik beton 25 MPa, jarak bersih antar tulangan sebesar $2d_b$, selimut beton 4 cm.
- Beberapa data seperti pada kasus (a), tetapi jarak antar tulangan sebesar d_b atau memenuhi ketentuan minimum 25 mm, dan dilapisi epoksi.
- Beberapa data seperti pada kasus (a), tetapi jarak antar tulangan sebesar $3d_b$ dan tidak terletak pada sisi atas.
- Baja tulangan berukuran 22 mm tersebut dipasang untuk menahan beban tekan pada struktur beton ringan, dimana tulangan terpasang 20% lebih banyak dari luasan yang diperlukan, dan digunakan sengkang D-13 jarak 150 mm.

Penyelesaian: (mengacu Gambar 6-5)

Kasus (a)

Diameter tulangan 22 mm (tertarik), maka:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1,3 \text{ (sisi atas)}$$

$$\beta = \lambda = 1,0$$

$$l_d = \frac{3 \cdot 400 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{5 \cdot \sqrt{25}} \cdot 22 \text{ mm}$$

$$= 1372,8 \text{ mm} \approx \underline{1400 \text{ mm}} > 300 \text{ mm (Memenuhi syarat)}$$

Kasus (b)

Diameter tulangan 22 mm (tertarik), maka:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1,3 \text{ (sisi atas)}$$

$$\beta = 1,5 \text{ (dilapis epoksi, selimut} < 3.d_d, \text{ jarak tulangan} < 6.d_d)$$

$$\lambda = 1,0$$

$$l_d = \frac{3.400.1,3.1,5.1,0}{5.\sqrt{25}}.22 \text{ mm}$$

$$= 2059,2 \text{ mm} \approx \underline{2100} \text{ mm} > 300 \text{ mm (Memenuhi syarat)}$$

Kasus (c)

Diameter tulangan 22 mm (tertarik), maka:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1,0 \text{ (bukan sisi atas)}$$

$$\beta = \lambda = 1,0$$

$$l_d = \frac{3.400.1,0.1,0.1,0}{5.\sqrt{25}}.22 \text{ mm}$$

$$= 1056 \text{ mm} \approx \underline{1100} \text{ mm} > 300 \text{ mm (Memenuhi syarat)}$$

Kasus (d)

Diameter tulangan 22 mm (tertekan), maka:

$$l_{db} = d_b f_y / (4\sqrt{f'_c}),$$

$$= 22.400 / (4\sqrt{25})$$

$$= 440 \text{ mm}$$

Kontrol l_{db} tidak kurang dari **$0,04d_b f_y$**

$$0,04d_b f_y = 0,04.22.400 = 352 \text{ mm}$$

$$l_{db} = 440 \text{ mm} > 0,04.d_b.f_y = 352 \text{ mm} \text{ Memenuhi syarat}$$

Faktor modifikasi luasan tulangan (λ_s)

$$\lambda_s = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{terpasang}}} = \frac{1}{1,2}$$

Faktor modifikasi jenis beton ringan (λ)

$$\lambda = 1,3$$

Maka panjang penyaluran:

$$l_d = 1,3 \cdot \frac{1}{1,2} \cdot 440 = 476,667 \text{ mm} \approx \underline{500 \text{ mm}} > 200 \text{ mm} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

Contoh 6-2

Rencanakan panjang penyaluran yang diperlukan untuk baja tulangan ulir D-25 berbentuk kait pada sisi atas sebuah kolom beton normal, dengan data berikut:

kuat leleh (f_y) = 490 MPa,

kuat tekan karakteristik beton (f'_c) = 30 MPa,

Selimit beton = 4 cm.

Penyelesaian:

Panjang penyaluran dasar (l_{hb})

$$\begin{aligned} l_{hb} &= 100d_b / \sqrt{f'_c} \\ &= 100 \cdot 25 / \sqrt{30} \\ &= 456,435 \text{ mm} \end{aligned}$$

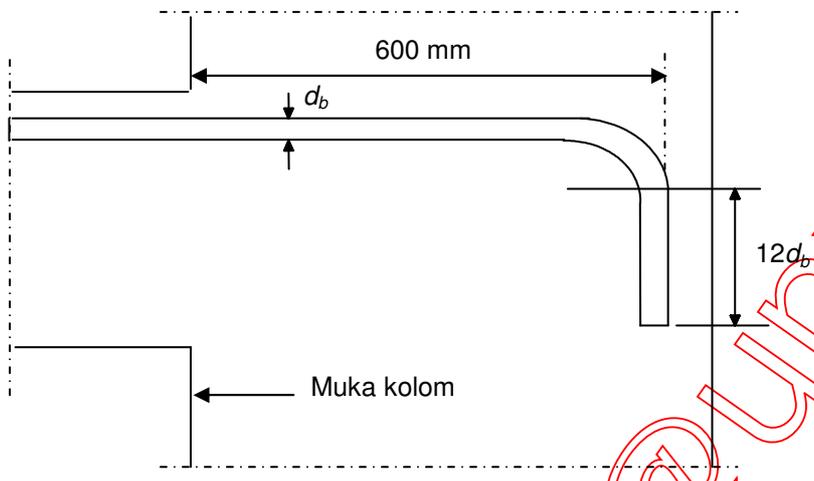
Faktor modifikasi yang harus diperhitungkan

- Letak tulangan (sisi atas atau bawah) tidak berpengaruh
- Tinjauan kualitas baja = $\frac{490}{400} = 1,225$
- Tinjauan jenis agregat beton normal = 1,0

Panjang Penyaluran yang diperlukan

$$\begin{aligned} l_{dh} &= 456,435 \times 1,225 \times 1,0 \\ &= 559,1334 \text{ mm} \approx \underline{600 \text{ mm}} > 8 \cdot d_b = 200 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Memenuhi syarat



E-mail: svidodo@unhy.ac.id