

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelat

2.1.1. Defenisi

Yang dimaksud dengan pelat beton bertulang adalah struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan, dan beban yang bekerja tegak lurus pada struktur tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang/lebar bidangnya. Pelat beton ini sangat kaku dan arahnya horisontal, sehingga pada bangunan gedung pelat ini berfungsi sebagai diafragma/unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal, memisahkan ruang bawah dan ruang atas, sebagai tempat berpijak penghuni di lantai atas, untuk menempatkan kabel listrik dan lampu pada ruang bawah, meredam suara dari ruang atas maupun dari ruang bawah, isolasi terhadap pertukaran suhu, pada basement lantai mencegah masuknya air tanah ke dalam bangunan.

Pelat beton bertulang banyak digunakan pada bangunan sipil, baik sebagai lantai bangunan, lantai atap dari suatu gedung, lantai jembatan maupun lantai pada dermaga. Beban yang bekerja pada pelat umumnya diperhitungkan terhadap beban gravitasi (beban mati dan/atau beban hidup). Beban tersebut mengakibatkan terjadi momen lentur, Asroni (2010).

Sistem pelat lantai biasanya terbuat dari beton bertulang yang dicor di tempat, namun dengan kemajuan teknologi saat ini penggunaan prategang banyak diaplikasikan pada konstruksi beton sebagai pengganti tulangan utama.

Penggunaan prategang pada konstruksi pelat lantai dapat menghilangkan kekurangan yang ada pada pelat beton bertulang non-prategang terutama dalam hal *serviceability*, seperti lendutan maupun getaran yang terjadi akibat beban yang bekerja.

2.1.2. Tinjauan umum pelat

Menurut Vis,W.C (1993), Pelat merupakan struktur bidang (permukaan) yang lurus, datar atau melengkung, yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensi yang lain.

Secara umum pemakaian pelat dapat dilihat sebagai:

- 1) Struktur arsitektur
- 2) Jembatan
- 3) Perkerasan
- 4) Struktur hidrolik, dan lainnya.

Berdasarkan aksi strukturalnya pelat dibagi menjadi empat yaitu:

- 1) Pelat kaku

Merupakan pelat tipis yang memiliki ketegaran lentur, dan memikul beban dengan aksi dua dimensi, terutama dengan momen dalam (lentur dan puntir) dan gaya geser transversal yang umumnya sama dengan balok.

- 2) Membran

Merupakan pelat tipis tanpa ketegaran lentur dan memikul beban lateral dengan gaya geser aksial dan gaya geser terpusat. Aksi pemikul beban ini

dapat didekati dengan jaringan kabel yang tegang karena ketebalannya yang sangat tipis membuat daya tahan momennya dapat diabaikan.

3) Pelat fleksibel

Merupakan gabungan pelat kaku dan membran yang memikul beban luar dengan gabungan aksi momen dalam, gaya geser transversal dan gaya geser terpusat, serta gaya aksial.

4) Pelat tebal

Merupakan pelat yang kondisi tegangan dalamnya menyerupai kondisi kontinyu tiga dimensi.

Persyaratan lantai meliputi aspek teknis dan ekonomis

(Sumber: achmadnutsnun123.blogspot.com)

- 1) Lantai harus mempunyai kekuatan yang mencukupi untuk mendukung beban
- 2) Tumpuan pada dinding / balok harus mencukupi untuk menyalurkan beban sehingga sekaligus dapat memperkaku struktur bangunan
- 3) Lantai harus mempunyai masa yang cukup untuk meredam getaran dan mencegah pemantulan suara
- 4) Porositas lantai harus tetap mampu menjadi isolasi pertukaran suhu dan kelembaban
- 5) Bahan penyusun lantai dapat dipasang dengan cepat
- 6) Lantai setelah berfungsi hanya memerlukan perawatan minimal
- 7) Lantai harus awet, dapat terus berfungsi seiring dengan umur rencana bangunan

2.1.3. Tipe pelat

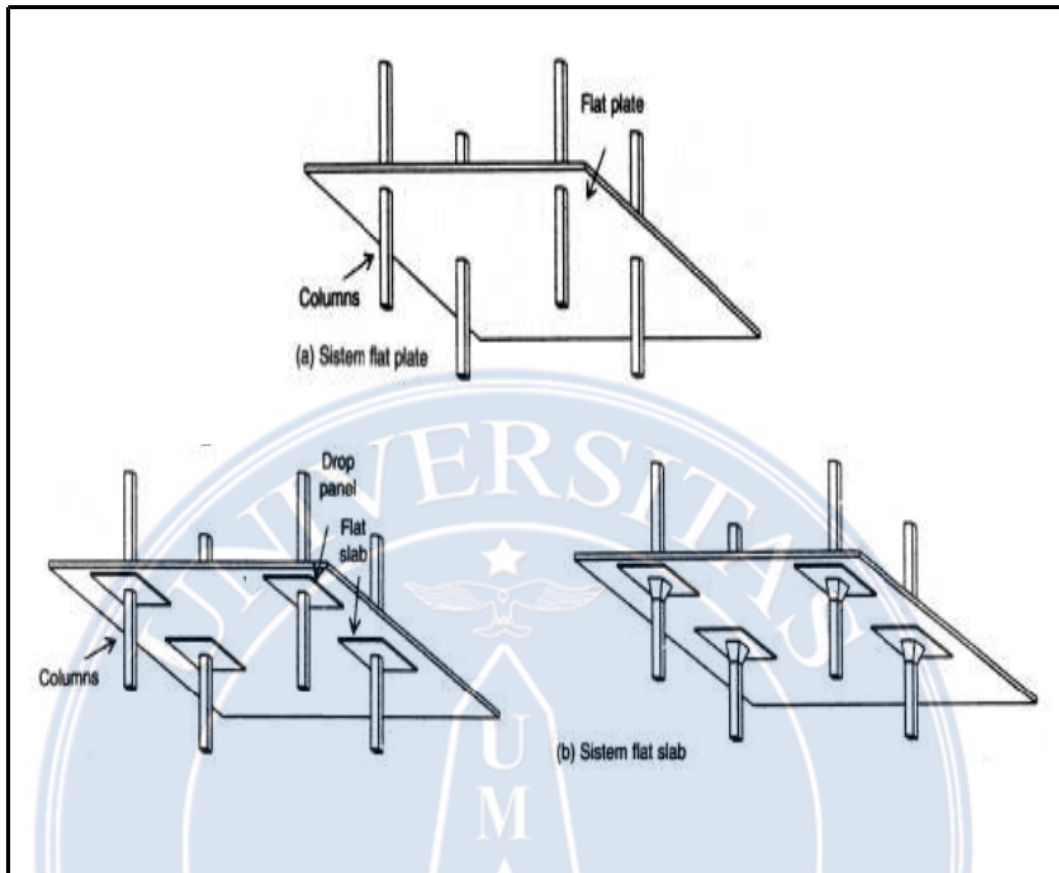
a. Sistem flat slab

Pelat beton bertulang yang langsung ditumpu oleh kolom-kolom tanpa balok-balok disebut Sistem *Flat Slab*. Sistem ini digunakan bila bentang tidak besar dan intensitas beban tidak terlalu berat, misalnya bangunan apartemen atau hotel.

Sering kali bagian kritis pelat disekitar kolom penumpu perlu dipertebal untuk memperkuat pelat terhadap gaya geser, pons dan lentur. Bagian penebalannya disebut *Drop Panel*, sedangkan penebalan yang membentuk kepala kolom disebut *Column Capital*. *Flat slab* yang memiliki ketebalan merata tanpa adanya *Drop Panel* dan *Column Capital* disebut *Flat Plate*.

Sistem *flat slab* tanpa balok, memungkinkan ketinggian struktur yang minimum, fleksibilitas pemasangan seluruh penghawaan buatan (AC) dan alat-alat penerangan. Dengan ketinggian antar lantai minimum, tinggi kolom-kolom dan pemakaian partisi relatif berkurang. Untuk bangunan perumahan, pelat tersebut juga dapat berfungsi sebagai langit-langit.

Jika bangunan yang memakai sitem lantai *flat slab* mengalami pembebanan horizontal, bagian pertemuan kolom-slab dipaksa untuk menahan momen lentur yang cukup besar, sehingga titik tersebut dapat merupakan sumber kelemahan struktur. Ada tidaknya kepala kolom atau *drop panel* pada bagian atas kolom dapat menentukan pembatasan bentangannya. Tebal lantai *Flat Slab* umumnya berkisar antara 125 hingga 250 mm untuk bentangan 4,5 hingga 7,5 m. Sistem *flat slab* terutama banyak digunakan pada bangunan rendah yang beresiko rendah terhadap beban angin dan gempa, Wahyudi L (1997).

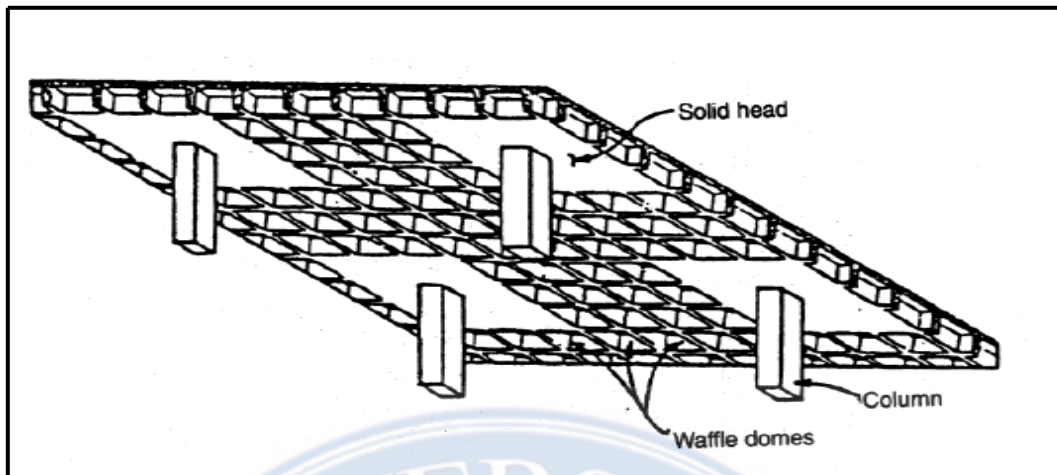


Gambar 2.1 Sistem lantai flat slab

Sumber: Wahyudi L (1997)

b. Sistem lantai grid

Sistem lantai grid dua-arah (*Waffle-system*) memiliki balok-balok yang saling bersilangan dengan jarak yang relatif rapat yang menumpu pelat atas yang tipis. Ini dimaksudkan untuk mengurangi berat sendiri pelat dan dapat didesain sebagai *Flat Slab* atau pelat dua arah, tergantung konfigurasinya. Sistem ini efisien untuk bentang 9 hingga 12 m.



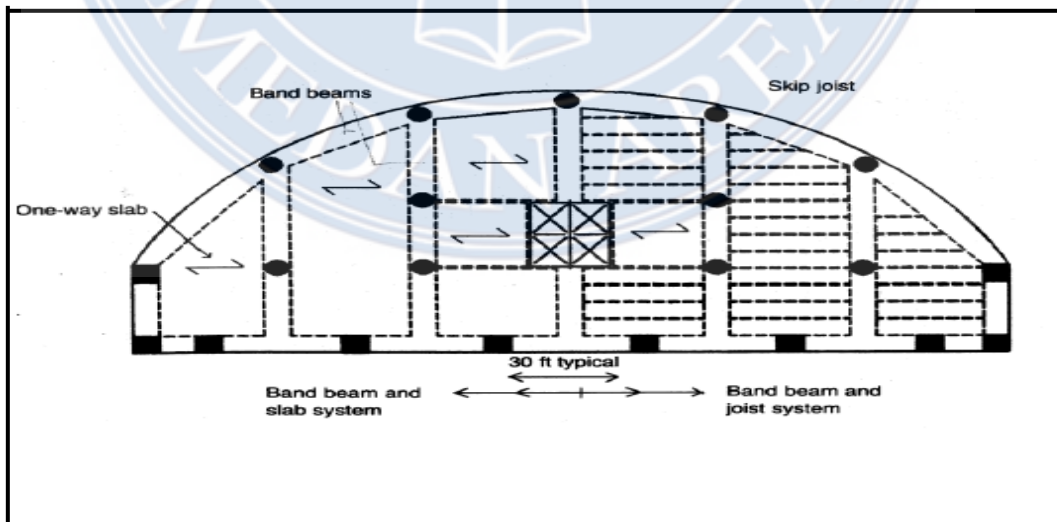
Gambar 2.2 Sistem lantai grid

Sumber: Wahyudi L (1997)

c. Sistem lajur balok

Sistem ini hampir sama dengan system balok-pelat tetapi menggunakan balok-balok dangkal yang lebih lebar. Sistem lajur balok banyak diterapkan pada bangunan yang mementingkan tinggi antar lantai. Balok lajur tidak perlu dihubungkan dengan kolom interior atau eksterior. Alternatif lain adalah dengan menempatkan balok anak membentang di antara balok-balok lajur.

Sistem ini menghemat pemakaian cetakan.

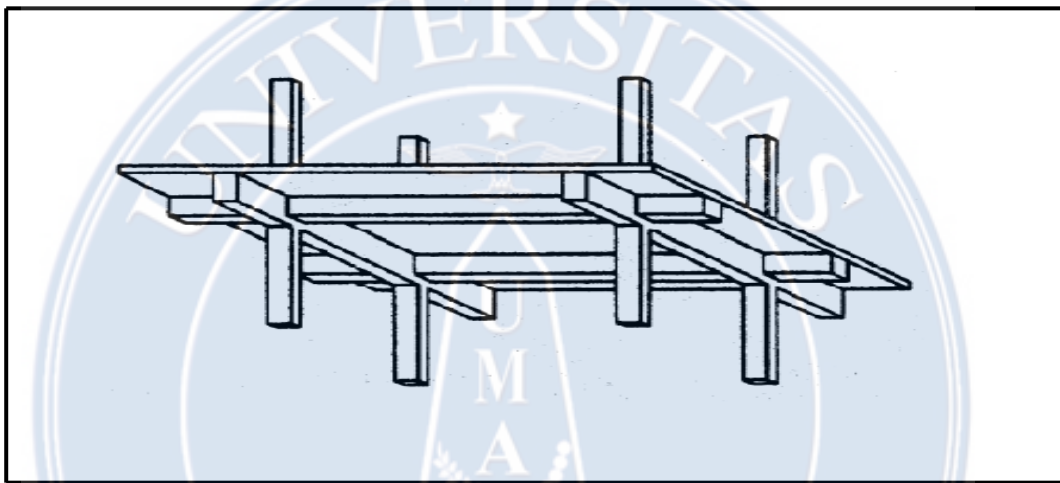


Gambar 2.3 Sistem lajur balok

Sumber: Wahyudi L (1997)

d. Sistem pelat dan balok

Sistem ini terdiri dari slab menerus yang ditumpu balok-balok monolit yang umumnya ditempatkan pada jarak sumbu 3 m hingga 6 m. Tebal pelat ditempatkan berdasarkan pertimbangan struktur yang biasanya mencakup aspek keamanan terhadap bahaya kebakaran. Sistem ini yang banyak dipakai.



Gambar 2.4 Sistem pelat dan balok

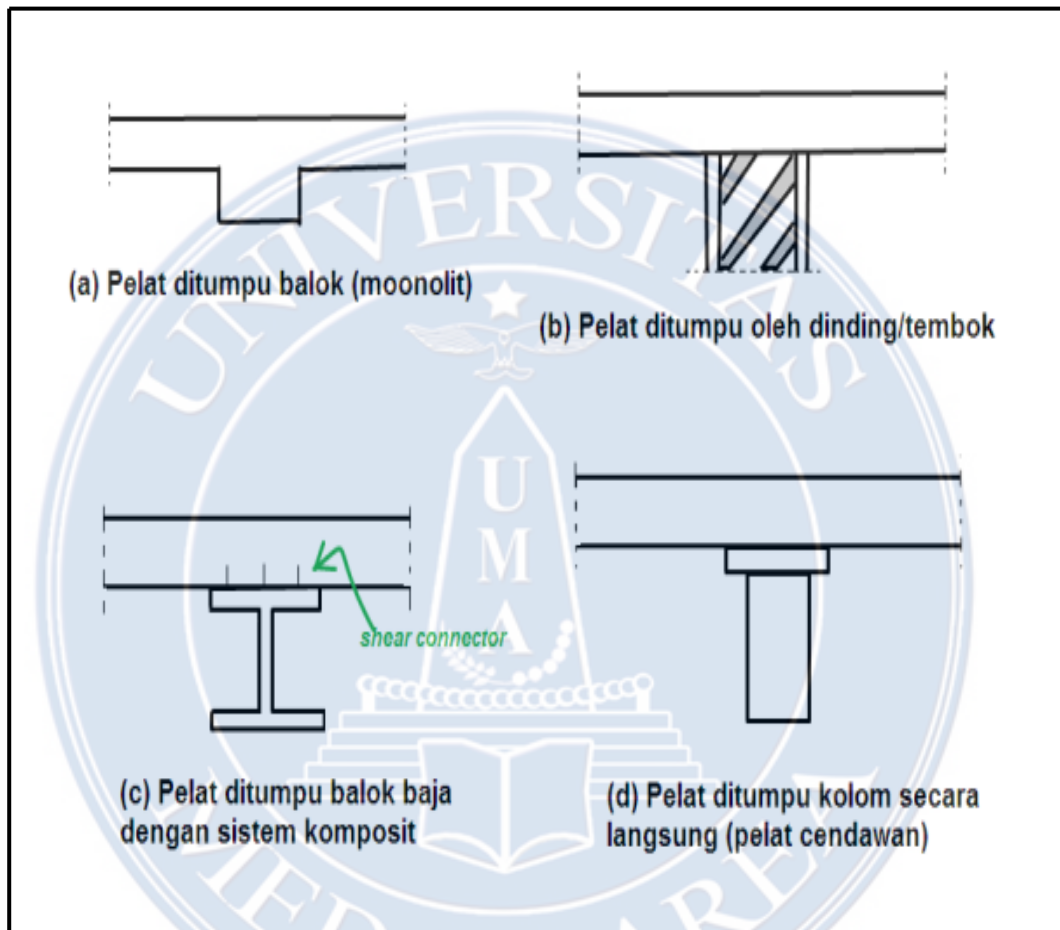
Sumber: Wahyudi L (1997)

2.1.4. Tumpuan pelat

Menurut Vis W.C (1993), untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan saja, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi. Syarat-syarat tumpuan menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung di tempat tumpuan.

Selain mencegah atau memungkinkan terjadinya rotasi, tumpuan mungkin dapat atau tidak mengijinkan lendutan. Bila tidak mungkin terjadi lendutan pada

tumpuan yaitu bila tumpuan merupakan sebuah dinding atau balok yang kaku, dikatakan bahwa pelat itu tertumpu kaku. Bila tumpuan dapat melendut, pelat itu ‘tertumpu elastis’.



Gambar 2.5 Contoh tumpuan pelat

Sumber : Asroni (2010)

Untuk bangunan gedung, umumnya pelat tersebut ditumpu oleh balok-balok secara monolit, yaitu pelat dan balok dicor bersama-sama sehingga menjadi satu-kesatuan, seperti pada gambar (a) atau ditumpu oleh dinding-dinding bangunan seperti pada gambar (b). Kemungkinan lainnya, yaitu pelat didukung oleh balok-balok baja dengan sistem komposit seperti pada gambar (c), atau

didukung oleh kolom secara langsung tanpa balok, yang dikenal dengan pelat cendawan, seperti gambar (d).

2.1.5. Jenis perletakan pelat pada balok

Kekakuan hubungan antara pelat dan konstruksi pendukungnya (balok) menjadi salah satu bagian dari perencanaan pelat, Asroni (2010).

Ada 3 jenis perletakan pelat pada balok, yaitu:

1. Terletak bebas

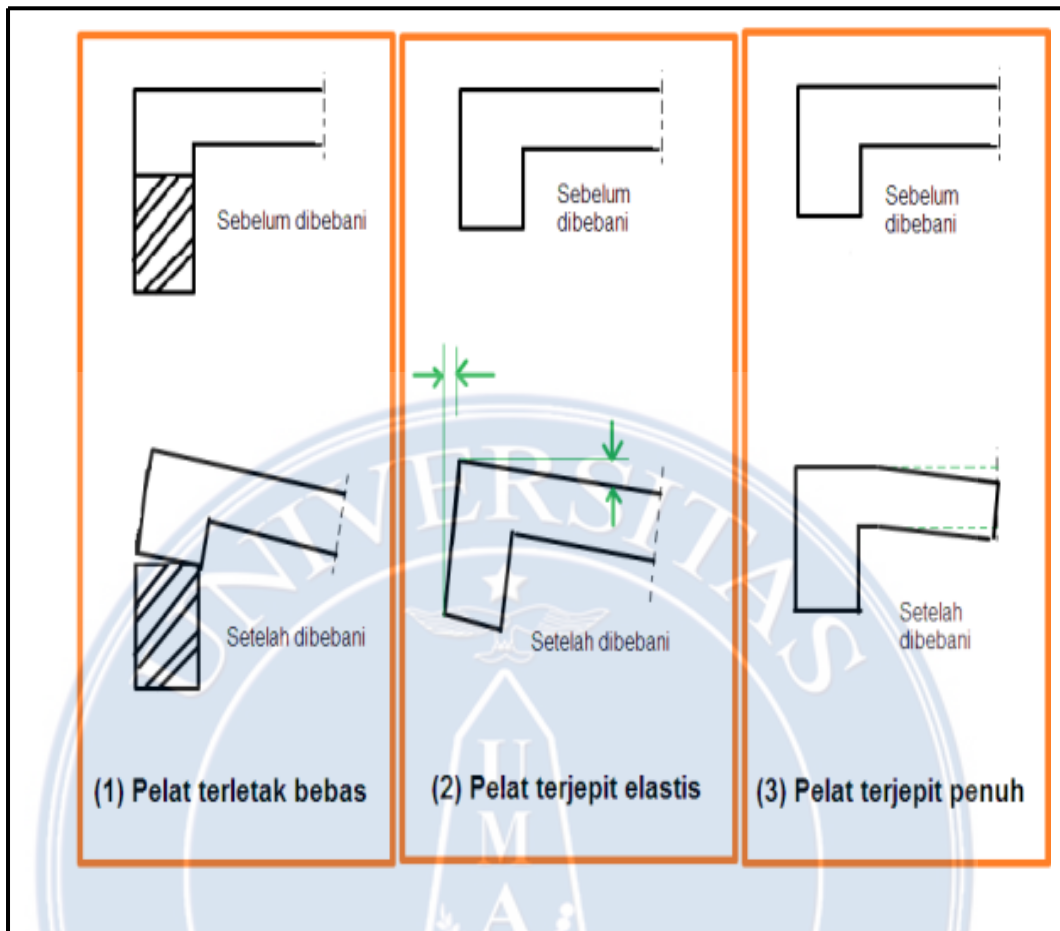
Keadaan ini terjadi jika pelat diletakkan begitu saja di atas balok, atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut, (lihat gambar (1)). Pelat yang ditumpu oleh tembok juga termasuk dalam kategori terletak bebas.

2. Terjepit elastis

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, tetapi ukuran balok cukup kecil, sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi pelat. (lihat gambar (2))

3. Terjepit penuh

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, dan ukuran balok cukup besar, sehingga mampu untuk mencegah terjadinya rotasi pelat (lihat gambar(3)).



Gambar 2.6 Perletakan pelat pada balok

Sumber : Asroni (2010)

2.1.6. Sistem penulangan pelat

Sistem perencanaan tulangan pelat pada dasarnya dibagi menjadi 2 macam yaitu:

- 1) Pelat lantai satu arah (*one-way slab*)

Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah

- 2) Pelat lantai dua arah (*two-way slab*)

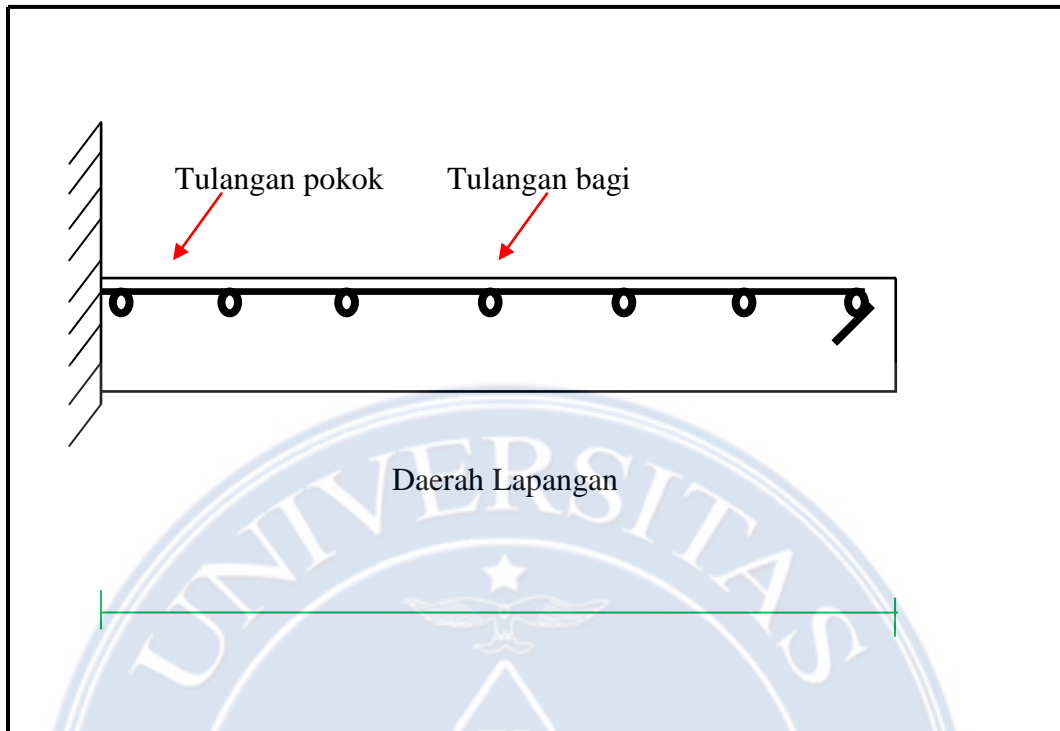
Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah

A. Pelat satu arah

A.1. Konstruksi pelat satu arah

Pelat dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever (luifel) dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan. Karena momen lentur hanya bekerja pada 1 arah saja, yaitu searah bentang L (lihat gambar di bawah), maka tulangan pokok juga dipasang 1 arah yang searah bentang L tersebut. Untuk menjaga agar kedudukan tulangan pokok (pada saat pengecoran beton) tidak berubah dari tempat semula maka dipasang pula tulangan tambahan yang arahnya tegak lurus tulangan pokok. Tulangan tambahan ini lazim disebut : *tulangan bagi*. (seperti terlihat pada gambar di bawah).

Kedudukan tulangan pokok dan tulangan bagi selalu bersilangan tegak lurus, tulangan pokok dipasang dekat dengan tepi luar beton, sedangkan tulangan bagi dipasang di bagian dalamnya dan menempel pada tulangan pokok. Tepat pada lokasi persilangan tersebut, kedua tulangan diikat kuat dengan *kawat benddraad*. Fungsi tulangan bagi, selain memperkuat kedudukan tulangan pokok, juga sebagai tulangan untuk menahan retak beton akibat susut dan perbedaan suhu beton, Asroni (2010)



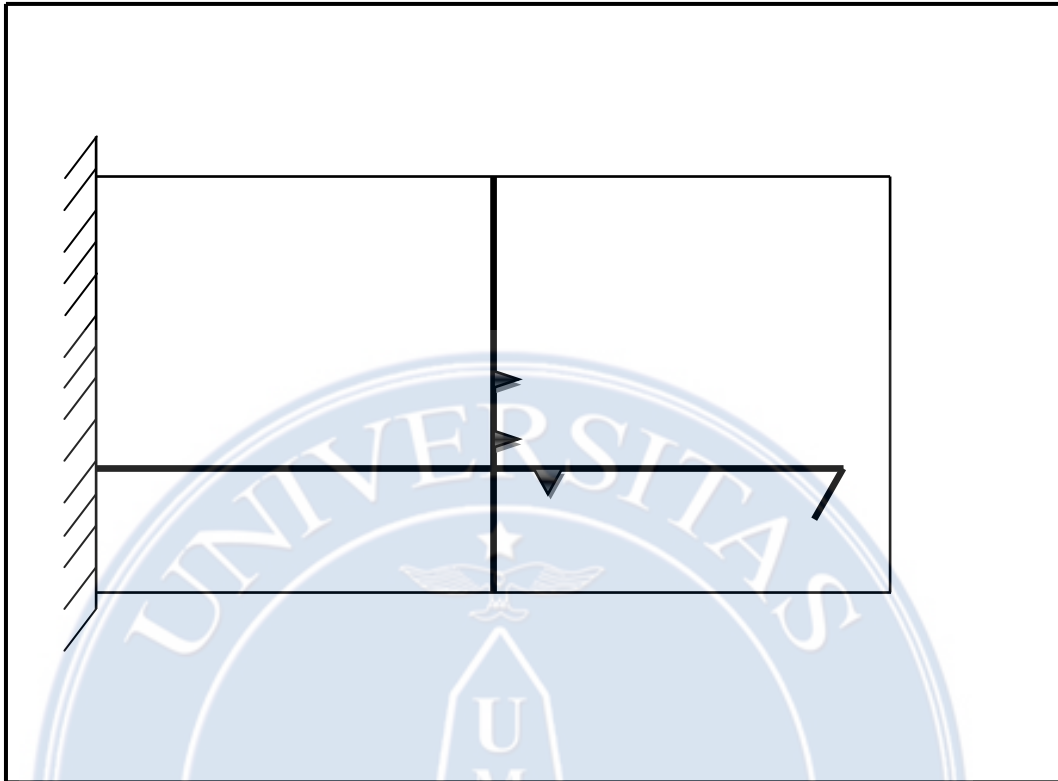
Gambar 2.7 (a) Tampak depan pelat kantilever

Sumber : Asroni (2010)

A.2. Simbol Gambar Penulangan

Pada pelat kantilever, karena momennya negatif, maka tulangan pokok (dan tulangan bagi) dipasang di atas. Jika dilihat gambar penulangan Tampak depan (gambar (a)), maka tampak jelas bahwa tulangan pokok dipasang paling atas (dekat dengan tepi luar beton), sedangkan tulangan bagi menempel di bawahnya.

Pada gambar (a) tampak depan, baik tulangan pokok maupun tulangan bagi semuanya dipasang di atas. Tulangan pokok terletak paling atas (pada urutan ke-1 dari atas), dan tulangan bagi menempel di bawahnya (urutan ke-2 dari atas).

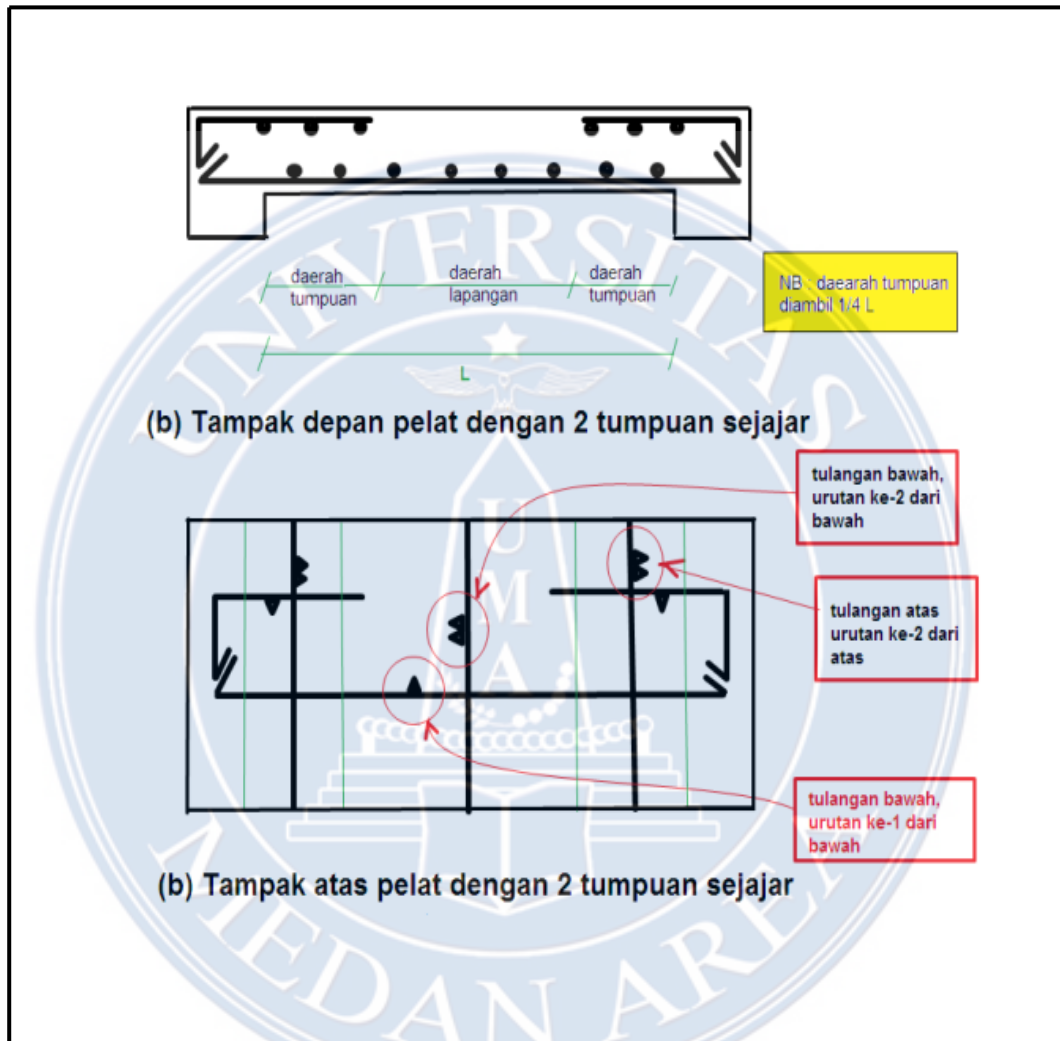


Gambar 2.8 (a) Tampak atas pelat kantilever dengan tulangan pokok satu arah

Sumber : Asroni (2010)

- a. Jika dilihat pada gambar Tampak Atas (gambar (a)), pada garis tersebut hanya tampak tulangan horizontal dan vertikal bersilangan, sehingga sulit dipahami tulangan mana yang seharusnya dipasang di atas atau menempel di bawahnya.
- b. Jadi pada gambar (a) tampak atas, tulangan pokok jika dilihat dari atas tampak sebagai garis horizontal (dilihat dari bawah) dan diberi simbol dengan mendukung berjumlah 1 buah, artinya tulangan didukung (dipasang dari kanan) dan pada urutan ke-1. Untuk tulangan bagi jika dilihat dari atas tampak sebagai garis vertikal (dilihat dari kanan), dan

diberi simbol dengan mendukung berjumlah 2 buah, artinya tulangan didukung (dipasang di atas) dan pada urutan ke-2.



Gambar 2.9 Pelat dengan tulangan pokok satu arah

Sumber : Asroni (2010)

- c. Aturan umum dalam penggambaran, yaitu harus dapat dilihat / dibaca dari bawah dan / atau sebelah kanan diputar kebawah.

- d. Tulangan yang dipasang diatas diberi tanda berupa segitiga dengan bagian lancip di bawah, disebut simbol mendukung. Sesuatu yang didukung pasti berada di atas.
- e. Tulangan yang dipasang di atas diberi tanda berupa segitiga dengan bagian lancip di atas, disebut simbol menginjak. Sesuatu yang diinjak pasti berada di bawah.
- f. Dengan memperhatikan dan mencermati item 1 sampai item 5 di atas, maka dapat dipahami bahwa gambar (b) tampak atas, tulangan bagi di daerah tumpuan diberi tanda 2 buah segitiga dengan lancip ke sebelah kanan, karena tulangnya dipasang di atas dan pada urutan ke-2 dari atas, sedangkan tulangan bagi di daerah lapangan diberi tanda 2 buah segitiga dengan bagian lancip ke sebelah kiri, karena tulangnya di bawah dan pada urutan ke-2.

A.3. Pengaruh Susut dan Temperatur

Menurut Wahyudi L (1997), beton menyusut ketika adukan semennya mengeras. Susut ini dapat diperkecil dengan memakai beton berkadar air rendah, namun tetap memperhatikan kelemasan, kekuatan beton yang diinginkan, dan proses pembersihan setelah beton dicor. Susut pasti akan terjadi, hanya intensitasnya berbeda. Bila beton tersebut tidak mengalami kontraksi susut secara bebas, akan timbul tegangan yang disebut 'tegangan susut' (*shrinkage stress*). Perbedaan suhu relatif terhadap suhu waktu pengecoran juga dapat menimbulkan efek yang serupa dengan penyusutan. Tegangan susut ataupun tegangan temperatur dapat menimbulkan retak. Bila pelat tersebut diberi tulangan, retak dapat diperkecil, disebut 'retak rambut' (*hairline crack*).

Pada pelat satu arah tulangan yang dipasang untuk menahan momen juga berguna untuk menahan dan mendistribusikan retak akibat susut dan perbedaan suhu. Karena kontraksi beton terjadi ke semua arah, harus dipasang tulangan khusus untuk kontraksi susut dan perbedaan suhu yang tegak lurus terhadap tulangan momen. Tulangan khusus ini disebut dengan tulangan susut atau temperatur (lebih dikenal dengan nama tulangan pembagi). Peraturan menetapkan bahwa tulangan pembagi harus dipasang pada pelat struktur bila tulangan utamanya membentang dalam satu arah. Meskipun demikian, jarak tulangan yang terpasang masih tidak boleh lebih dari 5 kali tebal pelat ataupun lebih dari 200 mm.

A.4. Cara Analisis

Menurut SNI T-15-1991-03 (pasal 3.1.3), cara pendekatan untuk menghitung momen dan geser dapat digunakan untuk perencanaan pelat satu arah dengan ketentuan:

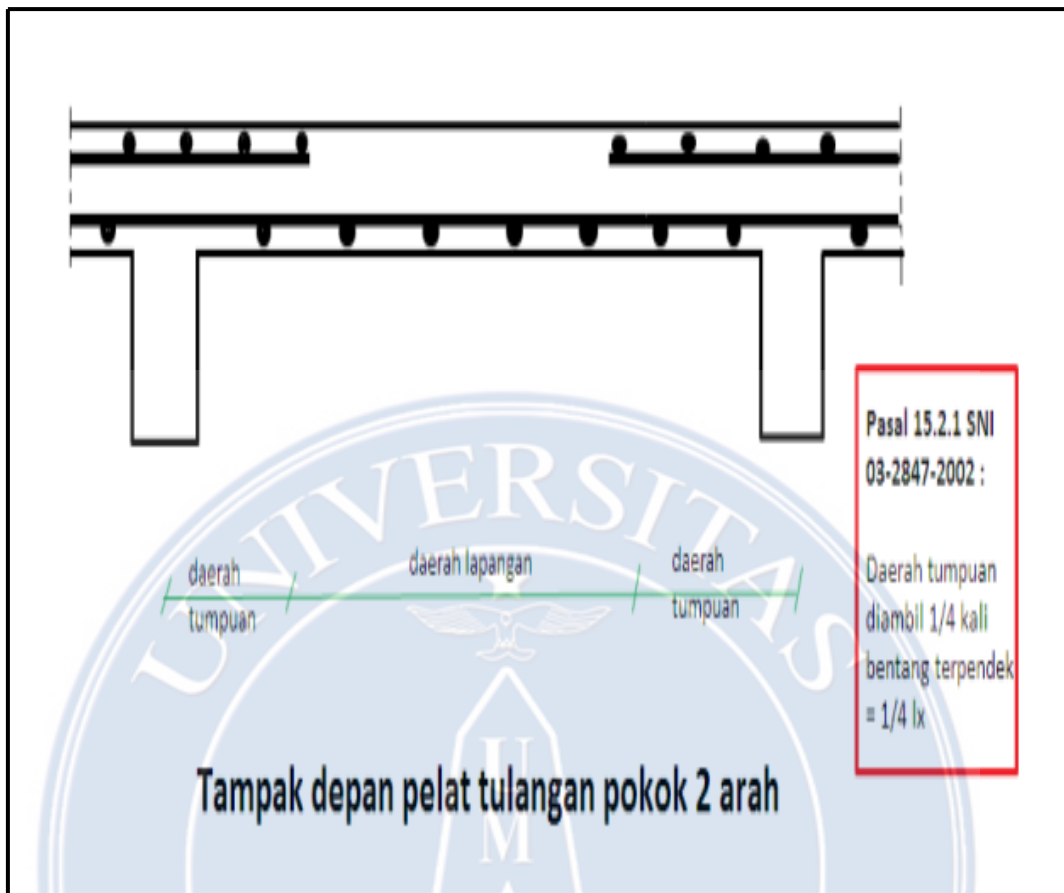
- a. Minimum terdapat dua bentang
- b. Panjang bentang lebih kurang sama, dengan ketentuan bahwa bentang terpanjang dari dua bentang yang bersebelahan tidak berbeda 20% dari bentang yang pendek
- c. Beban yang bekerja merupakan beban terbagi rata
- d. Intensitas beban hidup tidak lebih dari tiga kali beban mati per unit
- e. Komponen strukturnya prismatis

B. Pelat dua arah

B.1. Konstruksi pelat dua arah

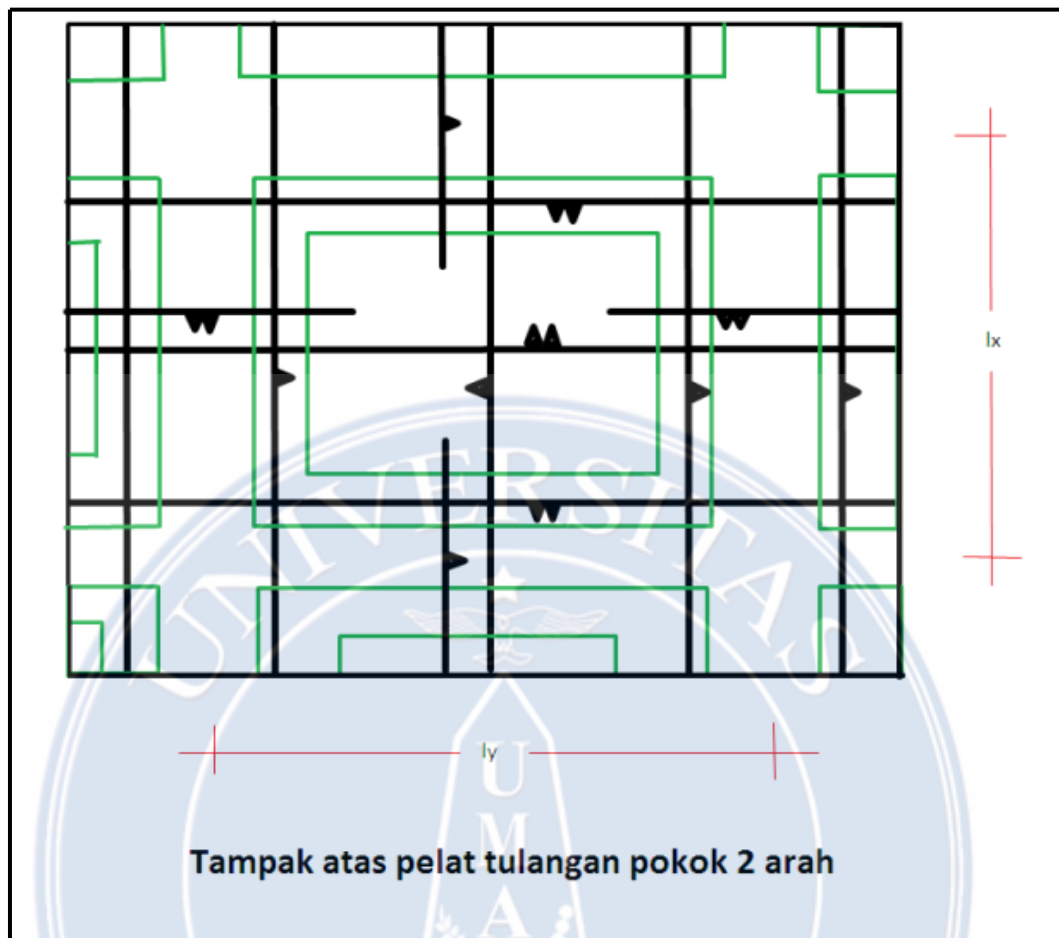
Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah. Contoh pelat 2 arah adalah pelat yang ditumpu oleh empat sisi yang saling sejajar.

Karena momen lentur bekerja pada dua arah, yaitu searah dengan bentang (l_x) dan bentang (l_y), maka tulangan pokok juga dipasang pada dua arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak perlu tulangan bagi. Tetapi pada pelat di daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini tetap dipasang tulangan pokok dan bagi, seperti terlihat pada gambar dibawah. Bentang (l_y) selalu dipilih $>$ atau $=$ (l_x), tetapi momennya M_{ly} selalu $<$ atau $=$ M_{lx} , sehingga tulangan arah (l_x) (momen yang besar) dipasang di dekat tepi luar (urutan ke-1).



Gambar 2.10 Tampak depan pelat dengan tulangan pokok dua arah

Sumber : Asroni (2010)



Gambar 2.11 Tampak atas pelat dengan tulangan pokok dua arah

Sumber : Asroni (2010)

B.2. Membaca gambar penulangan

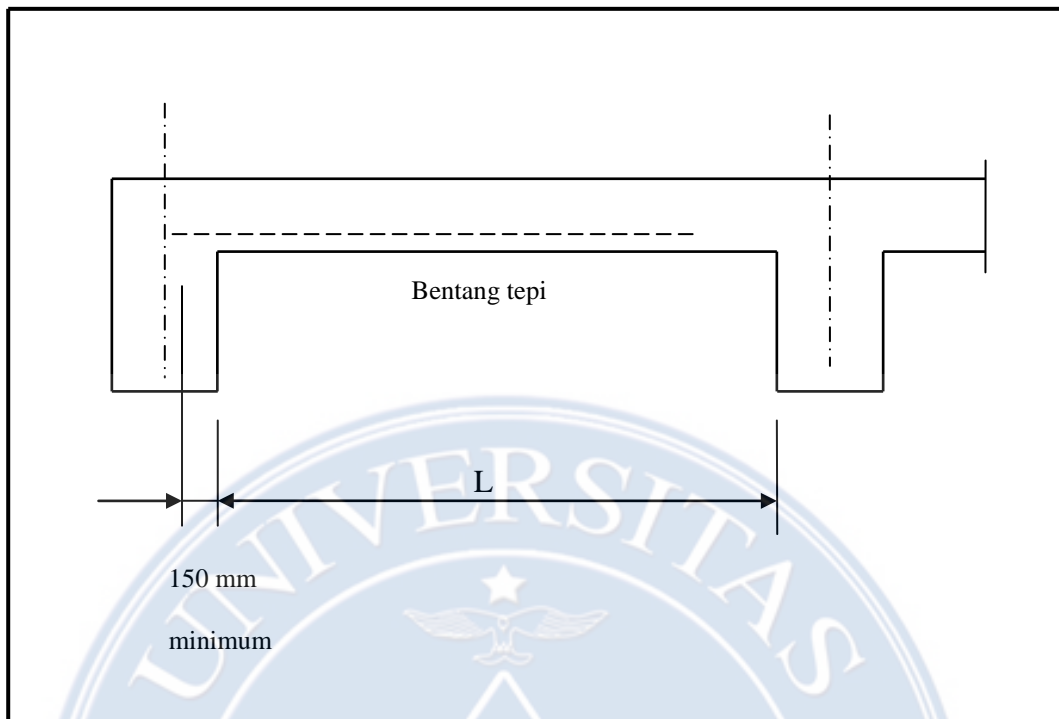
Aturan dan penggambaran pelat dua arah (dan semua pelat lainnya) adalah sama seperti aturan penggambaran pada pelat satu arah, jadi simbol-simbol yang digunakan juga sama. Perlu ditegaskan untuk pelat dua arah, bahwa di daerah lapangan hanya ada tulangan pokok saja (baik arah l_x maupun arah l_y) yang saling bersilangan, tetapi di daerah tumpuan ada tulangan pokok dan tulangan bagi.

2.1.7. Perencanaan tulangan pelat

A. Pertimbangan dalam perhitungan tulangan

Menurut Wahyudi L (1997) penempatan tulangan pada sistem pelat dua arah, sesuai dengan sifat beban dan kondisi tumpuannya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Luas tulangan pada masing-masing arah harus dihitung berdasarkan nilai momen pada penampang kritis, tetapi luas tulangan minimum untuk menahan susut dan suhu harus tetap terpenuhi
- b. Jarak antartulangan pada penampang kritis tidak boleh lebih besar dari tebal pelat, kecuali untuk kontruksi pelat seluler atau pelat berusuk
- c. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap suatu tepi yang tidak menerus, dari bentang tepi harus dilanjutkan sampai ke tepi pelat dan harus tertanam ke dalam balok spandrel, kolom atau dinding paling sedikit 150 mm.
- d. Tulangan momen negatif yang tegak lurus terhadap suatu tepi yang tidak menerus harus dibengkokkan, diberi kait atau jangkar kedalam balok spandrel, kolom atau dinding agar kemampuan menahan momen dipenuhi.



Gambar 2.12 Penempatan tulangan momen positif pada bentang tepi

Sumber: Wahyudi (1997)

- e. Pada perhitungan pelat, lebar pelat diambil 1 meter ($b = 1000 \text{ mm}$)

Asroni (2010):

- f. Panjang bentang (λ):

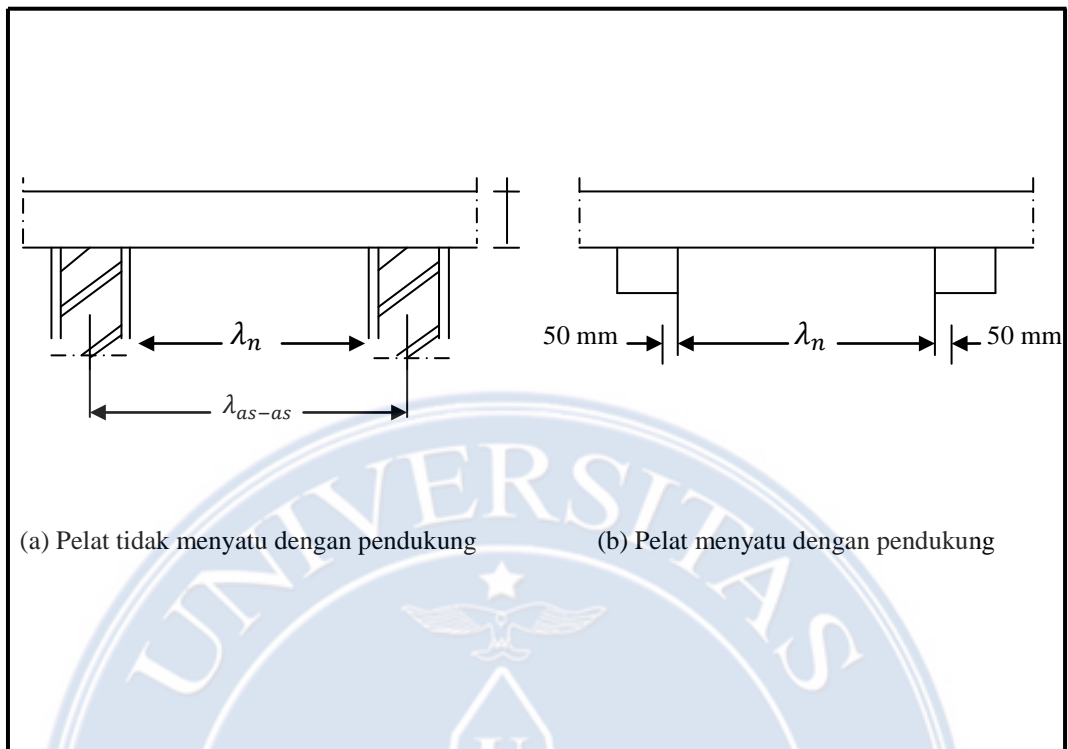
- a. Pelat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung:

$$\lambda = \lambda_n + h \text{ dan } \lambda \leq \lambda_{as-as}$$

- b. Pelat yang menyatu dengan struktur pendukung

Jika $\lambda_n \leq 3,0 \text{ m}$ maka $\lambda = \lambda_n$

Jika $\lambda_n > 3,0 \text{ m}$ maka $\lambda = \lambda_n + 2 \times 50 \text{ mm}$



Gambar 2.13 Penentuan Panjang Bentang Pelat (λ)

Sumber: Asroni (2010)

- g. Tebal minimum Pelat (h)
- a. Untuk pelat satu arah, tebal minimal pelat dapat dilihat pada Tabel 2.1
(sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.2.3)

Tabel 2.1 Tebal minimum untuk pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Satuan milimeter

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	l/20	l/24	l/28	l/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	l/16	l/18,5	l/21	l/8
Catatan				
Panjang bentang dalam milimeter				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain nilai diatas harus dimodifikasikan sebagai berikut:				
a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara 1500 kg/m^3 dengan 2000 kg/m^3 , nilai tidak harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana W_c adalah berat jenis dalam kg/m^3				
b. Untuk f_y selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$				

(Sumber: SNI 03-2847-2002)

- b. Untuk pelat dua arah, tebal minimum pelat bergantung pada $\alpha_m = \alpha$ rata-rata, α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan rumus:

$$\alpha = \frac{E_{cb}/I_b}{E_{cp}/I_p} \dots\dots\dots(\text{Pers 2.1a})$$

a. Jika $\alpha_m < 0,2$ maka $h \geq 120 \text{ mm}$

b. Jika $0,2 \leq \alpha_m \leq 2$ maka :

$$h = \frac{\lambda n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \beta (\alpha_m - 0,2)} \quad \text{dan } \geq 120 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(\text{Pers 2.1b})$$

c. Jika $\alpha_m > 2$

$$h = \frac{\lambda n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9 \beta} \quad \text{dan } \geq 90 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(\text{Pers 2.1c})$$

d. Tebal pelat tidak boleh kurang dari ketentuan Tabel 2.2 (Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3) yang bergantung pada tegangan tulangan f_y . Nilai f_y pada tabel dapat diinterpolasi linear.

Tabel 2.2. Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Satuan milimeter

Tegangan leleh f_y Mpa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
300	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
400	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
500	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34
a. Untuk tulangan dengan tegangan leleh diantara 300 Mpa dan 400 Mpa atau diantara 400 Mpa dan 500 Mpa, digunakan interpolasi linear						
b. Penebalan panel didefinisikan dalam 15.3(7(1)) dan 15.5(7(2))						
c. Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya disepanjang tepi luar.						
Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang 0,8						

(Sumber: SNI 03-2847-2002)

h. Tebal selimut beton minimal:

- Untuk batang tulangan $D \leq 36$,
tebal selimut betonnya ≥ 20 mm(Pers 2.2a)

- Untuk batang tulangan D44 – D56,
tebal selimut betonnya ≥ 40 mm(Pers 2.2b)

i. Jarak bersih antara tulangan s:

$s \geq D$ dan $s \geq 25$ mm (D adalah diameter tulangan)(Pers 2.3a)

$s \geq 4/3$ x diameter maksimal agregat atau $s \geq 40$ mm(Pers 2.3b)

(catatan: Diameter nominal maksimal kerikil ≈ 30 mm)

j. Jarak maksimal tulangan (as ke as)

Tulangan pokok :

Pelat 1 arah : $s \leq 3 h$ dan $s \leq 450$ mm (pasal 12.5.4)(Pers 2.4a)

Pelat 2 arah : $s \leq 2 h$ dan $s \leq 450$ mm (pasal 15.3.2)(Pers 2.4b)

Tulangan bagi (pasal 9.12.2.2) :

$s \leq 5 h$ dan $s \leq 450$ mm(Pers 2.4c)

k. Luas tulangan minimal pelat

a. Tulangan pokok:

$$f'_c \leq 31,36 \text{ Mpa}, A_s \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \quad \text{dan}$$

$$f'_c > 31,36 \text{ Mpa}, A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \cdot b \cdot d \quad \text{.....(Pers 2.5a)}$$

b. Tulangan bagi/tulangan susut dan suhu

Untuk $f_y \leq 300$ Mpa, maka $A_{sb} \geq 0,0020 \cdot b \cdot h$ (Pers 2.5b)

Untuk $f_y = 400$ Mpa, maka $A_{sb} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h$ (Pers 2.5c)

Untuk $f_y \geq 400$ Mpa, maka $A_{sb} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h (400/f_y)$..(Pers 2.5d)

Tetapi $A_{sb} \geq 0,0014.b.h$ (Pers 2.5e)

1. Selanjutnya tentukan rasio tulangan (ρ)

a. Kontrol nilai $\rho = \frac{A_s}{b.d}$, Syarat: $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$ (Pers 2.6a)

Dengan: $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \rightarrow$ jika $f_c' \leq 31,36$ Mpa(Pers 2.6b)

Atau: $\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} \rightarrow$ jika $f_c' > 31,36$ Mpa(Pers 2.6c)

$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{(600 + f_y) \cdot f_y}$ (Pers 2.6d)

Catatan: Jika $\rho < \rho_{min} \rightarrow$ Pelat diperkecil

Jika $\rho > \rho_{maks} \rightarrow$ Pelat diperbesar

b. Dihitung: $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$ (Pers 2.6e)

c. Dihitung: $M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$ (pers 2.6f)

dan $M_r = \phi \cdot M_n$ (pers 2.6g)

B. Pembebanan

Dalam menjalankan fungsinya, setiap struktur akan menerima pengaruh dari luar yang perlu dipikul. Selain pengaruh dari luar, sistem struktur yang terbuat dari material bermassa, juga akan memikul beratnya sendiri akibat pengaruh gravitasi. Selain pengaruh dari luar yang dapat diukur sebagai besaran gaya atau beban, seperti berat sendiri struktur, beban akibat hunian atau penggunaan struktur, pengaruh angin atau getaran gempa, tekanan tanah atau tekanan hidrostatik air, terdapat juga pengaruh luar yang tidak dapat diukur sebagai gaya.

B.1. Beban mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPIUG 1983).

Untuk keperluan analisis dan desain struktur bangunan, besarnya beban mati harus ditaksir atau ditentukan terlebih dahulu. Beban mati merupakan beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen.

Informasi mengenai berat satuan dari berbagai material konstruksi yang sering digunakan perhitungan beban mati dicantumkan berikut ini:

Tabel 2.3 Berat satuan material

No	Material	Berat	Satuan
1	Baja	7850	kg/m ³
2	Beton	2200	kg/m ³
3	Batu belah	1500	kg/m ³
4	Beton bertulang	2400	kg/m ³
5	Pasangan batu merah	1700	kg/m ³
6	Kayu	1000	kg/m ³
7	Pasir kering	1600	kg/m ³
8	Pasir basah	1800	kg/m ³
9	Pasir kerikil	1850	kg/m ³
10	Tanah	1700 - 2000	kg/m ³

(Sumber: PPIUG 1983)

Tabel 2.4 Berat dari beberapa komponen bangunan

No	Material	Berat	Satuan
1	Atap genting, usuk, dan reng	50	kg/m ²
2	Plafon dan penggantung	20	kg/m ²
3	Atap seng gelombang	10	kg/m ²
4	Adukan/spesi lantai per cm tebal	21	kg/m ²
5	Penutup lantai/ubin per cm tebal	24	kg/m ²
6	Pasangan bata setengah batu	250	kg/m ²
7	Pasangan batako berlubang	200	kg/m ²
8	Aspal per cm tebal	14	kg/m ²

(Sumber: PPIUG 1983)

B.2. Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air (PPIUG 1983).

Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga termasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal.

Beban hidup yang bekerja pada struktur dapat sangat bervariasi, sebagai contoh seseorang dapat berdiri di mana saja dalam suatu ruangan, dapat berpindah-pindah, dapat berdiri dalam satu kelompok. Perabot atau barang dapat berpindah-pindah dan diletakkan dimana saja di dalam ruangan.

Tabel 2.5 Beban Hidup pada Lantai Gedung

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b.	200	kg/m ²
2	Lantai dan tangga rumah sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel.	125	kg/m ²
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit.	250	kg/m ²
4	Lantai ruang olah raga	400	kg/m ²
5	Lantai ruang dansa	500	kg/m ²
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton	400	kg/m ²
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri.	500	kg/m ²
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300	kg/m ²
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g.	500	kg/m ²
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g.	250	kg/m ²
11	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400	kg/m ²
12	Lantai gedung parkir bertingkat:		
	- untuk lantai bawah	800	kg/m ²
	- untuk lantai tingkat lainnya	400	kg/m ²
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300	kg/m ²

(Sumber: PPIUG 1983)

B.3. Kombinasi beban

Besar faktor beban yang diberikan untuk masing-masing beban yang bekerja pada suatu penampang struktur akan berbeda-beda tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 11.2 harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi-kombinasi beban berfaktor sebagai berikut:

- a. Jika struktur dan komponen strukturnya hanya menahan beban mati (D) saja, maka dirumuskan:

$$U = 1,4 D \quad \text{.....(Pers 2.8a)}$$

- b. Jika berupa kombinasi beban mati (D) dan beban hidup (L) maka:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5(A \text{ atau } R) \quad \text{.....(Pers 2.8b)}$$

- c. Jika berupa kombinasi beban mati (D), beban hidup (L), dan beban angin (W), maka diambil pengaruh yang besar dari dua macam rumus berikut:

1. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad \text{.....(Pers 2.8c)}$

2. $U = 0,9 D \pm 1,6 W \quad \text{.....(Pers 2.8d)}$

- d. Jika pengaruh beban gempa (E) diperhitungkan, maka diambil yang besar dari dua macam rumus berikut:

1. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \quad \text{.....(Pers 2.8e)}$

2. $U = 0,9 D \pm 1,0 E \quad \text{.....(Pers 2.8f)}$

Dimana:

U = Kombinasi beban terfaktor (kN, kN/m' atau kNm)

D = Beban mati (*Dead Load*) (kN,kN/m' atau kNm)

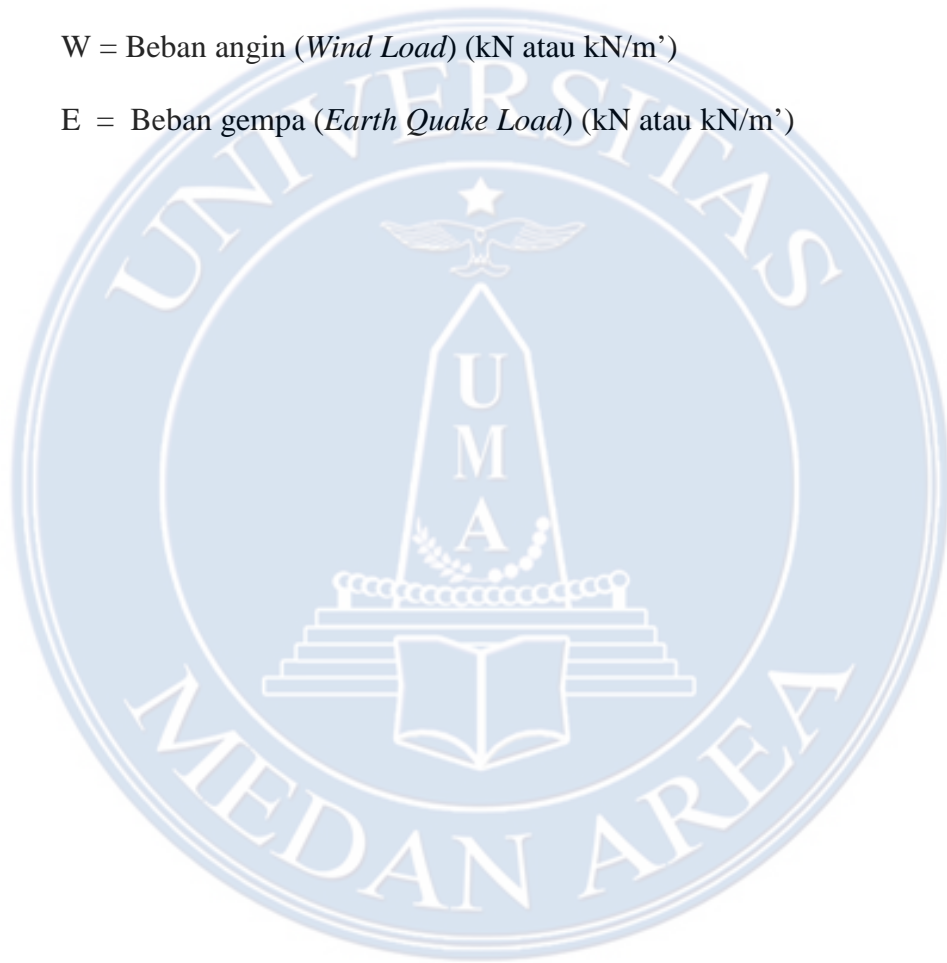
L = Beban hidup (*Life Load*) ((kN,kN/m' atau kNm)

A = Beban hidup atap (kN,kN/m' atau kNm)

R = Beban air hujan (kN,kN/m' atau kNm)

W = Beban angin (*Wind Load*) (kN atau kN/m')

E = Beban gempa (*Earth Quake Load*) (kN atau kN/m')



2.2. Metode Yield Line

2.2.1. Teori Yield Line

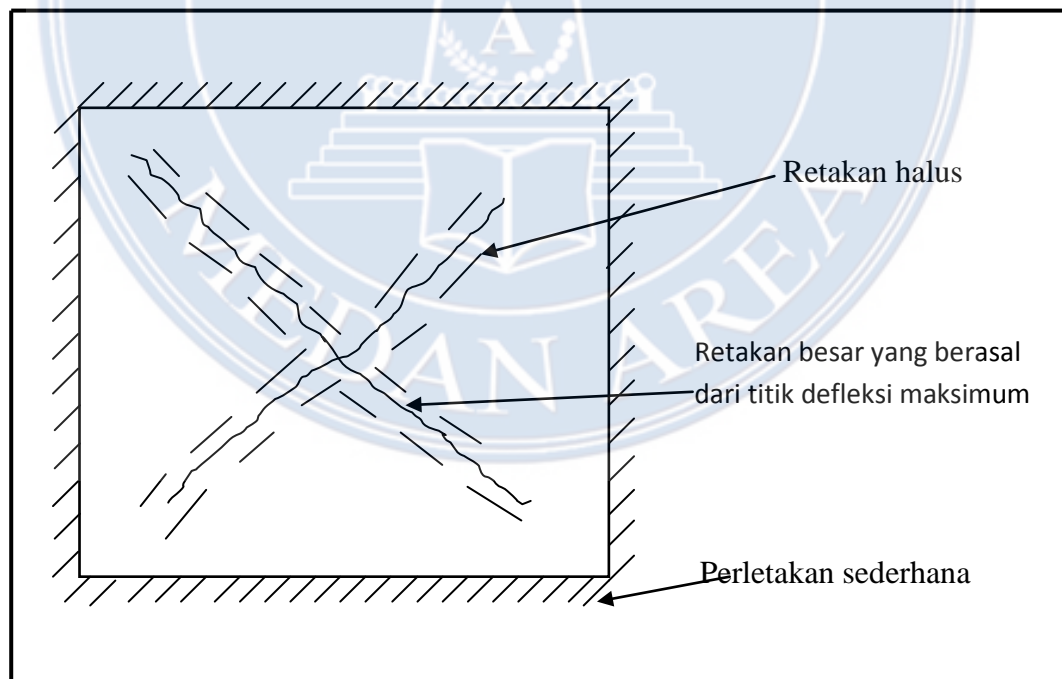
Teori Yield Line adalah merupakan solusi batas atas (*upper bound*) untuk masalah pelat. Ini berarti bahwa kapasitas momen yang diprediksi untuk *slab* mempunyai nilai yang diduga tertinggi dibandingkan dengan hasil-hasil pengujian. Selain itu teori tersebut mengasumsikan perilaku plastis kaku, artinya pelat tetap berupa bidang pada saat kolaps. Karena itu defleksi tidak diperhitungkan dan gaya membran tekan yang akan bekerja dibidang *slab* atau pelat tidak ditinjau. Pelat diasumsikan sangat bertulangan kurang, sedemikian hingga persentase penulangan maksimum ρ tidak melebihi 0,5 % dari bd penampang.

Karena solusinya merupakan batas atas, maka ketebalan slab yang diperoleh dengan proses ini pada mulanya lebih tipis daripada yang diperoleh dengan solusi batas bawah. Dengan demikian adalah penting untuk menerapkan persyaratan daya layan untuk kontrol defleksi dan kontrol retak secara benar apabila teori yield line ini digunakan.

Keuntungan utama dari teori ini adalah bahwa solusinya dapat dengan mudah diterapkan pada jenis pelat apapun, sedangkan sebagian besar metode lain hanya berlaku untuk bentuk persegi panjang dengan perhitungan rumit untuk memperhitungkan efek di tepinya. Perencana dapat dengan mudah mencari kapasitas momen untuk bentuk persegi panjang, trapezoid, segi tiga, lingkaran atau bentuk-bentuk lainnya, asalkan mekanisme kegagalannya diketahui atau dapat diprediksi. Karena sebagian besar pola kegagalan dapat diidentifikasi, maka solusinya dapat dengan mudah diperoleh, Nawy E.G (2001).

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 yang merupakan pelat dengan pembebanan sampai terjadinya keruntuhan. Pada awal pembebanan reaksi yang terjadi pada pelat adalah elastis dengan tegangan maksimum dan defleksi yang terjadi di titik pusat pelat. Pada saat memungkinkan terjadinya retak seperti rambut yang akan muncul dimana kekuatan lentur dari beton telah terlampaui yang terletak di tengah bentang.

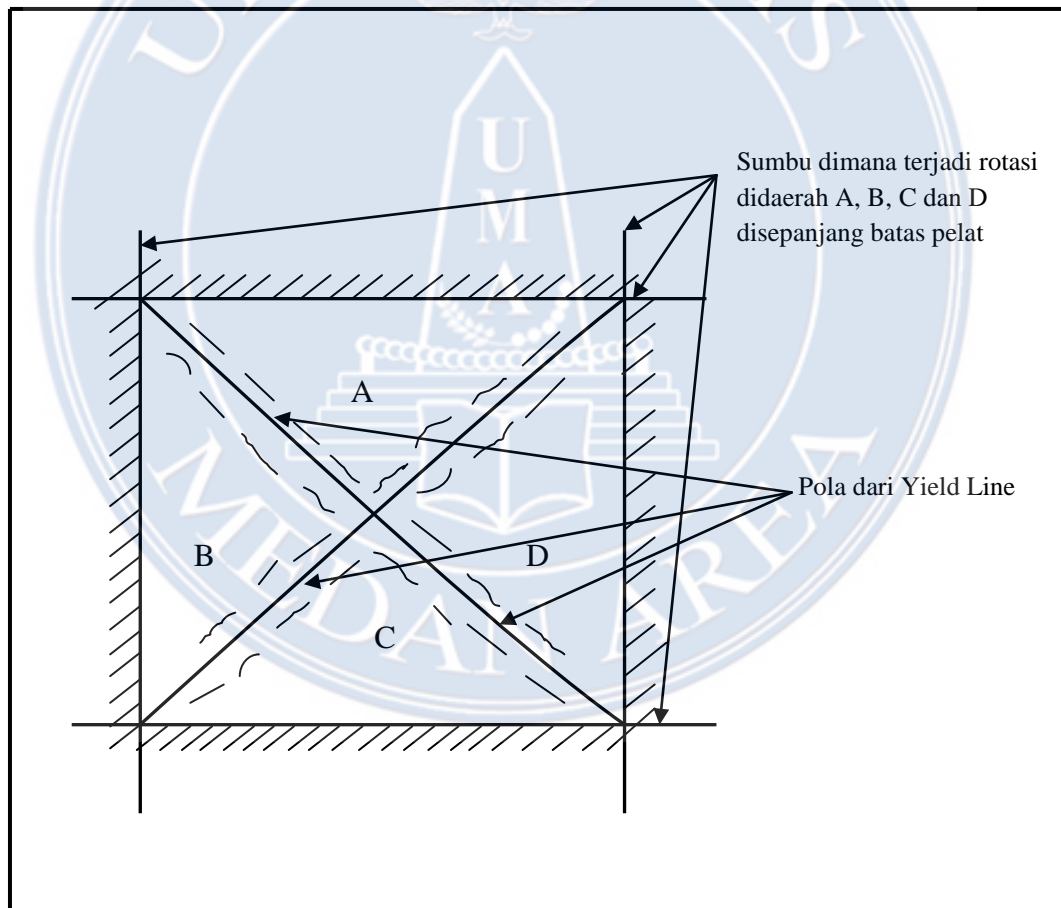
Bertambahnya nilai pembebanan mempercepat terjadinya retakan ini, dan selanjutnya retakannya akan semakin besar dari titik defleksi maksimumnya, dan penambahan terus dilakukan maka keretakan akan berpindah ke bagian yang bebas dari pelat dimana pada waktu yang sama semua tegangan lenturnya akan melalui garis leleh dari Yield Line ini.



Gambar 2.14 Keretakan yang terjadi pada pelat

Sumber : Irwanto (2011)

Pada keadaan ultimate seperti ini, pelat akan mengalami keruntuhan. Seperti yang digambarkan pada gambar 2.15 pelat dibagi menjadi daerah A, B, C, dan D. Daerah - daerah ini juga berputar pada sumbu rotasinya yang biasanya sepanjang batas pelat tersebut, yang akan berdampak pada pada pergeseran beban yang diberikan. Di titik inilah beban yang diberikan akan di salurkan pada garis sumbu rotasi di garis lelehnya yang disamakan dengan beban bergerak yang diberikan pada daerahnya. Inilah yang disebut dengan Teori Yield Line.



Gambar 2.15 Mekanisme pembentukan pola dari Yield Line

Sumber : Irwanto (2011)

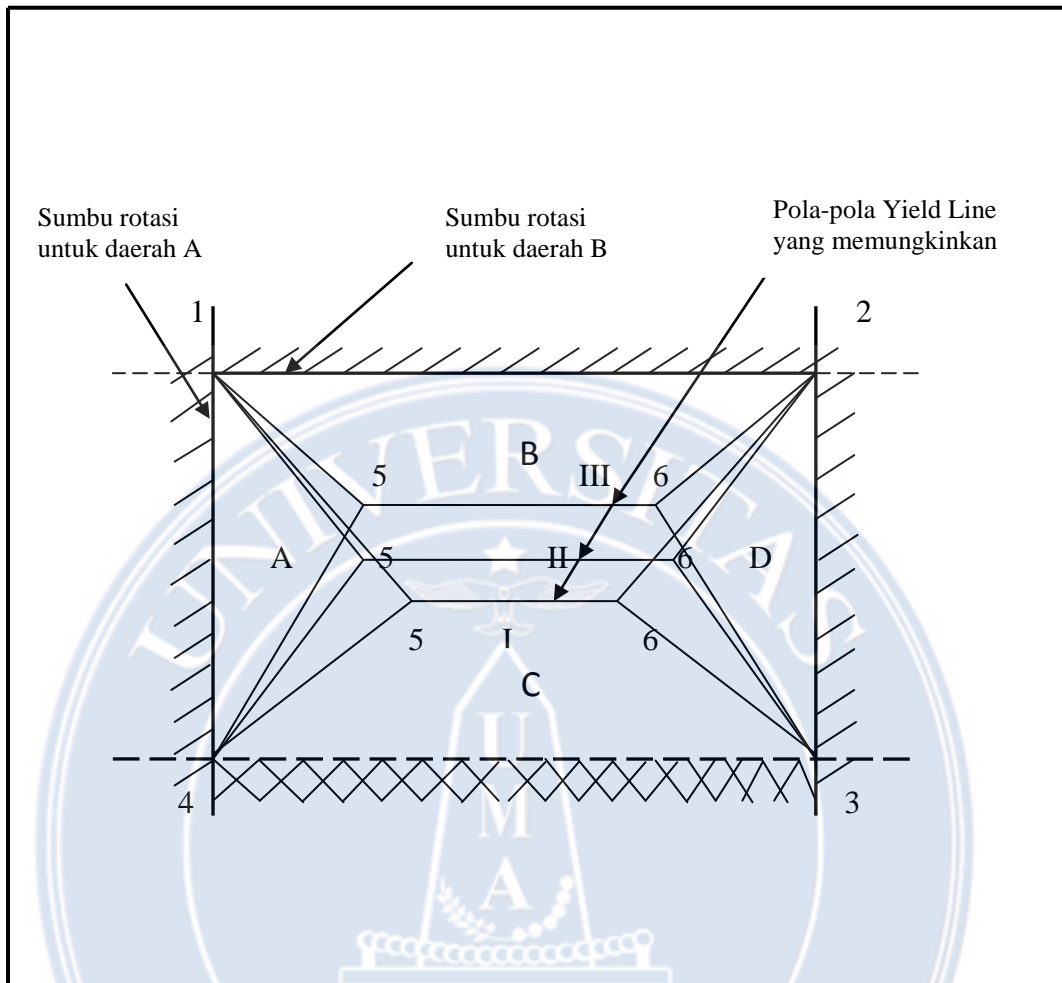
2.2.2. Pola Yield Line

Ketika suatu pelat dibebani sampai terjadinya keruntuhan, garis leleh yang terjadi akan membentuk suatu daerah dimana terjadi tekanan maksimum dan selanjutnya akan menjadi sendi plastis. Sendi plastis ini akan berkembang menjadi suatu mekanisme yang membentuk pola dari garis leleh (Yield Line). Teori ini akan membagi pelat menjadi daerah tersendiri, dimana sesuai dengan arah rotasinya.

Untuk dapat mengidentifikasi dari pola yang sah dan solusi dari teori Yield Line ini maka ada beberapa hal yang dapat diperhatikan, yakni:

- a. Sumbu rotasi biasanya sepanjang batas pelat dan sepanjang kolom,
- b. Garis dari Yield Line merupakan sebuah garis lurus,
- c. Garis Yield Line yang berada diantara daerah - daerah yang berbatasan haruslah melalui titik persimpangan dari sumbu rotasi dari tiap daerahnya,
- d. Garis dari Yield Line harus berakhir di batas pelat tersebut,
- e. Pada perletakan menerus akan bernilai negatif dan untuk perletakan simpel bernilai positif.

Setelah pola dari Yield Line telah ditentukan maka sekarang hal yang perlu dilakukan adalah menentukan penurunan di satu titik (biasanya di titik penurunan maksimumnya) dimana semua rotasi yang terjadi dapat ditentukan, hal ini dapat digambarkan di dalam gambar 2.16



Gambar 2.16 Pola Yield Line yang memungkinkan untuk pelat sederhana

Sumber : Irwanto (2011)

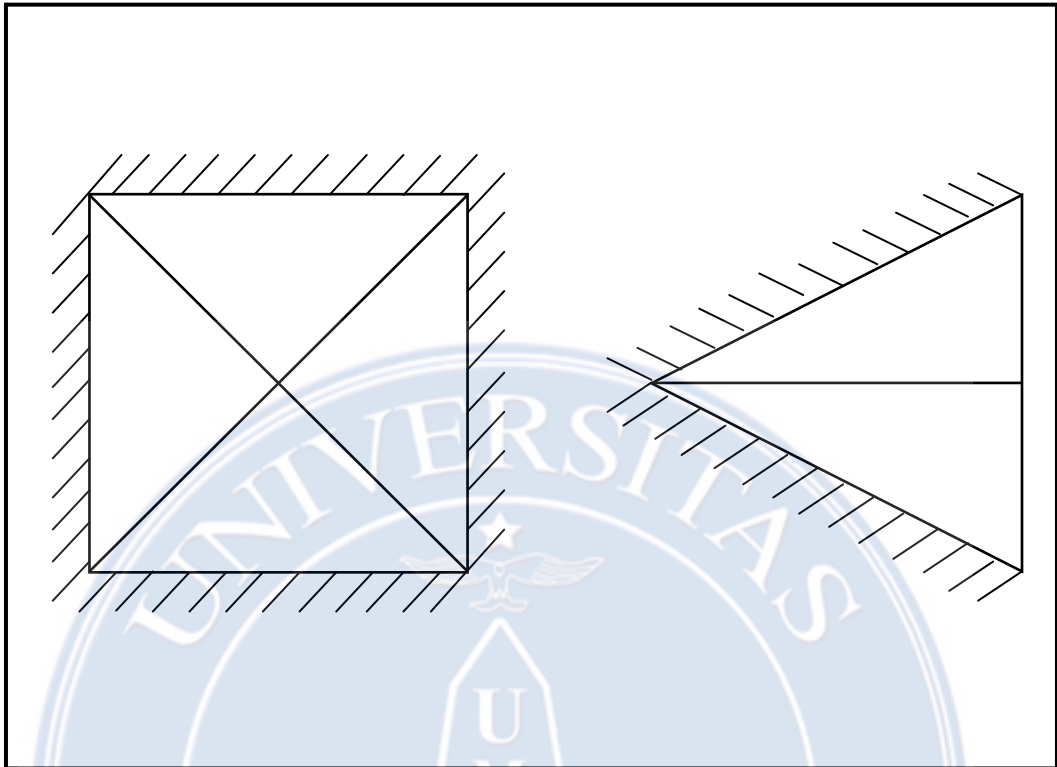
Di dalam Teori Yield Line ada kemungkinan munculnya beberapa pola yang sah dalam perhitungannya. Tetapi sebagai seorang perencana haruslah dapat menentukan salah satu pola yang dapat menghasilkan momen maksimum atau sekurang - kurangnya sampai terjadi keruntuhan pada pelat akibat beban yang diberikan. Ada beberapa cara bagi seorang perencana dalam menemukan pola yang paling kritis atau yang paling mendekati dalam perencanaanya:

- a. Dengan menggunakan prinsip yang pertama yaitu dengan work method
- b. Menggunakan rumus untuk situasi yang standar

Bisa dilihat bahwa pola dari Yield Line memberikan hasil, baik itu benar ataupun secara teoritis tidaklah aman. Tapi seperti yang telah dibahas sebelumnya, secara teoritis hal ini dapat mudah diatasi dengan mencoba pola - pola berbeda yang memungkinkan yang disertai dengan nilai toleransi, yang akan dijelaskan nantinya.

Pola dari Yield Line adalah terutama berasal dari sumbu rotasinya dan juga harus dipastikan bahwa garis yang dihasilkan merupakan suatu garis lurus, melalui titik persimpangan dari daerahnya masing - masing dan berakhir pada batas pelat tersebut. Beberapa contoh dari pola pelat yang simpel akan diperlihatkan pada gambar 2.17. Mengingat bahwa pelat seperti sebuah kue mungkin dapat membuat para perencana dapat lebih mudah untuk memvisualisasikan pola dari Yield Line yang sesuai atau yang paling cocok.

Tujuan dari menginvestigasi dari pola Yield Line ini adalah untuk dapat menentukan pola yang dapat memberikan nilai momen yang paling kritis (nilai momen yang paling maksimum). Namun analisa yang secara menyeluruh jarang diperlukan dan memilih beberapa pola yang lebih simpel dan efisien umumnya dapat dijadikan solusi dimana tingkat kesalahannya sangatlah minim.

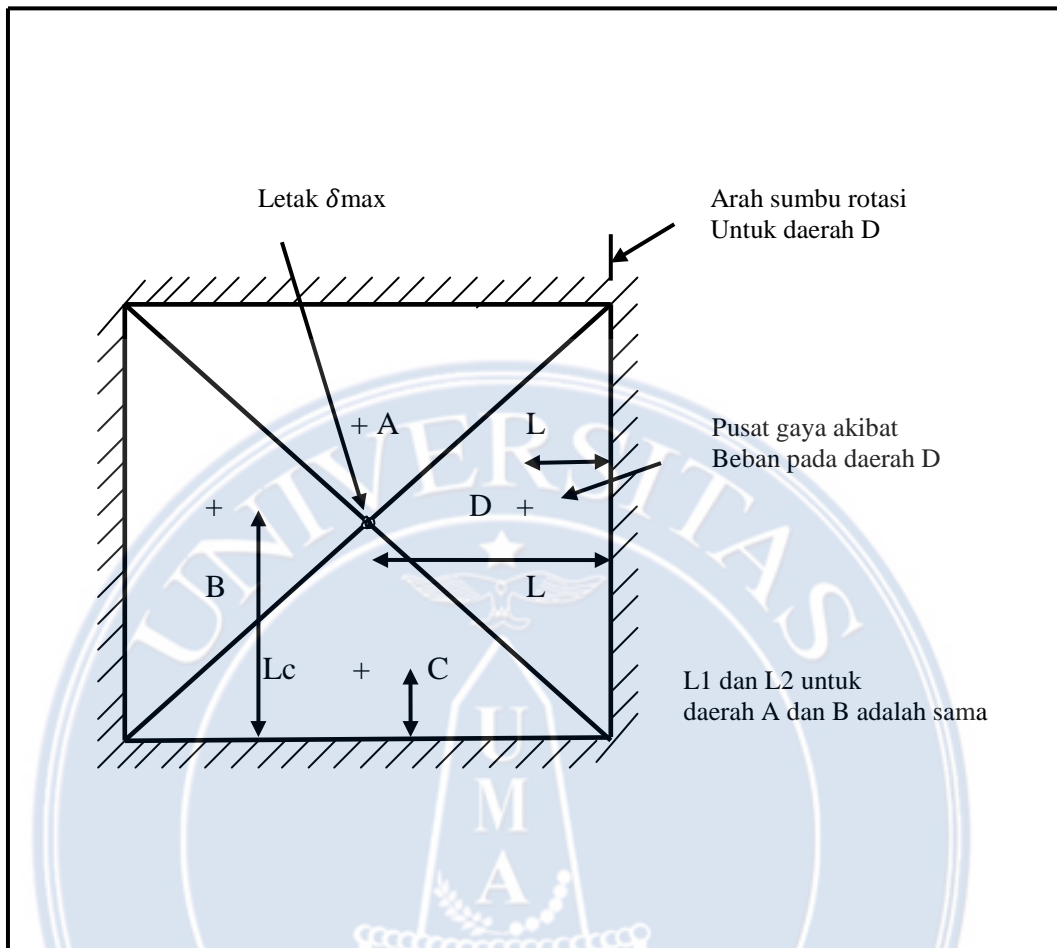


Gambar 2.17 Pola Yield Line yang simpel

Sumber : Irwanto (2011)

2.2.3. Konsep Yield Line

Didalam teori Yield Line biasanya diasumsikan bahwa penurunan maksimum yang terjadi (δ_{max}) didalam kondisi kesatuan yang terjadi pada setiap daerah di pelat. Ketika menghitung energi eksternal yang terjadi (W) penurunan yang terjadi merupakan akibat adanya diberikan pembebanan pada daerah masing – masing pelat yang dapat ditunjukkan sebagai faktor $L1/L2$, dimana $L1$ merupakan jarak tegak yang lurus terhadap arah sumbu rotasinya dan $L2$ merupakan jarak yang tegak lurus dengan lokasi dimana terjadinya δ_{max} dari arah sumbu rotasi masing- masing daerah pada pelat.



Gambar 2.18 Panjang L1 dan L2

Sumber : Irwanto (2011)

Arah Sumbu Rotasi dari setiap daerah biasanya bertepatan dengan batas pelat tersebut. Dimana L2 merupakan nilai konstan untuk semua beban pada semua daerah, dan jarak L1 sangat tergantung pada lokasi pusat massa beban yang ada pada daerah tersebut. Untuk mempermudah dalam mengetahui nilai dari L1/L2 ketika diberikan beban yang merata maka dapat digunakan ketentuan:

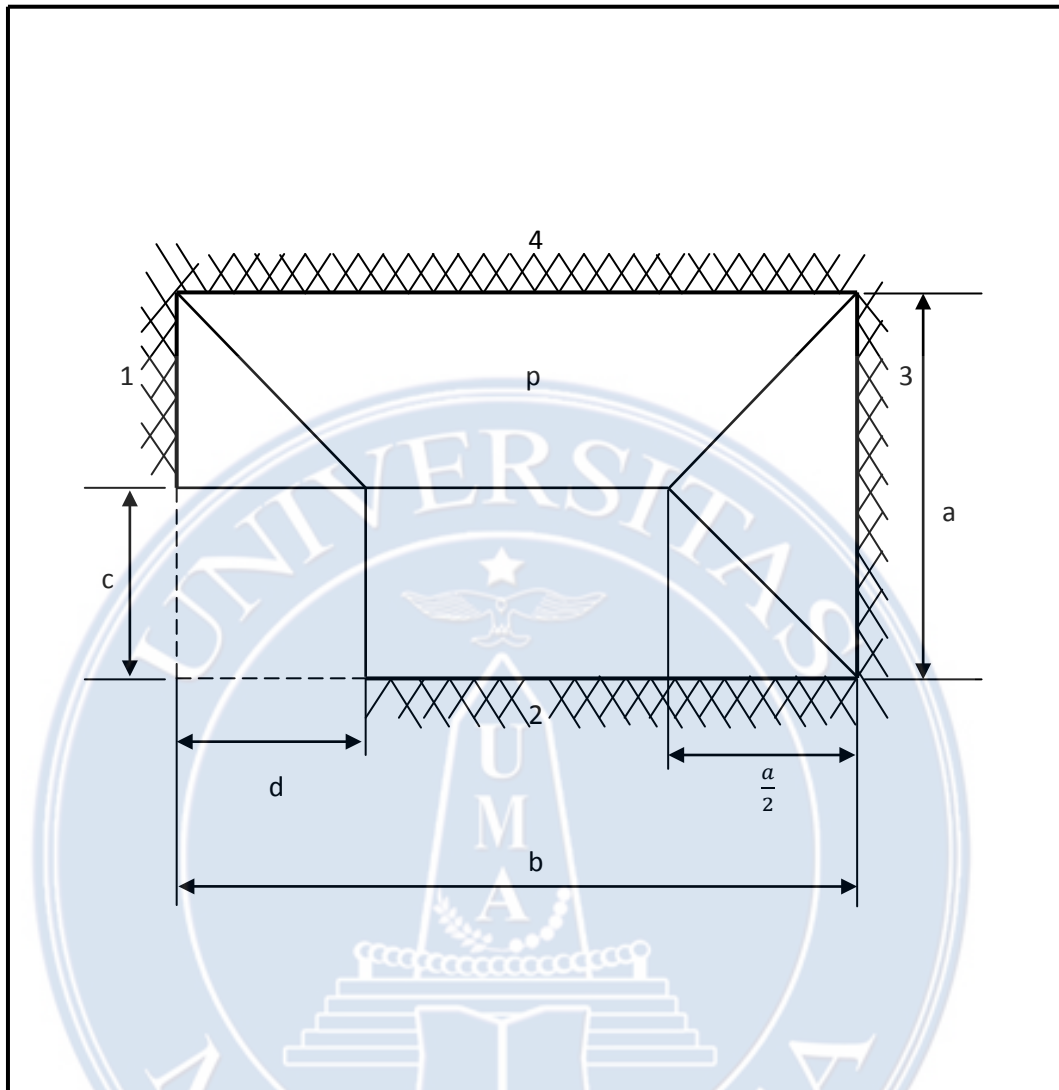
- a. 1/2 untuk semua daerah berbentuk persegi panjang
- b. 1/3 untuk semua daerah berbentuk segitiga dimana puncak dari segitiga berada pada titik penurunan maksimum
- c. 2/3 untuk semua daerah berbentuk segitiga dimana puncak dari segitiga berada pada sumbu rotasinya.

Konsep dari Yield Line adalah menyamakan kerja yang disebabkan oleh pembebanan pada pelat dengan kerja yang disebabkan oleh gaya - gaya dalam yang menghasilkan rotasi pada pelat, dapat dirumuskan:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Kerja eksternal} & = & \text{Kerja Internal} \\
 E & = & I \\
 \Sigma(A \times W \times n) & = & \Sigma(M \times l \times \theta) \quad \dots\dots\dots(\text{Pers 2.9})
 \end{array}$$

Dimana:

- A = Luas daerah
- W = Beban yang diberikan
- n = Jarak titik berat tiap daerah
- M = momen
- l = panjang
- θ = rotasi



Gambar 2.19 gambaran perputaran rotasi (θ)

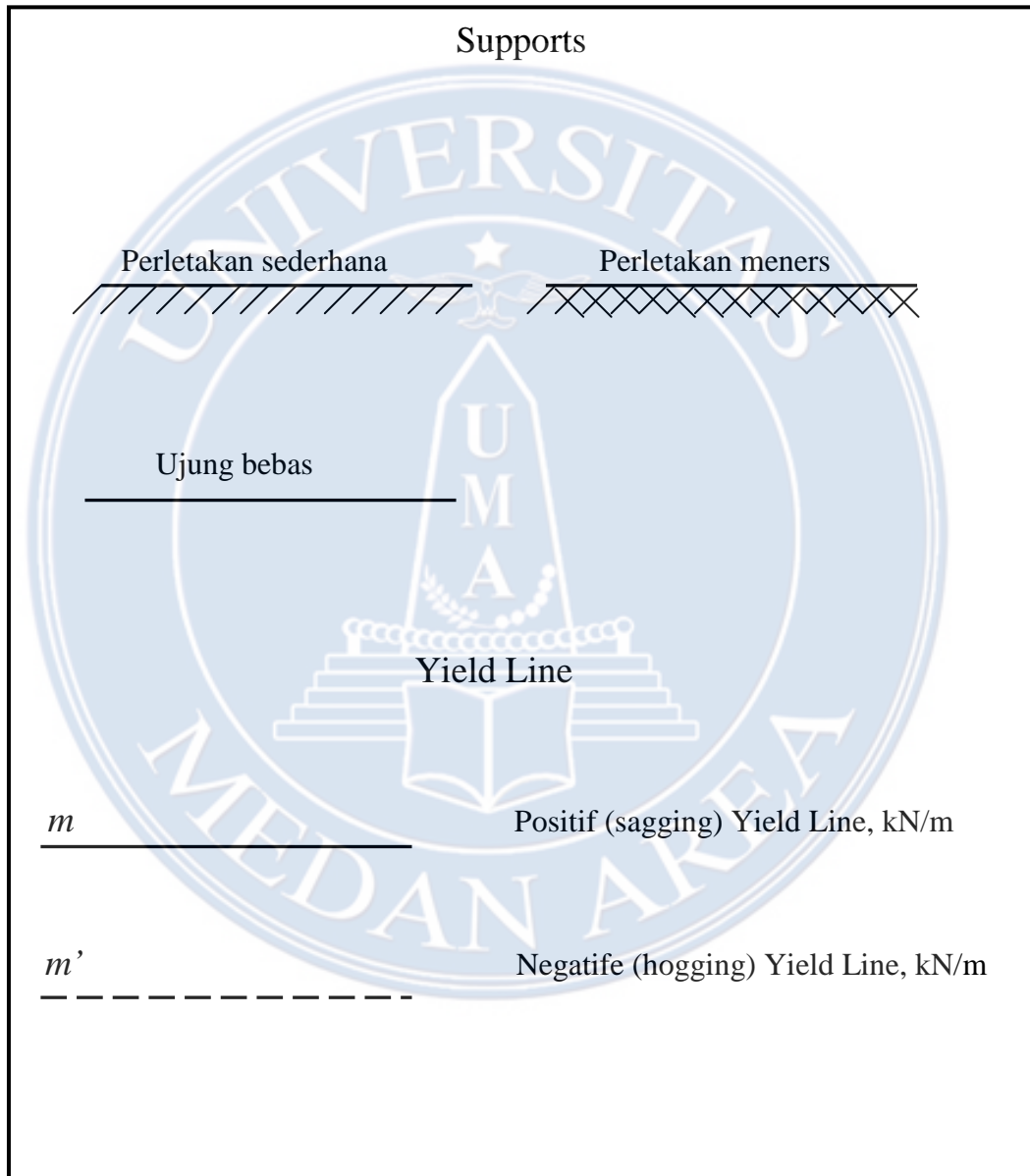
Sumber: Johansen K.W (1972)

Dari gambar 2.19 diatas ditentukan nilai rotasi $\theta_1 = 1/d$; $\theta_2 = 1/c$

2.2.4. Penggambaran Notasi

Dibawah ini akan menunjukkan notasi yang sering digunakan dalam skripsi

ini adalah:

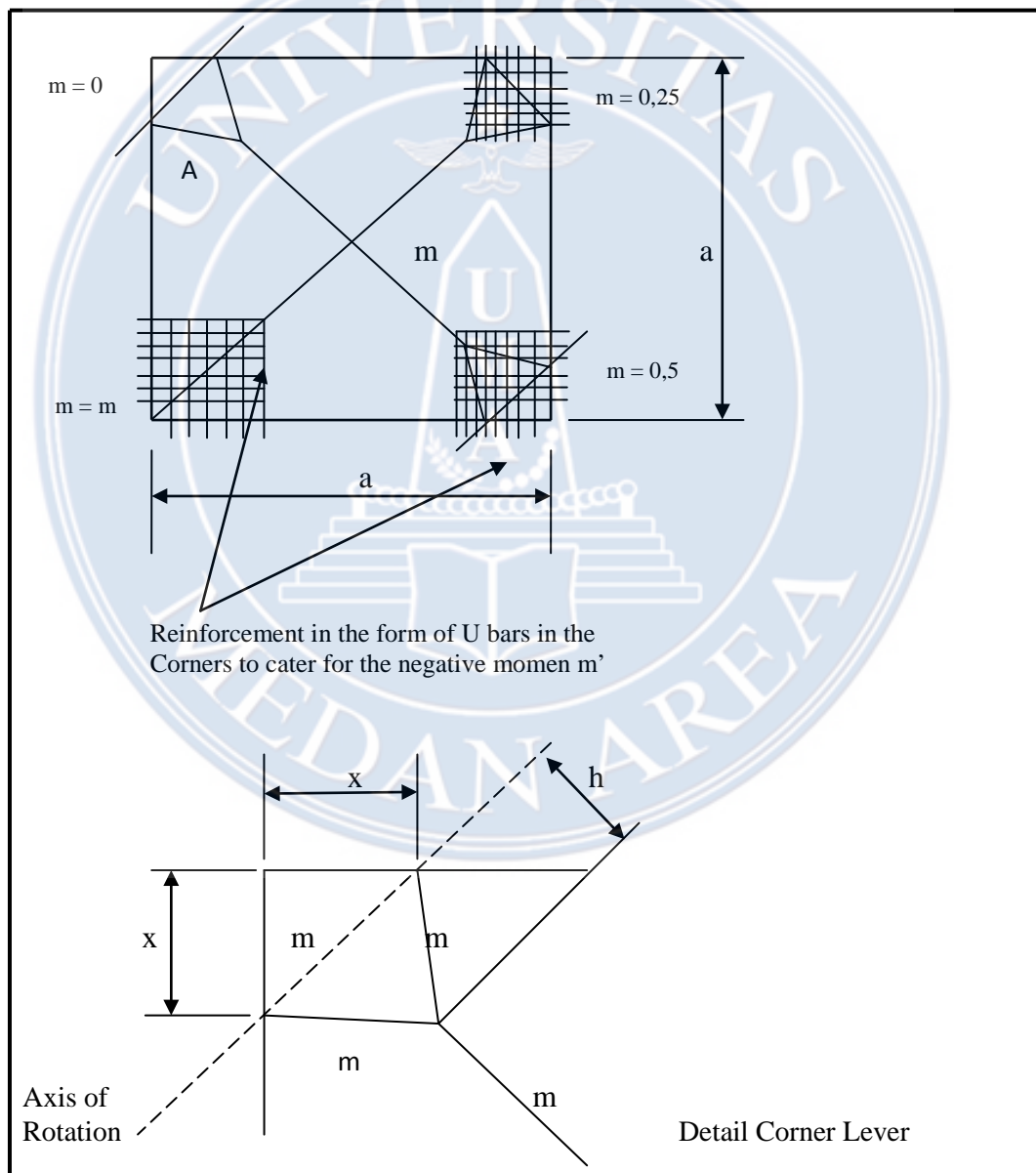


Gambar 2.20 Penggambaran notasi

Sumber : Irwanto (2011)

2.2.5. Corners Levers

Corners Levers menjelaskan hal - hal yang terjadi pada pelat dua arah dimana garis Yield Line mengalami pemisahan pada di bagian sudut dalamnya. Pemisahan ini terkait dengan pembentukan garis Yield Line yang bernilai negative yang melewati bagian sudut dari pelat yang digambarkan pada gambar 2.21



Gambar 2.21 Akibat dari Corner Levers pada pelat dengan perletakan sederhana dimana di bagian sudutnya ditekan dan dicegah terjadinya lifing

Sumber : Irwanto (2011)

Di dalam analisa, pola dari Yield Line biasanya diasumsikan bahwa garis yang melewati di bagian sudut tidak ada terjadi pemisahan, dimana dalam hal ini corner levers di abaikan sehingga membuat perhitungan menjadi lebih simpel. Hal ini dibuat dengan adanya beberapa alasan, yakni:

- a. Biasanya di dalam perhitungan dampak dari adanya corner levers tidaklah memiliki pengaruh yang besar.
- b. Suatu analisa yang mengikutsertakan hal ini akan menjadi terlalu rumit untuk diselesaikan.

Pola garis Yield Line pada bagian sudut merupakan suatu garis lurus yang tidak dipisah. Nilai momen yang didapatkan dari cara ini hanya dapat digunakan jika penguatan yang diberikan pada sudut pelat memiliki nilai yang sama dengan rangka bajanya. Corner Lever dapat digunakan untuk pelat sederhana diman dampak yang dihasilkan tidak lebih dari batas toleransi aturan 10%.

2.2.6. Aturan 10%

Pemakaian aturan 10% di dalam mendesain momen yang ditimbulkan pada pelat sederhana dapat memberikan suatu kemudahan dimana adanya kesalahan dalam analisa Yield Line dan memberikan suatu jaminan terhadap diabaikannya corner levers. Pada pelat yang mengalami tekanan yang relatif rendah, pemakaian aturan ini dapat meningkatkan nilai momen sebesar 10%, hal ini sama dengan peningkatan 10% penguatan di dalam desain pelat.

Seorang perencana mungkin saja mencari solusi secara teliti, tetapi dengan diterapkan aturan 10% ini, maka dalam hal analisa dapat menjadi lebih simpel dan dalam desain mereka dapat berada dalam sisi yang aman tanpa terlalu konservatif

ataupun tidaklah ekonomis. Satu - satunya situasi dimana diperbolehkan menggunakan aturan 10% ini adalah pada kasus dimana suatu pelat yang memiliki sudut yang sangat rumit dan konfigurasi tertentu dari pelat dengan beban terpusat ataupun beban merata yang nilainya sangat besar. Aturan ini sangatlah penting di dalam penggunaannya di dalam lapangan tetapi tidak sebagai referensi di dalam penggunaan secara akademis, Irwanto (2011).

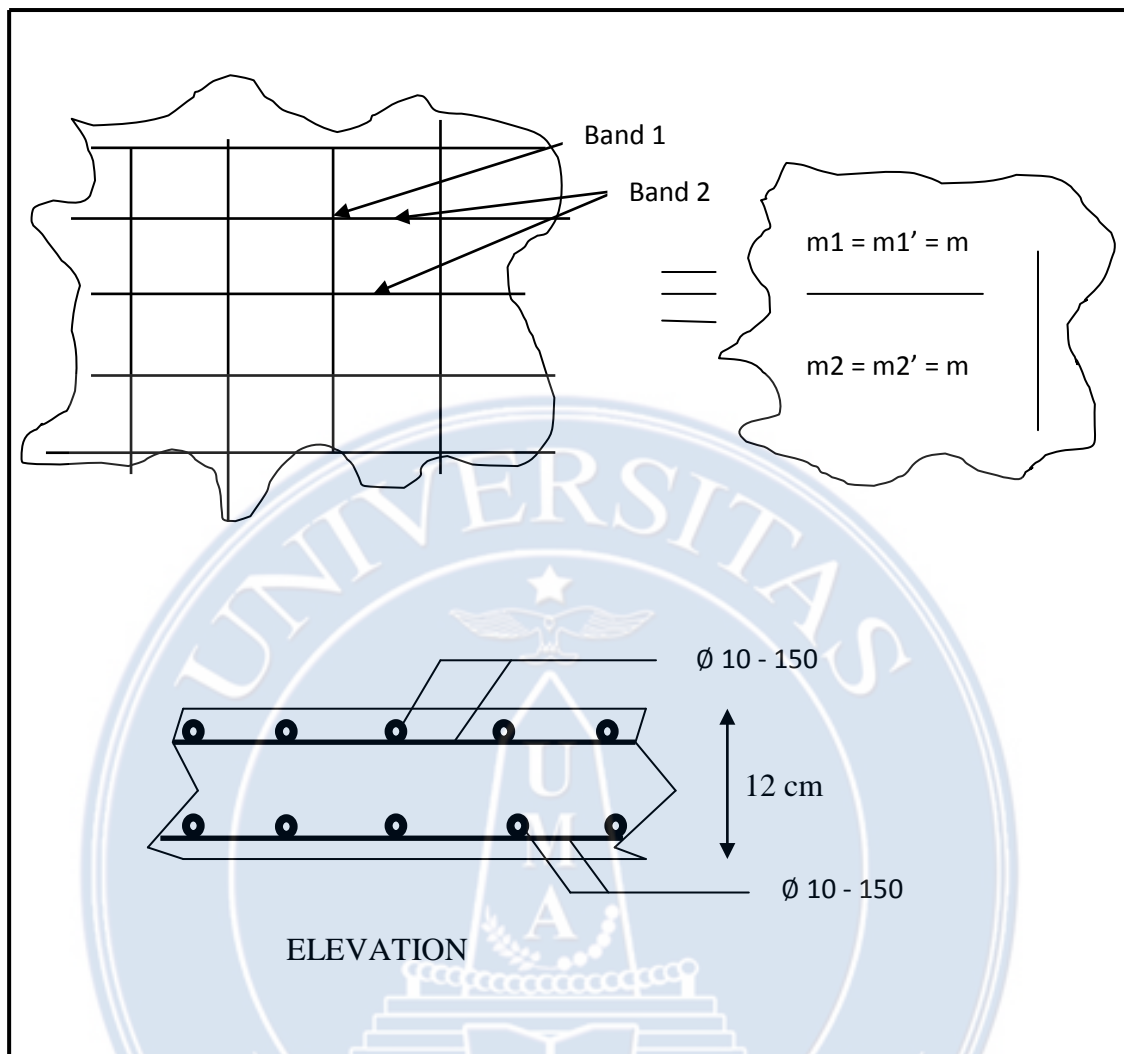
2.2.7. Pelat Isotropis

Dalam kasus yang paling umum yakni dalam susunan tulangan pada pelat, tulangan ini terdiri dari dua bagian yakni tulangan atas dan tulangan bawah yang menyebabkan terjadinya garis leleh. Hal ini dapat memungkinkan bagi seorang perancang untuk dapat menyelidiki berbagai jenis kemungkinan dan perletakan dari tiap pelat terutama pelat dengan bentuk yang tidak beraturan dan memiliki sudut.

Namun di dalam pelat isotropis ini, hanya akan membahas dimana tulangannya:

- a. Merupakan nilai maksimum dari kedua tulangan
- b. Bahan yang digunakan adalah dari baja

Dalam hal ini pelat dapat dikatakan sebagai isotropis. Dengan demikian, momen yang dihasilkan oleh hal ini akan ditunjukkan dalam bentuk huruf, yakni m untuk tulangan bagian bawah dan m' untuk tulangan bagian atas, yang dapat ditunjukkan dalam gambar 2.22



Gambar 2.22 Pelat Isotropis

Sumber : Irwanto (2011)

2.2.8. Pelat Orthotropis

Di dalam Pelat Orthotropis mempunyai nilai yang berbeda dalam hal penguatannya dalam dua arah. Biasanya tidak diperlukannya penguatan di dalam pelat dua arah. Pelat ini cenderung dalam jarak yang lebih pendek dan arah ini dapat memberikan penguatan yang sangatlah besar, Irwanto (2011). Namun di dalam pembuatan laporan ini hanya akan membahas pelat isotropis dan tidak membahas pelat orthotropis.

2.3. Metode Koefisien Momen

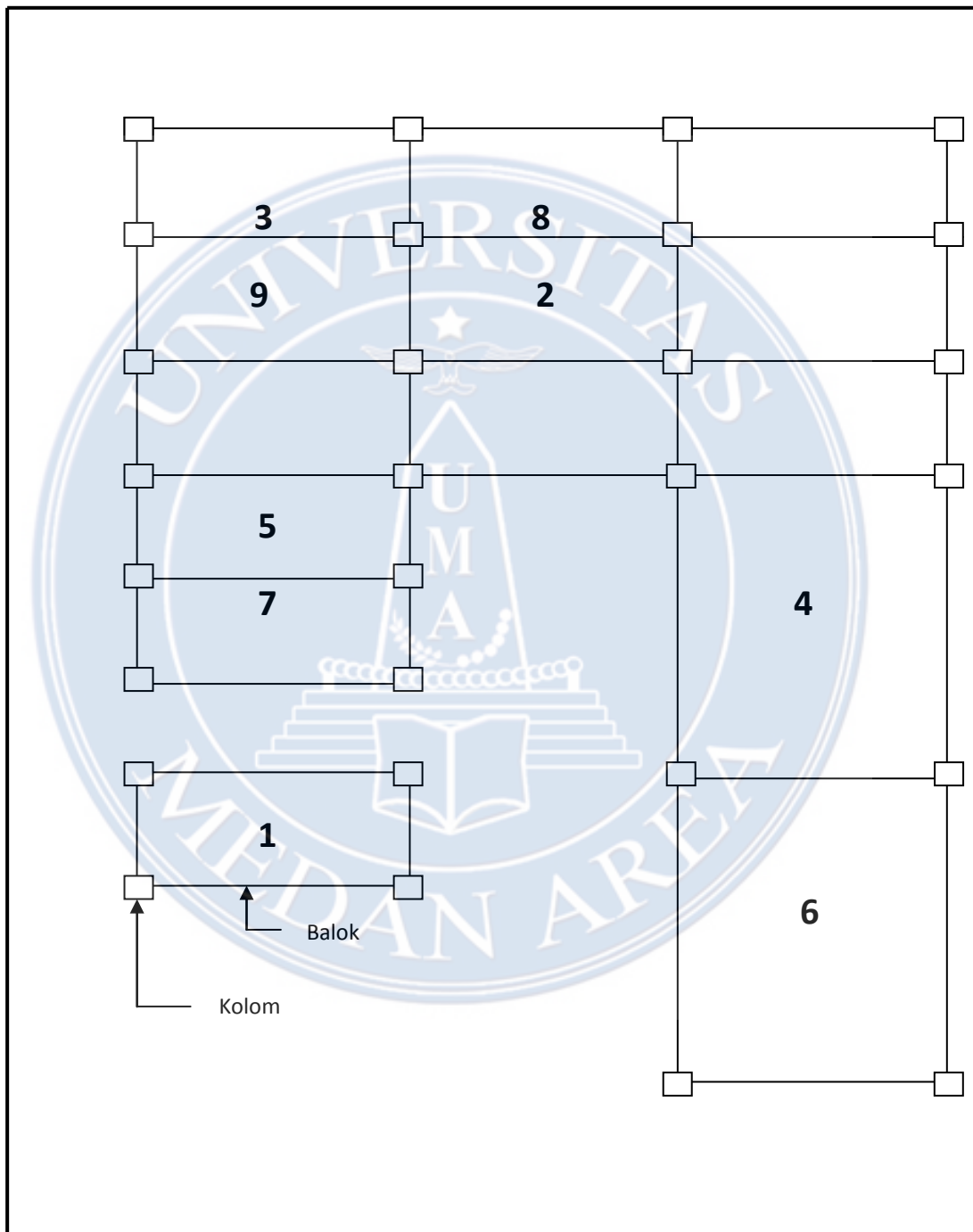
2.3.1. Syarat Koefisien Momen (PBI-1971)

Cara koefisien momen hanya boleh dipakai apabila dipenuhi syarat-syarat berikut:

- a) Terdapat minimal 3 bentang menerus dalam masing-masing arah
- b) Pelat-pelat harus berbentuk persegi panjang dengan perbandingan antara bentangnya yang panjang dan yang pendek tidak lebih dari 2.
- c) Panjang bentang-bentang yang berbatasan dalam masing-masing arah tidak boleh berselisih lebih dari $\frac{1}{3}$ dari bentang yang panjang.
- d) Beban hidup tidak boleh lebih berat dari pada 3 kali beban mati
- e) Apabila pelat ditumpu oleh balok-balok pada keempat tepinya kekakuan relatif dari balok-balok dari kedua arah yang tegak lurus tidak boleh kurang 0,2 dan tidak boleh lebih dari 5,0
- f) Penyimpangan dari syarat-syarat yang ditentukan dalam ayat ini dapat diizinkan, asal dapat dibuktikan dengan perhitungan bahwa penyimpangan tersebut dapat dipertanggung jawabkan.

Dalam metode koefisien momen ini, setiap panel pelat dianalisis tersendiri, berdasarkan kondisi tumpuan bagian tepinya. Tepi-tepi ini dapat dianggap terletak bebas, terjepit penuh, atau terjepit elastis. Jepitan penuh terjadi bila penampang pelat diatas tumpuan tersebut tidak dapat berputar sudut akibat pembebanan pada pelat. Hal ini terjadi, misalnya, apabila bagian tepi pelat menjadi satu kesatuan monolit dengan balok pemikul yang relatif sangat kaku, atau apabila penampang pelat diatas tumpuan itu merupakan bidang simetris terhadap pembebanan dan terhadap dimensi pelat. Jepitan elastis terjadi bila bagian pelat tersebut menjadi satu kesatuan monolit dengan balok yang relatif tidak terlalu kaku dan sesuai dengan kekakuannya memungkinkan pelat tersebut untuk berputar sudut pada tumpuannya. Sedangkan tepi-tepi pelat yang menumpu atau tertanam didalam tembok bata, harus dianggap sebagai tepi yang terletak bebas.

Ada sembilan set koefisien momen yang sesuai untuk sembilan kondisi pelat seperti diperlihatkan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2.23 Jenis kekangan tepi pelat

Sumber: Wahyudi L (1997)

Bila balok-balok tepi dianggap mampu memberikan perlawanan terhadap perubahan bentuk tepi-tepi pelat, maka didalam perhitungan, harus direncanakan untuk menerima beban puntir pelat.

Tabel untuk menghitung momen-momen yang bekerja pada pelat, untuk berbagai keadaan tepi pelat dibrikan dalam Tabel 13.3.1 dan 13.3.2 (PBI-1971).

Tabel 2.6 Momen-momen pelat akibat beban terbagi rata

Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya
akibat beban terbagi rata

		l_y/l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5	
I		$(M_{lx}) = 0,001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	34	32	32	25
II		$(M_{lx}) = -$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	34	13
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	34	38
III		$(M_{lx}) = -$	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	19	
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	56	
IVA		$(M_{lx}) = 0,001 q l_x^2 X$	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	25
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	75
IVB		$(M_{lx}) = -$	51	54	57	59	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	9	13
VA		$(M_{lx}) = 0,001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	79	25
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	79	75
VB		$(M_{lx}) = -$	60	66	71	76	79	82	85	87	88	89	90	91	91	92	92	93	94	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	12	
VIA		$(M_{lx}) = -$	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	19	
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	48	56
VIB		$(M_{lx}) = -$	13	48	51	55	57	58	60	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63	
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33	13
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33	38

= Terletak bebas
 = Menerus atau terjepit elastis

(Sumber: PBI 1971)

Tabel 2.7 Momen-momen pelat akibat beban terbagi rata

Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya
akibat beban terbagi rata

l_y/l_x		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
I	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
III	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
IVa	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13
IVb	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79
V	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
VI	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42
VII	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8
VIII	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
IX	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
X	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
XI	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
XII	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
XIII	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13
XIV	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
XV	$M_{lx} = +0,001 q l_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0,001 q l_x^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
XVI	$M_{tx} = -0,001 q l_x^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ty} = -0,001 q l_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

(Sumber: PBI 1971)

Dengan mengacu pada gambar 2. 23 kondisi tumpuan dari ke-empat sisi pelat dan perbandingan l_y/l_x , maka besar momen lentur per-lebar satuan dalam arah bentang pendek (M_{lx} dan M_{ly}) dan bentang panjang (M_{ty} dan M_{lx}), dapat dihitung dari rumus berikut :

$$M = 0,001 (x) q_u (L_x)^2 \dots\dots\dots(\text{Pers 2.10})$$

(Sumber : L Wahyudi, 1997)

Dimana :

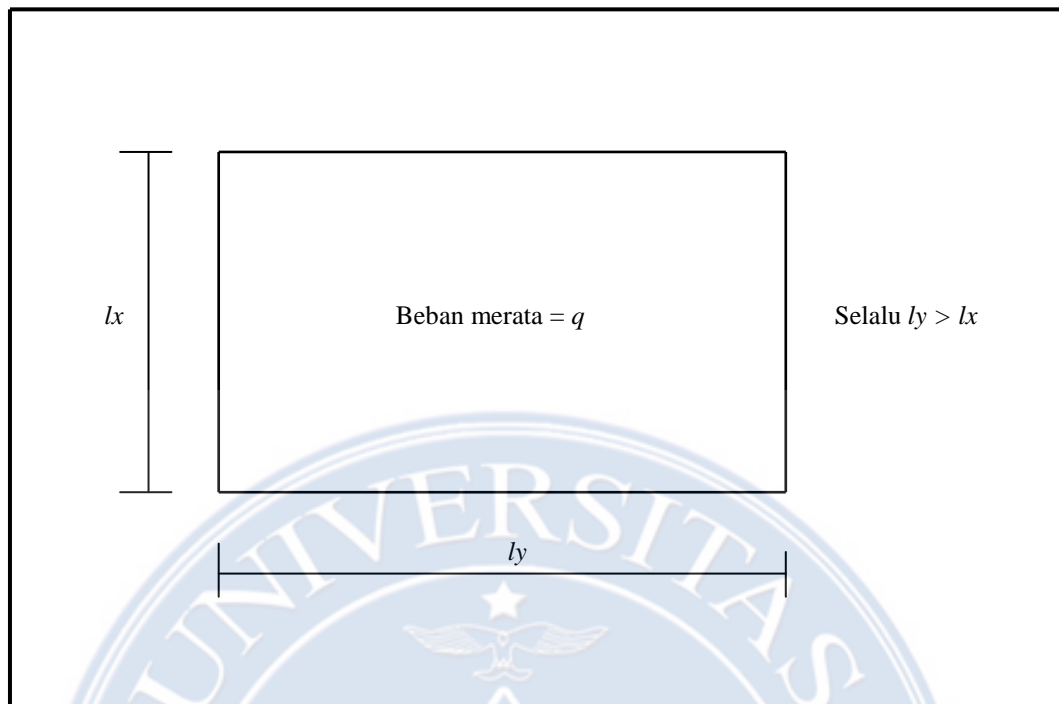
M : Momen (Tumpuan atau Lapangan) pada arah bentang (kNm)

q_u : beban merata terfaktor yang bekerja pada pelat (kN/m^2)

x : koefisien momen, dimana nilainya tergantung dari perbandingan l_y/l_x dan kondisi tumpuan pelat, dibaca dari

Tabel 2.6 dan Tabel 2.7

L_x : panjang bentang dalam arah x (sisi pendek) (m)



Gambar 2.24 Definisi Panel Pelat

Sumber: Wahyudi L (1997)

Dengan q beban terdistribusi merata, yang dapat diambil sebagai 1,4 kali beban mati ditambah 1,60 kali beban hidup. Koefisien momen x tergantung pada perbandingan (l_y/l_x) dari pelat dan kondisi tumpuannya (tabel 2.6 dan tabel 2.7)

2.3.2. Cara Menggunakan Tabel

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan momen lentur dengan menggunakan tabel PBI-1971, Asroni (2010) yaitu sebagai berikut :

1) Pemilihan Bentang

Karena bentangnya ada 2 arah (l_x dan l_y) maka dipilih bentang l_x adalah bentang terpendek dan bentang l_y adalah bentang yang panjang, atau l_y/l_x selalu $\geq 1,0$

2) Jenis momen lentur

Jenis momen lentur yang dihitung meliputi 4 macam, terdiri dari 2 buah momen lapangan (M_{lx} dan M_{ly}) serta 2 buah momen tumpuan (M_{tx} dan M_{ty}).

3) Rasio bentang panjang dan bentang pendek (l_y/l_x)

Meskipun (l_y/l_x) selalu $\geq 1,0$ tetapi rasio momen lentur akan terjadi sebaliknya, yaitu (M_{ly}/M_{lx}) selalu $\leq 1,0$. Jadi momen lentur M_{ly} selalu $\leq M_{lx}$. Bahkan jika $l_y/l_x > 2,5$ maka tulangan M_{ly} seolah olah hanya sebagai tulangan bagi terhadap M_{lx} yaitu $M_{ly} = 20 \% \cdot M_{lx}$.

4) Perhitungan Tulangan

Pada hitungan tulangan untuk menahan momen lentur daerah tumpuan dan daerah lapangan ada perbedaan yaitu:

- a. Untuk daerah tumpuan : dihitung tulangan pokok (disebut juga tulangan utama) dan tulangan bagi (sebagai tulangan penahan susut dan perbedaan suhu) baik pada bentang arah l_x maupun l_y .

- b. Untuk daerah lapangan : dihitung tulangan pokok saja (tanpa tulangan bagi), karena didaerah itu terjadi persilangan antara tulangan pokok arah l_x dan l_y .

Agar diperoleh tulangan hemat, diusahakan sebagian tulangan lapangan (yang berada dibawah) dibengkokkan keatas (pada perbatasan antara daerah lapangan dan tumpuan) untuk dimanfaatkan sebagai bagian dari tulangan tumpuan. Keadaan ini dapat dicapai jika jarak tulangan lapangan merupakan kelipatan dari jarak tulangan tumpuan (umumnya kelipatan setengah, satu atau dua kali).

5) Perhitungan momen lentur

Momen lentur pada arah l_x selalu \geq momen lentur pada arah l_y dan dihitung dengan rumus (pers 2.10)

6) Penentuan koefisien momen pelat (x)

Cara menentukan koefisien x adalah sebagai berikut (Ali Asroni, 2010):

- a. Menentukan jenis tumpuan
- b. Mencari tanda tumpuan jepit yang sesuai pada tabel
- c. Di hitung rasio bentang l_y/l_x
- d. Ditarik garis vertikal dari nilai l_y/l_x dan garis horizontal dari tanda tumpuan, sehingga diperoleh nilai perpotongan pada nilai x .