

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Plat

Didalam konstruksi beton bertulang plat dipakai untuk mendapatkan permukaan datar yang berguna. Sebuah plat beton bertulang merupakan sebuah bidang datar yang lebar, biasanya mempunyai arah horizontal, dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar atau mendekati sejajar. Plat biasanya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang (dan biasanya plat dicor menjadi satu kesatuan dengan gelagar tersebut), oleh dinding pasangan batu atau dinding beton bertulang, oleh batang-batang struktur baja, secara langsung oleh kolom-kolom atau tertumpu secara menerus oleh tanah.

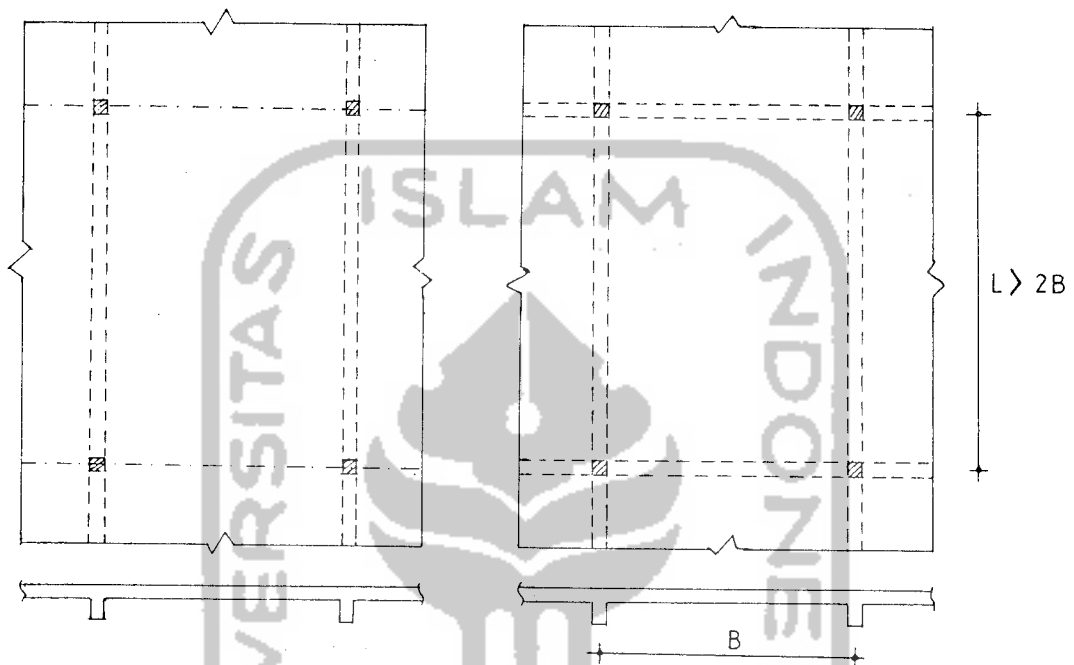
Menurut letak tumpuan secara umum plat dibagi menjadi dua yaitu : plat satu arah (one way slab) dan plat dua arah (two way slab)

2.1.1. Plat Satu Arah

Plat dapat tertumpu hanya pada kedua sisi yang berlawanan saja, dimana pada keadaan ini aksi struktural (momen) dari plat tersebut hanya bersifat satu arah dan beban-beban ditahan oleh plat dalam arah yang tegak lurus terhadap gelagar-gelagar penunjang (George Winter - 1993)

Apabila panjang suatu plat lantai lebih besar dari dua kali lebarnya pada umumnya plat direncanakan sebagai suatu plat satu arah yang menerus melalui balok-balok, karena hampir semua beban lantai menuju balok pada sisi

panjangnya dan hanya sebagian kecil yang menyalur ke balok pada sisi lebar. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.1

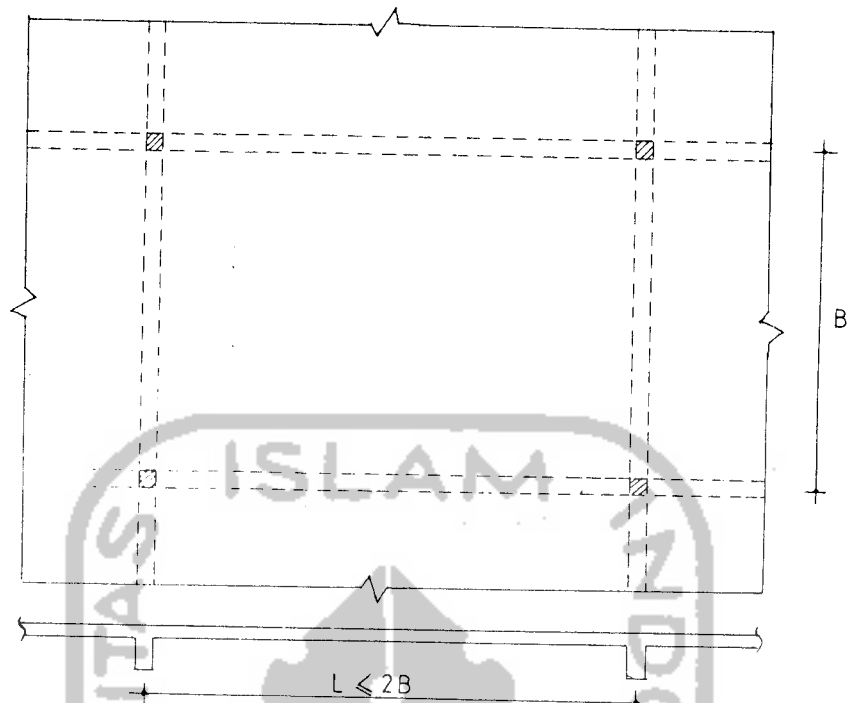


Gambar 2.1. Plat satu arah

2.1.2. Plat Dua Arah

Pada umumnya plat ditumpu pada keempat sisinya, maka, berarti plat tersebut secara efektif mempunyai bentang dalam dua arah dan sering kali lebih ekonomis untuk merencanakan plat dengan prinsip tersebut. Besarnya momen pada masing-masing arah akan tergantung pada perbandingan dari kedua arah bentang dan kondisi masing-masing tumpuan. (W.H. Mosley dan JH Bungey 1982).

Apabila perbandingan panjang terhadap lebar lebih kecil atau samadengan dua, beban lantai dipikul kedua arah oleh keempat tumpuan dan plat direncanakan sebagai plat dua arah (two way slab), lihat gambar 2.2.



Gambar 2.2. Plat dua arah

2.2. Tinjauan Tentang Teori Garis Luluh

Suatu plat yang mengalami pertambahan beban, retak dan luluhnya tulangan akan terjadi pertama-tama pada daerah kritis. Tempat ini kemudian akan bertindak sebagai suatu sendi plastis karena beban-beban berikutnya dibagi-bagi ke daerah-daerah lain dari plat. Retak-retak akan timbul untuk membentuk suatu pola dari garis-garis luluh sampai berbentuk suatu mekanisme dan keruntuhan ditandai oleh peningkatan lendutan pada beban konstan. Dianggap bahwa suatu pola garis-garis luluh dapat ditempatkan di atas plat yang akan menyebabkan mekanisme keruntuhan, dan bahwa daerah-daerah diantara garis-garis luluh tetap tegar dan tidak retak. (W.H. Mosley dan J.H. Bungey 1982).

Garis luluh merupakan garis yang menghubungkan sendi-sendi plastis pada plat, yang terjadi pada suatu mekanisme

kehancuran.

Dalam teori ini kekuatan dari suatu plat dimisalkan ditentukan oleh lentur saja. Pengaruh-pengaruh lain seperti geser dan lendutan tidak ditinjau. (Chu - kia Wang & Charles G Salmon, 1989)

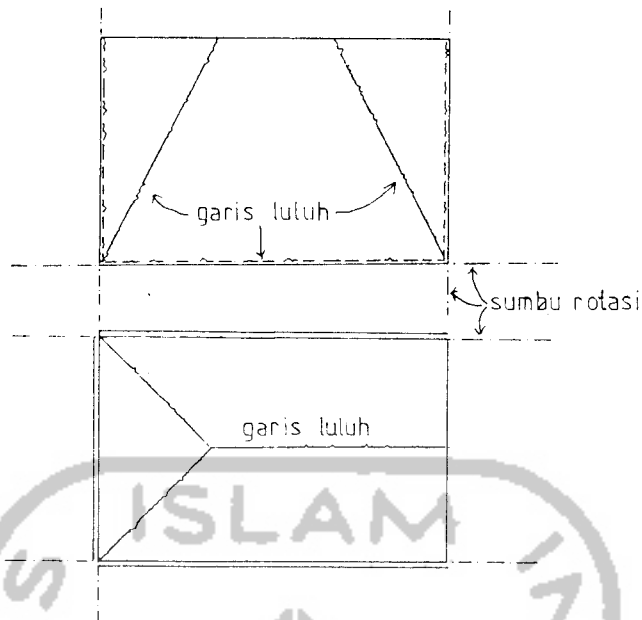
2.2.1. Lokasi Garis Luluh

Segmen-Segmen plat dapat dianggap berotasi sebagaimana rotasi yang terjadi pada benda-benda kaku terhadap sumbu-sumbu rotasi. Garis leleh yang terletak diantara dua segmen plat yang berdekatan merupakan garis lurus, yang merupakan garis potong dari segmen plat. Jadi garis luluh tersebut harus melalui titik potong dari sumbu-sumbu rotasi kedua segmen plat yang berdekatan.

Untuk menentukan sumbu rotasi dan garis luluh dipakai petunjuk atau rumusan sebagai berikut :

1. Garis luluh biasanya berbentuk garis lurus.
2. Sumbu rotasi biasanya terletak disepanjang garis perletakan.
3. Sumbu rotasi melalui semua kolom atau memotong tepi yang tidak ditumpu.
4. Sebuah garis luluh melalui perpotongan sumbu-sumbu rotasi dari segmen-segmen plat yang berdekatan.

Aplikasi dari petunjuk-petunjuk di atas untuk menentukan lokasi garis luluh dan mekanisme keruntuhan dari sejumlah plat dengan berbagai perletakan, ilustrasinya diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pola garis luluh untuk plat yang dibebani beban terbagi merata.

2.2.2. Anggapan Dasar

Dalam pemakaian garis luluh untuk analisa beban batas dari plat beton bertulang diambil anggapan-anggapan dasar sebagai berikut :

1. Tulangan sepenuhnya meleleh sepanjang garis-garis luluh pada saat keruntuhan.
2. Plat berdeformasi secara plastis pada keruntuhan dan plat terbagi menjadi segmen-segmen oleh garis-garis luluh.
3. Momen lentur terdistribusi secara merata sepanjang garis luluh dan merupakan harga-harga maksimum.
4. Deformasi elastis dapat diabaikan dibandingkan dengan deformasi plastis, dengan demikian bagian plat berputar sebagai bidang datar pada saat keruntuhan. (Chu - kia Wang & Charles G Salmon 1989).

2.3. Metode Analisis Momen

2.3.1. Tinjauan Umum

Ada dua metode dalam analisa garis leleh dari plat: metode keseimbangan dan metode kerja virtuil. Berdasarkan anggapan-anggapan dasar yang sama, kedua metode seharusnya memberikan hasil yang sama. Didalam kedua metode, suatu pola garis luluh pertama-tama harus dimisalkan sehingga dihasilkan suatu mekanisme runtuh. Untuk mekanisme ini, pergerakan benda kaku dari segmen-segmen plat dimungkinkan oleh putaran sepanjang garis luluh. Boleh jadi ada lebih dari satu pola garis luluh yang mungkin, penyelesaian untuk semua pola yang mungkin harus dicari dan salah satu yang memberikan hasil momen terbesar digunakan dalam perencanaan.

Untuk mempermudah hitungan ditentukan suatu faktor pembanding dalam perhitungan momen.

- a. Faktor pembanding antara momen tumpuan (M_t) dan momen lapangan (M_l). Dalam perhitungan M_t dan M_l diambil faktor pembanding (i), dirumuskan sebagai berikut :

1. Plat terletak bebas

$$M_t = i M_l$$

dimana $i = 0$, maka $M_t = 0$

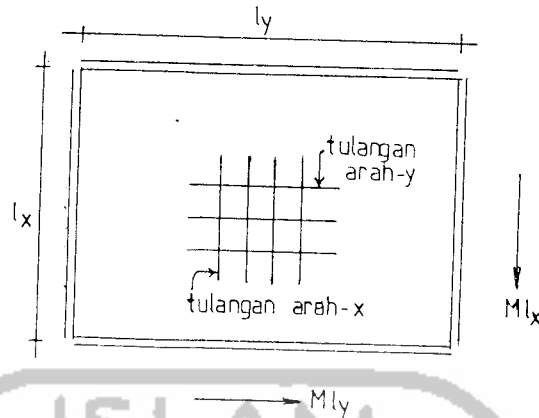
2. Plat terjepit penuh

$$M_t = i M_l$$

dimana $i = 1$, maka $M_t = M_l$

(Edward G Nawi - 1990)

- b. Faktor pembanding antara momen lapangan arah x (M_{l_x}) dengan momen lapangan arah y (M_{l_y}).



Gambar 2.4. Plat dengan tulangan arah x dan arah y

1. Penulangan bersifat isotropis :

Penulangan bersifat Isotropis jika tulangan arah x sama dengan tulangan arah y. (dalam perencanaan).

$$M_{l_y} = \mu M_{l_x}$$

μ = faktor pembandingan

Untuk tulangan isotropis $\mu = 1$,

$$\text{maka } M_{l_y} = M_{l_x} = M_l$$

2. Penulangan bersifat orthotropis.

Penulangan orthotropis jika tulangan arah x tidak sama dengan tulangan arah y.

$$M_{l_y} = \mu \cdot M_{l_x}$$

Untuk tulangan orthotropis $\mu < 1$

Dalam perhitungan dipakai $\mu = 0,5$, sehingga

$$M_{l_y} = 0,5 M_{l_x}$$

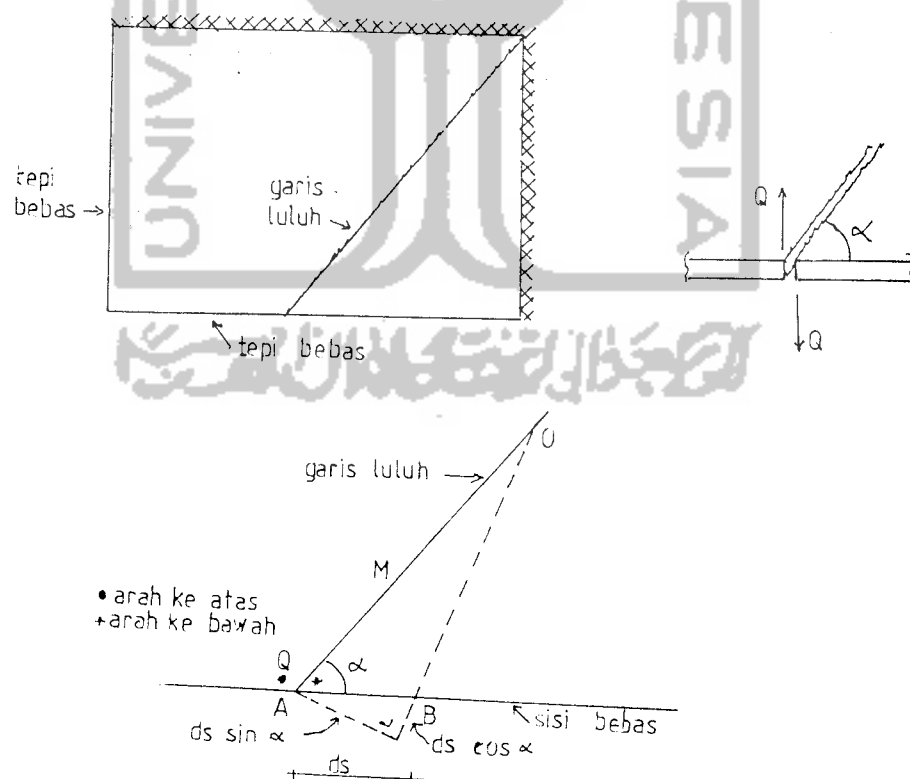
(V.K. Manicka Selvam-1991)

2.3.2. Analisis Dengan Metode Keseimbangan

Tiap-tiap segmen dari plat yang ditinjau sebagai sebuah "free body", harus berada dalam keadaan seimbang di

bawah pengaruh beban-beban yang bekerja. Pada cara ini keseimbangan masing-masing segmen-segmen plat akibat momen lentur saja, sedangkan momen puntir, dan gaya geser pada lokasi keruntuhan dianggap sama dengan nol. (Winter & Arthur H. Nilson 1993)

Jika suatu garis luluh memotong sisi bebas tidak tegak lurus, maka diperlukan gaya-gaya koreksi/gaya-gaya tepi untuk penyelesaian secara keseimbangan momen. Gaya-gaya ini sebagai ganti puntiran pada garis luluh dan sebagai ganti gaya lintang pada garis luluh momen negatif. Gaya-gaya koreksi itu dipakai pada sudut dari segmen-segmen tegak lurus pada bidang plat, yang besarnya $Q = M \cdot \cotg \alpha$ seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gaya koreksi untuk garis luluh yang memotong tepi bebas tidak tegak lurus

Besarnya Q dapat ditentukan dengan meninjau keseimbangan dari segitiga AOB yang sangat kecil yang ditunjukkan pada gambar 2.5. yang mana $\overline{AO}$ ialah panjang yang terbatas. Dengan mengabaikan deferensial dari tingkat yang lebih tinggi, momen pada tampang $\overline{OB}$ pasti sama dengan M pada garis luluh OA, karena M merupakan nilai maksimum. Karena momen lentur sama dengan nol sepanjang $AB = ds$ maka momen total yang bekerja pada segitiga AOB diperoleh dengan cara vektor.

$$M \cdot \overline{AO} + M \cdot \overline{OB} = M \cdot \overline{AB} = M \cdot ds$$

ΣM terhadap OB = 0, maka:

$$M \cdot ds \cos \alpha = Q \cdot ds \cdot \sin \alpha$$

$$Q = M \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

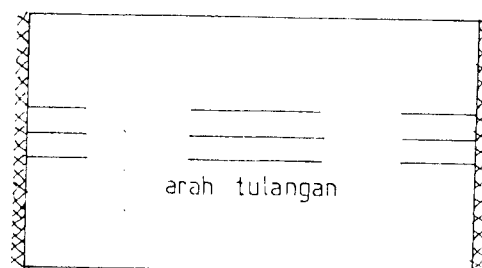
$$= M \cdot \text{ctg} \alpha$$

Dalam hal ini Q , bekerja ke arah atas pada sudut tumpul dengan tanda ($\bullet$) dan bekerja ke arah bawah pada sudut lancip dengan tanda (+).

(Phil M. Ferguson - 1986).

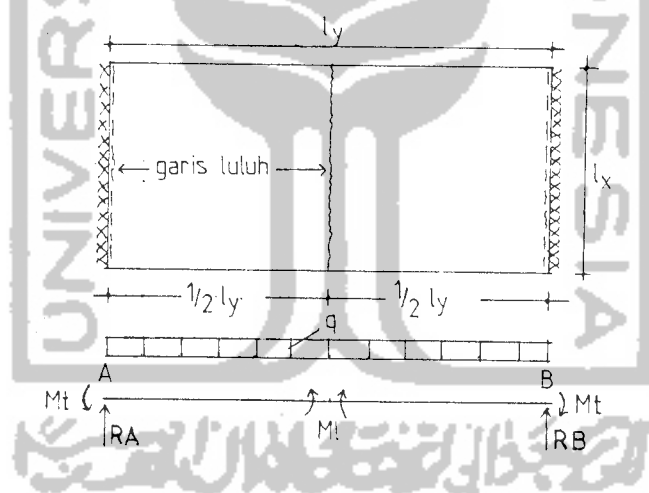
Penyelesaian hitungan momen dengan analisis garis luluh menggunakan metode keseimbangan adalah sebagai berikut:

Plat satu arah (gambar 2.6.)



xxxxxx Terjepit penuh
 ———— tepi bebas

Gambar: 2.6. Plat dengan tulangan satu arah
 Dimisalkan garis luluh berada di tengah-tengah bentang
 (gambar 2.7.)



Gambar : 2.7. Lokasi garis luluh dan arah momen
 Ditinjau setengah bentang

$$\Sigma M_A = \Sigma M_B = 0$$

$$\begin{aligned} (M_t + M_l) \cdot l_x &= \frac{1}{2} q \left(\frac{1}{2} l_y \right)^2 \cdot l_x \\ &= \frac{1}{8} q l_y^2 \end{aligned}$$

ditentukan untuk tumpuan terjepit.

$$M_t = i M_l \text{ dengan } i = 1 \text{ maka } M_t = M_l$$

$$2 M_l = \frac{1}{8} q l_y^2$$

$$M_l = \frac{1}{16} q l_y^2$$

$$M_t = M_l$$

$$= 1/16 q l_y^2$$

M_t = momen tumpuan (kg m/m)

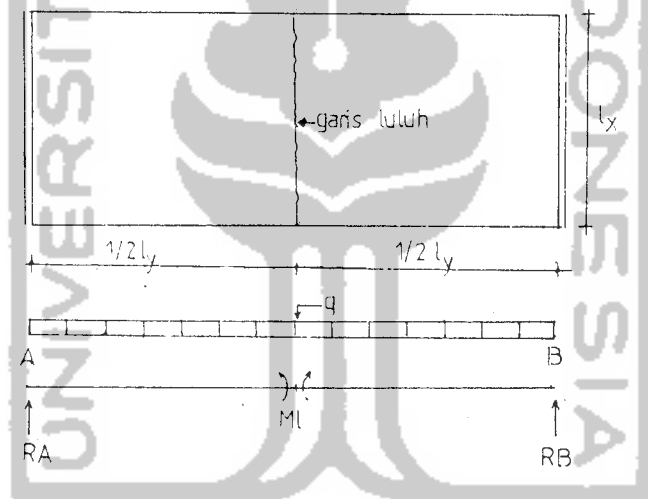
M_l = momen lapangan (kg m/m)

q = beban merata (kg/m²)

l_x = panjang sisi pendek (m)

l_y = panjang sisi panjang (m)

Untuk plat satu arah dengan tumpuan terletak bebas (gambar 2.8.) adalah sebagai berikut:



Gambar: 2.8. Lokasi garis luluh dan arah momen
Ditinjau setengah bentang

$$\sum M_A = \sum M_B = 0$$

$$\begin{aligned} M_l \cdot l_x &= \frac{1}{2} q \left(\frac{1}{2} l_y \right)^2 \cdot l_x \\ &= 1/8 q l_y^2 \end{aligned}$$

ditentukan untuk tumpuan terletak bebas

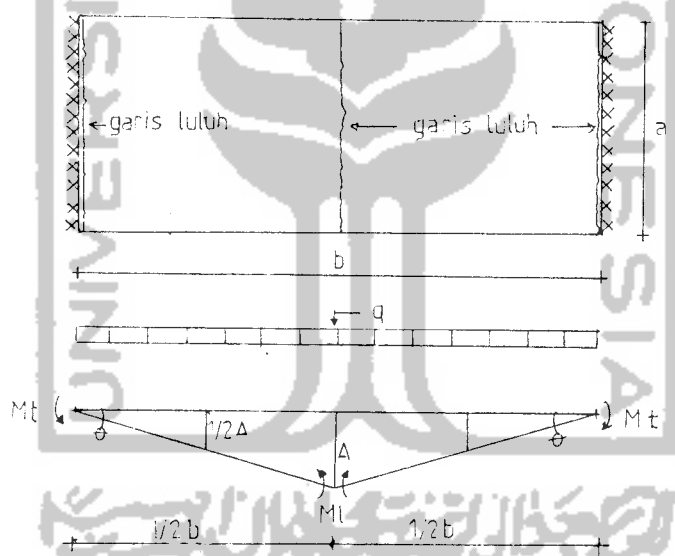
$$M_t = 0$$

2.3.3. Analisis Dengan Metode Kerja Virtuail

Setelah terbentuknya pola garis luluh, momen dan beban berada dalam keadaan seimbang, maka apabila

diberikan sedikit saja tambahan beban akan menyebabkan struktur tersebut mengalami lendutan. Kerja luar yang dilakukan oleh beban sehingga menyebabkan terjadinya lendutan virtuil sembarang yang kecil harus sama besarnya dengan kerja dalam yang terjadi akibat berotasinya plat pada garis-garis luluh untuk menyeimbangkan lendutan tersebut. (George Winter & Arthur H. Nilson, 1993).

Untuk lebih jelasnya dijelaskan pada uraian di bawah ini:



Gambar : 2.9. Mekanisme keruntuhan pada plat satu arah
Plat mengalami lendutan yang kecil sebesar Δ (biasanya diambil 1 satuan).

Besarnya sudut rotasi (θ) akibat terjadinya lendutan adalah :

$$\text{tg } \theta = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} b}$$

Dalam hal ini θ sangat kecil, sehingga:

$$\theta = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} b}$$

Energi luar (W_e) : akibat bebas luar dikalikan titik berat beban terhadap tumpuan.

Energi dalam (W_i) : akibat momen perlawanan (momen dalam) dikalikan θ .

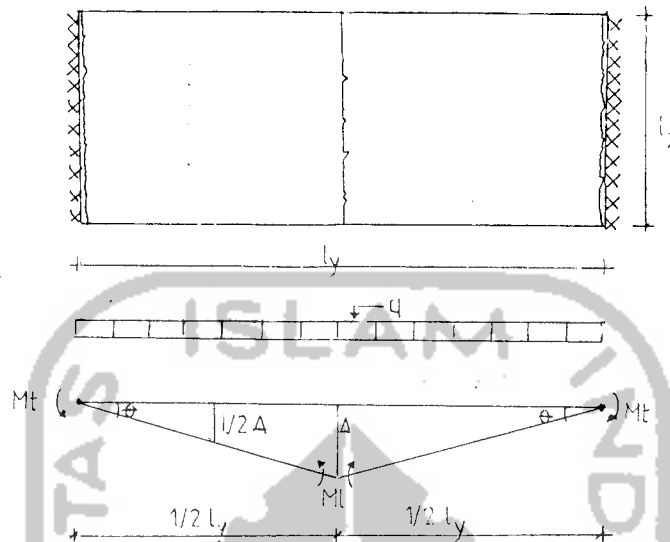
Berdasarkan gambar 2.9. besarnya W_e dan W_i adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_e &= (q \cdot \frac{1}{2} \cdot b \cdot a) \cdot \frac{1}{2} \Delta \\ &= \frac{1}{4} \cdot q \cdot a \cdot b \cdot \Delta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_i &= (M_t + M_l) \cdot a \cdot \theta \\ &= (M_t + M_l) \cdot a \cdot \frac{\Delta}{\frac{1}{2} b} \\ &= 2 (M_t + M_l) \cdot a \cdot \frac{\Delta}{b} \end{aligned}$$

Syarat keseimbangan energi, energi luar harus sama dengan energi dalam ($W_e = W_i$). Dari persamaan ini akan diperoleh besarnya M_l dan M_t .

Hitungan momen dengan analisis garis luluh menggunakan metode kerja virtual.



Gambar : 2.10. Plat satu arah dengan tumpuan terjepit penuh

Karena plat terbagi menjadi dua segmen plat yang simetris (gambar 2.10.) maka dapat ditinjau setengah bentang.

$$\begin{aligned} \text{Energi luar : } W_e &= \left(\frac{1}{2} \cdot l_y \cdot l_x \cdot q \right) \cdot \frac{1}{2} \Delta \\ &= \frac{1}{4} \cdot l_y \cdot l_x \cdot q \cdot \Delta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi dalam: } W_i &= (M_l + M_t) \cdot l_x \cdot \theta \\ &= (M_l + M_t) \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \frac{\Delta}{l_y} \\ &= 2 (M_l + M_t) \cdot \frac{l_x}{l_y} \cdot \Delta \end{aligned}$$

Syarat keseimbangan energi: $W_i = W_e$

$$2 (M_l + M_t) \cdot \frac{l_x}{l_y} \cdot \Delta = \frac{1}{4} l_y \cdot l_x \cdot q \cdot \Delta$$

$$M_l + M_t = 1/8 \cdot q \cdot l_y^2$$

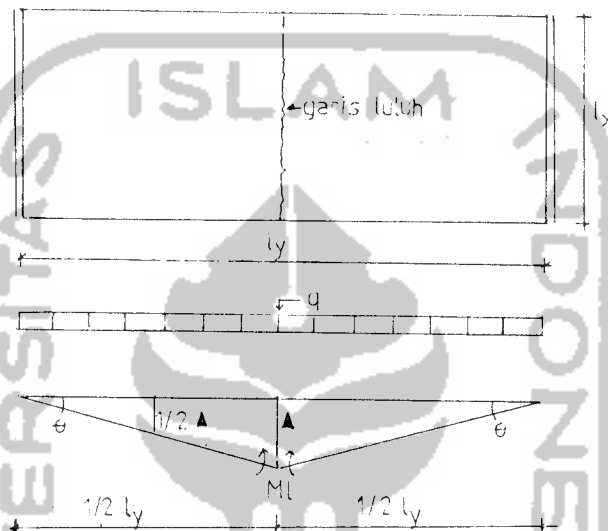
Untuk plat yang terjepit penuh $M_t = i \cdot M_l$, dimana $i = 1$, maka $M_t = M_l$, sehingga:

$$2 M_l = 1/8 \cdot q \cdot l_y^2$$

$$M_l = 1/16 \cdot q \cdot l_y^2$$

$$M_t = M_l = 1/16 \cdot q \cdot l_y^2$$

Pada plat dengan tumpuan sendi atau terletak bebas (gambar 2.11.) perhitungan momen pada plat adalah sebagai berikut:



Gambar: 2.11. Plat satu arah yang terletak bebas

Karena plat terletak bebas pada tumpuan maka

$$M_t = i M_l, i=0 \text{ sehingga } M_t = 0$$

$$W_e = \left(\frac{1}{2} l_y \cdot l_x \cdot q \right) \cdot \frac{1}{2} \Delta$$

$$W_i = M_l \cdot l_x \cdot \theta$$

$$= M_l \cdot l_x \cdot \frac{\Delta}{\frac{1}{2} l_y}$$

$$= 2 M_l \cdot \frac{l_x}{l_y} \cdot \Delta$$

$$\text{Syarat keseimbangan} = W_i = W_e$$

$$2 M_l \cdot \frac{l_x}{l_y} \Delta = \frac{1}{4} q l_y \cdot l_x \cdot \Delta$$

$$M_l = 1/8 q l_y^2$$

2.4. Penulangan Plat

Pada suatu struktur beton bertulang harus disyaratkan mempunyai kekakuan yang cukup tegar, agar dapat menahan deformasi akibat lendutan tanpa menimbulkan kerusakan.

Dalam SK SNI T15 - 1991 hanya diatur plat yang tertumpu dua sisinya (plat satu arah) dan keempat sisinya (plat dua arah), sedangkan yang tertumpu hanya tiga sisinya tidak diatur, maka untuk menentukan tebal plat (ht) minimum diambil :

ht = 90 mm untuk plat yang terjepit sempurna

ht = 120 mm untuk plat yang terletak bebas

2.4.1. Hitungan Penulangan

Untuk perhitungan kebutuhan tulangan dipakai tabel Wiratman. Cara ini berdasarkan analisis teori ultimate dengan formula-formula sebagai berikut :

$$C_u = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_u}{2 K_o \sigma'_{bk} b}}}$$

dimana $K_o = 0,5$ untuk beban tetap dan

$K_o = 0,6$ untuk beban sementara

dengan diketahui nilai perbandingan luas tulangan desak dan luas tulangan tarik ($\delta = A'/A$), karena plat direncanakan dengan tulangan sebelah maka $\delta = 0$, dari tabel diperoleh nilai q' dan nilai ξ_u dengan syarat :

$$q' > q'_{\min}$$

$$< q'_{\max}$$

$$\xi_u < \xi_{u \max}$$

dimana

$$q' \text{ min} = \frac{6}{K_o \cdot \sigma' \text{ bk}} \quad \text{atau} \quad q' \text{ min} = \frac{0,0417}{1 - 317 \frac{\delta}{\sigma^* \text{ au}}}$$

$$q' \text{ max} = \frac{2205}{(1 - \delta) (7350 + \sigma^* \text{ au})}$$

$$\xi_u \text{ max} = 0,958 - 18,45 \frac{\delta}{\sigma^* \text{ au}}$$

Luas tulangan

$$A_s = q' \frac{2 K_o \sigma' \text{ bk}}{\sigma^* \text{ au}} bh \quad \text{atau} \quad A_s = \frac{M_u}{\sigma^* \text{ au} \xi_u h}$$

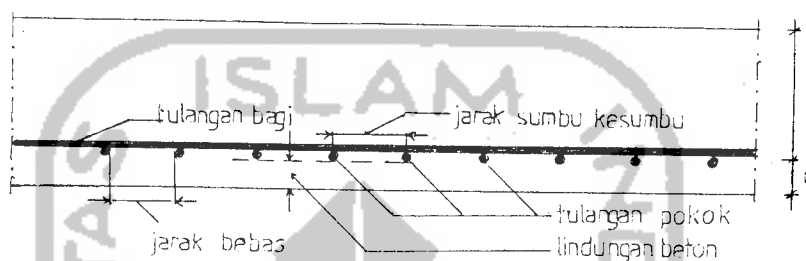
Dari kedua nilai A_s diambil yang besar, dan harus lebih besar dari $A_{\text{min}} = (12/\sigma^* \text{ au}) bh$.

2.4.2. Syarat-syarat Penulangan

1. Jarak bebas datar antar tulangan-tulangan baja pokok harus $\geq 2,5 \text{ cm}$
2. Jarak sumbu ke sumbu tulangan baja pokok di tempat-tempat momen tumpuan maksimum dan momen lapangan maksimum harus $\leq 20 \text{ Cm}$, atau ≤ 2 kali tebal plat apabila tulangan plat dikurangi karena momennya berkurang, jarak sumbu ke sumbu harus $\leq 40 \text{ cm}$.
3. Pada plat-plat tempat tulangan pokoknya satu arah, maka tegak lurus tulangan pokok harus dipasang tulangan bagi. Bila tulangan bagi terdiri dari baja yang mutunya sama dengan tulangan pokok, maka luas tulangan bagi harus $\geq 20\%$ dari luas tulangan pokok dengan jarak maksimum sumbu ke sumbu (p.k.p.) 25 cm .

4. Pada plat-plat yang dicor ditempat, garis tengah tulangan pokok ≥ 6 mm dari jenis baja sedang $\leq$ U-24, dan tulangan pokok ≥ 5 mm dan tulangan bagi ≥ 4 mm dari jenis baja keras.

Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.12.



Gambar 2.12.