

BAB IV

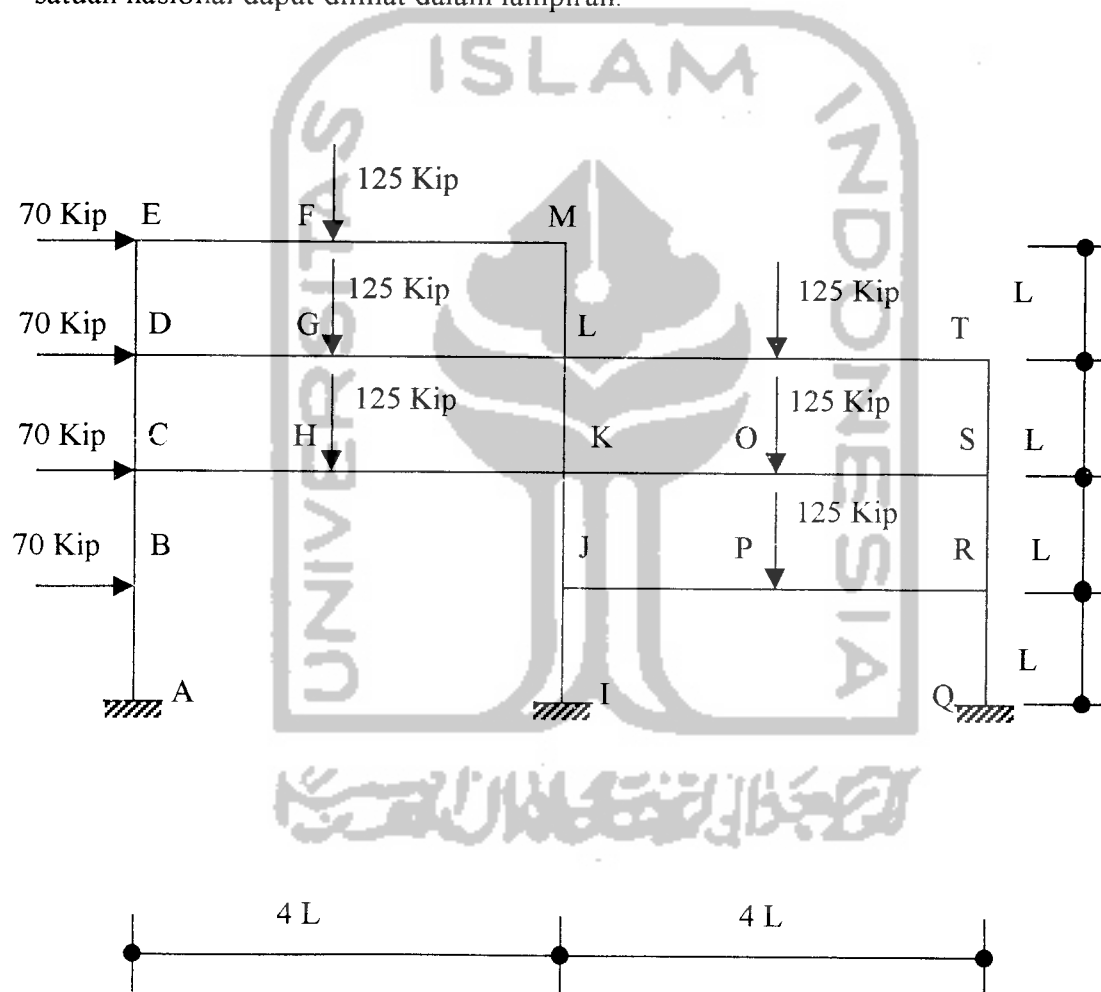
PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Dalam skripsi akan dibahas mengenai pola mekanisme keruntuhan struktur portal baja bertingkat serta menentukan nilai momen plastis terbesar yang terjadi pada suatu struktur akibat reduksi dari gaya dan momen aksial serta gaya dan momen geser. Momen plastis terbesar setelah mengalami reduksi digunakan untuk menentukan dimensi profil yang digunakan. Dari harga momen ini pula dapat ditentukan besarnya beban maksimum yang diterima struktur (P_{max}). Selanjutnya akan dibahas pula perkembangan zone plastis pada elemen struktur dengan batas-batasnya (batas elastoplastis) pada suatu mekanisme sampai terbentuknya sendi plastis.

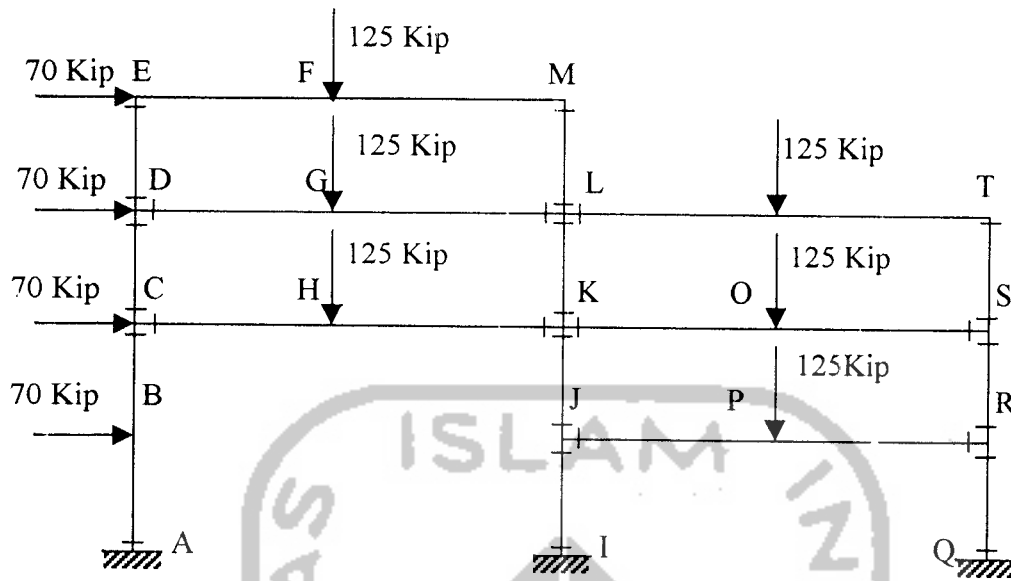
4.1 Data Perencanaan

- Struktur portal baja bertingkat (gambar 4.1)
- Profil yang digunakan adalah baja profil WF tunggal ($\sigma_y = 36$ Ksi)
- Tinggi kolom (L) = 10 Ft
- Panjang bentang ($4L$) = 40 Ft
- Beban yang bekerja pada struktur :
 - Beban vertikal (V) = 125 Kip

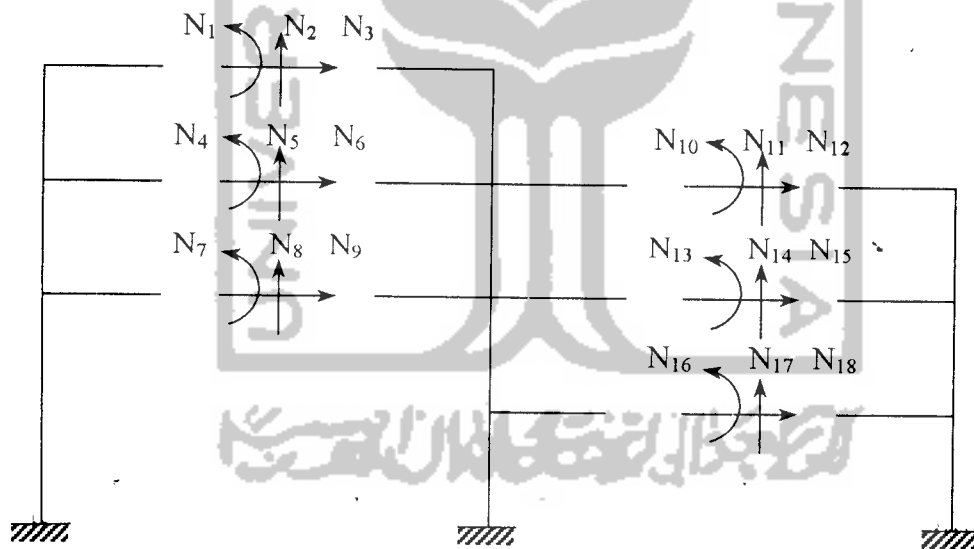
- Beban horisontal ($H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = H$) = 70 Kip
- Tumpuan jepit-jepit
- Faktor beban (λ) = 1,7 (beban yang bekerja pada struktur merupakan kombinasi antara beban mati + beban hidup)
- Dalam perhitungan menggunakan satuan internasional, konversi satuan untuk satuan nasional dapat dilihat dalam lampiran.



Gambar 4.1 Data Struktur Portal Baja Bertingkat



Gambar 4.2 Sendi Plastis Yang Terjadi



Gambar 4.3 Reaksi yang Terjadi

(M. Bruneau, Chia - Ming Uang, A. Whittaker, 1998, hal. 56)

Maka jumlah mekanisme elementernya

$$K = n - N = 36 - 18 = 18 \text{ buah terdiri dari :}$$

(V.N. Nazirani dan M.N. Ratwani, 1979)

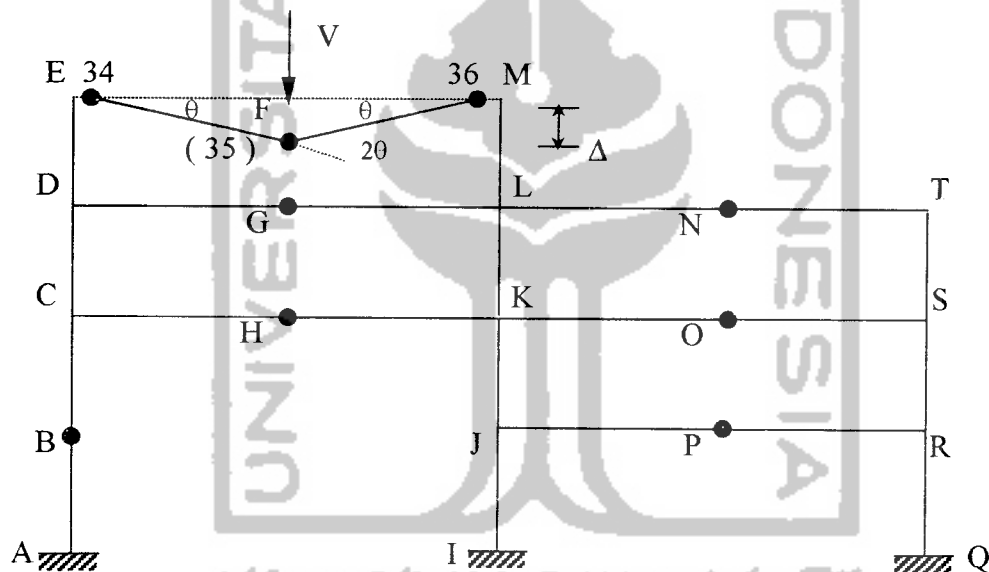
(a). 7 buah mekanisme balok.

(b). 4 buah mekanisme panel.

(c). 7 buah mekanisme titik joint.

Mekanisme titik joint adalah di titik C, D, E, H, I, L, dan M

4.2. Analisis Mekanisme Keruntuhan



Gambar 4.4 Mekanisme Balok EM

- Mekanisme 1 (mekanisme balok EM)

Akibat beban vertikal V, balok EF berotasi sejauh θ terhadap titik joint E. Titik F ditengah bentang dengan jarak $2L$ dari joint E, seperti terlihat pada gambar 4.4.

Jarak virtual titik beban (titik F) terhadap pusat rotasi (simpul E) sejauh $2L$, maka penurunan vertikal pada titik F adalah $2L.\theta$.

Dengan menyamakan kerja luar dan kerja dalamnya kita peroleh persamaan :

Kerja luar = kerja dalam

$$V. \Delta = M_p.\theta + 2M_p.\theta + M_p.\theta$$

$$V . 2.L.\theta = M_p.\theta + 2.M_p.\theta + M_p.\theta$$

$$2V . L.\theta = 4M_p.\theta$$

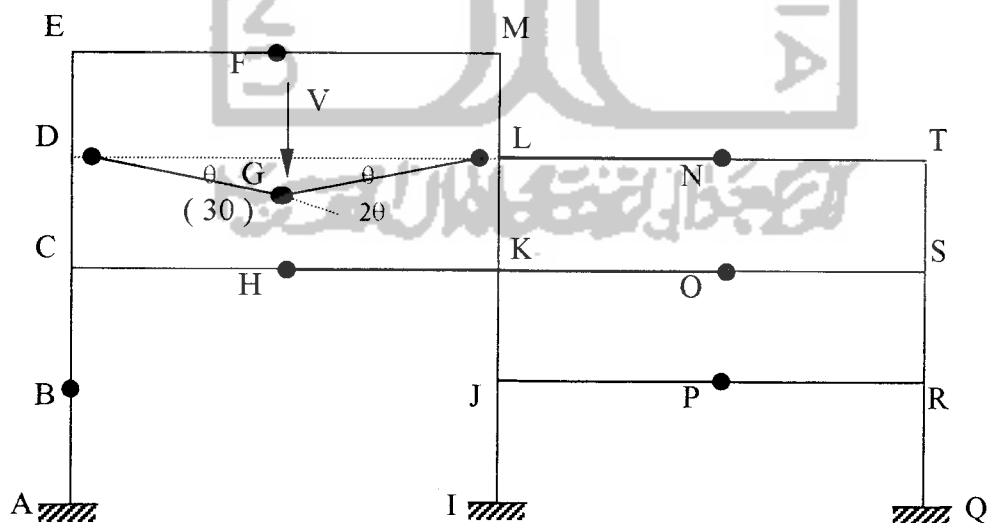
$$M_p = \frac{2V . L}{4} = \frac{2.125.10}{4} = 625 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok EM terlihat pada gambar 4.4

- Mekanisme 2 (mekanisme balok DL)

Pada mekanisme balok DL ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok DL terlihat pada gambar 4.5

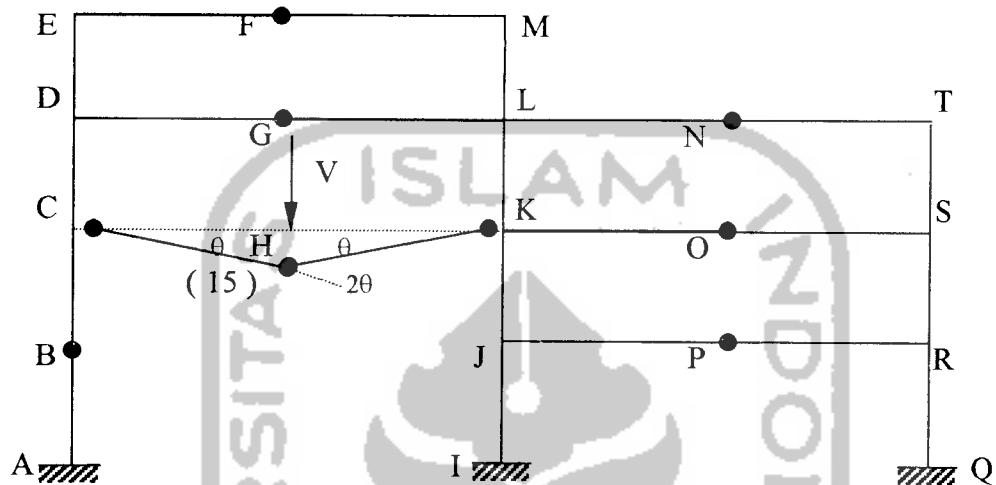


Gambar 4.5 Mekanisme Balok DL

- Mekanisme 3 (mekanisme balok CK)

Pada mekanisme balok CK ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok CK terlihat pada gambar 4.6

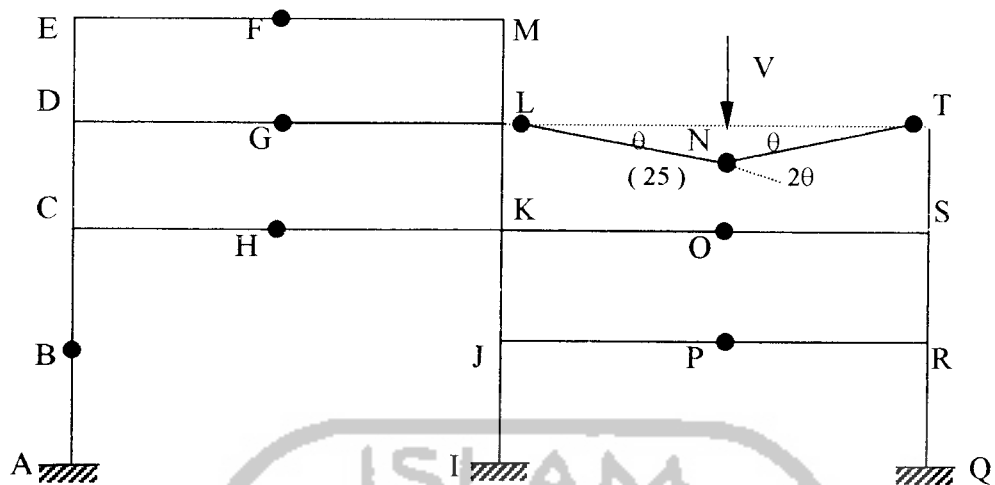


Gambar 4.6 Mekanisme Balok CK

- Mekanisme 4 (mekanisme balok LT)

Pada mekanisme balok LT ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok LT terlihat pada gambar 4.7



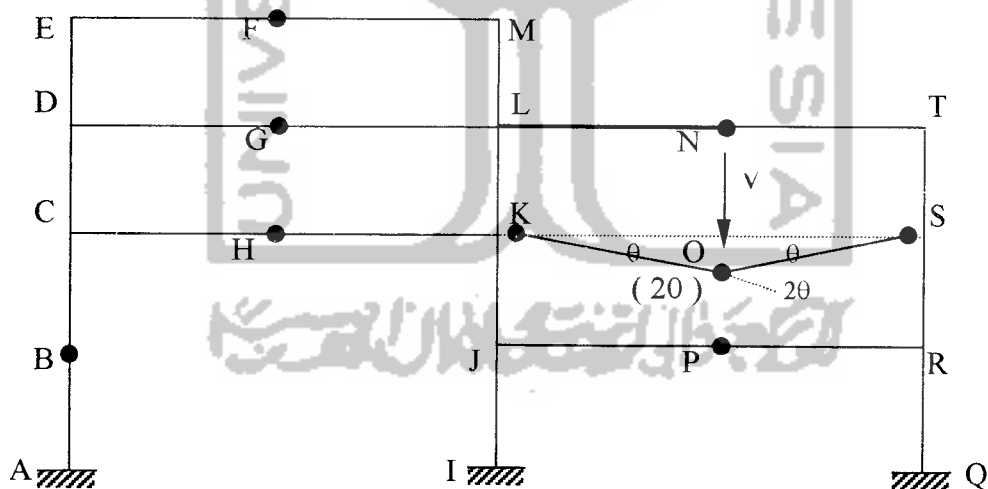
Gambar 4.7 Mekanisme Balok LT

- Mekanisme 5 (mekanisme balok KS)

Pada mekanisme balok KS ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft.

Hal ini karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok

EM. Mekanisme elementer untuk mekanisme balok KS terlihat pada gambar 4.8.

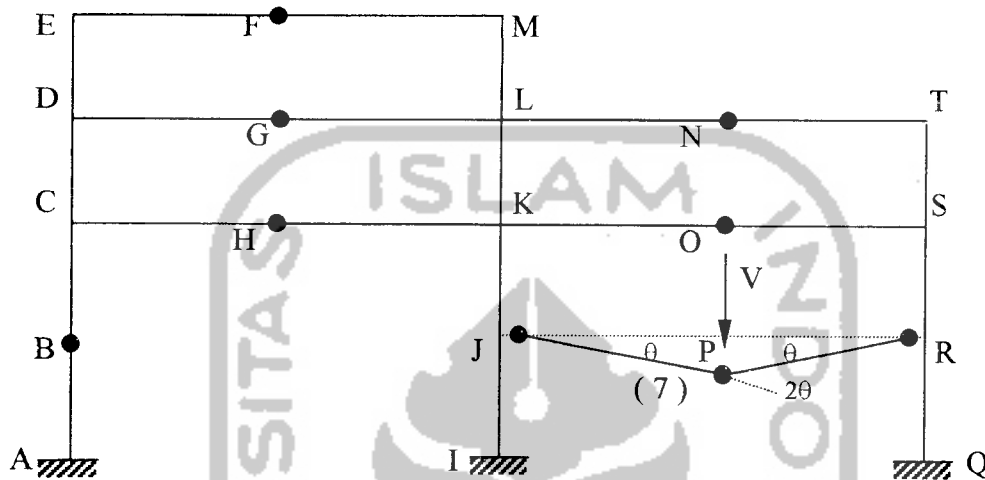


Gambar 4.8 Mekanisme Balok KS

- Mekanisme 6 (mekanisme balok JR)

Pada mekanisme balok JR ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok JR terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Mekanisme Balok JR

- Mekanisme 7 (mekanisme balok AC)

Akibat beban horisontal H maka balok AB berotasi sejauh θ terhadap titik joint A. Titik B ditengah bentang dengan jarak L dari joint A seperti terlihat pada gambar 4.4. Jarak virtuil L titik beban (titik B) terhadap pusat rotasi (simpul A) sejauh L, maka penurunan arah horisontal pada titik B adalah $L.\theta$. Dengan menyamakan kerja luar dan kerja dalamnya maka kita peroleh persamaan :

Kerja luar = kerja dalam

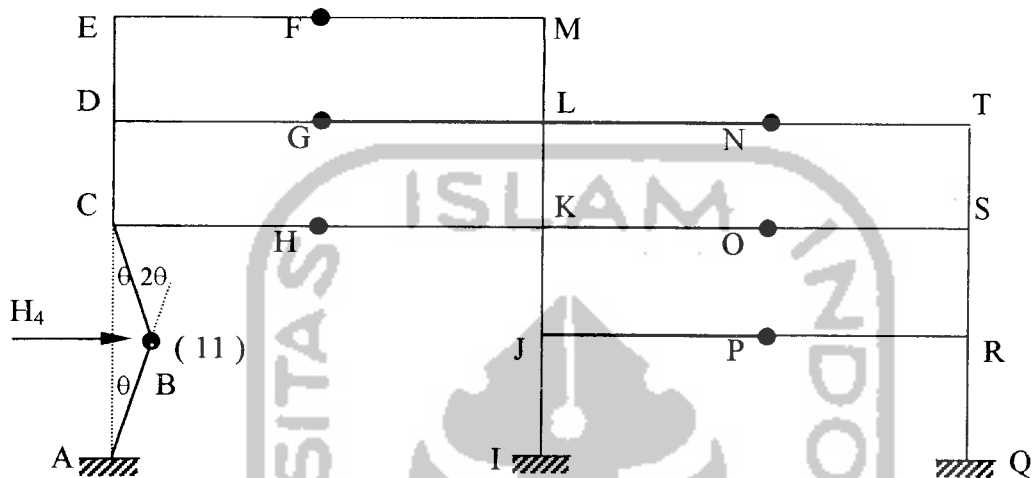
$$H.\Delta = Mp.\theta + 2Mp.\theta + Mp.\theta$$

$$H_4.L.\theta = Mp.\theta + 2Mp.\theta + Mp.\theta$$

$$H_4 \cdot L \cdot \theta = 4Mp \cdot \theta$$

$$Mp = \frac{H_4 \cdot L}{4} = \frac{70 \cdot 10}{4} = 175 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok AC terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Mekanisme Balok AC

- Mekanisme 8 (mekanisme panel DEML)

Pada mekanisme panel DEML ini panel bawah CDTS dianggap sebagai bahan kaku (*Rigid Body*) sehingga beban horisontal yang bekerja pada panel DEML tidak akan mempengaruhi rotasi panel CDTS. Akibat beban tersebut menyebabkan simpul D berotasi sejauh θ sehingga jarak virtual beban adalah $L \cdot \theta$. Persamaan mekanisme elementernya menjadi :

Kerja luar = kerja dalam

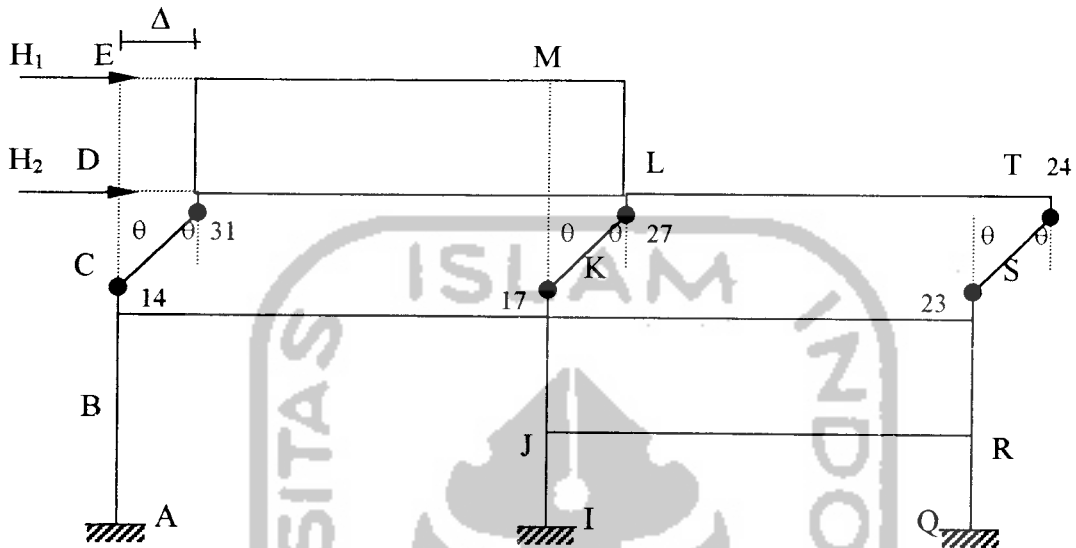
$$H \cdot \Delta = Mp \cdot \theta + 2Mp \cdot \theta + Mp \cdot \theta$$

$$H_1 \cdot L \cdot \theta = Mp(\theta + \theta + \theta + \theta)$$

$$H_1 \cdot L \cdot \theta = 4 \cdot \theta \cdot Mp$$

$$M_p = \frac{2.H.L}{6} = \frac{2.70.10}{6} = 233,33 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mekanisme Panel CDTs

- Mekanisme 10 (mekanisme panel ACSR)

Pada mekanisme panel ACSR ini panel CDTs dianggap sebagai bahan kaku (*Rigid Body*) dan pada simpul C bekerja gaya horisontal yang menyebabkan rotasi pada simpul A sejauh θ . Sehingga jarak virtual gaya yang bekerja pada simpul A adalah $2L.\theta$. hal ini juga menyebabkan rotasi pada simpul C sejauh 2θ yang dikarenakan kolom KL bersifat kaku, sedangkan jarak virtual gaya yang bekerja pada simpul J adalah sejauh $L.\theta$. Maka persamaan mekanisme elementernya :

Kerja luar = kerja dalam

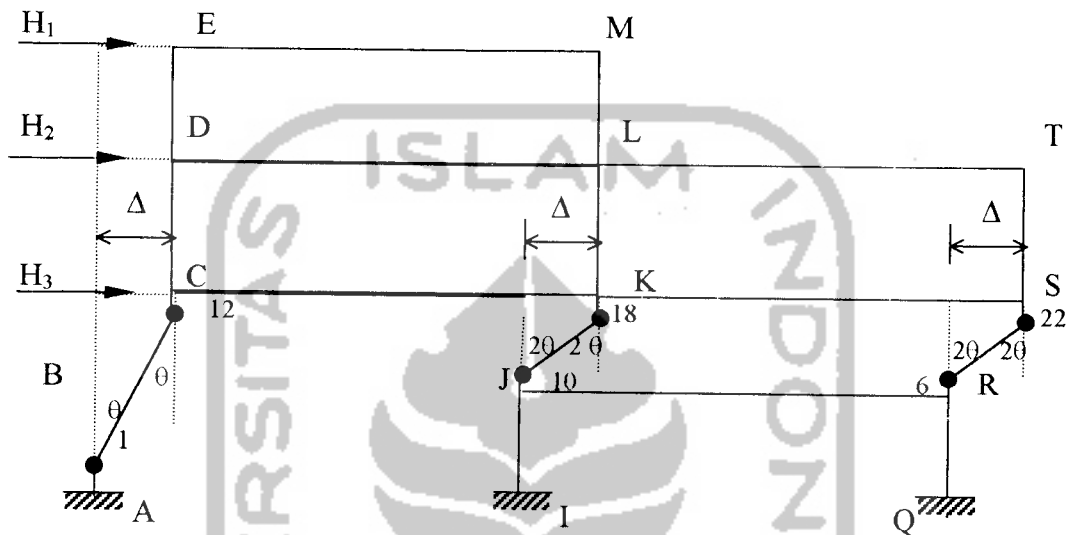
$$H_1. \Delta + H_2. \Delta + H_3. \Delta = M_p. (\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$H_1. 2L\theta + H_2. L\theta + H_3. 2L.\theta = M_p(\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$5.H.L.\theta = 10.\theta.M_p$$

$$M_p = \frac{5.H.L}{10} = \frac{5.70.10}{10} = 350 \text{Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Mekanisme Panel ACSR

- Mekanisme 11 (mekanisme panel IJRO)

Pada mekanisme ini akibat gaya horisontal yang terjadi maka terjadi rotasi sebesar θ pada titik simpul A dengan jarak virtual gaya ke beban sebesar 2θ , karena gaya panel ACSR bersifat kaku (*Rigid Body*) maka menyebabkan pada titik simpul I terjadi rotasi sebesar 2θ dengan jarak virtual gaya ke beban sebesar $L\theta$.

Maka persamaan elementernya :

Kerja luar = kerja dalam

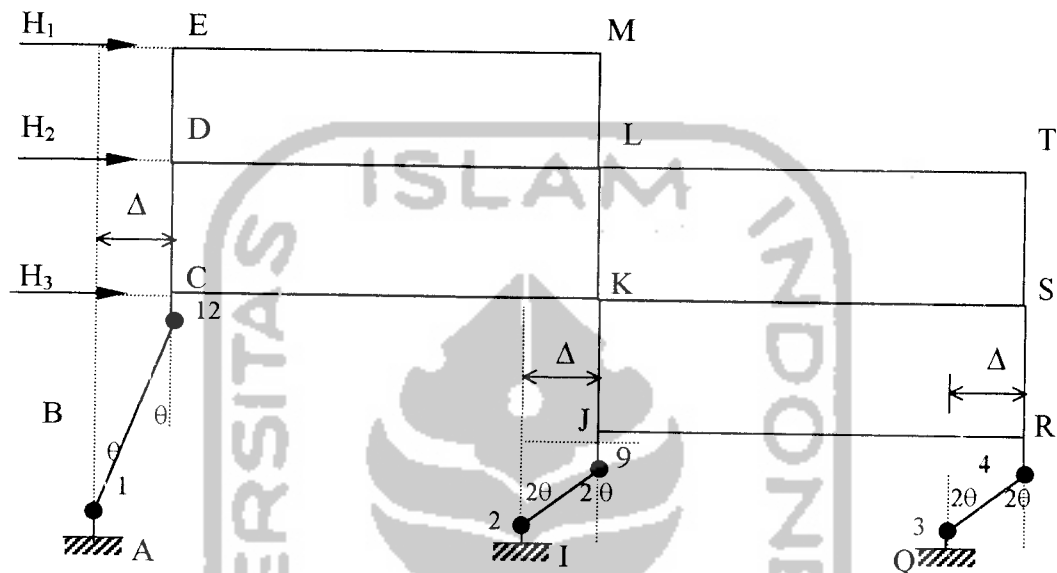
$$H_1. \Delta + H_2. \Delta + H_3. \Delta = M_p.(\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$H_1. 2L\theta + H_2. L\theta + H_3. 2L\theta = M_p.(\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$5.H.L.\theta = 10.\theta.M_p$$

$$M_p = \frac{5.H.L}{10} = \frac{5.70.10}{10} = 350 \text{Kip-ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Mekanisme Panel IJRQ

- Mekanisme 12 (mekanisme kombinasi)

Mekanisme kombinasi yang pertama yang kita analisa yaitu kombinasi antara mekanisme balok EM dan panel DEML. Kombinasi ini menyebabkan sendi plastis di simpul E tereliminasi, yang berarti terjadi pengurangan (reduksi) kerja dalam sebesar $2M_p.\theta$ (L. Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, 1992).

Sehingga persamaan mekanismenya merupakan jumlah gaya-gaya yang bekerja dikurangi dengan reduksinya yang menghasilkan persamaan :

$$\text{Mekanisme (12)} = \text{mekanisme (1)} + \text{mekanisme (8)} - \text{reduksi}$$

$$\text{Mekanisme (1)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (8)} = H.L = 4.Mp$$

$$\text{Reduksi} = - 2.Mp +$$

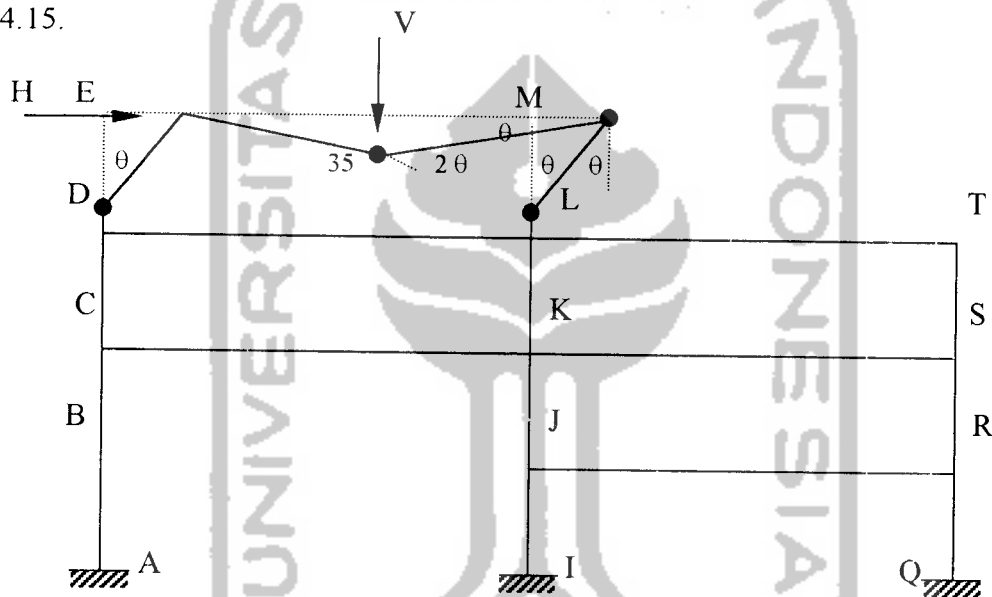
$$\text{Mekanisme (12)} = 2.V.L + H.L = 6.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + H.L}{6}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 70.10}{6} = 533,33 \text{ kip-ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok EM dan panel DEML ditunjukkan pada gambar

4.15.



Gambar 4.15 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 13 (mekanisme kombinasi)

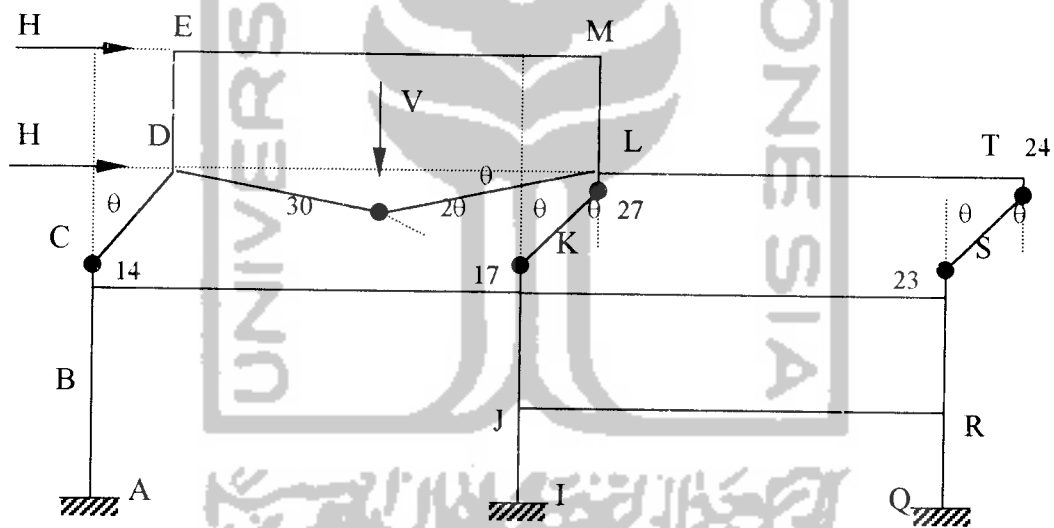
Mekanisme kombinasi selanjutnya kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok DL pada gambar 4.5 dengan mekanisme panel CDTS pada gambar 4.11. Hal ini menyebabkan sendi plastis di simpul D tereliminasi, akibatnya terjadi pengurangan kerja dalam sebesar $2Mp.\theta$ sehingga persamaan mekanisme adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme (2)} &= 2.V.L = 4.Mp \\ \text{Mekanisme (9)} &= 2.H.L = 6.Mp \\ \text{Reduksi} &= - 2.Mp + \\ \hline \text{Mekanisme (13)} &= 2.V.L + 2.H.L = 8.Mp \end{aligned}$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{8}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{8} = 487,5 \text{Kip-ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok DL dan panel CDTS ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 14 (mekanisme kombinasi)

Mekanisme kombinasi selanjutnya kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok LT dengan panel CDTS pada gambar 4.7. Pada mekanisme ini

tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi dengan demikian total kerja luarnya tidak berubah. Sedangkan jumlah kerja dalamnya bertambah sehingga dihasilkan momen plastis yang nilainya lebih kecil. Jadi persamaan menjadi :

$$\text{Mekanisme (14)} = \text{mekanisme (4)} + \text{mekanisme (9)}$$

$$\text{Mekanisme (4)} = 2.V.L = 4.Mp$$

$$\text{Mekanisme (9)} = 2.H.L = 6.Mp +$$

$$\text{Mekanisme (13)} = 2.V.L + 2.H.L = 10.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{10}$$

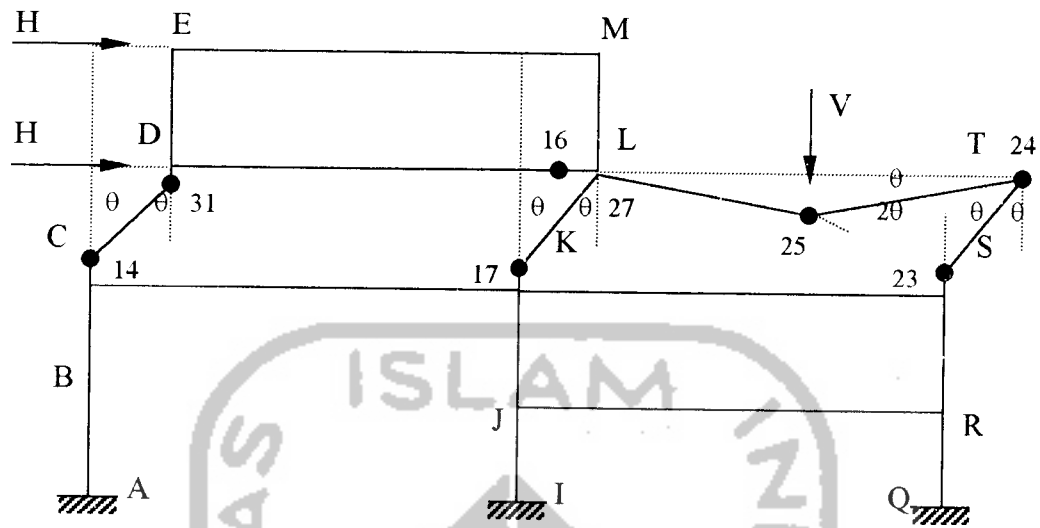
$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{10} = 390 \text{Kip} - \text{ft}$$

Tetapi jika kita gabungkan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul pada simpul L maka satu buah sendi plastis dapat terhapus dengan pengurangan energi dalam sebesar $Mp.\theta$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 sehingga persamaannya menjadi :

$$2.V.L + 2.H.L = 10.Mp - Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{9}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{9} = 433,33 \text{Kip} - \text{ft}$$



Gambar 4.17 Kombinasi Mekanisme Balok LT Dengan Mekanisme Panel CDTs
Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul L

- Mekanisme 15 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme kombinasi ini kita coba menggabungkan mekanisme balok CK (mekanisme 3) dengan mekanisme panel ACSR. Ternyata pada mekanisme ini menyebabkan sendi plastis di simpul C terhapus, akibatnya terjadi pengurangan kerja dalam sebesar $2M_p\theta$ sehingga persamaan mekanisme adalah sebagai berikut:

$$\text{Mekanisme (3)} = 2.V.L = 4.M_p$$

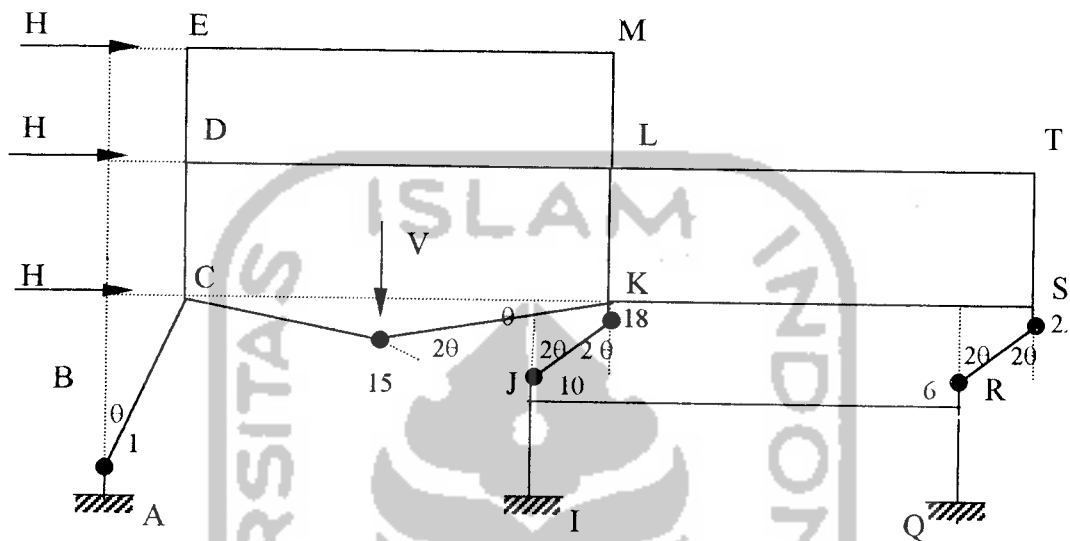
$$\text{Mekanisme (10)} = 5H.L = 10.M_p$$

$$\text{Reduksi} = -2.M_p +$$

$$\text{Mekanisme (13)} = 2.V.L + 5.H.L = 12.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{12}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{12} = 500 \text{ Kip-ft}$$



Gambar 4.18 Mekanisme Kombinasi Balok CK dengan panel ACSR

- Mekanisme 16 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme ini kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok KS pada gambar 4.9 dengan mekanisme ACSR pada gambar 4.13. Pada mekanisme ini tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi dengan demikian total kerja luarnya tidak berubah. Sedangkan jumlah kerja dalamnya bertambah, sehingga dihasilkan momen plastis yang nilai lebih kecil. Jadi persamaannya menjadi :

$$\text{Mekanisme (16)} = \text{mekanisme (5)} + \text{mekanisme (10)}$$

$$\text{Mekanisme (5)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (10)} = 5.H.L = 10.M_p \quad +$$

$$\text{Mekanisme (13)} = 2.V.L + 5.H.L = 14.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{14}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{14} = 428,571 \text{ Kip-ft}$$

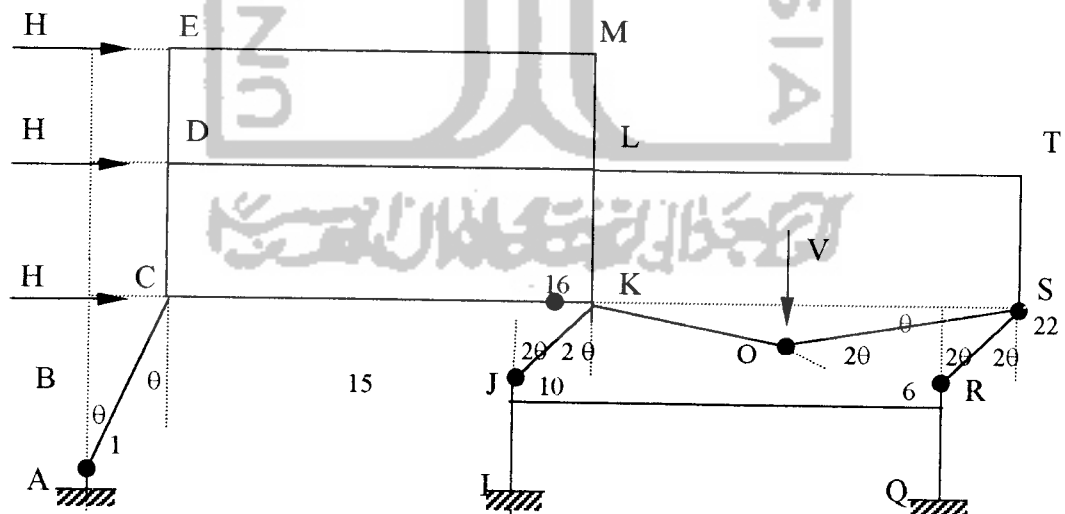
Tetapi jika gabungkan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul pada simpul K maka satu buah sendi plastis terhapus dengan pengurangan energi dalam sebesar $M_p.\theta$, seperti ditunjukkan pada gambar 4.19, sehingga persamaannya menjadi :

$$2.V.L + 5.H.L = 14.M_p - M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{13}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{13} = 461,538 \text{ Kip-ft}$$

Gambar 4.19 kombinasi mekanisme balok KS dengan mekanisme panel ACSR setelah dikombinasikan dengan mekanisme rotasi simpul K.



Gambar 4.19 Kombinasi Mekanisme Balok KS Dengan Mekanisme Panel ACSR Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul K

- Mekanisme 17 (mekanisme kombinasi)

Kombinasi selanjutnya dicoba dengan menggabungkan mekanisme balok JR (mekanisme 6) dengan mekanisme panel IJRQ (mekanisme 11). Ternyata kombinasi ini menyebabkan sendi plastis di simpul J terhapus, akibat terjadi pengurangan kerja dalam sebesar $M_p \cdot \theta$. Sehingga persamaan mekanismenya adalah sebagai berikut :

$$\text{Mekanisme (17)} = \text{mekanisme (6)} + \text{mekanisme (11)}$$

$$\text{Mekanisme (6)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (11)} = 5.H.L = 10.M_p$$

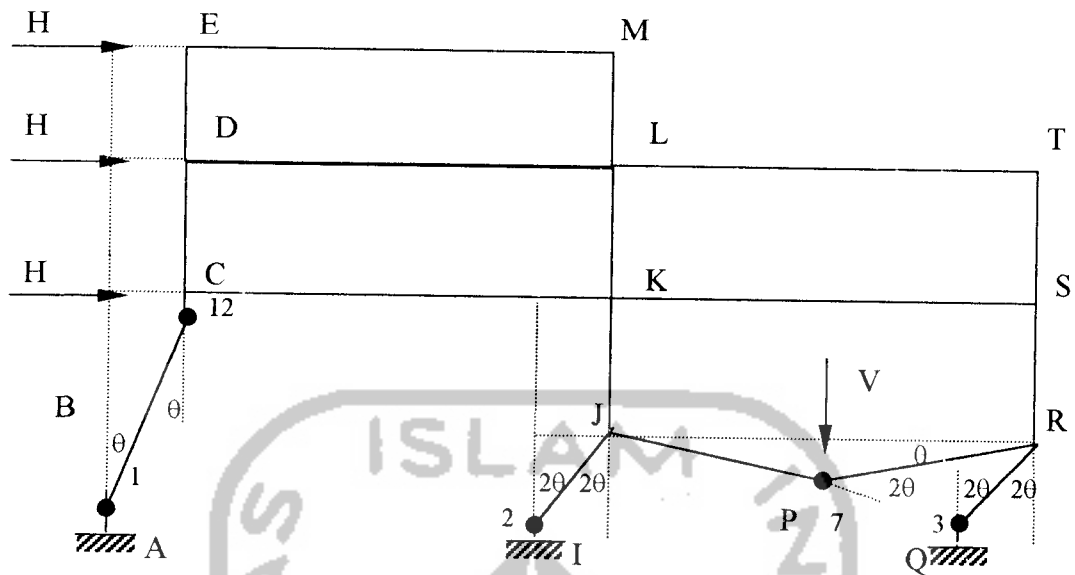
$$\text{Reduksi} = - M_p +$$

$$\text{Mekanisme (17)} = 2.V.L + 5.H.L = 13.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{13}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{13} = 461,538 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok JR dan panel IJRQ ditunjukkan pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 18 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme (8) dan mekanisme (9), yaitu antara mekanisme panel DEML dan panel CDTS. Tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi. Akan tetapi dengan menambahkan mekanisme rotasi titik simpul D dan L, sendi di titik 31 dan 33 akan terhapus dan digantikan dengan sendi di titik 32. Demikian juga pada simpul L, sendi di titik 27 dan 29 akan terhapus dan digantikan oleh sendi pada titik 26 dan 28 sehingga total pengurangan energi dalamnya $M_p \theta$. Sehingga persamaan kerjanya menjadi :

$$\text{Mekanisme (8)} = \quad H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (9)} = \quad 2.H.L = 6.M_p$$

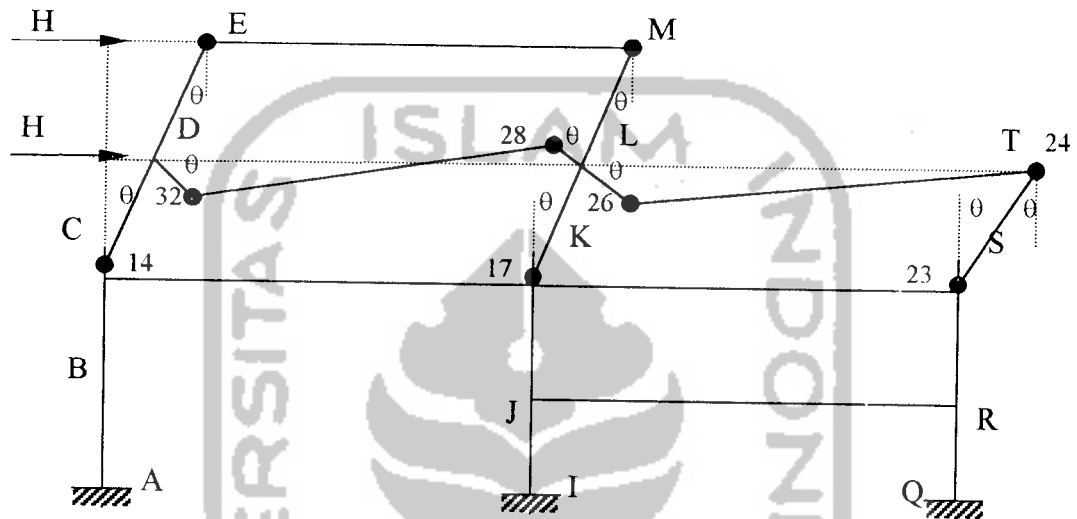
$$\text{Reduksi} = \quad - M_p +$$

$$\text{Mekanisme (17)} = \quad 3.H.L = 9.M_p$$

$$M_p = \frac{3.H.L}{9}$$

$$M_p = \frac{3.70.10}{9} = 233,33 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme strukturnya terlihat pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Mekanisme Kombinasi dari Panel DEML dan Panel CDTs

- Mekanisme 19 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme (1) kedalam mekanisme (8) dan (9) maka sendi plastis di simpul E akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar $2M_p.\theta$. Sedangkan kombinasi mekanisme (8) dan (9) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan dengan mekanisme (18). Sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme (19)} &= \text{mekanisme (8)} + \text{mekanisme (9)} + \text{mekanisme (1) - reduksi} \\ &= \text{mekanisme (18)} + \text{mekanisme (1) - reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme (18)} = 3.H.L = 9.Mp$$

$$\text{Mekanisme (1)} = 2.V.L = 4.Mp$$

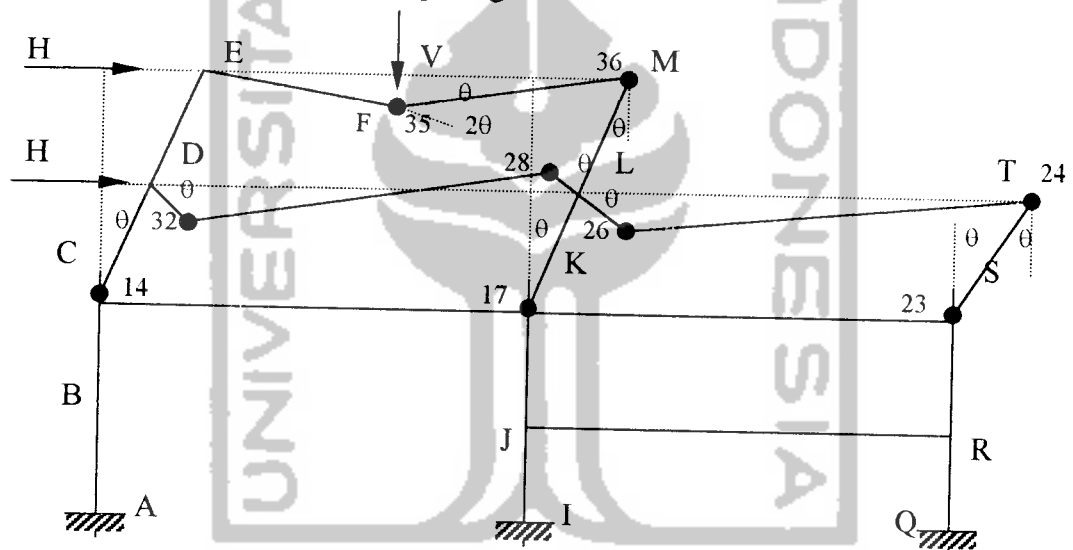
$$\text{Reduksi} = - 2 Mp +$$

$$\text{Mekanisme (19)} = 3.H.L + 2.V.L = 11.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 3.H.L}{11}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 3.70.10}{11} = 418,18 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme strukturnya terlihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Mekanisme kombinasi dari balok ED, panel DEML dan panel CDTS

- Mekanisme 20 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme ini kita gabungkan mekanisme panel 9 (mekanisme CDTS) seperti pada gambar 4.12 dan mekanisme 10 (mekanisme ACSR) seperti pada gambar 4.13. Pada mekanisme ini tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi. Akan tetapi dengan menambahkan mekanisme rotasi titik simpul C

dan K, sendi di titik 12 dan 14 akan terhapus dan digantikan dengan sendi di titik 13. Demikian juga pada simpul K sendi dititik 17 dan 18 akan terhapus dan digantikan sendi di titik 16 dan 19. Sehingga total pengurangan energi dalamnya sebesar $M_p \cdot \theta$. Sehingga persamaan kerjanya menjadi :

$$\text{Mekanisme (9)} = 2.H.L = 6.M_p$$

$$\text{Mekanisme (10)} = 5.H.L = 10.M_p$$

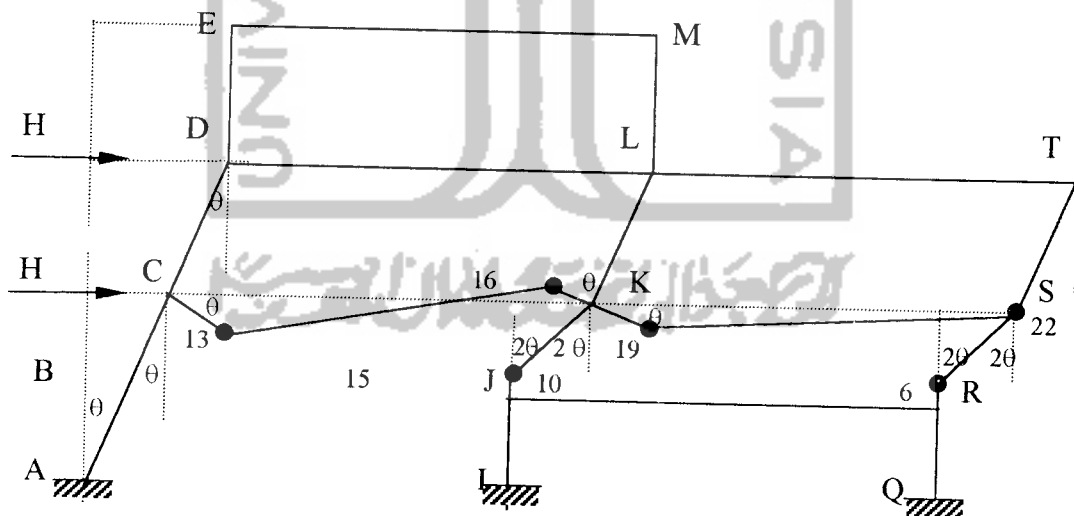
$$\text{Reduksi} = - M_p +$$

$$\text{Mekanisme (20)} = 7.H.L = 15.M_p$$

$$M_p = \frac{7.H.L}{15}$$

$$M_p = \frac{7.70.10}{15} = 326,67 \text{ Kip-ft}$$

mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.23



Gambar 4.23 Mekanisme Kombinasi panel CDTs dan panel ACSR

- Mekanisme 21 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme (2) ke dalam mekanisme (9) dan (10) maka sendi plastis di titik D akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar $2M_p\theta$. Sedangkan kombinasi mekanisme (9) dan (10) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan mekanisme (20) sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme (21)} &= \text{mekanisme (9)} + \text{mekanisme (10)} + \text{mekanisme (2)} - \text{reduksi} \\ &= \text{mekanisme (20)} + \text{mekanisme (2)} - \text{reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme (20)} = 7.H.L = 15.M_p$$

$$\text{Mekanisme (1)} = 2.V.L = 4.M_p$$

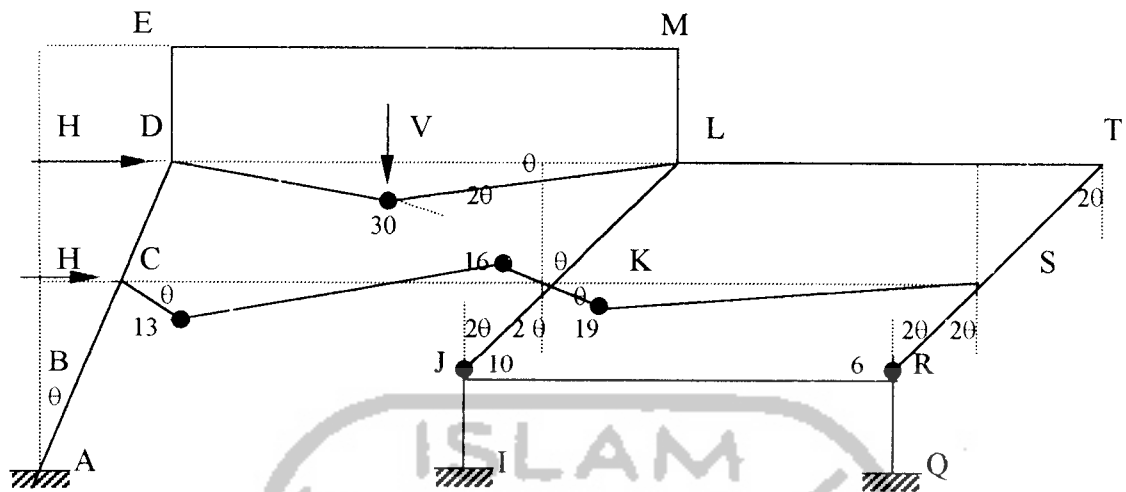
$$\text{Reduksi} = - 2 M_p +$$

$$\text{Mekanisme (21)} = 7.H.L + 2.V.L = 17.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 7.H.L}{17}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 7.70.10}{17} = 435,294 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Mekanisme Kombinasi dari Balok DL, Panel CDTS dan Panel ACSR

- Mekanisme 22 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme (4) ke dalam mekanisme (9) dan (10) maka sendi plastis di titik L akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar $2M_p\theta$. Sedangkan kombinasi mekanisme (9) dan (10) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan mekanisme (20) sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme (21)} &= \text{mekanisme (9)} + \text{mekanisme (10)} + \text{mekanisme (4)} - \text{reduksi} \\ &= \text{mekanisme (20)} + \text{mekanisme (2)} - \text{reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme (20)} = 7.H.L = 15.M_p$$

$$\text{Mekanisme (4)} = 2.V.L = 4.M_p$$

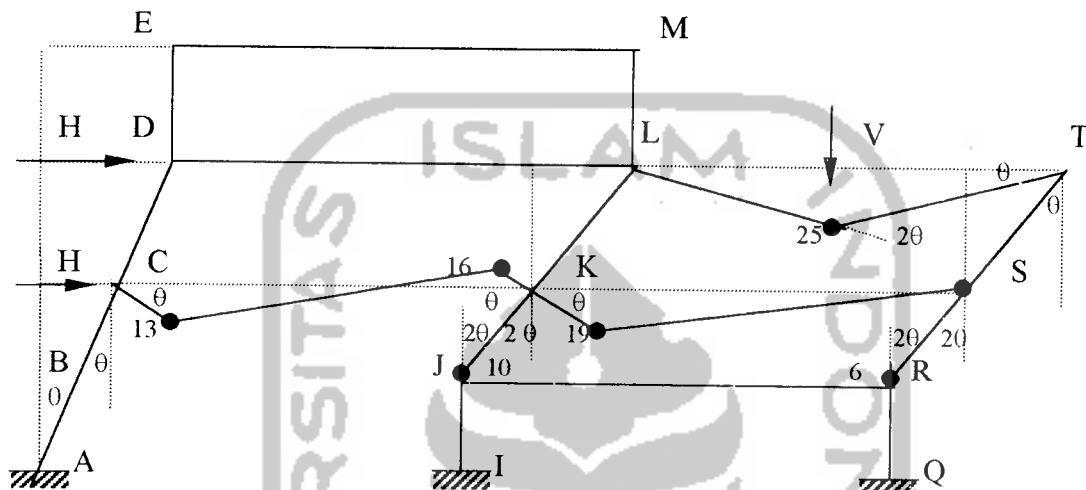
$$\text{Reduksi} = -2.M_p +$$

$$\text{Mekanisme (21)} = 7.H.L + 2.V.L = 17.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 7.H.L}{17}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 7.70.10}{17} = 435,294 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.25



Gambar 4.25 Mekanisme Kombinasi Dari Balok LT, Panel CDTs dan Panel ACSR

- Mekanisme 23 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme ini semua mekanisme elementer digabungkan menjadi satu dan hasilnya seperti terlihat pada gambar 4.26. Akibat mekanisme balok EM maka sendi plastis di titik E tereliminasi sehingga terjadi pengurangan energi dalam sebesar $2M_p.\theta$. Kemudian dengan mengkombinasikan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul D semua sendi plastis disimpul D yang mengakibatkan pengurangan energi dalam sebesar $3M_p.\theta$. Hal yang sama juga terjadi pada titik simpul L, C, K, S, J, dan R. Dengan demikian akibat mekanisme

kombinasi ini terjadi pengurangan energi dalam sebesar $23M_p\theta$, dan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Mekanisme (1)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (2)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (3)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (4)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (5)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (6)} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (7)} = H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (8)} = H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme (9)} = 2.H.L = 6.M_p$$

$$\text{Mekanisme (10)} = 5.H.L = 10.M_p$$

$$\text{Mekanisme (11)} = 5.H.L = 10.M_p$$

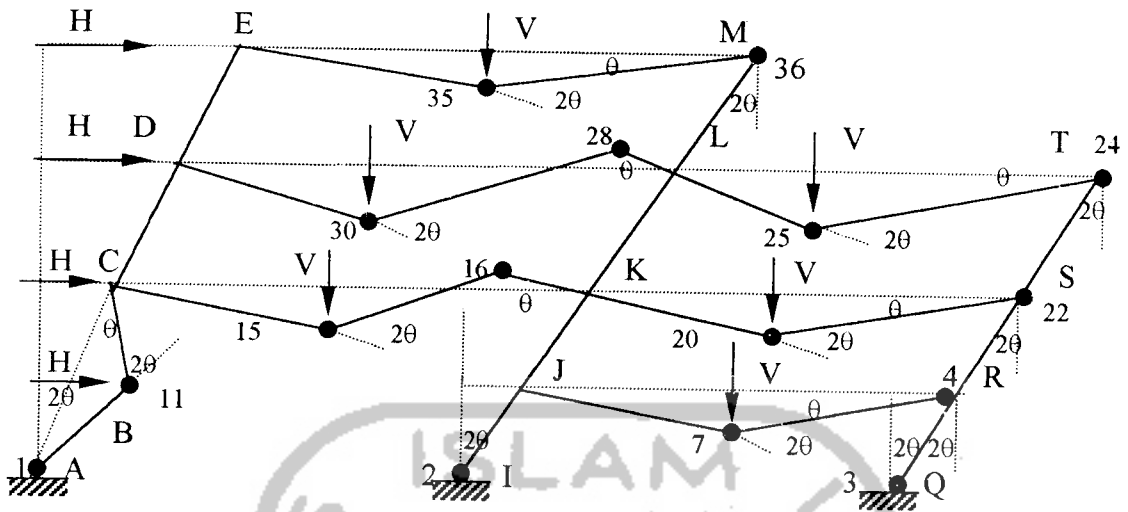
$$\text{Reduksi} = - 23 M_p +$$

$$\text{Mekanisme} \quad 12.V.L + 14.H.L = 35 M_p$$

$$M_p = \frac{12.V.L + 14.H.L}{35}$$

$$M_p = \frac{12.125.10 + 14.70.10}{35} = 708,571 \text{Kip} - ft$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.26



Gambar 4.26. Mekanisme Kombinasi Dari Semua Mekanisme Elementer

Ternyata dari kedua puluh tiga mekanisme yang diperkirakan harga momen plastis terbesar didapat pada mekanisme ke-23 yaitu dengan menggabungkan semua mekanisme elementer yang menghasilkan harga momen plastis sebesar 708,571 Kip-ft. Berarti pola mekanisme tersebut mewakili keruntuhan yang sebenarnya. Titik-titik yang menjadi sendi plastis adalah : 1, 2, 3, 4, 7, 11, 15, 16, 20, 22, 24, 25, 28, 30, 35, dan 36. Dengan demikian sesuai dengan perjanjian tanda rotasi harga momen-momen plastis pada titik tersebut adalah :

$M_1 = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{15} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{28} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_2 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{16} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{30} = +708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_3 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{20} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{35} = +708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_4 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{22} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{36} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_7 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{24} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	
$M_{11} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{25} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	

Ternyata momen plastis terbesar di peroleh dengan jumlah sendi plastis sebanyak 16 buah. Hal ini berarti struktur runtuh pada saat sendi plastis berkurang tiga dari yang seharusnya didapat dari rumus yaitu berjumlah 19 buah. Dengan demikian struktur tersebut mengalami keruntuhan parsial (*partial collapse*).

Jadi dari perhitungan didapat $M_p = 708,571$ Kip-ft

Gaya aksial terbesar yang bekerja pada struktur sebesar 375 Kip dan gaya geser sebesar 104,993 Kip

4.3. Perhitungan Dimensi dan Kontrol Kekuatan Profil

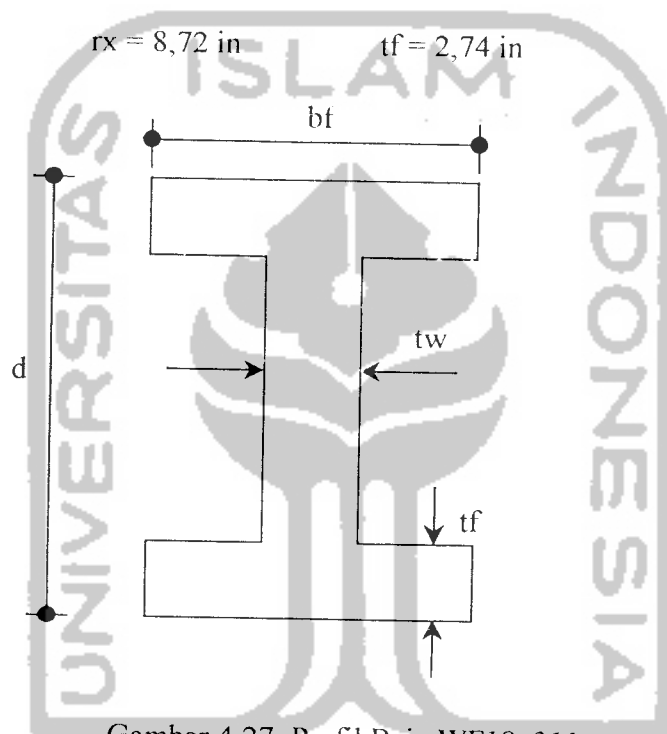
Untuk menentukan dimensi profil WF yang akan digunakan dapat disesuaikan dengan syarat yang telah ditetapkan yaitu pada syarat AISC. Dalam hal ini mutu baja yang digunakan adalah A36 ($\sigma_y = 36$ ksi). Untuk perencanaan suatu struktur perlu diberi angka keamanan atau faktor beban. Menurut AISC untuk beban yang bekerja antara merupakan kombinasi antara beban mati + beban hidup maka faktor bebannya (λ) = 1,7. Perhitungan dimensi profil untuk kasus diatas adalah sebagai berikut :

- Mutu baja A36 ($\sigma_y = 36$ ksi)
 - $\lambda = 1,7$ (kombinasi beban mati + beban hidup)
- (L. Wahyudi, Sjahril A. Rahim, 1992)
- $M_p = 708,571$ Kip-ft
 - $M_p = \lambda \cdot 708,571 = 708,571 \cdot 1,7 = 1204,571$ Kip-ft
 - Gaya aksial = $\lambda \cdot 375 = 637,5$ Kip

- Gaya geser = $\lambda \cdot 104,993 = 178,4881$ Kip

Dengan mengacu pada tabel Desain Plastis AISC, maka profil yang sesuai adalah WF18x311 dengan data profil sebagai berikut :

$M_p = 2260$ Kip-ft	$A = 91,5$ in ²	$P_y = 3290$ kip	$r_y = 2,95$ in
$Z_x = 753$ In ³	$bf = 12,005$ in	$S_x = 624$ in ³	$d/tw = 14,7$
$W = 311$ lb/ft	$tw = 1,52$ in	$S_y = 132$ in ³	
$d = 22,32$ in	$rx = 8,72$ in	$tf = 2,74$ in	



Gambar 4.27 Profil Baja WF18x311

4.3.1. Kontrol Terhadap Local Buckling

- Bagian sayap (Flange)

$$\frac{bf}{2tf} < \lambda_y$$

$$\frac{12,005}{2 \cdot 2,74} < 8,5$$

$$2,1906 < 8,5 \dots\dots\dots \text{OK !}$$

- Bagian Badan (Web)

$$\frac{P}{P_y} = \frac{637,5}{3290} = 0,1938 < 0,27, \text{ maka}$$

$$\frac{d}{t_w} < \frac{412}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 1,4 \frac{P}{P_y} \right]$$

$$14,7 < \frac{412}{\sqrt{36}} [1 - 1,4 \cdot 0,1938]$$

$$14,7 < 53,496 \dots\dots\dots \text{OK !}$$

4.3.2. Kontrol Terhadap Lateral Torsional Buckling

$$\frac{M}{M_p} = \frac{1204,571}{2260} = 0,537, \text{ berarti } 1 < M/M_p < -0,5$$

- ◆ Dicoba Cara Momen Gradient

$$\begin{aligned} L_{cr} &= \left[\frac{1375}{F_y} + 25 \right] r_y \\ &= \left[\frac{1375}{36} + 25 \right] r_y = 63,194 \cdot r_y = 63,194 \cdot 2,95 = 186,42235 \text{ in} \end{aligned}$$

$$L_{cr} = \frac{186,4223}{12} = 15,535 \text{ ft} < 40 \text{ ft}$$

$$r_{y \text{ perlu}} = \frac{L}{L_{cr}} = \frac{40 \cdot (12)}{63,194} = 7,595 > r_y = 2,95$$

Jadi diperlukan penopang lateral (bracing) dengan jarak 15,535 ft sepanjang bentang balok (40 ft).

4.3.3. Kontrol Terhadap Gaya Aksial

A. Selidiki Persyaratan Kekuatan

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{1,18Mp} < 1,0$$

$$\frac{637,5}{3290} + \frac{1204,5711}{1,18 \cdot 2260} < 1,0$$

$$0,1938 + 0,4517 < 1,0$$

$$0,6455 < 1,0 \dots \dots \dots \text{OK !}$$

B. Selidiki Persyaratan Stabilitas

$$\frac{P}{P_c} + \frac{C_m M}{\left(1 - \frac{P}{P_e}\right) M} < 1,0$$

karena pengeang momen di dasar portal $G_B = 1,0$ $G_A = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_g}{L_g}} = \frac{2 \cdot \frac{I}{10}}{1 \cdot \frac{I}{40}} = 8$

Dari $G_A = 8$ dan $G_B = 1,0$ maka dengan tabel nomogram didapat $k = 1,8$

$$\frac{k \cdot l_x}{r_x} = \frac{1,8 \cdot (10) \cdot (12)}{8,72} = 24,77$$

$$\frac{k \cdot l_x}{r_y} = \frac{1,8 \cdot (10) \cdot (12)}{2,95} = 73,22 \dots \dots \dots (\text{menentukan})$$

karena dari tabel AISC didapat harga:

$$F_a = 16,0958 \text{ Ksi}$$

$$F'e = 27,855 \text{ Ksi}$$

$$\text{Maka : } P_e = 1,92 \cdot A_g \cdot F_a = 1,92 \cdot 91,5 \cdot 16,0958 = 2827,71 \text{ Kip}$$

$$P_{cr} = 1,7 \cdot A_g \cdot F'_e = 1,7 \cdot 91,5 \cdot 27,855 = 4332,845 \text{ Kip}$$

Karena tanpa penopang (dukungan) maka :

$$\begin{aligned} M_m &= \left[1,07 - \frac{\sqrt{F_y \cdot k / r_y}}{3160} \right] M_p \\ &= \left[1,07 - \frac{\sqrt{36 \cdot 73,22}}{3160} \right] \cdot 2260 \\ &= 2140,003 \text{ Kip-ft} \end{aligned}$$

$C_m = 0,85$ (portal bergoyang)

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{\left[1 - \frac{P}{P_e} \right] M_m} < 1,0$$

$$\frac{637,5}{4332,845} + \frac{0,85 \cdot 1204,571}{\left[1 - \frac{637,5}{2823,71} \right] \cdot 2140,003} < 1,0$$

$$0,7651 < 1,0 \dots \dots \dots \text{OK !}$$

4.3.4. Kontrol Terhadap Gaya Geser

Besarnya gaya geser yang terjadi pada struktur yaitu 178,4881 Kip. Persyaratan besarnya gaya geser pada sebuah struktur pada desain plastis tidak boleh melebihi

V_u , yaitu :

$$V_u = 0,55 \cdot F_y \cdot d_w \cdot t_w$$

$$= 0,55 \cdot 36 \cdot 22,32 \cdot 1,52$$

$$= 671,7427 \text{ Kip} > 178,4881 \text{ Kip} \dots \dots \dots \text{OK !}$$

4.3.5. Beban Plastis (Beban Runtuh)

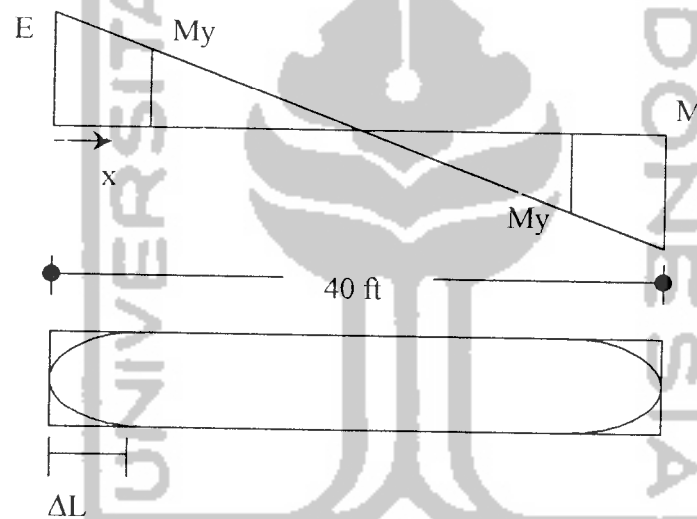
Beban batas plastis ditentukan dengan persamaan

$$P_u = \frac{8Mp}{L}$$

$$= \frac{8.1204,571}{40} = 240,9142 \text{Kip}$$

Jadi struktur akan runtuh bila beban vertikal di tambah terus menerus sampai 240,9142 Kip.

4.4 Panjang Sendi plastis



Gambar 4.28 Panjang Sendi Plastis

Dari persamaan 2.38 diketahui :

$$\Delta L = L (1 - 1/f)$$

dengan $f = Z/S = 753/624 = 1,2061$

$$\Delta L = 40 . (1 - 1/1,2061)$$

$$= 6,8325 \text{ ft} = 81,99 \text{ in}$$

4.5 Reduksi Momen Plastis

A. Reduksi Akibat Gaya Aksial

Besarnya momen plastis akibat gaya aksial adalah :

- Untuk $0 < P < 0,15P_y$

$$M_{pc} = M_p$$

- Untuk $0,15P_y < P < P_y$

$$M_{pc} = 1,18 \left(1 - \frac{P}{P_y} \right) M_p$$

Besarnya gaya aksial pada struktur = 637,5 Kip dan untuk profil WF = 2260 Kip sehingga $0,15P_y = 339$ Kip. Karena besarnya $P > 0,15P_y$ maka besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya aksial adalah seperti dirumuskan pada persamaan 2.48. Sehingga reduksi momen plastis akibat gaya aksial yang bekerja pada struktur adalah :

$$\begin{aligned} M_{pc} &= 1,18 \cdot \left(1 - \frac{P}{P_y} \right) M_p \\ &= 1,18 \cdot \left(1 - \frac{637,5}{3290} \right) 2260 = 2150,057 \text{ Kip} - ft \end{aligned}$$

$$\% \text{reduksi} = \frac{M_p - M_{pc}}{M_p} \times 100\%$$

$$\% \text{reduksi} = \frac{2260 - 2150,057}{2260} \times 100\%$$

$$\% \text{reduksi} = 4,84\%$$

B. Reduksi Akibat Gaya Geser

Besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya geser (M_{ps}) seperti dirumuskan pada persamaan 2.62.

$$M_{ps} = \sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot d_f + \frac{1}{4} \cdot \sigma \cdot t_w \cdot d_w^2$$

Menurut kriteria Von Mises :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_y^2 - 3\tau^2}$$

$$\tau = \frac{V}{d_w \cdot t_w}$$

$$d_w = d - 2t_f = 22,32 - 2 \cdot 2,74 = 16,84 \text{ in}$$

$$t_w = 1,52 \text{ in}$$

$$\tau = \frac{178,881}{16,84 \cdot 1,520} = 6,973 \text{ Ksi}$$

$$\sigma = \sqrt{36^2 - 3 \cdot (6,973)^2} = 33,9136 \text{ Ksi}$$

$$d_f = d - t_f = 22,32 - 2,74 = 19,58 \text{ in}$$

Sehingga besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya geser adalah :

$$M_{ps} = \sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot d_f + \frac{1}{4} \cdot \sigma \cdot t_w \cdot d_w^2$$

$$\begin{aligned} M_{ps} &= 36 \cdot 12,005 \cdot 2,74 \cdot 19,58 + \frac{1}{4} \cdot 33,9136 \cdot 1,52 \cdot (16,84)^2 \\ &= 26840,7216 \text{ Kip-ft} = 2236,7268 \text{ Kip-in} \end{aligned}$$

$$\% \text{ reduksi} = \frac{M_p - M_{ps}}{M_p} \times 100\%$$

$$\% \text{ reduksi} = \frac{2260 - 2236,7268}{2260} \times 100\% = 1,0298\%$$

4.6 Grafik Hubungan Momen Gaya Aksial dan Gaya Geser

4.6.1 Hubungan Momen – Gaya Aksial

Pada sub bab ini ditinjau hubungan antara momen dengan gaya aksial untuk profil WF18x311. Hubungan ini didapat dari persamaan 2.44 dan 2.45.

- Untuk sumbu netral terletak di web

$$[0 < P/P_y < 1/(1 + 2b.tf / tw.dv)]$$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1 - \left(\frac{P}{P_y} \right)^2 (0,5117)$$

- Untuk sumbu netral terletak di flange

$$[1/(1 + 2b.tf / tw.dv) < P/P_y < 1,0]$$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 0,0608 \left(1 - \frac{P}{P_y} \right)$$

dari persamaan 2.48 hubungan momen – gaya aksial dapat dilihat pada tabel 4.1a dan kurva hubungan antara gaya aksial – momen dapat dilihat pada gambar 4.29.

Persamaan 2.48

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1,18 \left(1 - \frac{P}{P_y} \right)$$

Tabel 4.1a. Hubungan Momen - Gaya Aksial Profil WF18x311

P/Py	Mpc/Mp	Mpc/Mp
	Persamaan 2.44 dan 2.45	Persamaan 2.48
0	1	1
0.05	0.99872075	1
0.1	0.994883	1
0.15	0.98848675	1
0.2	0.979532	0.944
0.25	0.96801875	0.885
0.2801	0.95985406	0.849482
0.3	0.9499392	0.826
0.35	0.874867413	0.767
0.4	0.80090624	0.708
0.45	0.72805568	0.649
0.5	0.656685938	0.59
0.55	0.586019584	0.531
0.6	0.516463844	0.472
0.65	0.448018716	0.413
0.7	0.380684203	0.354
0.75	0.314460302	0.295
0.8	0.249495097	0.236
0.85	0.185455403	0.177
0.9	0.122526322	0.118
0.95	0.060668189	0.059
1	0	0

4.6.2 Hubungan Momen – Gaya Geser

Pada bagian ini ditinjau hubungan momen dan gaya geser untuk profil WF18x311. Hubungan ini didapat dari persamaan 2.64. Persamaan momen dengan gaya geser dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{M_{ps}}{M_p} = \frac{1 + 0,1673 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2}}{1,1673}$$

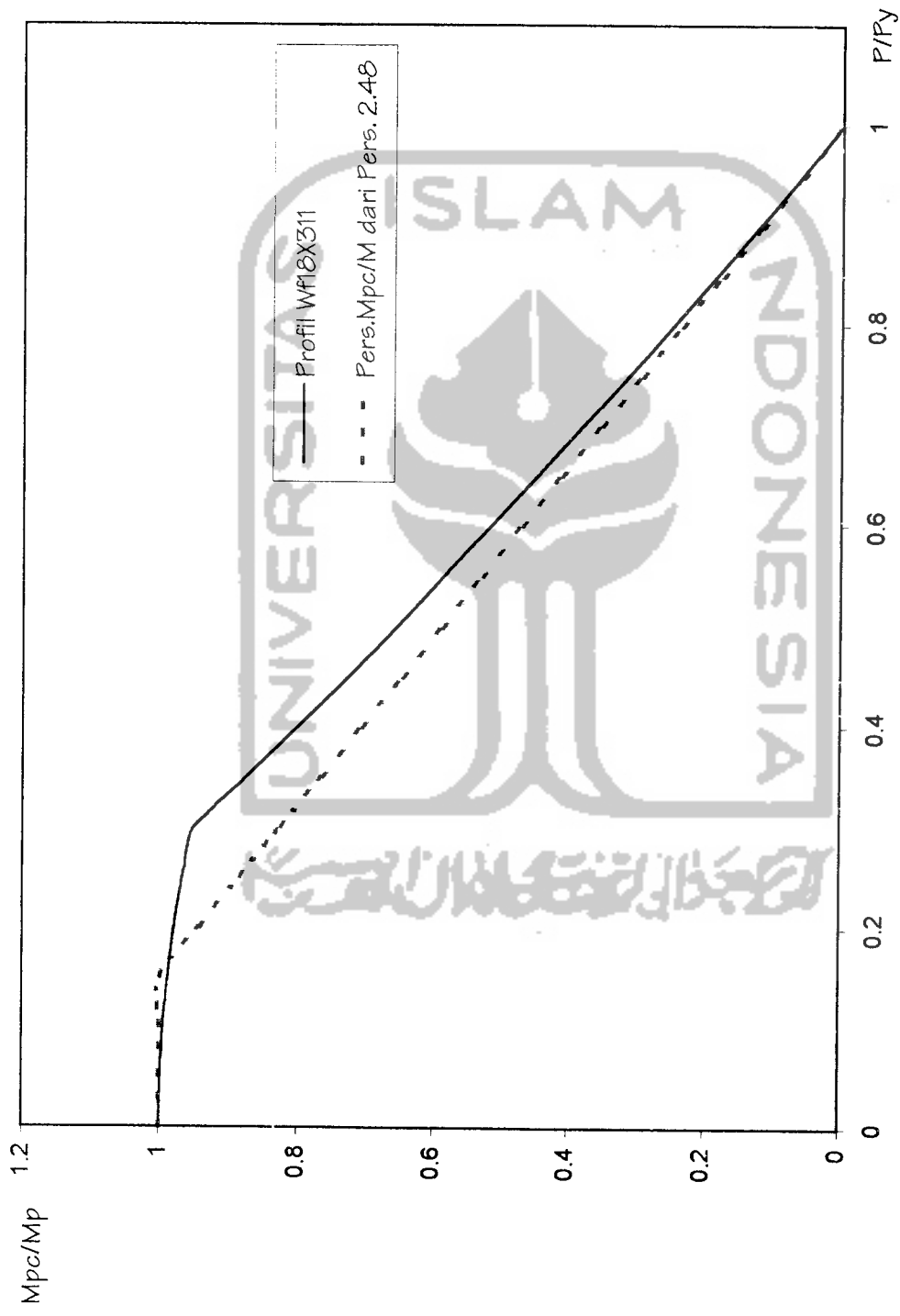
Hubungan gaya geser dengan momen dapat dilihat pada tabel 4.1b dan kurva hubungan antara gaya geser dapat dilihat pada gambar 4.30.

Tabel 4.1b. Hubungan Momen - Gaya Geser
Profil WF18x311

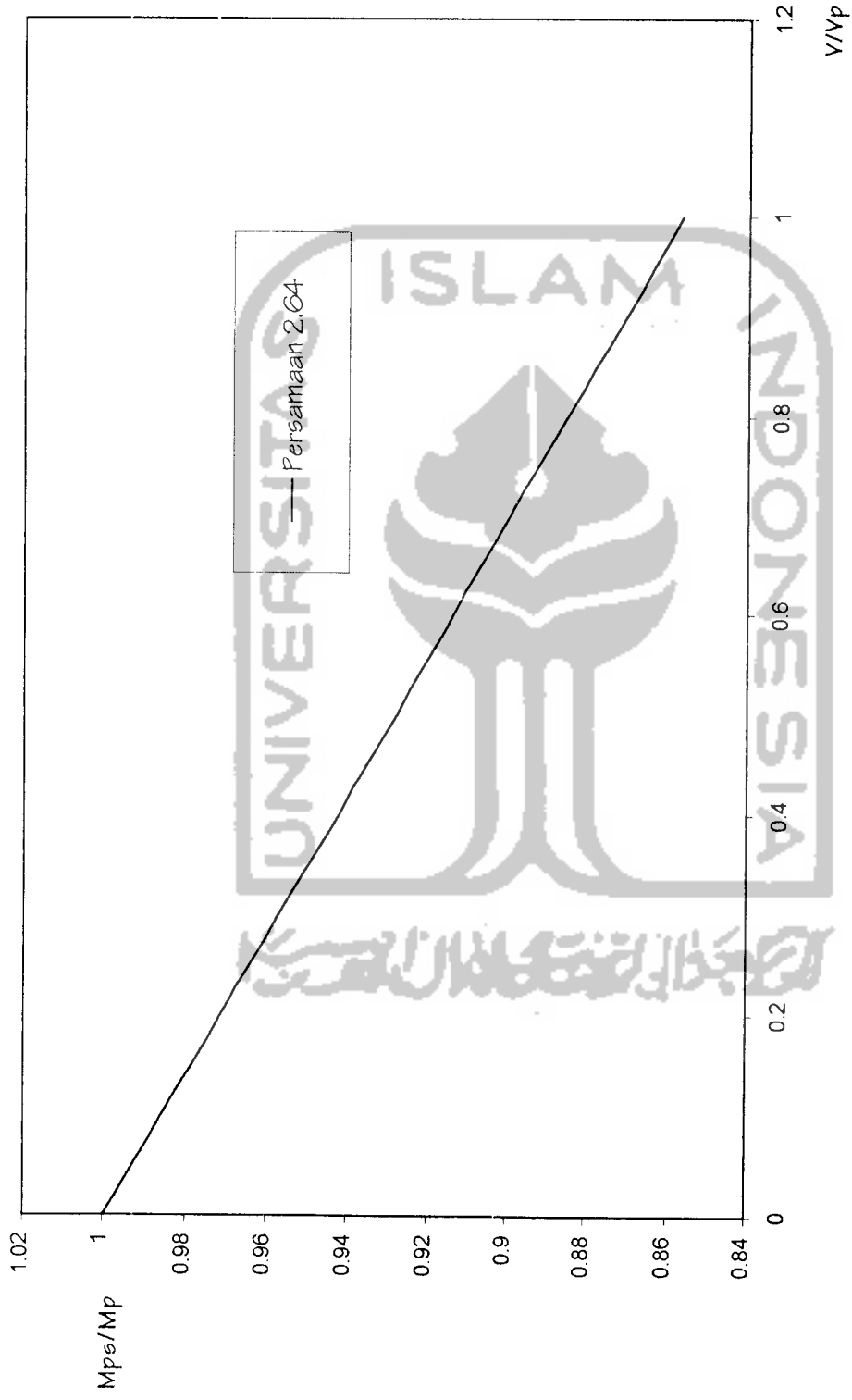
V/V _p	M _{ps} /M _p
0	1
0.025	0.996416945
0.05	0.99283389
0.075	0.989250835
0.1	0.98566778
0.125	0.982081725
0.15	0.978501671
0.175	0.974918616
0.2	0.971335561
0.225	0.967752506
0.25	0.964169451
0.275	0.960586396
0.3	0.957003341
0.325	0.953420286
0.35	0.949837231
0.375	0.946254176
0.4	0.942671121
0.425	0.939088066
0.45	0.935505012

Tabel 4.1b. Hubungan Momen - Gaya Geser
 Profil WF18x311
 (lanjutan)

V/Vp	Mps/Mp
0.475	0.931921957
0.5	0.928338902
0.525	0.924755847
0.55	0.921172792
0.575	0.917589737
0.6	0.914006682
0.625	0.910423627
0.65	0.906840572
0.675	0.903257517
0.7	0.899674462
0.725	0.896091408
0.75	0.892508353
0.775	0.888925298
0.8	0.885342243
0.825	0.881759188
0.85	0.878176133
0.875	0.874593078
0.9	0.871010023
0.925	0.867426968
0.95	0.863843913
0.975	0.860260858
1	0.856677803



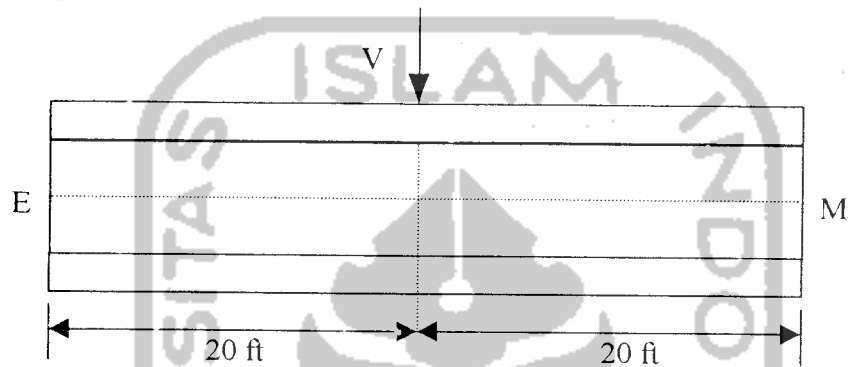
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Momen - Gaya Aksial



Gambar 4.30 Grafik Hubungan Momen - Gaya Geser

4.7 Perkembangan Zone Plastis

Setelah didapat dimensi profil yang sesuai, kita akan meninjau suatu titik yang menjadi sendi plastis untuk dilihat perkembangan zone plastisnya. Untuk analisis diambil sendi plastis yang terjadi pada tengah balok EM seperti yang terlihat pada gambar 2.11. Perletakkan balok EM dianggap jepit-jepit. Keadaan ini diasumsikan seperti pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Struktur Penampang Memanjang Profil WF

Untuk mengetahui garis batas elastoplastisnya yang merupakan fungsi dari C dan x dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

- Bagian Sayap

$$x = \frac{L}{2} \left[1 - \frac{1}{\rho} \left(1 + \frac{bf \cdot h^2}{3 \cdot S} \left(1 - \left(\frac{c}{h} \right)^2 \right) \right) \right] \quad (4.1)$$

dimana $L = 20 \text{ ft} = 20 \cdot 12 = 240 \text{ in}$

$$\rho = P/P_y = 1,0 ; 1,05 ; 1,1 ; f, 1,2$$

$$bf = 12,005 \text{ in}$$

$$h = d/2 = 22,32/2 = 11,16 \text{ in}$$

$$S = 624 \text{ in}^3$$

x = jarak horisontal dari titik tengah bentang profil

C = jarak batas elastoplastis

Sehingga dengan memasukkan angka-angka tersebut persamaannya menjadi :

$$x = \frac{240}{2} \left[1 - \frac{1}{\rho} \left(1 + \frac{12,005 \cdot 11,16^2}{3.624} \left(1 - \left(\frac{c}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right]$$

$$x = 120 \left[1 - \frac{1}{\rho} \left(1 + 0,7987 \left(1 - \left(\frac{c}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right]$$

Sebagai contoh untuk harga $C = 12 \text{ in}$ dan $\rho = 1,1$ maka harga x dapat ditentukan sebagai berikut :

$$x = 120 \left[1 - \frac{1}{1,1} \left(1 + 0,7987 \left(1 - \left(\frac{12}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right] = 24,5192 \text{ in}$$

Untuk selanjutnya dengan variasi nilai C dan ρ akan dihasilkan nilai x yang bervariasi pula seperti yang terlihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Batas Elastoplastis Pada Sayap (Flange)
Profil WF 18 X 311

C	X				
	1	1.05	1.1	1.15	1.2
8.42	-41.285713	-33.608513	-26.624842	-20.2540562	-14.399385
8.7625	-36.75691	-29.295281	-22.507707	-16.3158088	-10.625533
9.105	-32.04756	-24.810097	-18.226437	-12.2205586	-6.7012321
9.4475	-27.157665	-20.15296	-13.781033	-7.96830565	-2.6264824
9.79	-22.087224	-15.323872	-9.1714953	-3.55904999	1.5987162
10.1325	-16.836237	-10.322832	-4.397823	1.0072084	5.9743638
10.475	-11.404704	-5.1498399	0.5399837	5.73046953	10.50046
10.8175	-5.7926249	0.1951041	5.6419247	10.6107334	15.177006
11.16	0	5.712	10.908	15.648	20.004

- Bagian Badan

Untuk bagian badan persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$x = \frac{L}{2} \left[1 - \frac{1}{\rho} \left(\frac{Z}{S} - \frac{tw.c^2}{3.S} \right) \right] \dots\dots\dots (4.2)$$

$$x = \frac{240}{2} \left[1 - \frac{1}{\rho} \left(\frac{418}{371} - \frac{0,518.c^2}{3.371} \right) \right]$$

Sebagai contoh untuk harga $c = 12$ in dan $\rho = 1,1$ maka nilai x dapat dihitung sebagai berikut :

$$x = \frac{240}{2} \left[1 - \frac{1}{1,1} \left(\frac{418}{371} - \frac{0,518.12^2}{3.371} \right) \right] = 4,4001in$$

Hasil perhitungan selanjutnya dapat kita tabelkan seperti dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 Batas Elastoplastis Pada Badan (Web) Profil WF 18 X 311

C	X				
	1	1.05	1.1	1.15	1.2
0	-14.4816	-8.0668277	-2.2559898	0	7.932
1	-14.38416	-7.973807	-2.1671898	1.14444661	8.0134
2	-14.09184	-7.694745	-1.9007898	2.39926393	8.2576
3	-13.60464	-7.2296417	-1.4567899	3.82395948	8.6646
4	-12.92256	-6.5784971	-0.8351899	4.41853324	9.2344
5	-12.0456	-5.7413111	-0.03599	5.18298523	9.967
6	-10.97376	-4.7180838	0.9408099	6.11731543	10.8624
7	-9.70704	-3.5088151	2.0952098	7.22152385	11.9206
8	-8.24544	-2.1135052	3.4272097	8.49561048	13.1416
8.42	-7.5734548	-1.4719975	4.03961	9.08138456	13.702967

Untuk melengkapi kejelasannya, maka hasil dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dibuat dalam bentuk kurva hubungan fungsi zone elastoplastis (C) dengan jarak horisontal (x).

Kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 4.31

4.8 Hubungan Momen Kelengkungan Profil

Analisis selanjutnya akan ditinjau hubungan antara momen dengan kelengkungan profil WF yang digunakan. Hubungan ini dapat dilihat pada persamaan (2.20) dan persamaan (2.21). Persamaan kelengkungan untuk sayap profil adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{M_y} = \frac{K_y}{K} \left[1 - \frac{2bf \cdot h^2}{3 \cdot S} \right] + \frac{bf \cdot h^2}{S} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{K}{K_y} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\text{Untuk } \left(1 < \frac{K}{K_y} < \frac{d/2}{(d/2 - tf)} \right)$$

Sedangkan persamaan kelengkungan untuk bagian badan profil adalah sebagai berikut :

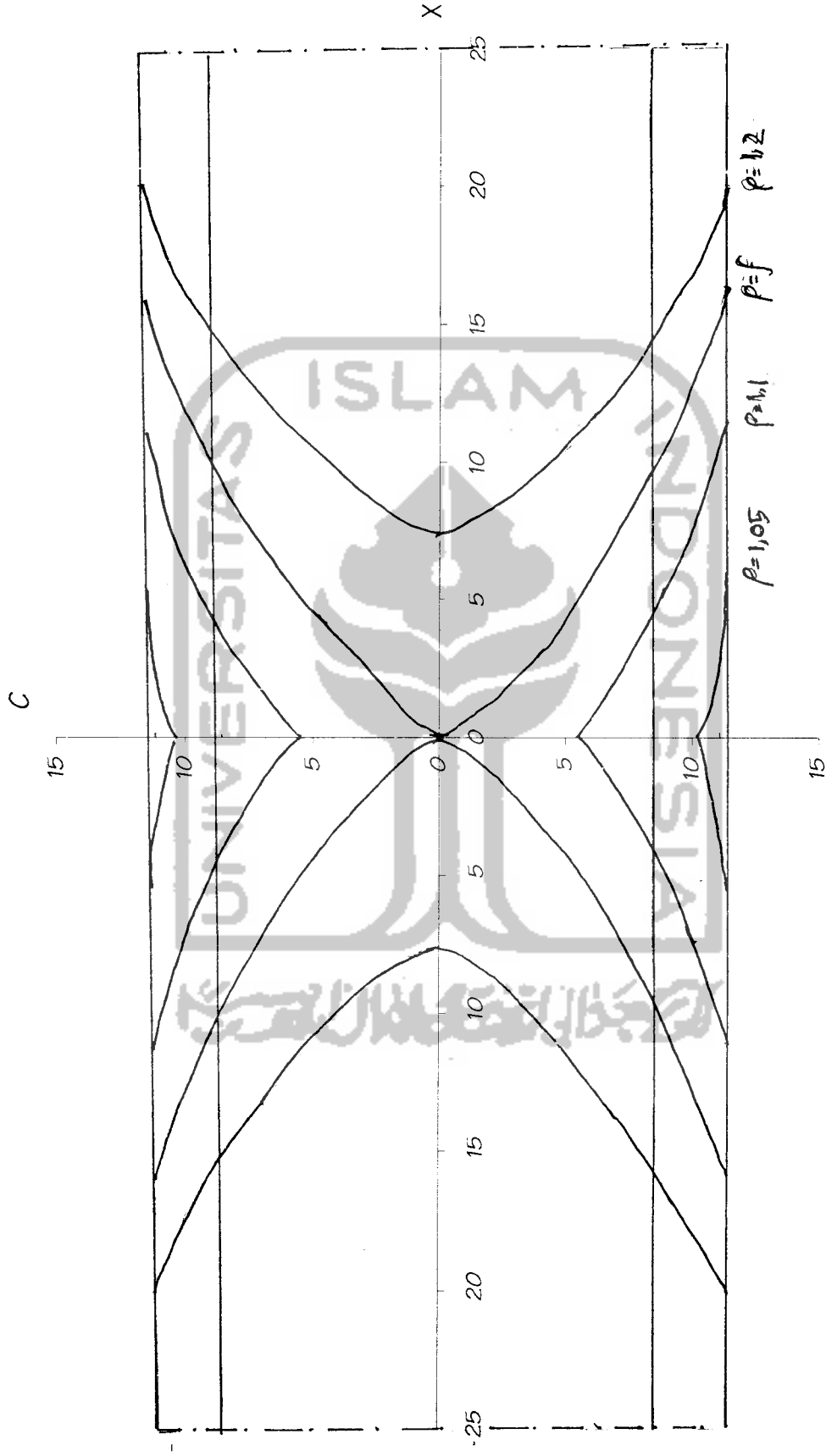
$$\frac{M}{M_y} = \frac{Z}{S} - \frac{tw \cdot h^2}{3 \cdot S} \left(\frac{K}{K_y} \right)^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$\text{Batasan } \left(\frac{d/2}{(d/2 - tf)} < \frac{K}{K_y} < \infty \right)$$

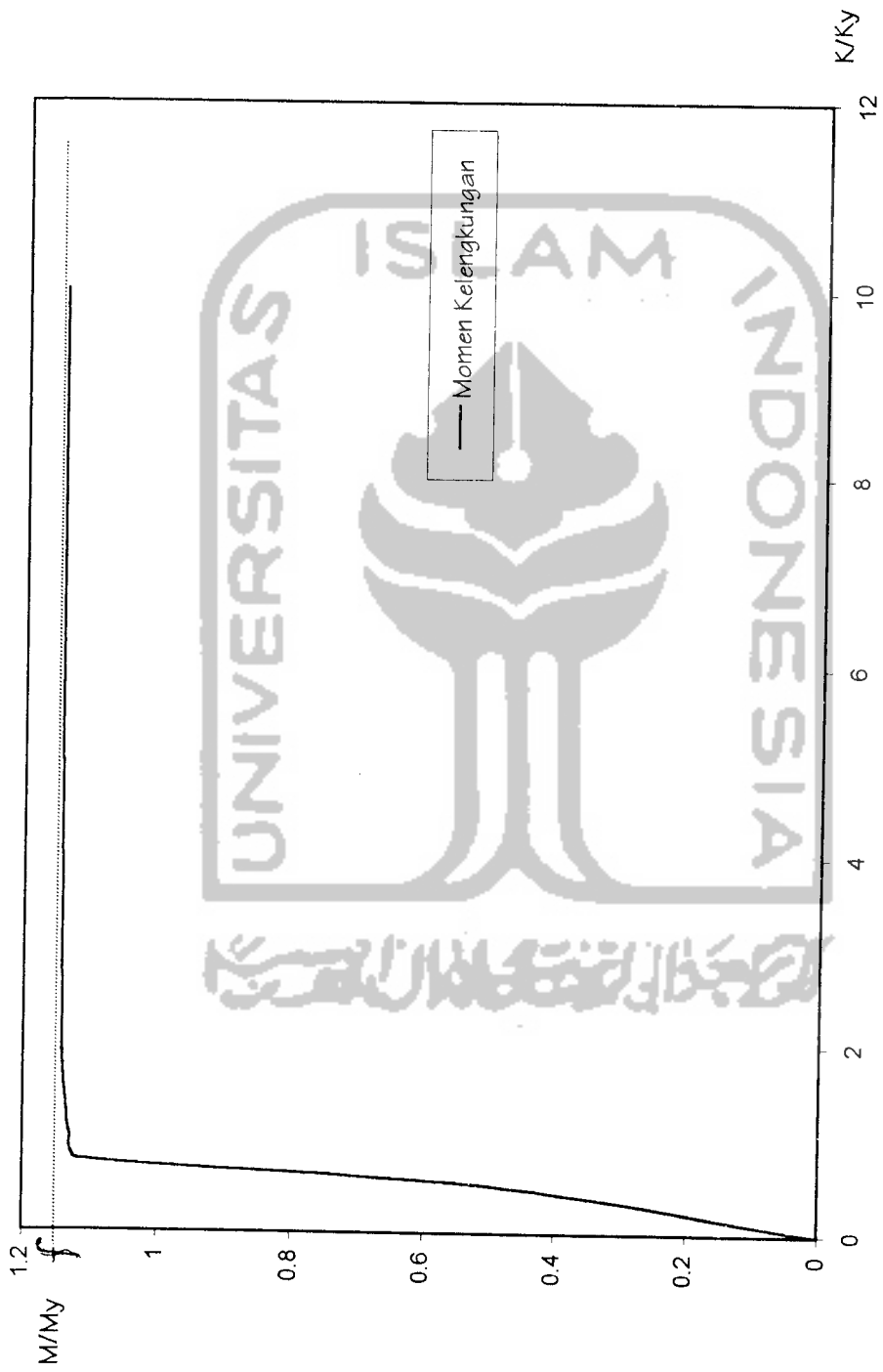
Dengan memasukkan nilai K/K_y pada kedua persamaan diatas didapatkan hubungan momen kelengkungan untuk profil WF18x311. Hubungan ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dan selanjutnya dibuat kurva seperti pada gambar 4.33

Tabel 4.4 Hubungan Momen Kelengkungan Profil WF 18 X 311

K/Ky	M/My
0	0
0.5	0.5006
0.75	1.1160756
1	1.12873
1.01	1.1290506
1.02	1.1293618
1.03	1.129664
1.04	1.1299575
1.05	1.1302426
1.065	1.1306554
1.07	1.1307892
1.08	1.1310511
1.09	1.1313059
1.1	1.1315537
1.5	1.1377689
2	1.1409325
3	1.1431922
4	1.1439831
5	1.1443492
6	1.1445481
7	1.144668
8	1.1447458
9	1.1447991
10	1.1448373



Gambar 4.32 Grafik Perkembangan Zone Plastis



Gambar 4.33 Grafik Momen Kelengkungan Profil WF18X311

4.9 Pembahasan

Diantara mekanisme elementer dan mekanisme kombinasi yang mungkin terjadi pada struktur portal bertingkat, mekanisme balok – panel merupakan mekanisme yang paling banyak terjadi. Hal ini disebabkan pada struktur tersebut lebih banyak balok horisontalnya yang mana balok tersebut difungsikan untuk menerima beban vertikal. Kenyataan di lapangan juga menunjukkan biasanya beban vertikal lebih besar daripada beban horisontal. Pembebanan vertikal ini untuk struktur portal biasanya berasal dari beban lantai, dinding, balok anak bahkan beban kuda-kuda. Sedangkan beban horisontal biasanya merupakan beban angin atau beban gempa.

Dari perhitungan analisis reduksi momen plastis profil WF18x311 lb/ft yang menerima beban aksial, gaya geser dan kombinasi beban aksial dan gaya geser didapat reduksi momen plastis akibat gaya aksial adalah 4,84 %. Dan besarnya reduksi momen plastis akibat gaya geser adalah 1,0298 %. Sehingga besarnya reduksi akibat gaya aksial dan gaya geser masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu besarnya reduksi tidak boleh melebihi 5 %, sehingga profil WF18x311 lb/ft dianggap masih mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur.

Hubungan besarnya gaya aksial dan momen plastis yang tereduksi pada profil WF18x311 lb/ft dapat dilihat pada tabel 4.1a disini dapat diketahui bahwa untuk harga gaya aksial (P) cukup kecil sumbu netral profil masih terletak diantara kedua sayap (flange) atau pada plat badan (web) dengan peningkatan harga gaya aksial maka akan mengakibatkan sumbu netral profil berpindah kearah sayap (flange). Selama harga P/P_y berada pada selang 0 sampai $1 / (1 + (2 \cdot b_f \cdot t_w / d_w \cdot t_w))$ hubungan

antara gaya aksial dan momen plastis yang tereduksi digunakan persamaan 2.44 untuk peningkatan harga gaya aksial selanjutnya yaitu saat harga P/P_y antara $(1 + (2.bf.tw/dw.tw))$ hingga 1,0 digunakan persamaan 2.45.

Hubungan momen dan gaya geser pada profil WF18x311 lb/ft dapat dilihat pada tabel 4.1b disini dapat diketahui bahwa untuk gaya geser yang masih kecil besarnya reduksi momen plastis masih kecil, dengan peningkatan gaya geser diikuti dengan peningkatan reduksi M_p sehingga sampai kondisi dimana gaya geser sama dengan gaya geser maksimum penampang maka besarnya momen plastis yang tereduksi = $0,8568 M_p$.

Tabel 4.2 dan tabel 4.3 dapat dilihat hubungan antara jarak horisontal (x) dengan fungsi elastis (C) dari sumbu netral pada profil yang digunakan. Untuk $\rho = 1$ zone plastis terletak pada serat paling luar di titik dimana momen maksimum terjadi. Dengan perubahan harga ρ maka zona plastis pada penampang profil perlahan-lahan berkembang kearah pusat profil. Apabila harga ρ telah sama dengan harga faktor bentuk (f), maka zona plastis pada bagian tarik dan tekan bertemu di pusat profil (sumbu netral). Keadaan ini berarti telah terbentuk sendi plastis. Dengan penambahan beban lagi maka zona plastis terus menyebar keserat-serat sekitarnya sampai akhirnya struktur runtuh (*collapse*). Kurva garis penetrasi atau batas elastis pada bagian sayap dan badan tidak merupakan suatu fungsi yang sama, hal ini disebabkan oleh perbedaan lebar profil sayap (bf) dan tebal badan (tw).