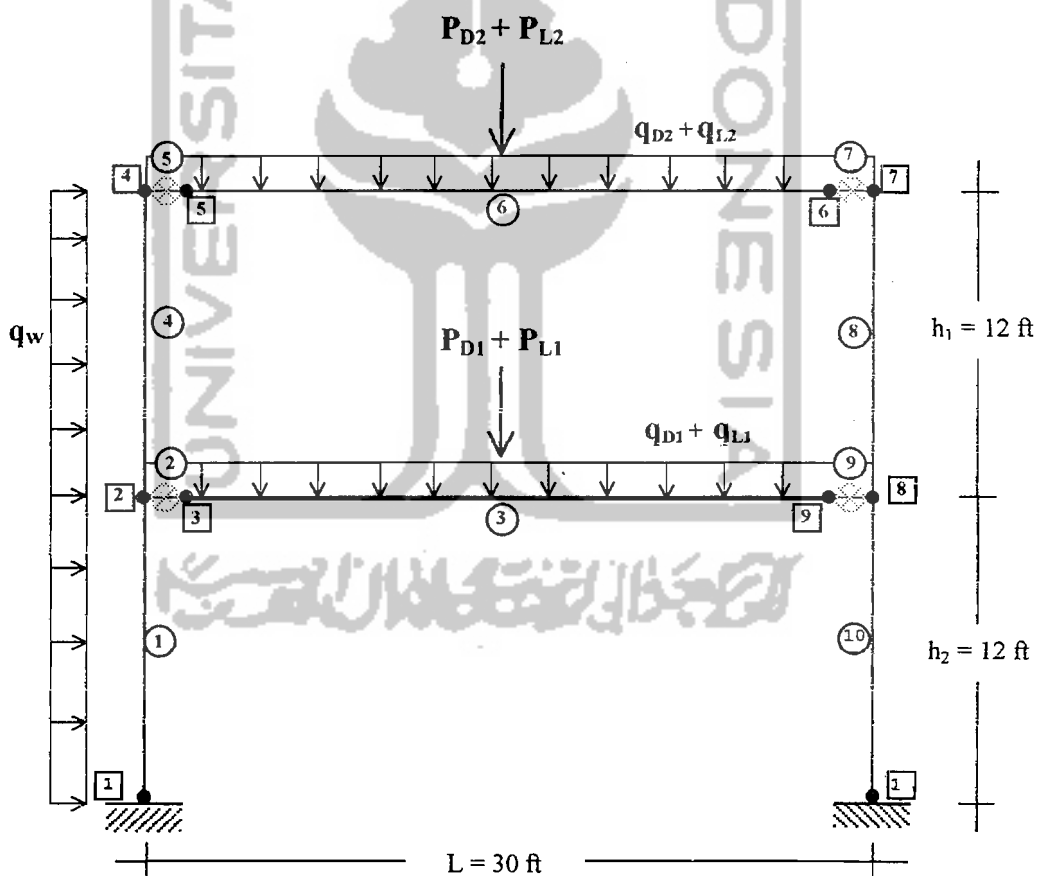


BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Geometri Struktur

Pemodelan yang dipakai pada analisa struktur adalah portal rangka baja berlantai dua seperti diilustrasikan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model Struktur Portal Baja

Ketentuan yang digunakan dalam analisa struktur adalah :

1. Struktur portal yang dipakai adalah baja ASTM A36 dengan ukuran profil balok atap adalah W 21 x 57, profil balok lantai adalah W 21 x 93, dan profil kolom adalah W 14 x 176. Ukuran profil-profil ini didapat dengan perhitungan yang menggunakan asumsi bahwa portal adalah kaku seperti dapat dilihat pada lampiran 1.
2. Pembebanan pada setiap lantai adalah beban gravitasi berupa beban titik pada tengah bentang yang merupakan beban dari balok anak, dan beban terbagi merata yang terdiri dari beban hidup dan beban mati. Selain itu terdapat beban angin yang bertiup dari arah samping kiri struktur rangka. Perhitungan pembebanan dapat dilihat pada lampiran 1 yang menghasilkan besarnya masing-masing beban adalah sebagai berikut :
 - a. Lantai pertama, besarnya beban mati adalah : $q_{D1} = 0,2275$ Kip/in, dan $P_{D1} = 43,704$ Kip, besarnya beban hidup adalah : $q_{L1} = 0,087$ Kip/in, dan $P_{L1} = 4,282$ Kip.
 - b. Lantai kedua, besarnya beban mati adalah : $q_{D2} = 0,1362$ Kip/in, dan $P_{D2} = 24,048$ Kip, besarnya beban hidup adalah : $q_{L2} = 0,0348$ Kip/in, dan $P_{L2} = 1,713$ Kip.
 - c. Beban angin dari arah samping kiri sebesar $q_w = 0,00768$ Kip/in.
3. Faktor kekakuan pada tiap join diasumsikan sebagai berikut :

$$S_2 = 0,6; S_5 = 0,4; S_7 = 0,4; S_9 = 0,6$$

4.2. Analisa Struktur Secara Manual

Analisa secara manual hanya dilakukan pada pembebanan beban mati yang dianggap mewakili. Hasil analisa ini akan dibandingkan dengan hasil analisa menggunakan program komputer.

4.2.1. JCODE dan MCODE

Dengan memperhatikan nomo-nomor derajat kebebasan pada masing-masing titik dapat disusun JCODE dan MCODE sebagai berikut :

a) Joint Code (JCODE)

$$\begin{aligned} \text{JCODE titik (1)} &= [0 \quad 0 \quad 0], & \text{JCODE titik (2)} &= [1 \quad 2 \quad 3] \\ \text{titik (3)} &= [1 \quad 2 \quad 4], & \text{titik (4)} &= [5 \quad 6 \quad 7] \\ \text{titik (5)} &= [5 \quad 6 \quad 8], & \text{titik (6)} &= [9 \quad 10 \quad 11] \\ \text{titik (7)} &= [9 \quad 10 \quad 12], & \text{titik (8)} &= [13 \quad 14 \quad 15] \\ \text{titik (9)} &= [13 \quad 14 \quad 16], & \text{titik (10)} &= [0 \quad 0 \quad 0] \end{aligned}$$

b) Member Code (MCODE)

$$\begin{aligned} \text{MCODE batang (1)} &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3] \\ \text{batang (2)} &= [1 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 2 \quad 4] \\ \text{batang (3)} &= [1 \quad 2 \quad 4 \quad 13 \quad 14 \quad 16] \\ \text{batang (4)} &= [1 \quad 2 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \quad 7] \\ \text{batang (5)} &= [5 \quad 6 \quad 7 \quad 5 \quad 6 \quad 8] \\ \text{batang (6)} &= [5 \quad 6 \quad 8 \quad 9 \quad 10 \quad 11] \\ \text{batang (7)} &= [9 \quad 10 \quad 11 \quad 9 \quad 10 \quad 12] \\ \text{batang (8)} &= [9 \quad 10 \quad 12 \quad 13 \quad 14 \quad 15] \\ \text{batang (9)} &= [13 \quad 14 \quad 15 \quad 13 \quad 14 \quad 16] \\ \text{batang (10)} &= [13 \quad 14 \quad 15 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \end{aligned}$$

4.2.2. Transformasi Koordinat Tiap Batang

Transformasi koordinat diperlukan untuk menyamakan koordinat lokal batang dan koordinat global struktur. Perhitungan transformasi koordinat masing-masing batang adalah sebagai berikut :

1. Batang 1, 4, 8, 10 :

$$\cos \theta = \frac{X_2 - X_1}{L} = \frac{0 - 0}{12} = 0$$

$$\sin \theta = \frac{Y_2 - Y_1}{L} = \frac{12 - 0}{12} = 1$$

Sehingga dapat disusun matrik rotasional sebagai berikut :

$$\lambda^{1,4,8,10} = \begin{bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Batang 3, 6 :

$$\cos \theta = \frac{10 - 0}{10} = 1; \quad \sin \theta = \frac{0 - 0}{10} = 0$$

Matrik rotasionalnya :

$$\lambda^{3,6} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2.3. Penyusunan Matrik Kekakuan Struktur

4.2.3.1. Matrik Kekakuan Batang Biasa

Untuk menyusun matrik kekakuan struktur, dihitung terlebih dahulu koefisien-koefisien matrik sebagai berikut :

1. Batang 1

$$\alpha = \frac{EI}{L^3} = \frac{29000 \cdot 2140}{144^3} = 20,7838, \quad c = \cos\theta = 0$$

$$\beta = \frac{AL^2}{I} = \frac{51,8 \cdot 144^2}{2140} = 501,9275, \quad s = \sin\theta = 1$$

$$k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ g_1 & g_2 & g_4 & -g_1 & -g_2 & g_4 & 0 \\ g_3 & g_5 & -g_2 & -g_3 & g_5 & 0 & 0 \\ g_6 & -g_4 & -g_5 & g_7 & 0 & 0 & 0 \\ g_1 & g_2 & -g_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ g_3 & -g_5 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ g_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$g_1 = \alpha (\beta \cdot c^2 + 12 \cdot s^2) = 20,7838 \cdot (501,9275 \cdot 0^2 + 12 \cdot 1^2) = 249,4052$$

$$g_2 = \alpha \cdot c \cdot s (\beta - 12) = 20,7838 \cdot 0 \cdot 1 \cdot (501,9275 - 12) = 0$$

$$g_3 = \alpha (\beta \cdot s^2 + 12 \cdot c^2) = 20,7838 \cdot (501,9275 \cdot 1^2 + 12 \cdot 0^2) = 10431,9449$$

$$g_4 = -\alpha \cdot 6 \cdot L \cdot s = -20,7838 \cdot 6 \cdot 144 \cdot 1 = -17957,1759$$

$$g_5 = \alpha \cdot 6 \cdot L \cdot c = 20,7838 \cdot 6 \cdot 144 \cdot 0 = 0$$

$$g_6 = \alpha \cdot 4 \cdot L^2 = 20,7838 \cdot 4 \cdot 144^2 = 1723888,875$$

$$g_7 = \alpha \cdot 2 \cdot L^2 = 20,7838 \cdot 2 \cdot 144^2 = 861944,4375$$

Untuk analisa selanjutnya dengan cara yang sama, dihitung koefisien kekakuan masing-masing batang dan perhitungannya akan ditabelkan seperti di bawah ini :

Tabel 4.1. Perhitungan Koefisien-koefisien Matrik Kekakuan Batang Biasa

	batang 3	batang 6
α	1.2866	0,7272
β	1709,2174	1849,8461
g_1	2199,1688	1345,2081
g_2	0	0
g_3	15,4399	8,7264
g_4	0	0
g_5	2779,1856	1570,752
g_6	667004,544	376980,48
g_7	333502,272	188490,24

4.2.3.2. Matrik Kekakuan batang Spring

1. Batang 2

$$S = 0,6$$

$$g = \frac{4EI}{L} \cdot S = \frac{4 \cdot 29000 \cdot 2070}{360} \cdot 0,6 = 400200$$

Penyusunan matrik kekakuan batang spring dilakukan sesuai dengan MCODE masing-masing batang spring.

$$k = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 4 \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & g & 0 & 0 & -g \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 0 & 0 \\ & & & & & g \end{bmatrix} & 1 \\ & & & & & & 2 \\ & & & & & & 3 \\ & & & & & & 1 \\ & & & & & & 2 \\ & & & & & & 4 \end{matrix}$$

Untuk analisa selanjutnya dengan cara yang sama, dihitung kekakuan masing-masing batang yang perhitungannya akan ditabelkan seperti di bawah ini :

Tabel 4.2. Koefisien-koefisien Matrik Kekakuan Batang Spring

	S	g
Batang 2	0,6	400200
Batang 5	0,4	150800
Batang 7	0,4	150800
Batang 9	0,6	400200

4.2.3.3. Matrik Kekakuan Struktur

Matrik kekakuan disusun dengan menempatkan koefisien-koefisien kekakuan sesuai dengan MCODE masing-masing batang, dan untuk membentuk matrik kekakuan struktur dilakukan dengan menjumlahkan matrik kekakuan masing-masing batang yang hasilnya adalah sebagai berikut :

Matrik

	12	13	14	15	16	
0	-2189.1687	0	0	0	0	1
0	0	-15.43981	0	2779.1687		2
0	0	0	0	0		3
0	0	-2779.168667	0	333500		4
0	0	0	0	0		5
0	0	0	0	0		6
0	0	0	0	0		7
0	0	0	0	0		8
-17957.17593	-249.4052	0	-17957.17593	0		9
0	0	-10431.94444	0	0		10
-150600	0	0	0	0		11
1874688.689	17957.1759	0	861944.4444	0		12
	2697.9771	0	-35914.35185	0		13
		20879.3287	0	-2779.1667		14
			3847977.778	-400200		15
				1087200		16

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

4.2.4. Matrik Beban Luar

4.2.4.1. Beban pada Titik Buhul

Pada kasus soal ini tidak ada beban pada titik buhul sehingga : $\bar{F} = 0$

4.2.4.2. Beban pada Batang

4.2.4.2.1. Beban Titik

Beban titik diterima oleh batang 3 dan 6 akan dihitung menggunakan persamaan (2.52) seperti di bawah ini.

1. Batang 3

$$\hat{f}^3 = p \begin{bmatrix} 0 \\ -1 - a^2(2a - 3) \\ -La(1 - a)^2 \\ 0 \\ a^2(2a - 3) \\ La^2(1 - a) \end{bmatrix} = 43,704 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -1 - 1/2^2(2 \cdot 1/2 - 3) \\ -360 \cdot 1/2(1 - 1/2)^2 \\ 0 \\ 1/2^2(2 \cdot 1/2 - 3) \\ 360 \cdot 1/2^2(1 - 1/2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -21,852 \\ -1966,68 \\ 0 \\ -21,852 \\ 1966,68 \end{bmatrix}$$

$$\hat{F}^3 = \lambda^{-1T} \hat{f}^3 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^3 \\ \hat{f}_2^3 \\ \hat{f}_3^3 \\ \hat{f}_4^3 \\ \hat{f}_5^3 \\ \hat{f}_6^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -21,852 \\ -1966,68 \\ 0 \\ -21,852 \\ 1966,68 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -21,852 \\ -1966,68 \\ 0 \\ -21,852 \\ 1966,68 \end{bmatrix}$$

2. Batang 6

$$\hat{f}^6 = 24,048 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -1 - 1/2^2(2 \cdot 1/2 - 3) \\ -360 \cdot 1/2(1 - 1/2)^2 \\ 0 \\ 1/2^2(2 \cdot 1/2 - 3) \\ 360 \cdot 1/2^2(1 - 1/2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -12,024 \\ -1082,16 \\ 0 \\ -12,024 \\ 1082,16 \end{bmatrix}$$

$$\hat{F}^6 = \lambda^{-1} \hat{f}_i^6 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^6 \\ \hat{f}_2^6 \\ \hat{f}_3^6 \\ \hat{f}_4^6 \\ \hat{f}_5^6 \\ \hat{f}_6^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -12,024 \\ -1082,16 \\ 0 \\ -12,024 \\ 1082,16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -12,024 \\ -1082,16 \\ 0 \\ -12,024 \\ 1082,16 \end{bmatrix}$$

4.2.4.2.2. Beban Terbagi Merata

Beban merata diterima oleh batang 3, dan 6. Perhitungannya menggunakan persamaan (2.53) seperti di bawah ini.

1. Batang 3

$$\hat{f}^3 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^3 \\ \hat{f}_2^3 \\ \hat{f}_3^3 \\ \hat{f}_4^3 \\ \hat{f}_5^3 \\ \hat{f}_6^3 \end{bmatrix} = 0,2275 \cdot 360 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -0,5 \\ \frac{360}{12} \\ 0 \\ -0,5 \\ \frac{360}{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -40,95 \\ -2457 \\ 0 \\ -40,95 \\ 2457 \end{bmatrix}$$

$$\hat{F}^3 = \lambda^{-1} \hat{f}_i^3 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^3 \\ \hat{f}_2^3 \\ \hat{f}_3^3 \\ \hat{f}_4^3 \\ \hat{f}_5^3 \\ \hat{f}_6^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -40,95 \\ -2457 \\ 0 \\ -40,95 \\ 2457 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -40,95 \\ -2457 \\ 0 \\ -40,95 \\ 2457 \end{bmatrix}$$

3. Batang 6.

$$\hat{f}^6 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^6 \\ \hat{f}_2^6 \\ \hat{f}_3^6 \\ \hat{f}_4^6 \\ \hat{f}_5^6 \\ \hat{f}_6^6 \end{bmatrix} = 0,1362 \cdot 360 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -0,5 \\ \frac{360}{12} \\ 0 \\ -0,5 \\ \frac{360}{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -24,516 \\ -1470,96 \\ 0 \\ -24,516 \\ 1470,96 \end{bmatrix}$$

$$\hat{F}^6 = \lambda^{-1} \hat{f}_i^6 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1^6 \\ \hat{f}_2^6 \\ \hat{f}_3^6 \\ \hat{f}_4^6 \\ \hat{f}_5^6 \\ \hat{f}_6^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -24,516 \\ -1470,96 \\ 0 \\ -24,516 \\ 1470,96 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -24,516 \\ -1470,96 \\ 0 \\ -24,516 \\ 1470,96 \end{bmatrix}$$

Dengan MCODE, $[\hat{F}^i]$ ditransformasikan sesuai derajat kebebasannya sehingga didapatkan $[\hat{F}^{(i)}]$. Selanjutnya $[\hat{F}^{(i)}]$ masing-masing batang dijumlahkan sehingga diperoleh matrik gaya dalam total $[\hat{F}]$. Matrik beban luar $[F]$ merupakan pengurangan dari matrik beban titik $[\bar{F}]$ dan matrik gaya dalam primer $[\hat{F}]$.

4.2.5.2. Displesmen Tiap Batang pada Koordinat Global

Unsur-unsur matrik ini diambil dari Matrik displesmen seluruh titik buhul sistem struktur, [D], yang ditransformasikan dengan bantuan MCODE

1. Batang 1

$$D^1 = \begin{bmatrix} D_1^1 & 0 \\ D_2^1 & 0 \\ D_3^1 & 0 \\ D_4^1 & 1 \\ D_5^1 & 2 \\ D_6^1 & 3 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \end{bmatrix}$$

2. Batang 2

$$D^2 = \begin{bmatrix} D_1^2 & 1 \\ D_2^2 & 2 \\ D_3^2 & 4 \\ D_4^2 & 1 \\ D_5^2 & 2 \\ D_6^2 & 4 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^2 = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_4 \\ D_1 \\ D_2 \\ D_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \\ -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0063 \end{bmatrix}$$

3. Batang 3

$$D^3 = \begin{bmatrix} D_1^3 & 1 \\ D_2^3 & 2 \\ D_3^3 & 4 \\ D_4^3 & 13 \\ D_5^3 & 14 \\ D_6^3 & 16 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^3 = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_4 \\ D_{13} \\ D_{14} \\ D_{16} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0063 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0064 \end{bmatrix}$$

4. Batang 4

$$D^4 = \begin{bmatrix} D_1^4 & 1 \\ D_2^4 & 2 \\ D_3^4 & 3 \\ D_4^4 & 5 \\ D_5^4 & 6 \\ D_6^4 & 7 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^4 = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \\ 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0004 \end{bmatrix}$$

5. Batang 5

$$D^5 = \begin{bmatrix} D_1^5 & 5 \\ D_2^5 & 6 \\ D_3^5 & 7 \\ D_4^5 & 5 \\ D_5^5 & 6 \\ D_6^5 & 8 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^5 = \begin{bmatrix} D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0004 \\ 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0077 \end{bmatrix}$$

6. Batang 6

$$D^6 = \begin{bmatrix} D_1^6 & 5 \\ D_2^6 & 6 \\ D_3^6 & 8 \\ D_4^6 & 9 \\ D_5^6 & 10 \\ D_6^6 & 11 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^6 = \begin{bmatrix} D_5 \\ D_6 \\ D_8 \\ D_9 \\ D_{10} \\ D_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0077 \\ -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0077 \end{bmatrix}$$

7. Batang 7

$$D^7 = \begin{bmatrix} D_1^7 & 9 \\ D_2^7 & 10 \\ D_3^7 & 11 \\ D_4^7 & 9 \\ D_5^7 & 10 \\ D_6^7 & 12 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^7 = \begin{bmatrix} D_9 \\ D_{10} \\ D_{11} \\ D_9 \\ D_{10} \\ D_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0077 \\ -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0004 \end{bmatrix}$$

8. Batang 8

$$D^8 = \begin{bmatrix} D_1^8 & 9 \\ D_2^8 & 10 \\ D_3^8 & 11 \\ D_4^8 & 13 \\ D_5^8 & 14 \\ D_6^8 & 15 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^8 = \begin{bmatrix} D_9 \\ D_{10} \\ D_{11} \\ D_{13} \\ D_{14} \\ D_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0077 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0006 \end{bmatrix}$$

9. Batang 9

$$D^9 = \begin{bmatrix} D_1^9 & 13 \\ D_2^9 & 14 \\ D_3^9 & 15 \\ D_4^9 & 13 \\ D_5^9 & 14 \\ D_6^9 & 16 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^9 = \begin{bmatrix} D_{13} \\ D_{14} \\ D_{15} \\ D_{13} \\ D_{14} \\ D_{16} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0006 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0064 \end{bmatrix}$$

10. Batang 10

$$D^{10} = \begin{bmatrix} D_1^{10} & 13 \\ D_2^{10} & 14 \\ D_3^{10} & 15 \\ D_4^{10} & 0 \\ D_5^{10} & 0 \\ D_6^{10} & 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{MCODE}} D^{10} = \begin{bmatrix} D_{13} \\ D_{14} \\ D_{15} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4.2.5.3. Matrik Displesmen Tiap Batang pada Koordinat Lokal

Matrik ini didapatkan dengan mentransformasikan matrik displesmen tiap batang pada koordinat global dengan bantuan matrik transformasi. Matrik yang berubah posisinya dengan pentransformasian ini adalah :

1. Batang 1

$$\begin{bmatrix} d_a^1 \\ d_b^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^1 & 0 \\ 0 & \lambda^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_a^1 \\ D_b^1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} d_1^1 \\ d_2^1 \\ d_3^1 \\ d_4^1 \\ d_5^1 \\ d_6^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,0095 \\ -0,0012 \\ -0,0006 \end{bmatrix}$$

2. Batang 4

$$\begin{bmatrix} d_1^4 \\ d_2^4 \\ d_3^4 \\ d_4^4 \\ d_5^4 \\ d_6^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \\ 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0095 \\ -0,0012 \\ -0,0006 \\ -0,0130 \\ 0,0061 \\ -0,0004 \end{bmatrix}$$

3. Batang 8

$$\begin{bmatrix} d_1^8 \\ d_2^8 \\ d_3^8 \\ d_4^8 \\ d_5^8 \\ d_6^8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0004 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0006 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0130 \\ -0,0061 \\ 0,0004 \\ -0,0095 \\ 0,0012 \\ 0,0006 \end{bmatrix}$$

4. Batang 10

$$\begin{bmatrix} d_1^{10} \\ d_2^{10} \\ d_3^{10} \\ d_4^{10} \\ d_5^{10} \\ d_6^{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0006 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0095 \\ 0,0012 \\ 0,0006 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4.2.6. Matrik Gaya Dalam Tiap Batang

Untuk menghitung gaya dalam tiap batang digunakan rumus (2.51) yaitu :

$$f^i = k^i \cdot d^i$$

4.2.6.1. Matrik Kekakuan Setiap Batang

1. Matrik kekakuan batang 1, 4, 8, 10

$$k^1 = \begin{bmatrix} 10431,944 & 0 & 0 & -10431,944 & 0 & 0 \\ 0 & 249,405 & 17957,176 & 0 & -249,405 & 0 \\ 0 & 17957,176 & 1723888,889 & 0 & -17957,176 & 17957,176 \\ -10431,944 & 0 & 0 & 10431,944 & 0 & 861944,444 \\ 0 & -249,405 & -17957,176 & 0 & 249,405 & -17957,176 \\ 0 & 17957,176 & 861944,444 & 0 & -17957,176 & 1723888,889 \end{bmatrix}$$

2. Matrik kekakuan batang 3

$$k^2 = \begin{bmatrix} 2199,167 & 0 & 0 & -2119,167 & 0 & 0 \\ 0 & 15,4398 & 2779,167 & 0 & -15,4398 & 0 \\ 0 & 2779,167 & 667000 & 0 & -2779,167 & 2779,167 \\ -2199,167 & 0 & 0 & 2119,167 & 0 & 333500 \\ 0 & -15,4398 & -2779,167 & 0 & 15,4398 & -2779,167 \\ 0 & 2779,167 & 333500 & 0 & -2779,167 & 667000 \end{bmatrix}$$

3. Matrik kekakuan batang 6

$$k^6 = \begin{bmatrix} 1345,278 & 0 & 0 & -1345,278 & 0 & 0 \\ 0 & 8,7268 & 1570,833 & 0 & -8,7268 & 1570,833 \\ 0 & 1570,833 & 377000 & 0 & -1570,833 & 188500 \\ -1345,278 & 0 & 0 & 1345,278 & 0 & 0 \\ 0 & -8,7268 & -1570,833 & 0 & 8,7268 & -1570,833 \\ 0 & 1570,833 & 188500 & 0 & -1570,833 & 377000 \end{bmatrix}$$

4. Matrik kekakuan Batang 2

$$k^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 400200 & 0 & 0 & -400200 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -400200 & 0 & 0 & 400200 \end{bmatrix}$$

5. Matrik kekakuan batang 5

$$k^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 150800 & 0 & 0 & -150800 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -150800 & 0 & 0 & 150800 \end{bmatrix}$$

6. Matrik kekakuan batang 7

$$k^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 150800 & 0 & 0 & -150800 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -150800 & 0 & 0 & 150800 \end{bmatrix}$$

7. Matrik kekakuan batang 9

$$k^9 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 400200 & 0 & 0 & -400200 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -400200 & 0 & 0 & 400200 \end{bmatrix}$$

4.2.6.2. Gaya Dalam Setiap Batang

1. Batang 1

$$f_1 = k^1 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0,0095 \\ 0,0012 \\ -0,0006 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 99,34 \\ -11,0119 \\ -539,8855 \\ -99,34 \\ 11,0119 \\ -1049,8311 \end{bmatrix}$$

2. Batang 2

$$f_2 = k^2 \cdot \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0006 \\ -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0064 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2304,7581 \\ 0 \\ 0 \\ -2304,7581 \end{bmatrix}$$

3. Batang 3

$$f_3 = k^3 \cdot \begin{bmatrix} -0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0064 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ -0,0064 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,3739 \\ 63,2154 \\ 2305,756 \\ 5,3739 \\ -63,2154 \\ -2305,756 \end{bmatrix}$$

4. Batang 4

$$f_4 = k^4 \cdot \begin{bmatrix} -0,0095 \\ 0,0012 \\ -0,0006 \\ -0,0130 \\ -0,0061 \\ -0,0004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36,5531 \\ -16,3436 \\ -1254,453 \\ -36,5531 \\ 16,3436 \\ -1099,0231 \end{bmatrix}$$

5. Batang 5

$$f_5 = k^5 \cdot \begin{bmatrix} 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0004 \\ 0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0077 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1099,9337 \\ 0 \\ 0 \\ -1099,9337 \end{bmatrix}$$

6. Batang 6

$$f_6 = k_6 \cdot \begin{bmatrix} 0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0077 \\ -0,0061 \\ -0,0130 \\ -0,0077 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,484 \\ 36,283 \\ 1099,9024 \\ -16,484 \\ -36,283 \\ -1099,9024 \end{bmatrix}$$

7. Batang 7

$$f_7 = k^7 \cdot \begin{bmatrix} -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0077 \\ -0,0061 \\ -0,0130 \\ 0,0004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1099,9337 \\ 0 \\ 0 \\ -1099,9337 \end{bmatrix}$$

8. Batang 8

$$f_8 = k^8 \cdot \begin{bmatrix} 0,0130 \\ -0,0061 \\ -0,0004 \\ 0,0095 \\ 0,0012 \\ 0,0006 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36,5531 \\ 16,3436 \\ 1099,0231 \\ -36,5531 \\ -16,3436 \\ 1254,453 \end{bmatrix}$$

9. Batang 9

$$f_9 = k^9 \cdot \begin{bmatrix} 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0006 \\ 0,0012 \\ -0,0095 \\ 0,0064 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -2304,7581 \\ 0 \\ 0 \\ 2304,7581 \end{bmatrix}$$

10. Batang 10

$$f_{10} = k^{10} \cdot \begin{bmatrix} 0,0095 \\ 0,0012 \\ 0,0006 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 99,34 \\ 11,0119 \\ 1049,8311 \\ -99,34 \\ -11,0019 \\ 535,8855 \end{bmatrix}$$

4.2.7. Gaya pada Titik Buhul

Gaya pada titik buhul dicari menggunakan persamaan (2.56), yaitu :

$$P_j = \sum_{i=1}^{NE} \lambda^{iT} f^i$$

1. Titik 1

$$P_1 = F_a^1 = \lambda^{1T} f_a^1$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 99,34 \\ -11,0119 \\ -535,8855 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11,0119 \\ 99,34 \\ -535,8855 \end{bmatrix}$$

2. Titik 2

$$P_2 = F_b^1 + F_a^2 + F_a^4 = \lambda^{1T} f_a^1 + \lambda^{2T} f_a^2 + \lambda^{4T} f_a^4$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -99,34 \\ 11,0119 \\ -1049,851 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2304,7581 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36,5531 \\ -16,3436 \\ -1254,453 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 5,3317 \\ -62,7869 \\ 0,4741 \end{bmatrix}$$

3. Titik 3

$$P_3 = F_b^2 + F_a^3 = \lambda^{2T} f_b^2 + \lambda^{3T} f_a^3$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -2304,7581 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -5,3739 \\ 63,2154 \\ 2305,2576 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,3739 \\ 63,2154 \\ -0,4995 \end{bmatrix}$$

4. Titik 4

$$P_4 = F_b^4 + F_a^5 = \lambda^{4T} f_b^4 + \lambda^{5T} f_a^5$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -36,5531 \\ 16,3436 \\ -1099,0231 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1099,9337 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -16,3436 \\ -36,5531 \\ 0,9106 \end{bmatrix}$$

5. Titik 5

$$P_5 = F_b^5 + F_a^6 = \lambda^{5T} f_b^5 + \lambda^{6T} f_a^6$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1099,9337 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 16,484 \\ 36,283 \\ 1099,9024 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,484 \\ 36,283 \\ 0,0315 \end{bmatrix}$$

6. Titik 6

$$P_6 = F_b^6 + F_a^7 = \lambda^{6T} f_b^6 + \lambda^{7T} f_a^7$$

$$P_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -16,484 \\ -36,283 \\ -1099,9024 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1099,9337 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -16,484 \\ -36,283 \\ 0,0315 \end{bmatrix}$$

7. Titik 7

$$P_7 = F_b^7 + F_a^8 = \lambda^{7T} f_b^7 + \lambda^{8T} f_a^8$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1099,9337 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36,5531 \\ 16,3436 \\ 1099,9337 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -16,3436 \\ 36,5531 \\ 0 \end{bmatrix}$$

8. Titik 8

$$P_8 = F_b^8 + F_a^9 + F_a^{10} = \lambda^{8T} f_b^8 + \lambda^{9T} f_a^9 + \lambda^{10T} f_a^{10}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -36,5531 \\ -16,3436 \\ 1254,453 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -2304,7581 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 99,34 \\ 11,0119 \\ 1049,8311 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 5,3317 \\ 62,7869 \\ -0,474 \end{bmatrix}$$

9. Titik 9

$$P_9 = F_b^9 + F_b^3 = \lambda^{9T} f_b^9 + \lambda^{3T} f_b^3$$

$$P_9 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2304,7581 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5,3739 \\ -63,2154 \\ -2305,2576 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,3739 \\ -63,2154 \\ -0,4995 \end{bmatrix}$$

10. Titik 10

$$P_{10} = F_b^{10} = \lambda^{10T} f_b^{10}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -99,34 \\ 11,0119 \\ 535,8855 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -11,0119 \\ 99,34 \\ 535,8855 \end{bmatrix}$$

4.2.8. Momen Lapangan

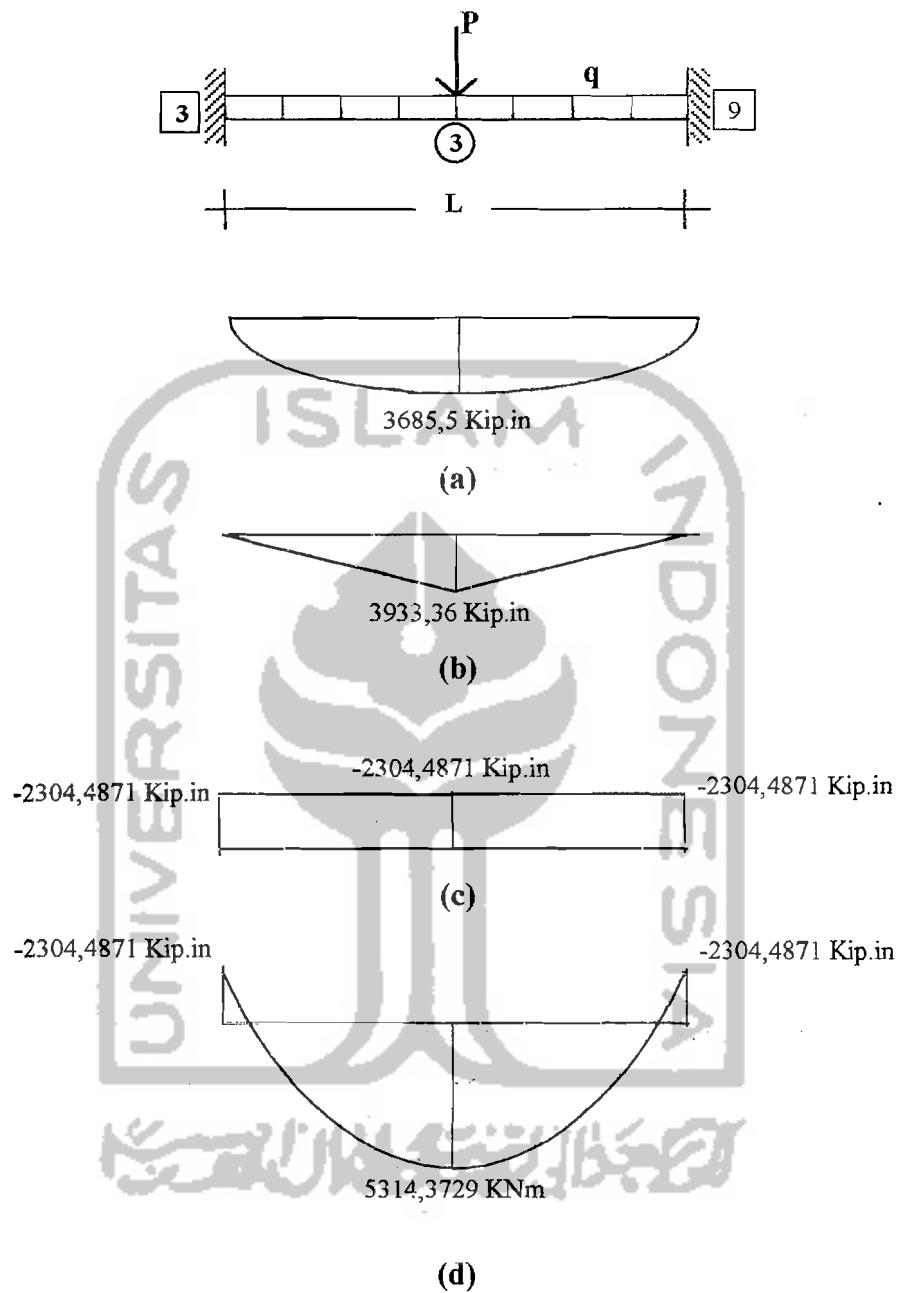
Perhitungan momen dilakukan dengan superposisi momen akibat adanya

Spring dan momen murni yang diterima batang akibat beban luar.

15	16			
-4.417E-05	-1.258E-05	0	-0.00122	1
-1.245E-07	-2.257E-07	-82.802	-0.00852	2
4.598E-07	9.091E-08	0	-0.00060	3
9.091E-08	-3.200E-07	-4423.68	-0.00638	4
-1.232E-04	-3.518E-05	0	0.00613	5
-1.552E-07	-2.344E-07	-38.54	-0.01303	8
5.568E-07	1.788E-07	0	-0.00042	7
1.349E-07	4.790E-08	-2553.12	-0.00771	8
-1.243E-04	-3.578E-05	0	-0.00613	9
1.552E-07	2.344E-07	-38.54	-0.01303	10
7.027E-08	1.264E-08	2553.12	0.00771	11
4.113E-07	9.925E-08	0	0.00042	12
-4.478E-05	-1.290E-05	0	0.00122	13
1.245E-07	2.257E-07	-82.802	-0.00852	14
7.753E-07	2.630E-07	0	0.00060	15
2.630E-07	1.137E-06	4423.68	0.00638	16

وَالْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

1. Batang 3



Gambar 3.2. Bending Momen Diagram

- Momen akibat beban terbagi merata
- Momen akibat beban terpusat
- Momen akibat gaya dalam batang
- Superposisi (a)&(b) + (c)

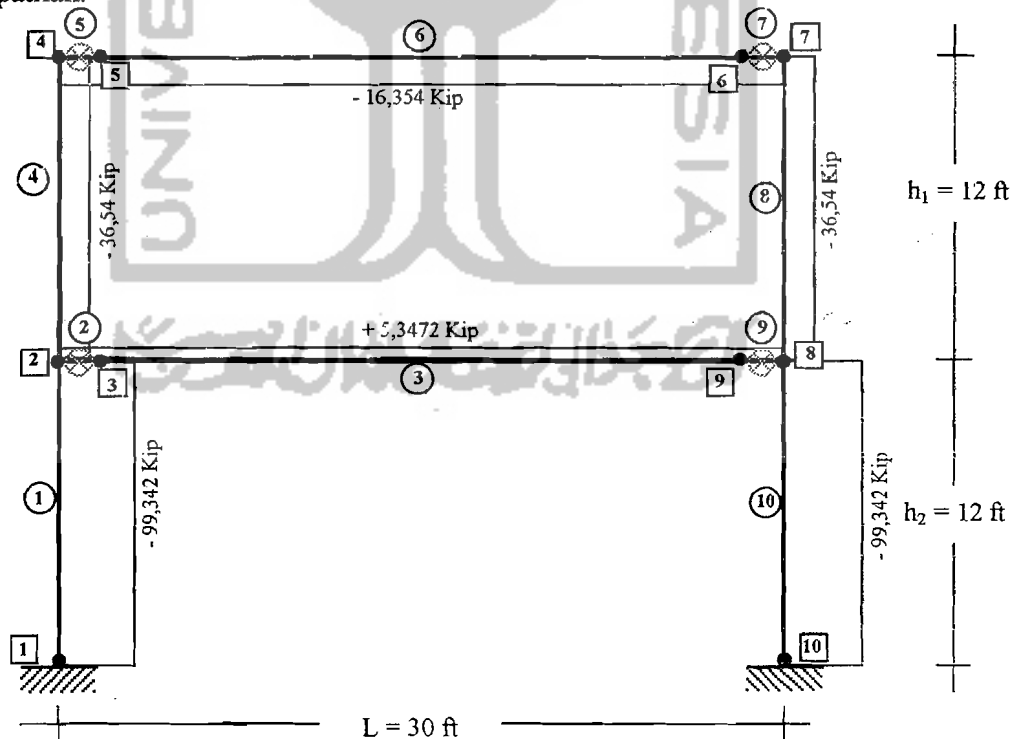
Perhitungan momen pada batang lainnya dilakukan dengan analisa yang sama yang hasilnya ditabelkan seperti di bawah ini.

Tabel 3.3. Momen maksimal pada bentangan

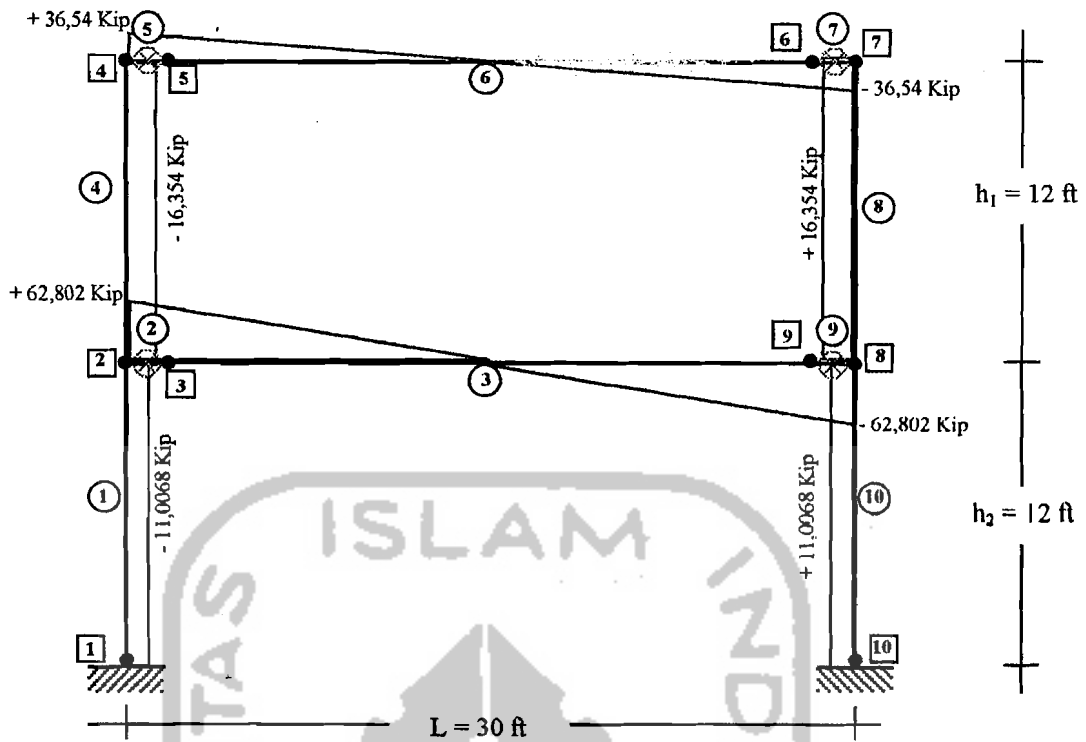
	Batang 1 (Kip.in)	Batang 3 (Kip.in)	Batang 4 (Kip.in)	Batang 6 (Kip.in)	Batang 8 (Kip.in)	Batang 10 (Kip.in)
M_a	0	3685,5	0	2206,44	0	0
M_b	0	3933,36	0	2164,32	0	0
M_c	-256,8872	-2304,4871	77,6178	-1099,8713	77,6176	-256,8873
M_d	-256,8872	5314,3729	77,6178	3270,8887	77,6176	-256,8873

4.2.9. NFD, SFD, dan BMD

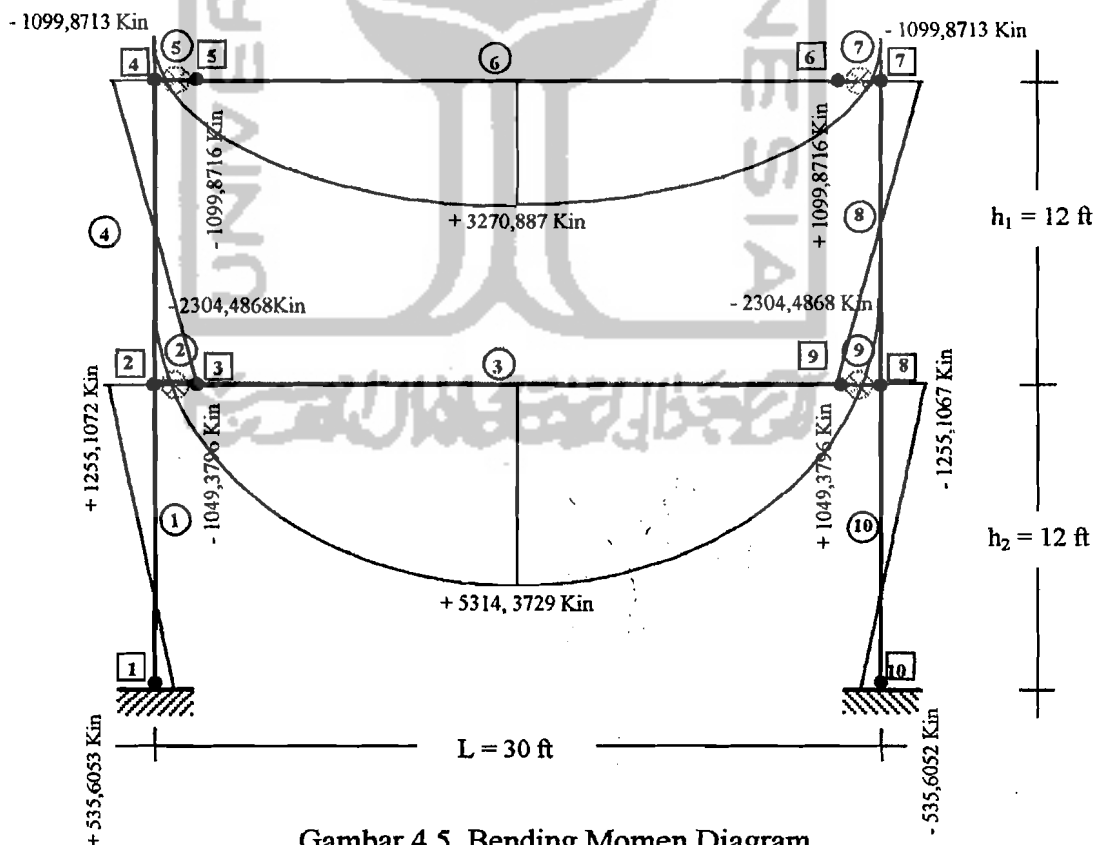
Shear Force Diagram (SFD), Normal Force Diagram (NFD), dan Bending Momen Diagram (BMD), dibuat sesuai dengan hasil hitungan yang telah didapatkan.



Gambar 3.3. Normal Force Diagram



Gambar 4.4. Shear Force Diagram



Gambar 4.5. Bending Momen Diagram

4.3. Analisa Struktur dengan Program Komputer

Data struktur yang sama dianalisa dengan komputer dan hasil dari analisa itu ditampilkan pada tabel-tabel di bawah ini. Hasil yang akan ditampilkan berikut ini adalah gaya-gaya yang diakibatkan oleh adanya beban mati, karena yang akan ditinjau perbandingan hasil analisisnya dengan hitungan manual adalah gaya-gaya yang disebabkan oleh beban mati yang dianggap mewakili. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.4. Displemen Tiap Titik Buhul

Titik	Arah sb. x (in)	Arah sb. y (in)	Perputaran (rad)
1	0.00000	0.00000	0.00000
2	-0.00122	-0.00952	-0.00060
3	-0.00122	-0.00952	-0.00635
4	0.00608	-0.01303	-0.00042
5	0.00608	-0.01303	-0.00771
6	-0.00608	-0.01303	0.00771
7	-0.00608	-0.01303	0.00042
8	0.00122	-0.00952	0.00060
9	0.00122	-0.00952	0.00635
10	0.00000	0.00000	0.00000

Tabel 4.5. Gaya batang

Batang	Aksial (Kip)	Geser (Kip)	Momen (Kip.in)	Aksial (Kip)	Geser (Kip)	Momen (Kip.in)
1	99.3420	-11.0068	-535.6053	-99.3420	11.0068	-1049.3796
2	0.0000	0.0000	2304.4868	0.0000	0.0000	-2304.4868
3	-5.3472	62.8020	2304.4871	5.3472	62.8020	-2304.4871
4	36.5400	-16.3540	-1255.1072	-36.5400	16.3540	-1099.8716
5	0.0000	0.0000	1099.8715	0.0000	0.0000	-1099.8715
6	16.3540	36.5400	1099.8713	-16.3540	36.5400	-1099.8708
7	0.0000	0.0000	1099.8716	0.0000	0.0000	-1099.8716
8	36.5400	16.3540	1099.8715	-36.5400	-16.3540	1255.1067
9	0.0000	0.0000	-2304.4868	0.0000	0.0000	2304.4868
10	99.3420	11.0068	1049.3798	-99.3420	-11.0068	535.6052

Tabel 4.6. Gaya-gaya pada Titik Buhul

Titik	Searah sb. x (Kip)	Searah sb. y (Kip)	Momen (Kip.in)
1	11.0068	99.3420	-5.3561E+02
2	5.3472	-62.8020	0.0000E+00
3	-5.3472	62.8020	2.4414E-04
4	-16.3540	-36.5400	-1.2207E-04
5	16.3540	36.5400	-1.2207E-04
6	-16.3540	36.5400	7.3242E-04
7	16.3540	-36.5400	-1.2207E-04
8	-5.3472	-62.8020	-3.6621E-04
9	5.3472	62.8020	-2.4414E-04
10	-11.0068	99.3420	5.3561E+02

4.4. Persentase Selisih Hasil Analisa Manual dan Komputer

Persentase selisih dilihat dari perbandingan hasil analisa menggunakan program komputer itu dan hasil analisa secara manual.

Persentase perbedaan diperoleh dari selisih perhitungan antara analisa secara manual dan analisa dengan menggunakan program komputer dibandingkan dengan hasil hitungan analisa dengan menggunakan program komputer.

$$\% \text{ Selisih} = \frac{|\text{Analisa Manual} - \text{Analisa Komputer}|}{\text{Analisa Komputer}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Pada perhitungan validasi ini tidak semua nilai dikontrol, tetapi hanya diambil sebagian karena dianggap sudah mewakili. Dalam hal ini diambil hasil analisa portal yang dibebani beban mati sebagai perwakilan. Perbandingan hasil-hasil analisa struktur secara manual dan dengan menggunakan program komputer akan ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 4.7. Persentase Selisih Displesmen searah sumbu-x

Titik	Manual (in)	Komputer (in)	Selisih (%)
1	0	0	0
2	-0,00122	-0,00122	0
3	-0,00122	-0,00122	0
4	0,00613	0,00608	0,82
5	0,00613	0,00608	0,82
6	-0,00613	-0,00608	0,82
7	-0,00613	-0,00608	0,82
8	0,00122	0,00122	0
9	0,00122	0,00122	0
10	0	0	0

Tabel 4.8. Persentase Selisih Displesmen searah sumbu-y

Titik	Manual (in)	Komputer (in)	Selisih (%)
1	0	0	0
2	-0,00952	-0,00952	0
3	-0,00952	-0,00952	0
4	-0,01303	-0,01303	0
5	-0,01303	-0,01303	0
6	-0,01303	-0,01303	0
7	-0,01303	-0,01303	0
8	-0,00952	-0,00952	0
9	-0,00952	-0,00952	0
10	0	0	0

Tabel 4.9. Persentase Selisih Displesmen Perputaran

Titik	Manual (rad)	Komputer (rad)	Selisih (%)
1	0	0	0
2	-0,00060	-0,00060	0
3	-0,00636	-0,00635	0,15
4	-0,00042	-0,00042	0
5	-0,00771	-0,00771	0
6	0,00771	0,00771	0
7	0,00042	0,00042	0
8	0,00060	0,00060	0
9	0,00636	0,00635	0,15
10	0	0	0

Tabel 4.10. Persentase Selisih Gaya Aksial

Titik	Titik awal			Titik akhir		
	Manual (Kip)	Komputer (Kip)	Selisih (%)	Manual (Kip)	Komputer (Kip)	Selisih (%)
1	-99,340	-99,342	0,002	-99,340	-99,342	0,002
2	0	0	0	0	0	0
3	5,3739	5,3472	0,5	5,3739	5,3472	0,5
4	-36,5531	-36,540	0,04	-36,5531	-36,54	0,04
5	0	0	0	0	0	0
6	-16,484	-16,354	0,79	-16,484	-16,354	0,79
7	0	0	0	0	0	0
8	-36,5531	-36,540	0,04	-36,5531	-36,54	0,04
9	0	0	0	0	0	0
10	-99,340	-99,342	0,002	-99,340	-99,342	0,002

Tabel 4.11. Persentase Selisih Gaya Geser

Titik	Titik awal			Titik akhir		
	Manual (Kip)	Komputer (Kip)	Selisih (%)	Manual (Kip)	Komputer (Kip)	Selisih (%)
1	-11,0119	-11,0068	0,05	-11,0119	-11,0068	0,05
2	0	0	0	0	0	0
3	63,2154	62,8020	0,66	63,2154	62,8020	0,66
4	-16,3436	-16,3540	0,06	-16,3436	-16,3540	0,06
5	0	0	0	0	0	0
6	36,283	36,5400	0,7	36,283	36,5400	0,7
7	0	0	0	0	0	0
8	16,3436	16,3540	0,06	16,3436	16,3540	0,06
9	0	0	0	0	0	0
10	11,0119	11,0068	0,05	11,0119	11,0068	0,05

Tabel 4.12. Persentase Selisih Momen

Titik	Titik awal			Titik akhir		
	Manual (Kip.in)	Komputer (Kip.in)	Selisih (%)	Manual (Kip.in)	Komputer (Kip.in)	Selisih (%)
1	535,8855	535,6053	0,05	-1049,8311	-1049,3796	0,04
2	-2304,7581	-2304,4868	0,01	-2304,7581	-2304,4868	0,01
3	-2305,756	-2304,4868	0,05	-2305,756	-2304,4871	0,05
4	1254,4530	1255,1072	0,05	-1099,0231	-1099,8716	0,08
5	-1099,9337	-1099,8715	0,01	-1099,9337	-1099,8715	0,01
6	-1099,9024	-1099,8713	0,003	-1099,9024	-1099,8708	0,003
7	-1099,9337	-1099,8716	0,01	-1099,9337	-1099,8716	0,01
8	-1099,0231	-1099,8715	0,08	1254,4530	1255,1067	0,05
9	2304,7581	2304,4868	0,01	2304,7581	2304,4868	0,01
10	-1049,8311	-1049,3798	0,04	535,8855	535,6052	0,05

4.5. Pembahasan

Hasil analisa secara manual dan menggunakan program komputer sudah mendekati, hal ini ditunjukkan dengan persentase selisih yang dapat dilihat pada tabel-tabel di atas, dimana nilai terbesar adalah 0,82 %. Oleh karenanya program ini sudah dapat digunakan untuk analisa struktur portal semi-rigid.

Analisa struktur mula-mula dilakukan pada suatu portal rigid. Dengan data struktur yang sama kemudian dianalisa sebagai portal semi-rigid yaitu dengan menambahkan batang spring pada pertemuan balok dan kolom.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, pada portal semi-rigid ditinjau 2 kasus, yaitu :

1. Kasus 1, mengasumsikan faktor kekakuan batang spring adalah : $S = 0,6$.
2. Kasus 2, mengasumsikan faktor kekakuan batang spring adalah : $S = 0,4$.

Berikut ini akan ditampilkan kembali hasil analisa dengan asumsi portal rigid dan semi-rigid dalam tabel perbandingan antara keduanya.

Tabel 4.13. Perbandingan Gaya aksial antara Portal Rigid dan Semi-Rigid.

Batang	Jarak dari titik awal (in)	Rigid (Kip)	Semi-Rigid	
			Kasus 1 (Kip)	Kasus 2 (Kip)
1	0	-159,084	-159,084	-159,084
	72	-159,084	-159,084	-159,084
	144	-159,084	-159,084	-159,084
2	0	-159,084	-159,084	-159,084
	180	-159,084	-159,084	-159,084
	360	-159,084	-159,084	-159,084
3	0	-55,2408	-55,2408	-55,2408
	72	-55,2408	-55,2408	-55,2408
	144	-55,2408	-55,2408	-55,2408
4	0	-55,2408	-55,2408	-55,2408
	180	-55,2408	-55,2408	-55,2408
	360	-55,2408	-55,2408	-55,2408
5	0	19,4894	11,0167	9,0497
	72	19,4894	11,0167	9,0497
	144	19,4894	11,0167	9,0497
6	0	-49,8838	-28,1595	-23,1242
	72	-49,8838	-28,1595	-23,1242
	144	-49,8838	-28,1595	-23,1242

Tabel 4.14. Perbandingan Gaya Geser antara Portal Rigid dan Semi-Rigid.

Batang	Jarak dari titik awal (in)	Rigid (Kip)	Semi-Rigid	
			Kasus 1 (Kip)	Kasus 2 (Kip)
1	0	-30,5246	-11,0068	-11,0252
	72	-30,5246	-11,0038	-11,0252
	144	-30,5246	-11,0068	-11,0252
2	0	30,5246	11,0068	11,0252
	180	30,5246	11,0068	11,0252
	360	30,5246	11,0068	11,0252
3	0	-49,8838	-16,354	-17,4671
	72	-49,8838	-16,354	-17,4671
	144	-49,8838	-16,354	-17,4671
4	0	49,8838	16,354	17,4670
	180	49,8838	16,354	17,4670
	360	49,8838	16,354	17,4670
5	0	103,844	103,844	103,844
	72	30,5928	30,5928	30,5928
	144	103,844	103,844	103,844
6	0	55,2408	55,2408	55,2408
	72	16,8336	16,8336	16,8336
	144	55,2408	55,2408	55,2408

Tabel 4.15. Perbandingan Momen antara Portal Rigid dan Semi-Rigid.

Batang	Jarak dari titik awal (in)	Rigid (Kip.in)	Semi-Rigid	
			Kasus 1 (Kip.in)	Kasus 2 (Kip.in)
1	0	1491,52	848,643	730,286
	72	-706,24	-399,400	-328,128
	144	-2904	-1642,114	-1349,032
2	0	-1491,52	-843,307	-692,776
	180	706,24	399,400	333,858
	360	2904	1642,144	1349,032
3	0	3669,496	2072,981	1702,897
	72	77,9672	45,50	43,262
	144	-3513,664	-1981,981	-1627,279
4	0	-3669,496	-2072,981	-1702,597
	180	-77,9672	-45,50	-37,659
	360	3513,664	1981,982	1627,279
5	0	-6573,6	-3715,096	-3051,629
	72	5440,712	8299,184	8962,652
	144	-6573,6	-3715,097	-3051,629
6	0	-3513,66	-1981,981	-1627,279
	72	2879,984	4411,619	4766,321
	144	-3513,66	-1981,981	-1627,279

Dengan mengadakan studi perbandingan antara hasil-hasil analisa struktur portal rigid dan semi-rigid, dapat diketahui hal-hal seperti di bawah ini.

- a. Gaya aksial yang terjadi pada balok portal semi-rigid lebih kecil dibandingkan pada portal rigid. Besarnya gaya aksial ini dipengaruhi oleh besarnya faktor kekakuan batang pada portal. Gaya aksial akan

semakin besar jika faktor kekakuan semakin besar. Gaya aksial pada kolom portal semi-rigid tidak dipengaruhi dengan adanya penambahan batang spring. Gaya aksial pada kolom portal semi-rigid dan portal rigid sama besar.

- b. Gaya geser yang terjadi pada balok portal semi-rigid tidak dipengaruhi oleh adanya penambahan batang spring. Gaya geser pada balok portal rigid dan semi-rigid sama besar. Gaya geser pada kolom portal semi-rigid lebih kecil dibanding portal rigid. Semakin besar faktor kekakuan batang spring, gaya geser akan semakin besar.
- c. Momen tumpuan pada balok portal semi-rigid lebih kecil daripada portal rigid. Momen ujung yang lebih kecil dikarenakan faktor kekakuan portal semi-rigid lebih kecil dibanding faktor kekakuan portal rigid. Hal ini akan berpengaruh pada penggunaan alat sambung, dimana pada portal semi-rigid akan lebih sederhana/irit dibandingkan dengan penggunaan sambungan pada portal rigid.