

# STUDI PARAMETER TENTANG PENGARUH KEKAKUAN SAMBUNGAN BALOK-KOLOM TERHADAP KEKAKUAN STRUKTUR

Sugeng Prayitno Budio

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Jln. MT Haryono No.167 Malang 65145, Indonesia

E-mail : [civil@brawijaya.ac.id](mailto:civil@brawijaya.ac.id)

## ABSTRAK

Dengan perkembangan adanya baja lunak dan perbaikan alat penyambung seperti paku keliling, baut dan las, maka diperkenalkanlah sambungan yang memperhitungkan kombinasi gaya yang timbul bersifat lebih kompleks pada bangunan baja. Dalam penelitian ini digunakan analisis sambungan baut untuk sambungan yang semula menganggap tidak terjadi rotasi pada sambungan. Pada penelitian ini dibahas pengaruh deformasi pelat disambungan juga deformasi yang terjadi pada baut penyambung yang mungkin akan mempengaruhi perilaku dari strukturnya terutama terhadap kekakuan. Pada sambungan yang mengalami rotasi, maka kekakuan struktur akan berubah jika dibandingkan dengan keadaan semula. Untuk itu pada penelitian ini kami ingin membahas perubahan kekakuan akibat terjadinya rotasi pada sambungan baut. Berdasarkan hasil analisis, dapat diketahui bahwa jika sambungan direncanakan dengan menggunakan sambungan kaku sesuai dengan standart AISC, maka pengaruh kekakuan sambungan relatif kecil. Sedangkan variasi pembebanan tidak mempengaruhi hasil perbandingan gaya-gaya dalam yang terjadi selama kekakuan sambungan didasarkan pada sambungan kaku. Selanjutnya, untuk jenis sambungan fleksibel, jika sambungannya direncanakan sesuai dengan standart AISC maka pengaruh kekakuan sambungan juga relatif kecil, hal ini disebabkan pengaruh deformasi sambungan relatif kecil.

**Kata kunci** :kekakuan sambungan, balok-kolom, kekakuan struktur.

## PENDAHULUAN

Sewaktu besi tuang diperkenalkan sebagai bahan bangunan, konstruksi bangunan-bangunan pada konstruksi kayu semakin baik terutama analisis detail sambungan sudah mulai dipergunakan. Dengan perkembangan adanya baja lunak dan perbaikan alat penyambung seperti paku keliling, baut dan las, maka diperkenalkan sambungan yang memperhitungkan kombinasi gaya yang timbul bersifat lebih kompleks pada bangunan baja. Struktur portal yang ditinjau adalah struktur portal satu tingkat, sedangkan penekanan pembahasan adalah pengaruh rotasi pada sambungan akibat gaya-gaya luar yang bekerja pada struktur terhadap kekakuan struktur semula. Pada sambungan yang mengalami rotasi, maka kekakuan struktur akan berubah jika dibandingkan dengan keadaan semula.

Analisis sambungan geser dibedakan menjadi dua yaitu analisis pada kondisi elastis dan kondisi batas. Untuk analisis pada kondisi elastis, gaya geser kelompok baut penyambung dapat didekati dengan menggunakan anggapan-anggapan sbb :

1. Akibat beban geser, sambungan berotasi pada pusat rotasi sesaat.
2. Akibat beban geser pada sambungan, tahanan geser maksimum pada masing-masing baut bervariasi.
3. Tahanan geser pada masing-masing baut dipandang sebagai sebuah gaya pada pusat baut yang bekerja tegak lurus dengan jari-jari rotasi. bekerja tegak lurus dengan jari-jari rotasi.
4. Pengaruh konsentrasi tegangan yang menyebabkan *local buckling* diabaikan.

## TUJUAN

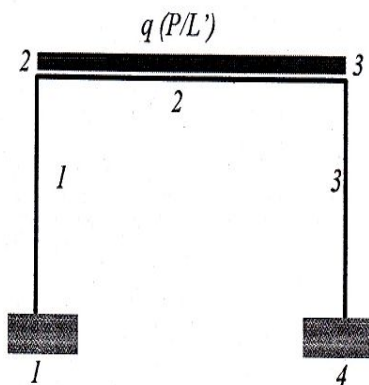
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan kekakuan akibat terjadinya rotasi pada sambungan baut.

## METODE ANALISIS

Sambungan yang akan dianalisis terdiri dari lima tipe sambungan yaitu:

1. Sambungan kaku (tipe 1)
2. Sambungan dengan dudukan (tipe 2)
3. Sambungan sederhana (tipe 3)
4. Sambungan dengan pelat (tipe 4)
5. Sambungan dengan pelat (tipe 5)

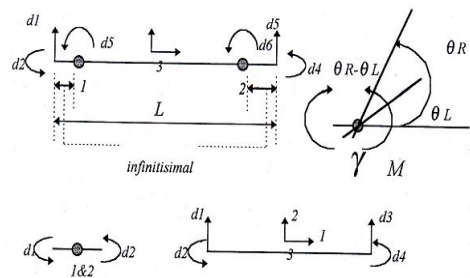
Struktur yang akan dianalisis adalah struktur portal satu tingkat seperti terlihat pada **Gambar 1**. Mula-mula struktur dianggap mempunyai sambungan kaku dan tidak memperhitungkan kekakuan sambungan seperti analisis pada umumnya, sehingga dari analisis tersebut didapatkan gaya-gaya dalam yang dapat digunakan merencanakan sambungan sesuai dengan gaya-gaya dalam yang dapat digunakan merencanakan sambungan sesuai dengan gaya-gaya yang harus ditahan sedemikian rupa sehingga sambungan yang dihasilkan adalah sambungan kaku. Kemudian dengan kondisi beban satuan yang sama, struktur dianalisis dengan memperhitungkan kekakuan sambungan yang ada. Metode analisis menggunakan metode matriks kekakuan.



**Gambar 1.** Struktur portal baja satu tingkat

Struktur rangka atau portal umumnya terdiri dari batang-batang yang berfungsi menahan gaya aksial dan deformasi lentur dimana pengaku

berfungsi menyalurkan gaya-gaya aksial. Hal yang sama pada sambungan fleksibel yang menyalurkan momen pada elemen yang sesuai dengan berotasi disederhanakan dengan memodelkannya sebagai *rotational spring* pada portal atau rangka dimana elemen disambung. Model sambungan sebagai *rotational spring* seperti terlihat pada **Gambar 2** dimana hubungan momen – rotasi dapat dituliskan sebagai :



**Gambar 2.** Model *rotational spring*

$$M = \gamma(\theta_R - \theta_L)$$

Dengan :

M = Momen lentur

$\gamma$  = Kekakuan pegas

$\theta_R$  = Rotasi sebelah kanan

$\theta_L$  = Rotasi sebelah kiri

Kekakuan pegas dapat dituliskan sbb :

$$\gamma = 4 \cdot L^2 \alpha \cdot S$$

Dengan :

S = kekakuan pegas tak berdimensi

S =  $\infty$ , berarti sambungan kaku

S = 0, berarti sambungan sendi

Model sambungan seperti pada **Gambar 2** tersebut, untuk kondisi material dengan besaran-besaran E,I,L dan *rotational spring*  $\gamma$  dapat dituliskan kekakuan elemen sesuai dengan kondensasi matriks yang telah diturunkan oleh Fisher (1974) sbb :  
Matrix kekakuan global :

	1	2	3	4	5	6	
K = α	12	0	-12	0	6L	6L	1
	0	4L <sup>2</sup> S <sub>a</sub>	0	0	-4L <sup>2</sup> S <sub>a</sub>	0	2
	-12	0	12	0	-6L	-6L	3
	0	0	0	4L <sup>2</sup> S <sub>b</sub>	0	-4L <sup>2</sup> S <sub>b</sub>	4
	6L <sup>2</sup>	-4L <sup>2</sup> S <sub>a</sub>	-6L	0 <sup>2</sup>	4L <sup>2</sup> (1+S <sub>a</sub> )	2L	5
	6L	0	-6L	-4L <sup>2</sup> S <sub>b</sub>	2L <sup>2</sup>	4L <sup>2</sup> (1+S <sub>b</sub> )	6

Matrik kekakuan elemen :

$$k_{\theta\theta} = \alpha \begin{bmatrix} 12S_1 & 6LS_2 & -12S_1 & 6LS_4 \\ & 4L^2S_3 & -6LS_2 & 2L^2S_5 \\ & & 12S_1 & -6LS_4 \\ Sym & & & 4L^2S_6 \end{bmatrix}$$

Dengan :

$$S_1 = \frac{1}{2S} (S_a + S_b + 4S_a S_b)$$

$$S_2 = \frac{S_a}{S} (1 + 2S_b)$$

$$S_3 = \frac{S_a}{2S} (3 + 4S_b)$$

$$S_4 = \frac{S_b}{S} (1 + 2S_a)$$

$$S_5 = \frac{2}{S} (S_a S_b)$$

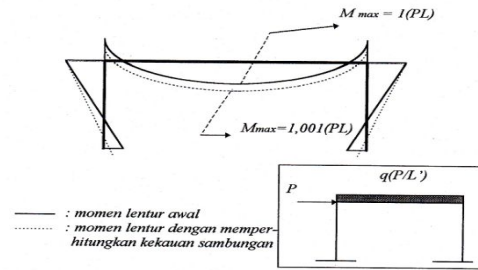
$$S_6 = \frac{S_a}{S} (3 + 4S_b)$$

$$f_{\theta}^* = \begin{bmatrix} f_1^* \\ f_2^* \\ f_3^* \\ f_4^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{2LS} [(1 + 2S_b)f_5 + (1 + 2S_a)f_6] \\ \frac{S_a}{S} [-2(1 + S_b)f_5 + f_6] \\ \frac{-3}{2LS} [(1 + 2S_b)f_5 + (1 + 2S_a)f_6] \\ \frac{S_b}{S} [f_5 - 2(1 + S_a)f_6] \end{bmatrix}$$

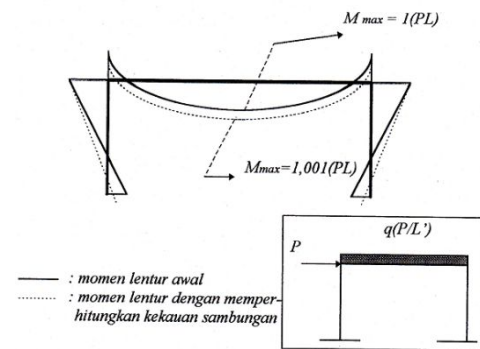
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui pengaruh kekakuan sambungan terhadap kekuatan struktur, maka hasil analisis ditkan dalam bentuk diagram momen dengan variasi pembebanan seperti terlihat dalam

**Gambar 3** dan **Gambar 4** sebagai berikut:

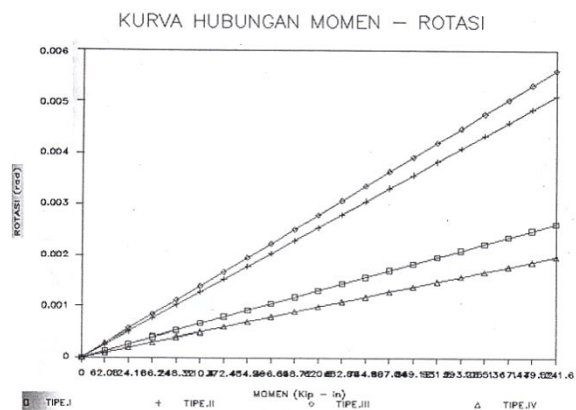


**Gambar 3.** Hasil Analisis Portal dengan Beban Merata (Gravitasi)

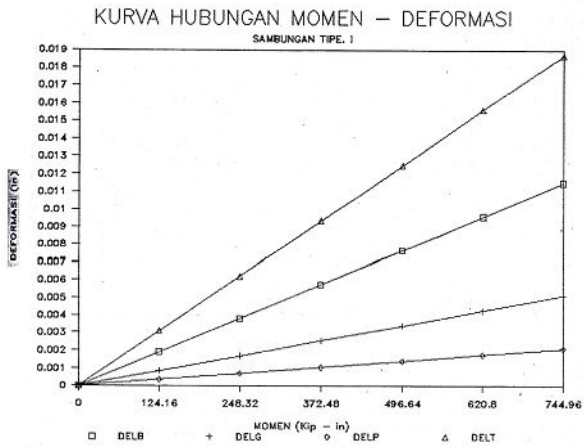


**Gambar 4.** Hasil Analisis Portal dengan Kombinasi Beban Gravitasi dan Horizontal

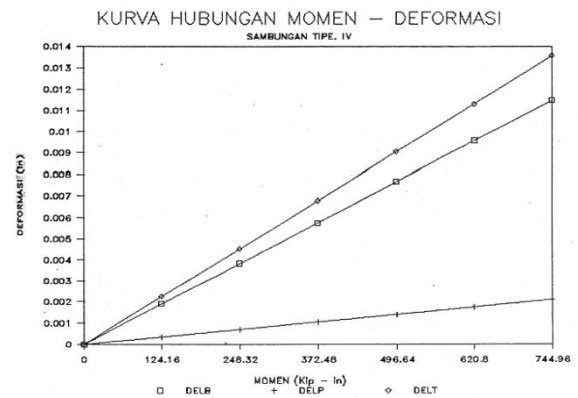
Untuk memperjelas korelasi antara momen dan rotasi yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 5**. Sedangkan hubungan momen deformasi masing-masing tipe dapat dilihat pada **Gambar 6** sampai dengan **Gambar 9** sebagai berikut.



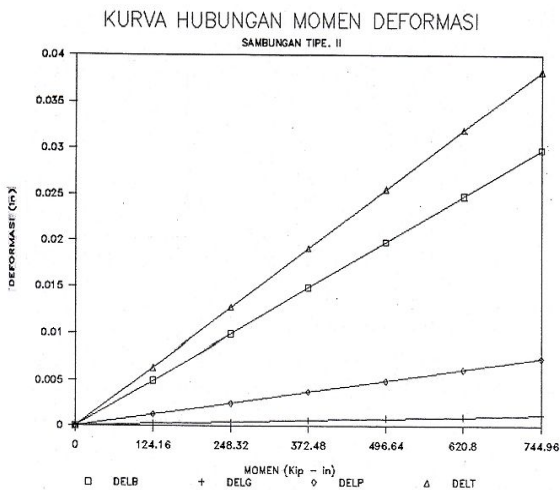
**Gambar 5.** Kurva Hubungan Momen-Rotasi Sambungan Balok Kolom Tipe I s/d Tipe IV



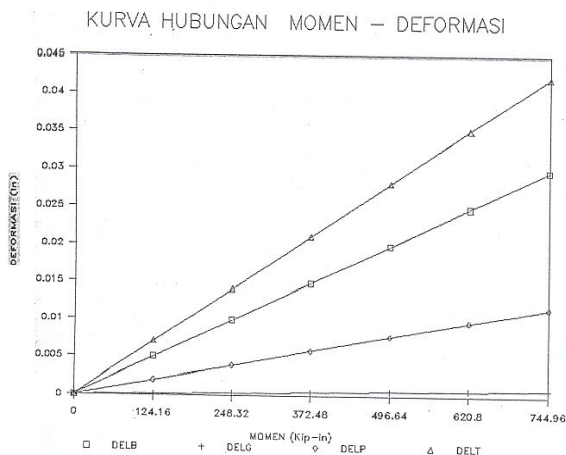
**Gambar 6.** Kurva Hubungan Momen-Deformasi Sambungan Tipe I



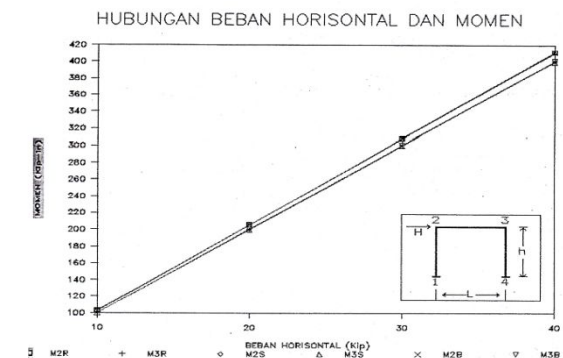
**Gambar 9.** Kurva Hubungan Momen-Deformasi Sambungan Tipe IV



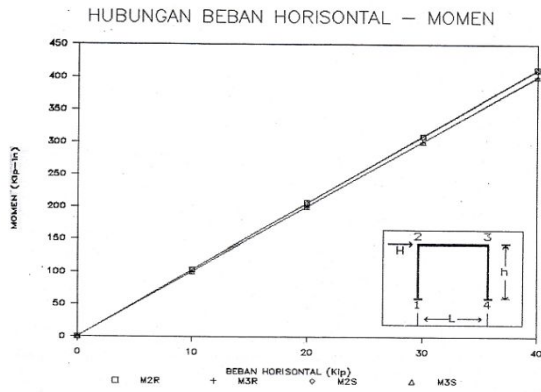
**Gambar 7.** Kurva Hubungan Momen-Deformasi Sambungan Tipe II



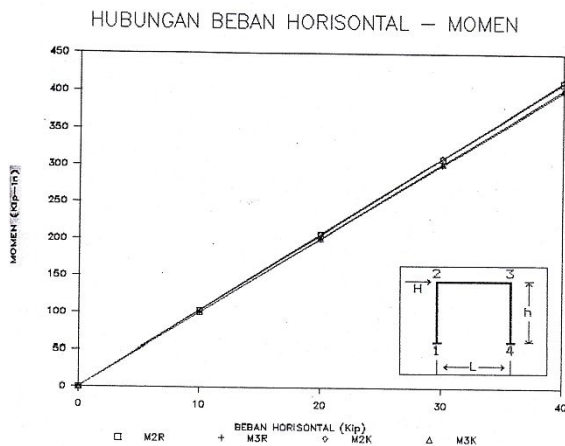
**Gambar 8.** Kurva Hubungan Momen-Deformasi Sambungan Tipe III



**Gambar 10.** Kurva Hubungan Beban Horizontal - Momen untuk Kekakuan Sambungan Rigid dan Kekakuan Sambungan Elemen.



**Gambar 11.** Kurva Hubungan Beban Horizontal - Momen untuk Kekakuan Sambungan Rigid dan Kekakuan Sambungan Elemen yang Dipasang Seri dengan Kekakuan Balok



**Gambar 12.** Kurva Hubungan Beban Horizontal - Momen untuk Kekakuan Sambungan Rigid dan Kekakuan Sambungan Elemen yang Dipasang Seri dengan Kekakuan Kolom.

Untuk kasus gabungan beban vertikal dan horizontal, jika tidak menggunakan kekakuan sambungan sebagai kekakuan elemen tetapi menggunakan kekakuan sambungan yang dipasang seri dengan kekakuan balok atau kekakuan kolom maka dalam analisis harus digunakan kombinasi pemasangan kekakuan sambungan sesuai dengan beban yang bekerja yaitu untuk beban horizontal

digunakan kekakuan sambungan dipasang seri dengan kekakuan balok dan untuk beban vertikal digunakan kekakuan saambungan dipasang seri dengan kekakuan kolom.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jika sambungan dianggap sebagai elemen yang mempunyai kekakuan sendiri, memberikan hasil momen lebih kecil bila dibandingkan dengan kekakuan sambungan yang dipasang seri baik dengan kekakuan balok maupun kekakuan kolom
2. Untuk kasus beban vertikal, kekakuan sambungan jika dipasang seri dengan kekakuan kolom akan memberikan momen yang lebih kecil bila dibandingkan dengan dipasang seri dengan balok.
3. Untuk kasus beban horizontal, kekakuan sambungan jika dipasang seri dengan kekakuan kolom akan memberikan momen yang lebih kecil bila dibandingkan dengan dipasang seri dengan kolom.
4. Jika digunakan kombinasi pemasangan kekakuan sambungan sesuai dengan arah beban, akan didapatkan gaya-gaya dalam yang mendekati dengan menggunakan kekakuan sambungan sebagai kekakuan elemen
5. Model sambungan tipe 4 mempunyai kekakuan sambungan relatif sama dengan sambungan tipe 1
6. Model sambungan tipe 4 dan 5 memberikan hasil gaya-gaya dalam relatif sama dengan model sambungan tipe 1
7. Akibat penambahan beban horizontal, perubahan beda momen linier dengan perubahan gaya horizontal
8. Pengaruh rasio antara tinggi dan bentang portal relatif tidak mempengaruhi perubahan beda momen.

## Saran

Dalam menganalisis beberapa faktor yang mempengaruhi kekakuan sambungan ini, banyak sekali anggapan dan penyederhanaan-penyederhanaan yang diambil, seperti misalnya masalah efek fleksibilitas tumpuan, sebenarnya untuk lebih telitinya tumpuan harus dianggap sebagai *finite-space* bukan *half-space* juga pada saat menganalisis kekakuan sambungan sebenarnya tidak perlu meninjau gaya-gaya yang bekerja yakni cukup dengan memberikan satu satuan saja, namun cara pendekatan ini sudah cukup akurat. Oleh sebab itu agar mendapatkan hasil yang lebih baik perlu adanya pengurangan dalam penyederhanaan masalah.

Kekakuan sambungan yang disajikan disini adalah sambungan kaku, sambungan dudukan, sambungan sederhana, sambungan udengan pelat, dan sambungan pada bentang balok. Khusus untuk sambungan yang memerlukan interaksi (sambungan geser) dibuat program computer sederhana guna mempercepat analisis. Penelitian ini hanya terbatas membahas sampai kondisi elastis linier saja. Untuk itu penelitian ini bisa dipakai dasar pengembangan kondisi selain elastis

linier, tetapi untuk kondisi dimana hubungan tegangan dan regangan yang tidak linier harus lebih berhati-hati dalam menganalisis deformasi sambungan, karena sifat bahan kemungkinan sudah berubah.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC. 1980. Manual of Steel Construction. American Institute Of Steel Construction Inch, Chicago
- Crawford, S.F and J.L. Kulak. 1971. Eccentrically Loaded Boltes Connection. *Journal Of The Structural Division, ASCE*, Vol 97, No. ST.3
- Fisher, J.W and Struik. 1985. Guide To Design Criteria For Bolt and Rivet Joints. John Wiley & Sons, New York.
- Holmes, Mand Martin, L.H. 1974. Analysis and Design of Structural Connection Reinforced Concrete and Steel. John Willey and Sons, New York.
- Holzer, M. Siegfried. 1984. Computer Analysis of Structure. Elsevier, New York.
- Salmon, Charles G and Johnson, John E. 1980. Steel Structure. Harper and Row. New York.
- Shourky, Z, and W.T. Haisch, W.T. 1971. Bolted Connection With Varied Hole Diametre. *Journal Of The Structural Division, ASCE*, Vol 96, No. STG