



Analisis Pengaruh Bentuk Sambungan *Base Plate* Terhadap Panjang Tekuk Lentur Kolom Baja

Ahmad Zat^{#a}, Banu D. Handono^{#b}, Ronny E. Pandaleke^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^azatahmad567@gmail.com, ^bbanu2h@unsrat.ac.id, ^cronny_pandaleke@yahoo.com

Abstrak

Praktik desain struktur baja umumnya menetapkan asumsi tumpuan jepit sempurna dengan nilai faktor panjang tekuk teoritis (K) sebesar 0,5. Kondisi aktual di lapangan menunjukkan bahwa tumpuan pasti memiliki tingkat fleksibilitas rotasi yang menjadikannya berperilaku semi-kaku. Tingkat kekakuan rotasi aktual pada sambungan tersebut secara langsung memengaruhi dan mengubah kapasitas faktor panjang tekuk elemen kolom. Studi ini mengevaluasi fenomena tersebut dengan menganalisis pengaruh modifikasi bentuk pada tiga variasi tumpuan base plate, yaitu model tanpa pengaku angkur eksterior (S1), tanpa pengaku angkur interior (S2), dan berpengaku angkur interior (S3). Studi ini menganalisis nilai kekakuan rotasi awal menggunakan metode Component-Based Finite Element Method (CBFEM) pada perangkat lunak IDEA StatiCa untuk kemudian mengintegrasikannya ke dalam analisis stabilitas Eigen-buckling menggunakan perangkat lunak MASTAN2. Hasil analisis membuktikan bahwa model S1 paling optimal mereduksi nilai K menjadi 0,537, sedangkan penambahan pengaku pada S3 justru memicu gaya pengungkit yang menurunkan kekakuan sehingga nilai K meningkat menjadi 0,546, meskipun seluruh nilai aktual tersebut masih memenuhi batas aman rekomendasi desain AISC ($K=0,65$).

Kata Kunci: kolom baja, base plate, tekuk lentur, IDEA StatiCa, MASTAN2

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sektor konstruksi sipil saat ini secara luas telah menggunakan material baja sebagai elemen struktur utama pada berbagai fasilitas infrastruktur. Penggunaan material tersebut menuntut adanya metode perhitungan yang mutakhir dalam mendesain komponen struktur. Di antara berbagai komponen penyusun kerangka bangunan, kolom menjadi elemen vertikal yang sangat krusial karena berfungsi memikul beban untuk diteruskan ke fondasi. Dibandingkan dengan dimensi kolom beton bertulang, kolom baja memiliki geometri penampang yang jauh lebih langsing, sehingga evaluasi analitis terhadap perilaku tekuknya menjadi suatu keharusan.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh bentuk sambungan base plate terhadap panjang tekuk untuk berbagai kondisi kekangan ujung (*end restrain*) kolom baja.

1.3. Batasan Perencanaan

1. Kolom menggunakan profil baja yang digunakan adalah profil baja W310x52 standar Amerika (AISC, 2022).
2. Mutu baja A922 mengacu pada (AISC, 2022).
3. Panjang kolom tetap.
4. Tidak memperhitungkan ketidaklurusan batang.
5. Tidak memodelkan keseluruhan sistem struktur gedung.

6. Hanya memperhitungkan Tekuk Lentur pada sumbu global.
7. Analisa tekuk dianalisa menggunakan program MASTAN2.
8. Tumpuan yang dimodifikasi hanya 4 tumpuan yang terkategori (Fixed rotation & translation). Kondisi a (Jepit-Jepit), Kondisi b (Jepit-Sendi), Kondisi c (Jepit-Terkekang Rotasi), dan Kondisi d (Jepit-Bebas/Kantilever).
9. Pemodelan tumpuan dasar kolom menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa dibatasi pada tiga variasi tipe sambungan penahan momen berdasarkan klasifikasi AISC, yaitu: Sambungan 1 (S1) bertipe Unstiffened Base Plate with Anchor Rods Outside the Column Flanges; Sambungan 2 (S2) bertipe Unstiffened Base Plate with Anchor Rods Inside the Column Profile; dan Sambungan 3 (S3) bertipe Stiffened Base Plate.
10. Nilai kekakuan rotasi sambungan dianalisa menggunakan program IDEA StatiCa.
11. Evaluasi fokus pada perilaku sambungan itu sendiri (tidak difokuskan pada baut, las dan beton).

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh dari bentuk sambungan base plate terhadap panjang tekuk untuk berbagai kondisi kekangan ujung (*end restrain*) kolom baja.

1.5 Manfaat Perencanaan

1. Dapat mengetahui pengaruh dari realisasi sambungan di lapangan terhadap stabilitas tekuk struktur.
2. Disamping itu penelitian ini juga merupakan tugas akhir dari program studi S-1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.

2. Metode Perencanaan

Pada studi ini akan dilakukan Analisa teoritis untuk nilai beban tekuk kritis (P_{cr}) dan nilai faktor Panjang tekuk (K) berdasarkan (AISC, 2022), kemudian dengan sampel yang sama nilai dari kedua variable tersebut akan dihitung ulang menggunakan MASTAN2 dengan memasukan variable Stiffness Joint Initial (S_j ,ini) yang didapat dari program IDEA StatiCa.

2.1 Data & Parameter Pemodelan

A. Material Properti

Material yang digunakan pada pemodelan ini terdiri dari baja struktural untuk elemen kolom dan pelat dasar, serta beton untuk elemen pedestal.

Tabel 1. Material Properti

Komponen	Mutu Material	Parameter Mekanis	Nilai	Satuan
Kolom & Pelat Dasar	A992	Tegangan Leleh (f_y)	345	MPa
		Tegangan Putus (f_u)	450	MPa
		Modulus Elastisitas (E)	200000	MPa
		Rasio Poisson (ν)	0,3	-
Beton Pedestal	4000 psi	Kuat Tekan Silinder (f'_c)	30	MPa
		Modulus Elastisitas (E_c)	25742	MPa
Baut Angkur	ASTM F1554 Gr. 55	Tegangan Leleh (f_y)	380	MPa
		Tegangan Putus (f_u)	517	MPa
Las	E70 _{XX}	Kuat Tarik Elektroda (FEXX)	485	MPa

B. Geometri Profil

Profil sambungan yang digunakan pada studi ini adalah sebagai berikut:

1. General Information

- (1) Design Code : AISC-LRFD16M
 (2) Code Unit : N, mm

2. Material

- (1) Material Name : A992
 (2) F_y : 345 MPa
 (3) E : 200000 MPa

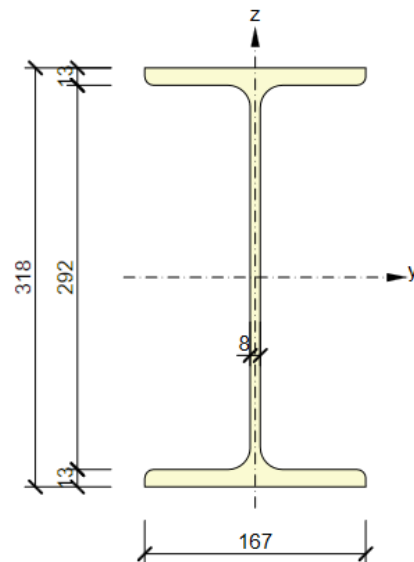
3. Length

- (1) L_x : 6000 mm

4. Section

- (1) Shape : W310x52
 (2) MemberType : Column
 (3) Dimensions

h mm	wf mm	tw mm	tf mm
318	167	7,62	13,2

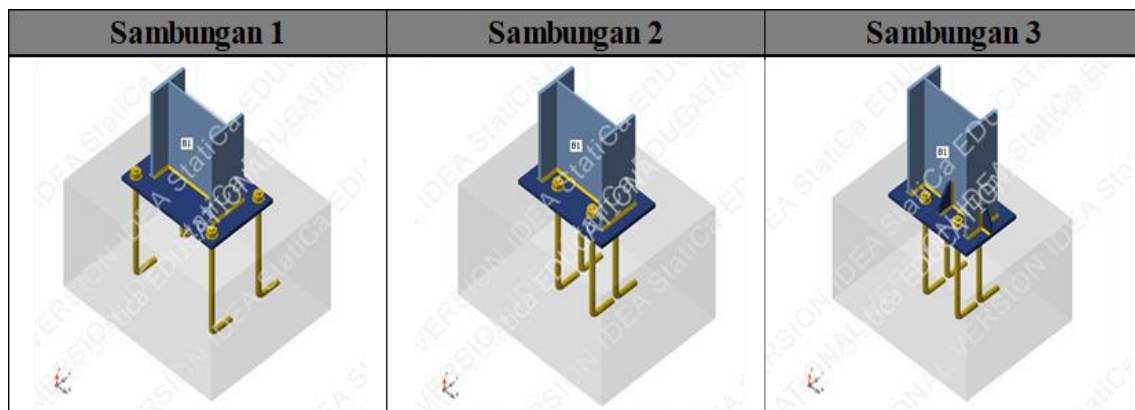
**(4) Section Properties**

A_s mm ²	A_{sx} mm ²	A_{sy} mm ²	X_{bar} mm	Y_{bar} mm
6650,00	3674,00	2423,16	83,50	159,00
S_x mm ²	S_y mm ²	Z_x mm ²	Z_y mm	J mm
748427,70	122155,70	839000,00	188000,00	308000,00
R_x mm	R_y mm	I_x mm ²	I_y mm	I_{xy} mm
133,77	39,16	119000000,00	10200000,00	0,00

Gambar 1. Properti Penampang W310x52**C. Model Sambungan**

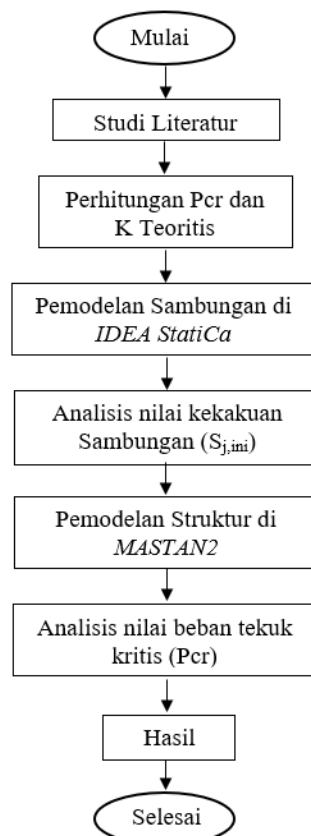
Sambungan yang akan digunakan adalah:

- Sambungan 1 (S1) bertipe Unstiffened Base Plate with Anchor Rods Outside the Column Flanges
- Sambungan 2 (S2) bertipe Unstiffened Base Plate with Anchor Rods Inside the Column Profile
- Sambungan 3 (S3) bertipe Stiffened Base Plate with Anchor Rods Inside the Column Profile

**Gambar 2.** Gambar 3D Sambungan**2.2 Bagan Alir Perencanaan**

Prosedur analisis kekakuan sambungan dan tekuk kolom pada studi ini mengikuti Gambar

2.

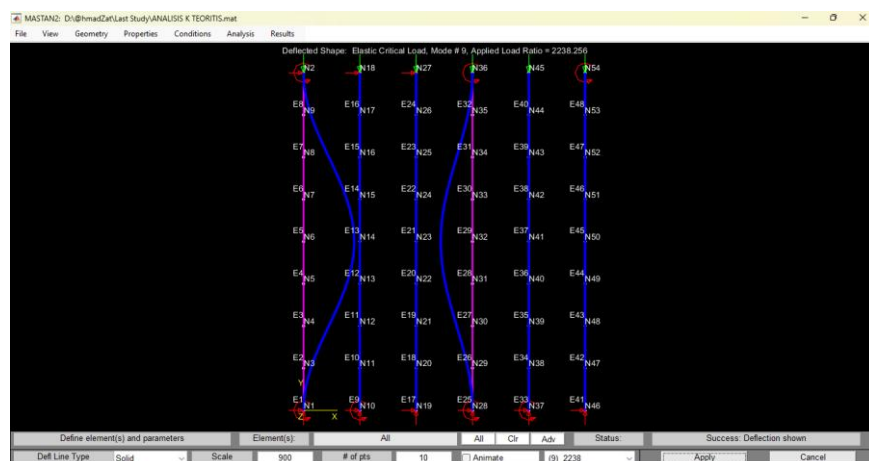


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Faktor Panjang tekuk (K) Berdasarkan AISC 360-22

Nilai teoretis K untuk kolom dengan tumpuan ideal mengacu pada Tabel C-A-7.1 dalam AISC 360-22. Nilai ini menjadi parameter kontrol (*baseline*) untuk mengevaluasi hasil keluaran dari MASTAN2. Kondisi batas yang ditinjau mencakup tumpuan Jepit-Sendi, Jepit-Rol, Jepit-NoRot, dan Jepit-Bebas. Analisis akan dilakukan menggunakan software MASTAN2.



Gambar 1. Hasil Analisis Pcr Menggunakan MASTAN2

Lakukan perhitungan K menggunakan rumus tekuk euler berdasarkan hasil analisis Pcr pada MASTAN2. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah.

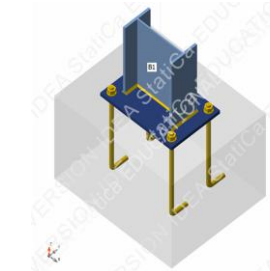
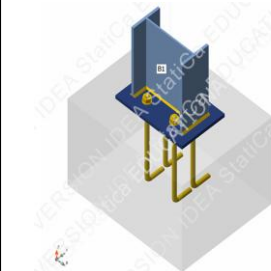
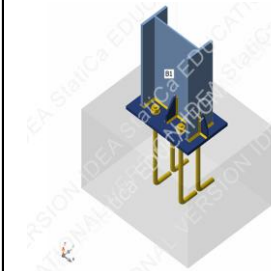
Tabel 2. Perbandingan nilai Pcr dan K Teoritis vs Analisis

Column		Theoretical	Analysis	difference	Theoretical	Analysis	difference
Case	End Restraints	Pcr	Pcr	%	K	K	%
a	fixed—fixed	2237,1103	2238,256	0,05%	0,5000	0,4999	0,03%
b	fixed—pinned	1141,3828	1144,2965	0,26%	0,7000	0,6991	0,13%
c	pinned—pinned	559,2776	559,2959	0,00%	1,0000	1,0000	0,00%
d	fixed—no rot.	559,2776	559,2959	0,00%	1,0000	1,0000	0,00%
e	fixed—free	139,8194	139,8197	0,00%	2,0000	2,0000	0,00%
f	pinned—no rot.	139,8194	139,8197	0,00%	2,0000	2,0000	0,00%

3.2 Analisis Kekakuan Sambungan Menggunakan IDEA StatiCa

Analisis ini dilakukan melalui pemodelan detail sambungan pelat dasar (*base plate*) menggunakan program IDEA StatiCa yang mengimplementasikan pendekatan Component-Based Finite Element Method (CBFEM). Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mensimulasikan respons sambungan terhadap gaya dalam, serta mendapatkan kurva momen-rotasi untuk menentukan nilai kekakuan rotasional awal ($S_{j,ini}$).

Tabel 3. Hasil Analisa Nilai $S_{j,ini}$

Parameter	Sambungan 1	Sambungan 2	Sambungan 3
			
$S_{j,ini}$	4,3 (MNm/rad)	3,8 (MNm/rad)	3,5 (MNm/rad)
Kelas	Partially Restrained	Partially Restrained	Partially Restrained

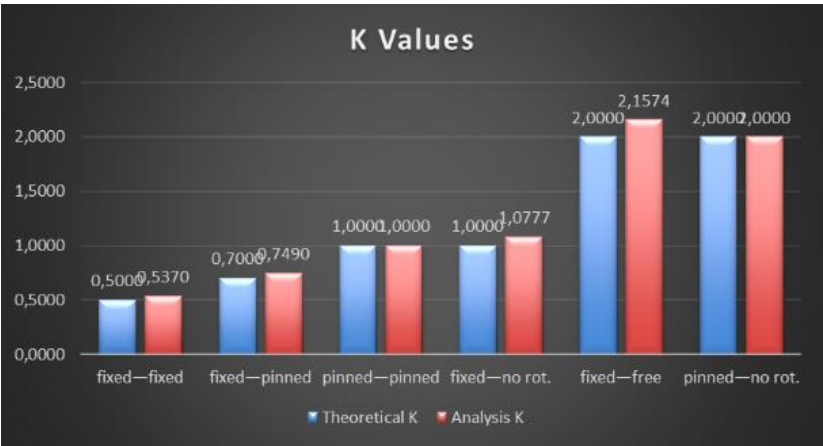
3.3 Analisis Faktor Panjang tekuk (K) Menggunakan MASTAN2

Analisis faktor panjang tekuk dapat dilakukan setelah mendapatkan nilai kekakuan rotasional awal ($S_{j,ini}$) dari pemodelan sambungan di IDEA StatiCa, evaluasi dampak kekakuan tersebut terhadap perilaku global kolom, khususnya pada nilai faktor panjang tekuk (K). Evaluasi ini dilakukan dengan mengintegrasikan nilai kekakuan sambungan ke dalam model kolom yang sebelumnya telah divalidasi.

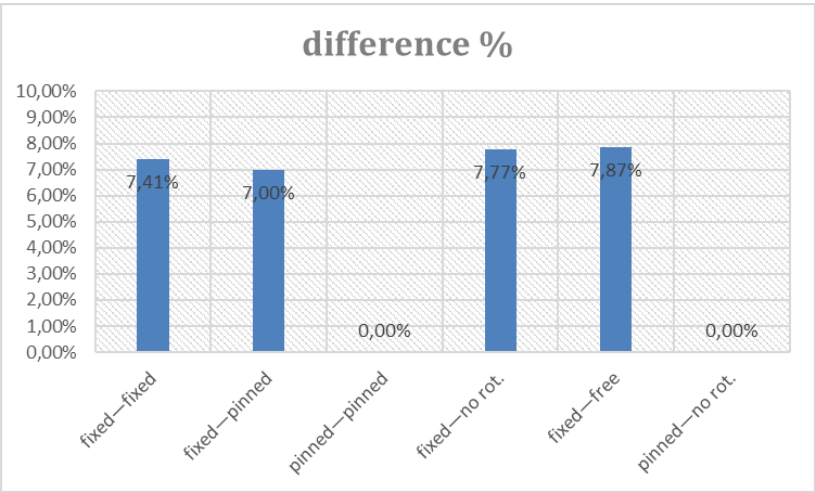
Pemodelan kondisi aktual pada program MASTAN2 ini, tumpuan jepit pada dasar kolom diganti menjadi tumpuan semi-kaku. Pemodelan ini dilakukan dengan mengaplikasikan tumpuan pegas rotasional pada titik dasar kolom. Nilai yang dimasukkan ke dalam program disamakan dengan nilai kekakuan rotasional awal ($S_{j,ini}$) yang dihasilkan dari IDEA StatiCa.

Tabel 4. Perbandingan K Teoritis vs K Analisis (Sambungan 1)

Column		Theoretical	Analysis	difference	Theoretical	Analysis	difference
Case	End Restraints	Pcr	Pcr	%	K	K	%
a	fixed—fixed	2237,1103	1939,095	13,32%	0,5000	0,5370	7,41%
b	fixed—pinned	1141,3828	996,972	12,65%	0,7000	0,7490	7,00%
c	pinned—pinned	559,2776	559,2959	0,00%	1,0000	1,0000	0,00%
d	fixed—no rot.	559,2776	481,5376	13,90%	1,0000	1,0777	7,77%
e	fixed—free	139,8194	120,1566	14,06%	2,0000	2,1574	7,87%
f	pinned—no rot.	139,8194	139,8197	0,00%	2,0000	2,0000	0,00%



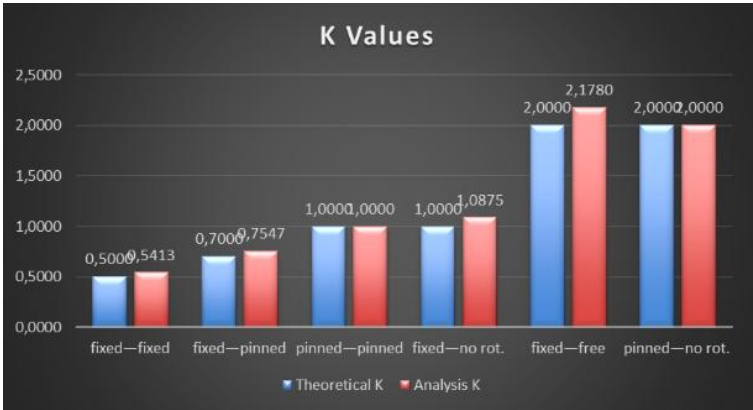
Gambar 2. Grafik Nilai K



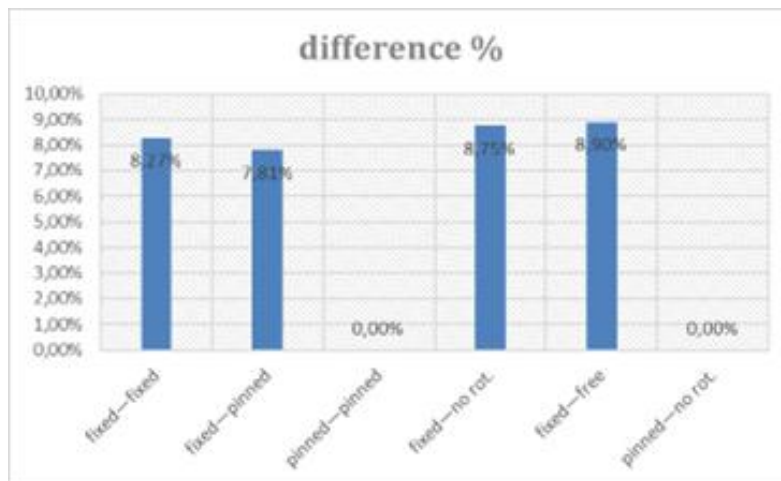
Gambar 3. Grafik Perbedaan Nilai K

Tabel 5. Perbandingan K Teoritis vs K Analisis (Sambungan 2)

Column		Theoretical Pcr	Analysis Pcr	difference %	Theoretical K	Analysis K	difference %
Case	End Restraints						
a	fixed—fixed	2237,1103	1908,457	14,69%	0,5000	0,5413	8,27%
b	fixed—pinned	1141,3828	982,0162	13,96%	0,7000	0,7547	7,81%
c	pinned—pinned	559,2776	559,2959	0,00%	1,0000	1,0000	0,00%
d	fixed—no rot.	559,2776	472,8959	15,45%	1,0000	1,0875	8,75%
e	fixed—free	139,8194	117,9034	15,67%	2,0000	2,1780	8,90%
f	pinned—no rot.	139,8194	139,8197	0,00%	2,0000	2,0000	0,00%



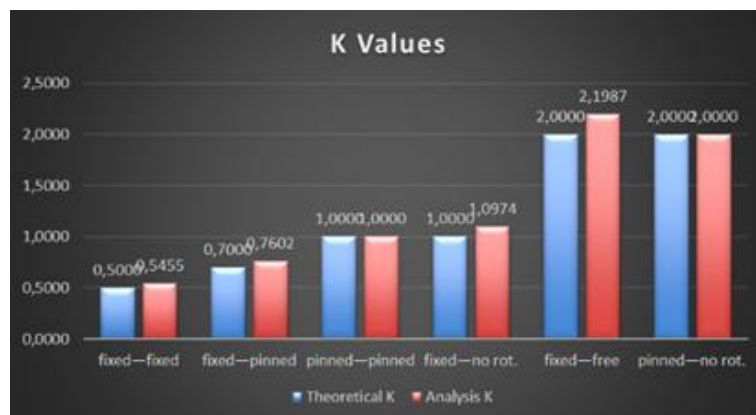
Gambar 4. Grafik Nilai K



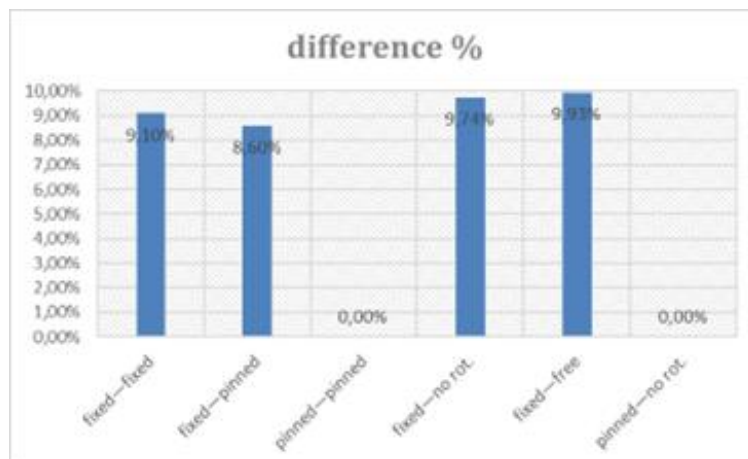
Gambar 5. Grafik Perbedaan Nilai K

Tabel 6. Perbandingan K Teoritis vs K Analisis (Sambungan 3)

Column		Theoretical Pcr	Analysis Pcr	difference %	Theoretical K	Analysis K	difference %
Case	End Restraints						
a	fixed—fixed	2237,1103	1879,331	15,99%	0,5000	0,5455	9,10%
b	fixed—pinned	1141,3828	967,7474	15,21%	0,7000	0,7602	8,60%
c	pinned—pinned	559,2776	559,2959	0,00%	1,0000	1,0000	0,00%
d	fixed—no rot.	559,2776	464,42	16,96%	1,0000	1,0974	9,74%
e	fixed—free	139,8194	115,6947	17,25%	2,0000	2,1987	9,93%
f	pinned—no rot.	139,8194	139,8197	0,00%	2,0000	2,0000	0,00%



Gambar 6. Grafik Nilai K



Gambar 7. Grafik Perbedaan nilai K

3.4 Analisis Pengaruh Kekakuan Sambungan Base Plate Terhadap Faktor

A. Faktor Penentu Kekakuan Rotasi ($S_{j,ini}$)

Nilai kekakuan rotasional awal ($S_{j,ini}$) yang dihasilkan dari simulasi numerik bukanlah parameter tunggal yang berdiri sendiri, melainkan resultan dari interaksi mekanis yang kompleks antar-komponen sambungan. Berdasarkan hasil komparasi ketiga model sambungan, teridentifikasi dua faktor mekanika utama yang menjadi determinan (penentu) perubahan nilai kekakuan tersebut, yaitu variasi panjang lengan momen internal dan pola distribusi tegangan kontak.

- Variasi Lengan Momen Internal (z), Sambungan 1 vs 2 & 3

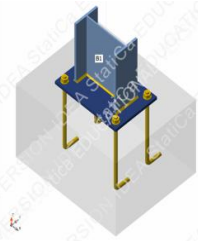
Secara fundamental, kemampuan suatu sambungan base plate dalam menahan gaya momen sangat bergantung pada prinsip mekanika lengan momen (lever arm). Dalam sistem persambungan ini, profil kolom baja bertindak sebagai objek yang cenderung berotasi atau miring dari posisi tegaknya akibat adanya beban lateral. Sementara itu, komponen yang bertugas menahan tarikan agar rotasi tersebut tidak terjadi adalah baut angkur. Oleh karena itu, besarnya tahanan momen ini sangat ditentukan oleh seberapa jauh jarak antara objek yang menahan (angkur) terhadap titik pusat rotasinya (kolom). Mengacu pada prinsip tuas, semakin jauh posisi baut angkur diletakkan menjauhi penampang kolom, maka akan semakin panjang lengan momen yang tercipta, sehingga sambungan menjadi semakin kuat dan kaku dalam menahan rotasi.

- Efek Pengaku, Sambungan 2 vs 3

Ketika beban momen bekerja pada kolom baja, gaya rotasi yang terjadi pada tumpuan sebenarnya ditahan oleh kerja sama dua komponen utama, yaitu pelat dasar (base plate) dan baut angkur. Pelat dasar menahan gaya tersebut melalui kemampuannya untuk melengkung (deformasi lentur), sedangkan baut angkur menahannya melalui kuat tariknya. Pembagian beban kerja antara pelat yang melentur dan baut yang tertarik inilah yang pada akhirnya akan menentukan nilai kekakuan rotasi sambungan.

B. Pengaruh Kekakuan Rotasi Terhadap Kapasitas Beban Kritis & Faktor Panjang Tekuk

Tabel 7. Perbandingan Nilai K Aktual Terhadap Teoritis

Parameter	Jepit Jepit Ideal	Sambungan 1	Sambungan 2	Sambungan 3
				
$S_{j,ini}$	Tak Hingga	4,3 (MNm/rad)	3,8 (MNm/rad)	3,5 (MNm/rad)
Pcr	2237,110331	1939,095	1908,457	1879,331
K	0,5	0,53704931	0,541342989	0,545521746
Deviasi	-	7,41%	8,27%	9,10%

Hasil analisis diatas menunjukkan adanya pola hubungan yang konsisten antara kekakuan rotasi sambungan ($S_{j,ini}$) dengan parameter stabilitas kolom (Pcr dan K). Analisis pada bagian ini bertujuan untuk menguraikan mekanisme pengaruh tersebut dan menentukan model sambungan mana yang memberikan performa stabilitas paling optimal maupun yang paling berdampak kinerjanya.

Analisis numerik terhadap performa stabilitas menunjukkan bahwa Sambungan 1 merupakan model paling optimal dengan nilai kekakuan rotasi tertinggi ($S_{j,ini} = 4,3$ MNm/rad). Tingginya tingkat kekakuan tersebut berbanding lurus dengan pencapaian kapasitas beban kritis (Pcr) maksimum, yang secara mekanis mereduksi faktor panjang tekuk (K) aktual ke tingkat terendah hingga mendekati kondisi tumpuan ideal. Sebaliknya, Sambungan 3 mencatatkan

degradasi kinerja paling signifikan dengan nilai kekakuan terendah ($S_{j,ini} = 3,5 \text{ MNm/rad}$) sebagai akibat dari efek pemendekan lengan momen internal dan timbulnya gaya pengungkit. Penurunan kekakuan rotasi pada model ini secara langsung mereduksi kapasitas P_{cr} ke titik minimum, yang berimplikasi pada peningkatan nilai faktor panjang tekuk (K) menjadi yang terbesar di antara seluruh variasi sambungan.



Gambar 8. Grafik $S_{j,ini}$ & K (Kondisi Jepit-Jepit)

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis pengaruh bentuk sambungan *base plate* terhadap panjang tekuk kolom baja, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konfigurasi geometri tumpuan pelat dasar (*base plate*) memiliki korelasi langsung terhadap besaran kekakuan rotasi sambungan, yang secara signifikan memengaruhi nilai panjang tekuk (K_L) kolom pada berbagai skenario kondisi kekangan ujung. Sambungan pelat tebal tanpa pengaku (Model 1) menunjukkan kinerja mekanis yang paling optimal dalam mereduksi nilai faktor panjang tekuk (K).
2. Modifikasi penampang melalui penambahan pelat pengaku (*ribs*) yang dikombinasikan dengan pelat dasar yang lebih tipis (Model 3) terbukti memicu degradasi terhadap kekakuan rotasi tumpuan. Penurunan kekakuan ini diakibatkan oleh efek pemendekan lengan momen internal dan timbulnya gaya pengungkit, yang secara mekanis memperbesar nilai faktor Panjang tekuk (K) dan meningkatkan kerentanan elemen kolom terhadap keruntuhan tekuk jika dibandingkan dengan model tanpa pengaku.

5. Saran

1. Disarankan untuk menghindari penggunaan nilai faktor panjang tekuk (K) dalam praktik perancangan struktur baja. Sebaiknya perekrayasa menggunakan nilai desain rekomendasi (seperti $K=0,65$ pada standar AISC) yang terbukti lebih aman dan mampu mengakomodasi sifat semi-kaku dari sambungan *base plate*.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meninjau lebih dalam mengenai analisis kekakuan sambungan.

Referensi

- Šabatka, L., Wald, F., & Kabeláč, J. (2015). Structural Analysis and Design of Steel Connections. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9(8), 895-901.
- AISC. (2022). *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-22)*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- Banusha, B., & Desimaliana, E. (2021). Analisis Numerik Tekuk Kolom Variasi Penampang . *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 181-190.
- Başbüğ, M., Eryılmaz, A., Coşkun, S. B., & Atay, M. T. (2016). On Critical Buckling Loads of Euler Columns With Elastic End Restraints. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 3(1). doi:10.17350/HJSE19030000026
- BSN. (2020). *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT)*. Jakarta:

Badan Standarisasi Nasional.

Jones, S. W. (1980). SEMI-RIGID CONNECTIONS AND THEIR INFLUENCE ON STEEL COLUMN BEHAVIOUR. Sheffield: University of Sheffield.

Kalangi, H. T., Tanijaya, J., & Witanto, R. L. (2019). Analisis Kondisi Keruntuhan Dan Beban Tekuk Kolom Profil Baja. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 2(2), 85-96.

Makal, K. F., Handono, B. D., & Pandeleke, R. E. (2020). TINJAUAN KOLOM AKIBAT PERUBAHAN FUNGSI RUANGAN. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 483-494.

McGuire, W., Gallagher, R. H., & Ziemian, R. D. (2014). *Matrix Strucural Analysis* 2nd Edition.

Thimosenko, S. P. (1983). *HISTORY OF STRENGTH OF MATERIALS*. New York: Dover Publication.

Ziemian, R. D. (2010). *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Ziemian, C. W., & Ziemian, R. D. (2021). Structural Analysis and Design of Steel Connections Using Component-Based Finite Element Model. *Data In Brief*, 39, 107564.