

## PERILAKU SAMBUNGAN BOUT FLUSH END-PLATE BALOK KOLOM BAJA PADA KONDISI BATAS

Billina Tayu

Banu Dwi Handono, Ronny Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [billinatayu@yahoo.com](mailto:billinatayu@yahoo.com)

### ABSTRAK

*Sambungan balok kolom merupakan sambungan yang perilakunya sangat mempengaruhi keseluruhan sistem struktur. Perilaku sambungan yang terjadi berada diantara sambungan rigid dan sambungan sederhana yang disebut sambungan semi rigid atau partially restrained (PR). Metode alternatif untuk analisis perilaku sambungan dapat dilakukan dengan membuat pemodelan sambungan menggunakan program ANSYS Mechanical APDL sebagai 3D-FEM.*

*Sembilan model sambungan dengan variasi tebal end-plate dan diameter baut telah dianalisis pengaruhnya terhadap momen ultimate dan kapasitas rotasi sambungan.*

*Pada sambungan tipe Flush End-plate dengan tebal end-plate 16 mm, peningkatan diameter baut dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi secara signifikan masing-masing sebesar 29.1574 % dan 20.0745 %. Perubahan diameter baut 20 mm menjadi 22 mm meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi masing-masing sebesar 13.9041% dan 13.7144%.*

*Pada sambungan dengan diameter baut 22 mm, peningkatan tebal pelat dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi sambungan masing-masing sebesar 11.861% dan 19.149 %. Namun, perubahan tebal end-plate dari 20 mm menjadi 25 mm menurunkan momen ultimate dan kapasitas rotasi masing-masing sebesar 14.326 % dan 37.981 %*

*Dengan demikian, diameter baut meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi sambungan secara signifikan. Peningkatan tebal end-plate meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi namun pada batas ketebalan tertentu, momen ultimate dan kapasitas rotasi menurun diakibatkan oleh kegagalan pada baut sementara kondisi end-plate belum mencapai titik leleh.*

**Kata Kunci :** *Sambungan balok kolom baja, sambungan baut, sambungan flush end-plate, kurva momen-rotasi*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Komponen sambungan dalam konstruksi struktur baja merupakan komponen yang paling berbahaya. Kegagalan struktur paling banyak disebabkan oleh desain sambungan yang buruk dan kurang layak, serta besarnya ketidakcocokan antara perilaku yang dianalisis dan perilaku aktual sehingga perencanaan dan detail dari elemen sambungan merupakan salah satu kepentingan yang utama dalam perencanaan struktur rangka baja. Oleh karena itu sambungan harus didesain sedemikian rupa hingga menghasilkan sambungan yang aman, hemat bahan (ekonomis) dan dapat dibuat (praktis dalam pelaksanaannya).

Sambungan tersebut biasanya diasumsi sebagai sambungan kaku (*rigid*). Dalam prakteknya, perilaku sambungan yang terjadi berada diantara sambungan rigid dan sambungan sederhana. Sambungan ini disebut sambungan

semi rigid atau *partially restrained* (PR). Oleh karena itu penelitian lebih dalam tentang perilaku momen-rotasi sambungan diperlukan untuk memprediksi perilaku aktual yang terjadi pada sambungan.

Telah banyak pengujian sambungan balok-kolom yang dilakukan secara eksperimental, tetapi komponen sambungan memiliki banyak sekali tipe dan ukuran. Hal ini tentu saja menjadi tidak mungkin bila studi tentang  $M-\phi$  hanya dilakukan dengan test atau eksperimental saja.

Sebuah metode untuk analisis perilaku sambungan dapat dilakukan dengan membuat model sambungan menggunakan program komputer dengan metode analisis elemen hingga. Metode pendekatan ini merupakan alternatif selain membuat percobaan di laboratorium yang tidak hanya memungkinkan untuk dibuat, tetapi juga lebih ekonomis, menghemat waktu dan memudahkan dalam membuat variasi tipe sambungan untuk dianalisis perilakunya terhadap keadaan batas.

### Rumusan Masalah

Komponen sambungan menjadi bagian penting untuk memenuhi kriteria perencanaan baik dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya. Oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih dalam tentang perilaku sambungan sehingga dapat diketahui bagaimana menghasilkan sambungan yang aman dan stabil, lebih khusus untuk sambungan *semi rigid*. Telah banyak penelitian yang dilakukan secara eksperimental dan menghabiskan waktu yang lama dan biaya yang besar. Banyaknya parameter variabel sambungan membuat studi perilaku  $M-\phi$  hampir tidak mungkin dilakukan hanya dengan eksperimental. Penggunaan program komputer dengan pendekatan metode elemen hingga dapat menjadi alternatif penelitian yang bisa mengurangi waktu dan biaya.

### Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan yang di tinjau agar studi dapat terarah sesuai tujuan yang diharapkan, maka terdapat batasan masalah sebagai berikut :

1. Sambungan yang diteliti adalah sambungan baut dengan pelat ujung tipe flush dengan detail sambungan menggunakan sumber literatur. (Shi et al. 2010)
2. Peneliti hanya membahas perilaku sambungan berdasarkan kurva momen rotasi yang dihasilkan dan membandingkannya dengan hasil eksperimental dari Shi et al. (2010). Hal ini berkaitan dengan validasi FEM yang dibuat.
3. Perangkat lunak menggunakan AutoCAD untuk membuat geometri sambungan dan program ANSYS Mechanical APDL untuk analisis perilaku sambungan secara numerik dengan metode elemen hingga.
4. Sambungan dimodelkan sebagai sambungan momen dan tipe elemen sebagai SOLID187
5. Dalam hal material properties, komponen baja struktural yang dimodelkan menggunakan hubungan tegangan-regangan sebagai material *isotropic elastic-plastic*.
6. Pemodelan tidak memperhitungkan gaya pra-tarik baut (*pre-tension bolt*).
7. Beban yang diterapkan adalah beban monotonic pada satu titik beban yang berada di atas flens balok.
8. Dengan FEM yang tervalidasi selanjutnya dianalisis efek dari variasi tebal pelat ujung yaitu 16 mm, 20 mm, dan 25 mm dan variasi diameter baut yaitu M16, M20, M22 terhadap perilaku sambungan.

### Tujuan Penelitian.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini adalah dapat membuat model finite element tiga dimensi (3D FEM) yang dapat dipercaya dan untuk menentukan perilaku sambungan yang diteliti yaitu sambungan *flush end-plate* balok-kolom baja terhadap variasi tebal end-plate dan diameter baut yang dinyatakan dengan kapasitas momen dan rotasi sambungan pada kondisi batas.

### Manfaat Penelitian

Memberikan informasi bahwa pemodelan struktur dengan program elemen hingga dapat menjadi alternatif penelitian yang mengurangi waktu dan biaya selain penelitian eksperimental di laboratorium. Selain itu, memberikan informasi bahwa FEM yang disimulasikan dengan baik dapat memprediksi perilaku momen-rotasi ( $M-\phi$ ) yang sebenarnya (aktual).

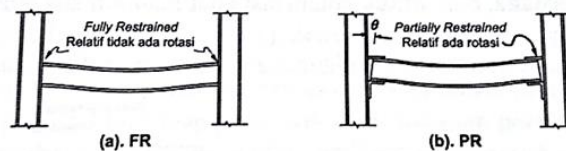
## LANDASAN TEORI

### Sambungan Struktur

Fungsi sambungan adalah mengalihkan gaya-momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi (Dewobroto, 2016)

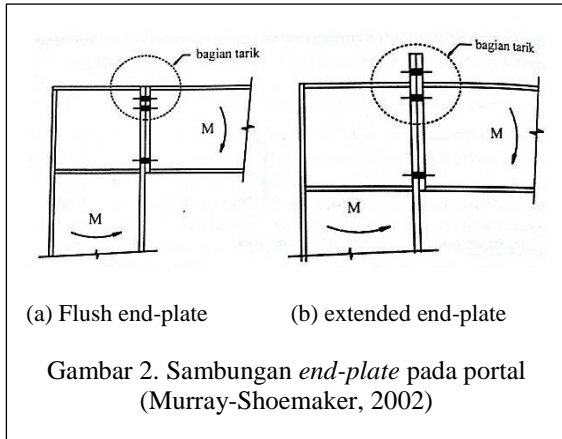
### Sambungan Momen *End-plate*

Sambungan momen struktur baja dapat dibagi dua, yaitu [1] FR atau Fully Restrained atau sambungan rigid seperti profil utuh; dan [2] PR atau sambungan semi rigid, atau elastis dimana pada kondisi beban tertentu antara elemen-elemen sambungan bisa berotasi.



Gambar 1. Perilaku Sambungan momen pada struktur baja (AISC, 1994)

Bentuk konfigurasi sambungan end-plate Gambar (a) dan (b) adalah untuk daerah momen negatif (baut tarik di sisi atas). Untuk struktur portal, sambungan balok-kolom (momen negatif), maka kedua tipe sambungan end-plate dapat dipakai.



**Kurva Momen-Rotasi**

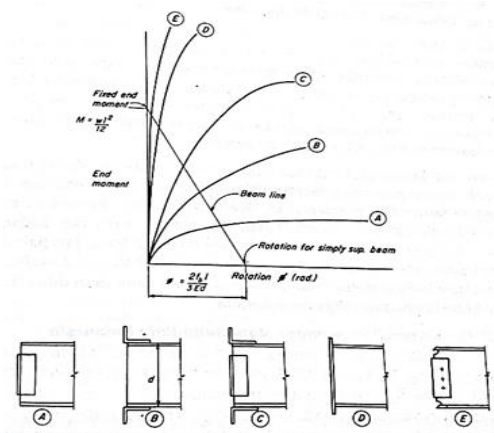
Perilaku mekanik sambungan terlihat jelas dari kurva momen-rotasi di Gambar 3 yang meninjau berbagai bentuk sambungan yaitu :

- A. Siku di badan (*web*)
- B. Siku di sayap (*flange*)
- C. Siku di badan dan sayap
- D. *End-plate*
- E. Las di sayap dan baut di badan.

Menurut Dewobroto dalam buku Struktur Baja (2016), Berdasarkan gambar dapat di simpulkan bahwa sambungan paling kaku adalah yang mampu menahan momen dengan rotasi paling kecil.

**Metode Elemen Hingga**

Dari sudut pandang *engineering*, metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menyatukan elemen- elemen struktur yang dapat dianalisis secara terpisah ke dalam sebuah



Gambar 3. Perilaku  $M-\phi$  Sambungan (AISC 1992)

persamaan kesetimbangan global struktur. (Dill,2011). *Element properties* untuk masalah keteknikan seperti *displacement in solid mechanics*, kita akan menentukan gaya-perpindahan yaitu merupakan karakteristik kekakuan dari setiap elemen secara individual. Secara matematis hubungan ini dapat dinyatakan sebagai bentuk :

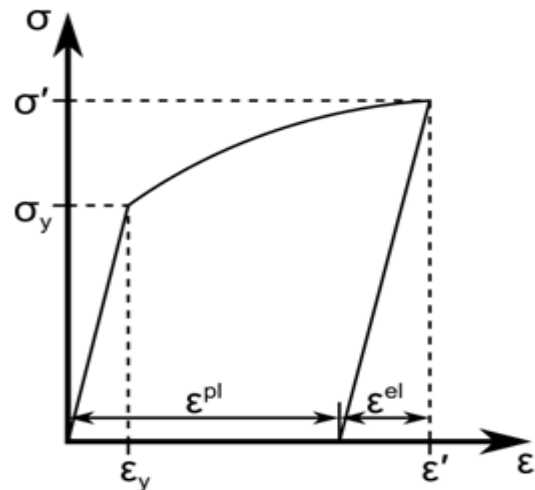
$$[k]_e \{\delta\}_e = \{F\}_e$$

untuk  $e= 1,2,\dots,N_{el} \dots \dots \dots$  (Pers. 2.1)

di mana  $[k]_e$  adalah matriks kekakuan elemen e,  $\{\delta\}_e$  adalah vektor perpindahan titik-titik nodal elemen e, dan  $\{F\}_e$  adalah vektor gaya pada titik-titik nodal elemen e,  $N_{el}$  adalah jumlah seluruh elemen. (Bhavikatti, 2005)

**Nonlinearitas Bahan**

Hubungan tegangan-regangan nonlinier ar adalah penyebab umum perilaku struktural nonlinier. Bahan nonlinearitas terjadi karena adanya hubungan nonlinear antara tegangan dan regangan; Artinya, tegangan adalah fungsi nonlinear dari regangan. Banyak faktor dapat mempengaruhi sifat tegangan-regangan material, termasuk riwayat beban (seperti respons elastoplastik), kondisi lingkungan (seperti suhu), dan jumlah waktu yang diterapkan beban (seperti pada creep response). (ANSYS Mechanical APDL Material Reference)



Gambar 4. *Stress-Strain Curve for an Elastic-Plastic Material*

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Tahapan penelitian :**

Penelitian ini menggunakan analisis metode elemen hingga yang difokuskan untuk mengetahui perilaku sambungan *flush end-plate* balok kolom baja terhadap kapasitas momen ultimate dan kapasitas rotasi sambungan. Beban yang diterapkan adalah beban monotonic di atas flens balok dengan jarak tertentu dari flens kolom.

Analisis metode elemen hingga dengan menggunakan program *ANSYS Mechanical APDL* dilakukan dalam 4 tahap yaitu *Preprocessor*, *solution Postprocessor (POST1)* dan *Time History (POST26)*.

Hasil yang diperoleh dari penggunaan program ANSYS adalah besarnya *gap distance* yang terjadi pada kontak antara flens kolom dan end-plate dan beban ultimate. Nilai *gap distance* diambil pada nodal yang merupakan hasil analisis metode elemen hingga yang diukur pada centerline dari end-plate. Dari data *gap distance* yang bertambah seiring dengan penambahan beban dan beban ultimate yang dicapai sebagai kapasitas sambungan, selanjutnya dilakukan perhitungan tambahan untuk memperoleh besarnya rotasi yang terjadi dan momen ultimate yang mampu ditahan oleh sambungan. Hasil perhitungan momen dan rotasi kemudian dihubungkan dengan kurva momen-rotasi yang menyatakan perilaku dari sambungan.

**Geometri Sambungan dan Material Properties**

Tahap awal dari penelitian ini adalah melakukan studi literatur dan pengumpulan data hasil uji eksperimental yang dilakukan oleh Shi et.al (2010). Selanjutnya diperoleh data mutu baja dan baut serta detail sambungan yang akan diteliti untuk tujuan validasi *finite element model (FEM)* yang diusulkan. Data tersebut dapat dilihat di Tabel 1 dan 2

Tabel 1. *Material Properties*

Material	Measured Yield Stress (MPa)	Measured Tensile Strength (MPa)	Measured Elastic Modulus (MPa)
Steel (t < 16 mm)	391	559	190707
Steel (t > 16 mm)	363	573	204228
Bolts (M20)	995	1160	204228

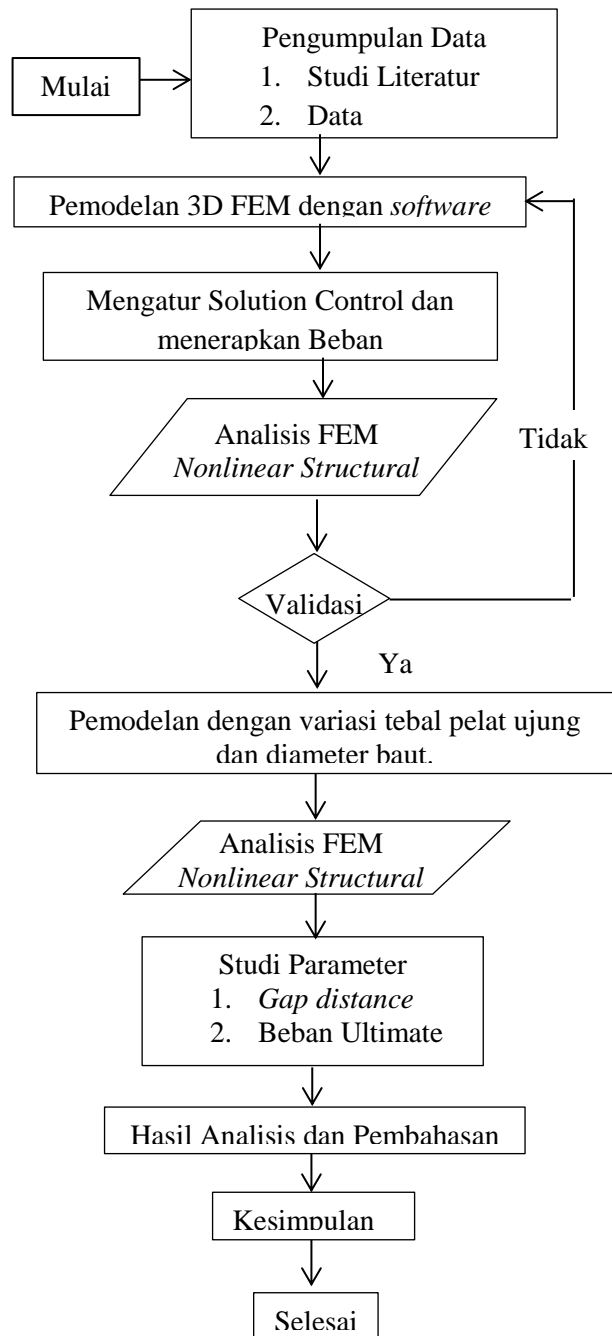
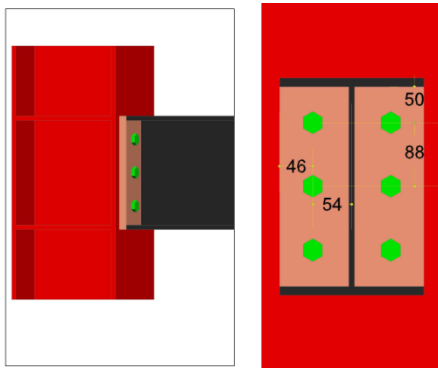


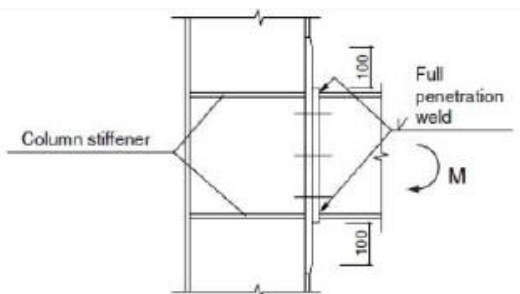
Diagram alir penelitian

Tabel 2. Sectional dimension of beam and column (unit:mm).

	Section Depth	Web Thickness	Flange Widht	Flange Thickness
Beam	300	8	200	12
Column	300	8	250	12



Gambar 5a. Detail of the connection (Shi et al. 2010)



Gambar 5b Penebalan flens kolom pada daerah sambungan (Shi et al. 2010)

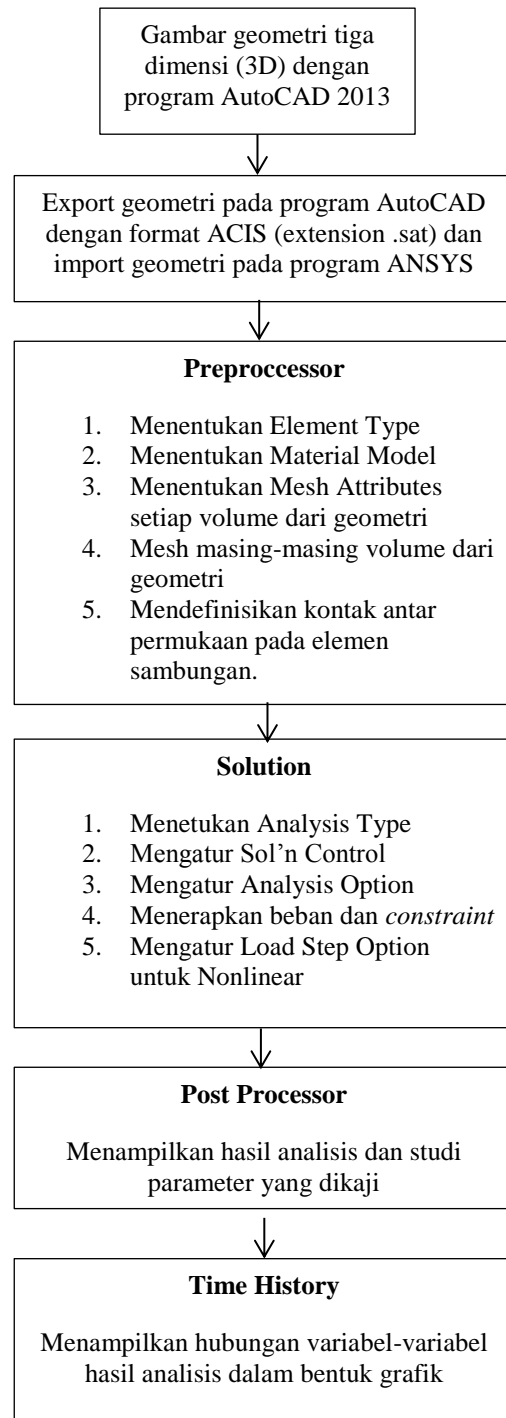
Detail Sambungan (Shi et al. 2010) :

Specimen Number	: SC-01
Connection Type	: Flush
End-plate thickness (mm)	: 20
Bolt diameter (mm)	: 20
Number of bolts	: 6
Column Stiffener	: Yes
End-plate Stiffener	: No

Tabel 3. Model yang diteliti

Nama Model	Tebal <i>End-plate</i> (mm)	Diameter Baut (mm)	<i>Column Stiffener</i>
T16-M16	16	16	Ya
T16-M20	16	20	Ya
T16-M22	16	22	Ya
T20-M16	20	16	Ya
T20-M20 (untuk validasi)	20	20	Ya
T20-M22	20	22	Ya
T25-M16	25	16	Ya
T25-M20	25	20	Ya
T25-M22	25	22	Ya

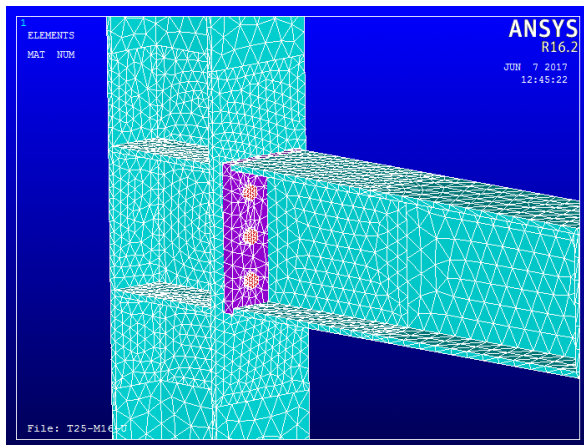
### Pemodelan FEM



Gambar 6. Bagan Alir Pemodelan 3D FEM

Material model yang digunakan adalah Bilinear Isotropic Hardening dengan tangent modulus di pakai sebesar 1/30 kali modulus elastisitasnya. (Dewobroto 2016)

### Meshing



Gambar 7. Mesh

### Membuat Kontak

Dalam program ANSYS Mechanical APDL, Kontak yang dibuat menggunakan Pair-Based Contact Flexible to Flexible yang diatur dalam Pair-Based Contact Manager. Pada Contact Wizard, tentukan area atau surface yang akan menjadi Target dan Contact. Pada Contact Properties, tentukan tipe kontak dan properties lainnya yang sesuai dengan perilaku yang diinginkan

Tabel 4 Define Contact

Model Kontak	Element		Tipe Kontak	Contact Alogarithm
	Target	Contact		
Endplate - Flange Column	Flange Column	End-plate	Standard Koef. Friksi 0.3	Penalty Method
Kepala Baut-Endplate	End-plate	Kepala Baut	Bonded Always	MPC Alogarithm
Mur - Flange Column	Flange Column	Mur	Bonded Always	MPC Alogarithm
Lubang Mur - Badan Baut	Badan Baut	Lubang Mur	Bonded Always	MPC Alogarithm
Balok-Endplate	End-plate	Balok	Bonded Always	MPC Alogarithm

### Analisis FEM

Langkah selanjutnya adalah proses analisis (solve) oleh program ANSYS Mechanical APDL untuk mengevaluasi parameter yang akan diteliti. Proses analisis yang dijalankan akan terminate ketika beban batas tercapai. Hasil yang diperoleh dari analisis FEM berupa data tegangan, time step untuk mengetahui pertambahan beban yang

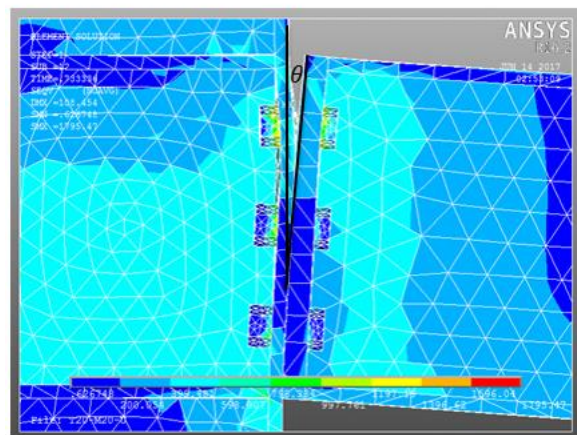
diberikan hingga beban batas, dan *gap distance* pada kontak antara flens kolom dan end-plate. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan perhitungan lanjutan untuk memperoleh besarnya momen dan kapasitas rotasi yang terjadi pada sambungan untuk menunjukkan perilaku sambungan seiring dengan pertambahan beban

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi FEM

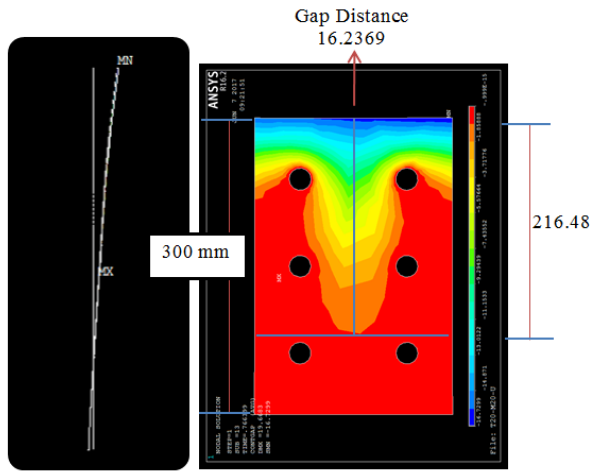
Setelah proses analisis selesai, hasil analisis berupa *gap distance* dan beban ultimate dipakai dalam perhitungan untuk memperoleh besarnya momen dan rotasi sambungan yang menjadi hasil dari penelitian. Kapasitas momen pada sambungan diperoleh dari hasil perhitungan beban ultimate dikali lengan momen yaitu jarak dari titik beban hingga *flange* kolom. Rotasi sambungan ditentukan sebagai rotasi relatif yang diukur pada centerline dari atas dan bawah flens balok ujung. Rotasi sambungan diperoleh dari hasil perhitungan tambahan menggunakan data *gap distance* dan kontur warna *gap distance* pada end-plate untuk mengetahui sejauh mana bukaan (gap) yang terjadi antara end-plate dengan flens kolom.

Hasil tersebut dibandingkan dengan hasil uji eksperimental untuk tujuan validasi. Validasi yang dimaksud adalah perilaku sambungan yang sama dengan hasil eksperimental. Perilaku ini ditunjukkan oleh besarnya kapasitas beban terhadap sambungan, gambar geometri sambungan pada kondisi beban batas, dan kecocokan kurva momen-rotasi sambungan. Validasi dilakukan terhadap model SC-01 dari Shi et al. 2010

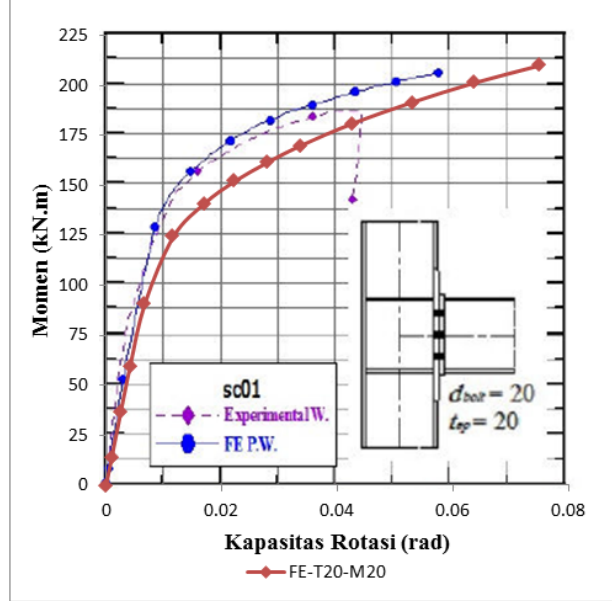


Gambar 8. Rotasi Pada Sambungan

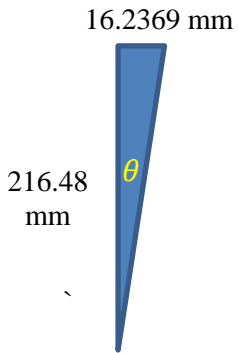
Contoh perhitungan momen dan rotasi sambungan



Gambar 9. Kontur Warna Gap distance pada End-Plate Contact Element



Gambar 10. Perbandingan Kurva Momen-Rotasi antara T20-M20 dan SC-01



$$\tan^{-1} \left( \frac{16.2369}{216.48} \right) = 0.074864 \text{ rad}$$

Rotasi yang terjadi pada beban ultimate sebesar 0.074864 rad.

Lengan Momen = 1.244595821 m

Beban ultimate = 168.608 kN

Momen ultimate = 168.608 kN × 1.2446 m

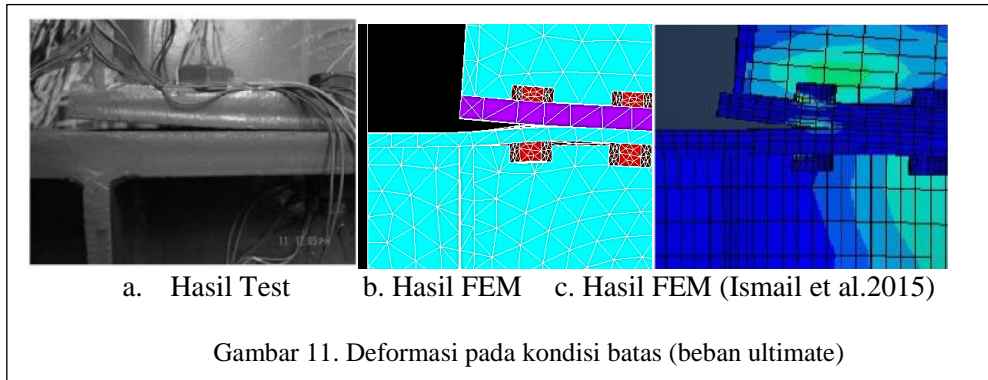
Momen ultimate = 209.85 kN.m

Tabel 5. Hasil Perhitungan Momen dan Rotasi pada kondisi batas model T20-M20

Substep	Time	Beban (kN)	Momen (kN.m)	Gap (mm)	Kapasitas Rotasi (rad)
0	0	0	0	0	0
1	0.051	11.335	14.1077	0.2285	0.000977
2	0.134	29.667	36.9234	0.5973	0.002555
3	0.217	47.885	59.5977	0.9690	0.004145
4	0.331	73.018	90.8778	1.5799	0.006703
5	0.454	99.959	124.408	2.7219	0.011643
6	0.514	113.14	140.823	3.9132	0.016983
7	0.555	122.14	152.022	5.1196	0.022217
8	0.589	129.70	161.436	6.3488	0.027897
9	0.620	136.42	169.795	7.5979	0.033594
10	0.660	145.30	180.841	9.5178	0.042525
11	0.699	153.93	191.588	11.705	0.052964
12	0.735	161.75	201.316	13.942	0.063752
13	0.766	168.60	209.848	16.236	0.074864

Tabel 6. Perbandingan Kapasitas Momen dan Rotasi pada Kondisi Batas

SC-01	Test (Shi et al. 2010)	FEM (Ismail et al. 2015)	FEM T20-M20
Momen (kN.m)	186.4	205.4	209.85
Rot. Capacity (rad)	0.43	0.058	0.075



Dari perbandingan kedua kurva diatas, kemiringan kurva momen-rotasi untuk model T20-M20 tampak mendekati kurva hasil eksperimental (garis ungu) dan hasil FEM oleh Ismail et al. 2015 (garis biru).

Dari Tabel 6 dapat diketahui bahwa momen ultimate FEM T20-M20 yang dihasilkan dari analisis elemen hingga hampir sama dengan hasil FEM oleh Ismail et al. 2015 dan sedikit lebih besar dari hasil eksperimental dari Shi et al. 2010. Namun kapasitas rotasi sambungan yang dihasilkan sedikit lebih besar disebabkan karena FEM T20-M20 tidak mensimulasikan gaya pratarik baut yang menghasilkan tambahan gaya jepit antara flens kolom dan end-plate serta flens kolom di daerah sambungan tidak diberi penebalan sehingga kekakuannya menurun.

Perbandingan geometri sambungan model T20-M20 pada kondisi batas (beban ultimate) sebagai deformasi akhir tampak hampir sama dengan geometri sambungan hasil ekperimental dengan mode kegagalan yaitu putus pada baut tarik.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model elemen hingga yang diusulkan telah disimulasi dengan baik sehingga analisis dapat dilanjutkan untuk model-model lain dengan variasi tebal end-plate dan variasi diameter baut.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk kedelapan model lainnya. Hasil perhitungan momen dan rotasi dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 7. Perbandingan Hasil analisis Momen Ultimate dan Kapasitas rotasi dengan variasi tebal end-plate dan diameter baut

Model	Tebal <i>End-plate</i> (mm)	Diameter Baut (mm)	Beban Ultimate (kN)	Jarak Beban (m)	Momen (kN.m)	Rotasi (rad)
T16-M16	16	16	130.695	1.24059592	162.13968	0.079618
T16-M20	16	20	168.80225	1.24059592	209.41538	0.095601
T16-M22	16	22	192.27275	1.24059566	238.53274	0.108713
T20-M16	20	16	149.3698	1.24459582	185.90503	0.07512
T20-M20	20	20	168.608	1.24459582	209.84881	0.074864
T20-M22	20	22	214.3872	1.24459645	266.82555	0.12953
T25-M16	25	16	169.783	1.24959592	212.16014	0.100625
T25-M20	25	20	171.54	1.24959592	214.35568	0.075293
T25-M22	25	22	182.939	1.24959566	228.59978	0.080334

Tabel 8. Momen Ultimate Terhadap Variasi Diameter Baut dan Tebal *End-plate*

Momen Ultimate (kN.m)			
Tebal <i>End-plate</i> (mm)	Diameter baut (mm)		
	16	20	22
16	162.1397	209.4154	238.5327
20	185.905	209.8488	266.8255
25	212.1601	214.3557	228.5998



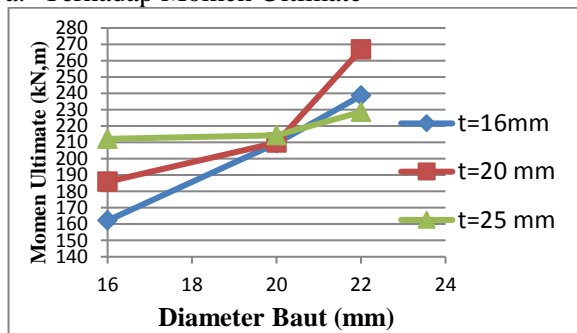
Tabel 9. Kapasitas Rotasi Sambungan Terhadap Variasi Diameter Baut

Tebal <i>End-plate</i> (mm)	Kapasitas Rotasi (rad)		
	Diameter baut (mm)		
	16	20	22
16	0.079618	0.095601	0.108713
20	0.07512	0.075	0.12953
25	0.100625	0.075293	0.080334

**Pembahasan Hasil Analisis**

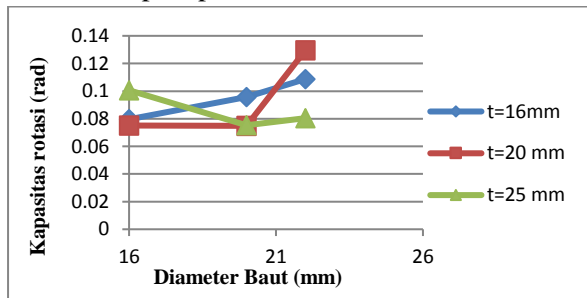
Pengaruh Diameter Baut

a. Terhadap Momen Ultimate



Grafik 1. Pengaruh Diameter Baut Terhadap Momen Ultimate

b. Terhadap Kapasitas Rotasi



Grafik 2. Pengaruh Diameter Baut Terhadap Kapasitas Rotasi Sambungan

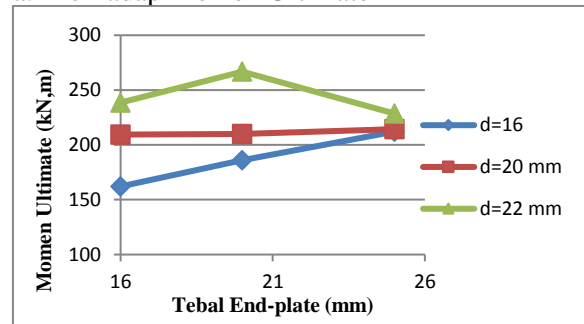
Dari grafik dapat diketahui bahwa diameter baut sangat mempengaruhi besarnya momen yang mampu di tahan oleh sambungan. Pada sambungan dengan tebal end-plate 16 mm, perubahan diameter baut 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm memberikan peningkatan nilai momen ultimate dan kapasitas rotasi yang signifikan dibandingkan dengan sambungan yang memiliki tebal end-plate 20 mm dan 25 mm. Pada sambungan dengan tebal end-plate 20 mm, perubahan diameter baut 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm memberikan peningkatan nilai

momen ultimate. Namun kapasitas rotasi tidak berubah pada sambungan ketika diameter baut diubah dari 16 mm menjadi 20 mm. Kapasitas rotasi meningkat ketika diameter baut diubah menjadi 20 mm.

Pada sambungan dengan tebal end-plate 25 mm, perubahan diameter baut 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm memberikan peningkatan nilai momen ultimate. Namun kapasitas rotasi menurun ketika diameter baut diubah dari 16 mm menjadi 20 mm dan meningkat tidak signifikan ketika diameter diubah menjadi 22 mm.

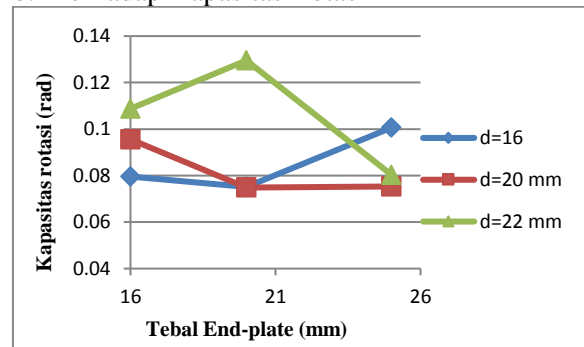
Pengaruh Tebal End-plate

a. Terhadap Momen Ultimate



Grafik 3. Pengaruh Tebal End-Plate Terhadap Momen Ultimate Sambungan

b. Terhadap Kapasitas Rotasi



Grafik 4. Pengaruh Tebal End-Plate Terhadap Kapasitas Rotasi Sambungan

Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa peningkatan tebal end-plate pada sambungan dengan diameter baut 16 mm, meningkatkan kapasitas momen ultimate sambungan. Kapasitas rotasi sambungan menurun namun tidak signifikan ketika tebal end-plate diubah dari 16 mm menjadi 20 mm dan meningkat ketika tebal end-plate diubah menjadi 25 mm.

Pada sambungan dengan diameter baut 20 mm, peningkatan tebal end-plate dari 16 mm menjadi 20 mm menghasilkan momen ultimate yang hampir sama dan kapasitas rotasi menurun. Momen ultimate meningkat tidak signifikan ketika tebal end-plate diubah dari 20 mm menjadi 25 mm dan kapasitas rotasi sambungan yang hampir tidak berubah.

Pada sambungan dengan diameter baut 22 mm, peningkatan tebal end-plate dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan kapasitas momen ultimate dan rotasi sambungan, namun menurun secara signifikan ketika tebal end-plate diubah dari 20 mm menjadi 25 mm. Hal ini disebabkan oleh kegagalan pada baut dengan kapasitas rotasi yang rendah dari sambungan.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Beberapa hal menjadi kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model elemen hingga yang diusulkan mempertimbangkan perilaku non-linearitas bahan dari struktur sehingga mendekati perilaku aktual. Kontak antara permukaan yang terkoneksi disimulasikan dengan baik.
2. Perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil yang diperoleh dari analisis model elemen hingga menunjukkan bahwa model numerik mampu mensimulasikan dan memprediksi, dengan keakuratan yang baik secara relatif, perilaku sambungan baut pelat ujung (end-plate). Perbandingannya meliputi kurva momen-rotasi dan bentuk geometri sambungan pada kondisi batas (beban ultimate).
3. Pada sambungan tipe *Flush End-plate* dengan tebal *end-plate* 16 mm, peningkatan diameter baut dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi secara signifikan masing-masing sebesar 29.1574 % dan 20.0745 %. Perubahan diameter baut 20 mm menjadi 22 mm meningkatkan momen ultimate dan kapasitas

rotasi masing-masing sebesar 13.9041 % dan 13.7144 %.

4. Pada sambungan tipe *Flush End-plate* dengan diameter baut 16 mm, peningkatan tebal *end-plate* dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan momen ultimate sebesar 14.657 % dan kapasitas rotasi menurun sebesar 5.649 %. Peningkatan tebal *end-plate* dari 20 mm menjadi 25 mm, meningkatkan momen ultimate dan kapasitas rotasi, masing-masing sebesar 14.122 % dan 33.951 %.
5. Pada sambungan tipe *Flush End-plate* dengan diameter baut 20 mm, peningkatan tebal *end-plate* dari 16 mm menjadi 20 mm tidak signifikan mempengaruhi momen ultimate sambungan yaitu meningkat sebesar 0.207 % sementara kapasitas rotasi menurun sebesar 21.69 %. Ketika tebal *end-plate* di ubah dari 20 mm menjadi 25 mm, momen ultimate meningkat sebesar 2.147 % sedangkan kapasitas rotasi hampir tidak berubah yaitu meningkat 0.573%.
6. Secara umum, perubahan diameter baut sangat mempengaruhi momen ultimate dari sambungan jika dibandingkan dengan pengaruh tebal *end-plate*. Dari perbandingan model yang dianalisis maka dapat disimpulkan bahwa pada ketebalan *end-plate* yang terlalu besar, kapasitas momen menurun dengan kapasitas rotasi yang rendah disebabkan oleh kegagalan putus di baut sementara *end-plate* berada pada kondisi belum mencapai titik leleh. Hal ini menyebabkan sambungan bekerja tidak efektif dan efisien.

### Saran

1. Melakukan analisis perilaku sambungan dengan memperhitungkan gaya pra-tarik baut (Bolt Pretension) pada badan baut untuk meningkatkan gaya jepit antara end-plate dan flens kolom.
2. Melakukan analisis terhadap batas tebal end-plate yang memungkinkan untuk menghindari keruntuhan getas pada baut dan menghasilkan sambungan yang daktail.
3. Melakukan analisis pengaruh parameter sambungan lainnya seperti pengaruh end-plate rib-stiffener dengan berbagai variasi sudut potongan rib-stiffener pada sambungan extended end-plate terhadap kapasitas momen ultimate dan rotasi sambungan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- AISC. 1994. *Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design, 2<sup>nd</sup> Edition*, Volume 2, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago
- Bhavikatti, S. S. 2005. *Finite Element Analysis*. New Age International Publisher.
- Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1995. "Disain dan Perilaku", Jilid 2-Edisi Pertama, Erlangga
- Dill, Ellis H. 2011. *The Finite Element Method for Mechanics of Solid with ANSYS Applications*. Advances in Engineering
- Erdogan M, Ibrahim G. 2015. *The Finite Element Method and Application in Engineering Using ANSYS. Second Edition*. Springer International Publishing 2015. London.
- Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. and Bijlaard. F.S.K., 2010. *Monotonic Loading Tests on Semi-Rigid End-plate Connections With Welded I-Shaped Columns And Beams*, Advances in Structural Engineering, 13(2), 215-230.
- Anonymous. ANSYS Mechanical APDL V.16 Material Reference