Available online at: http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB
Volume 06 Nomor 01
ISSN: 2302-8394 (print)

PERILAKU SAMBUNGAN END-PLATE PADA BALOK-KOLOM PORTAL BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA 3D

Faridha Hayati[1] dan Syahril Taufik[2]
[1]Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat
[2]Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University

ABSTRAK

Terjadinya deformasi pada sambungan endplate akibat dari beban terpusat ultimit yang diberikan pada ujung balok yang mampu ditahan sambungan, mengakibatkan terjadi tekuk lokal pada endplate dan flens kolom. Untuk menghindari hal tersebut maka dipasang pengaku agar tidak terjadi tekuk lokal. Metode yang digunakan dalam penelitian dengan Finite Element Analysis (FEA) menggunakan simpilfied 3D untuk validasi. FEA ANSYS diberikan pembebanan statis terpusat pada ujung balok arah vertikal kebawah pada tahapan validasi dan variasi permodelan. Model implementasi sambungan endplate dilakukan secara bertahap dengan memberikan variasi dalam tipe endplate, ketebalan dan mutu endplate, ketebalan flens kolom, ada tidaknya pengaku dan semi kontinyu komposit langsung menempel pada atas flens balok. Hasil FEA ANSYS menunjukan bahwa lendutan, momen-rotasi, dan tegangan, meningkat seiring meningkatnya ketebalan dan mutu endplate dan pengaku. Beban ultimit yang mampu ditahan oleh tipe EEP lebih besar 35% dengan tipe FEP. Sistem semi kontinyu komposit sambungan endplate dengan adanya pengaku pada tipe FEP meningkat sampai 2 kali lipat dari beban 152,0 kN menjadi 292,0 kN dengan sambungan endplate non komposit. Tipe EEP meningkat 25% akibat variasi semi kontinyu komposit dari beban 230,0 kN menjadi 306,1 kN dengan sambungan endplate non komposit. Kapasitas momen tipe EEP dengan adanya pengaku pada flens kolom menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 48% dari beban 172,0 kN menjadi 254,0 kN. Tipe FEP dengan adanya pengaku pada flens kolom menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 25% dari beban 121,0 kN menjadi 152,0 kN. Momen kurvatur daktilitas dengan meningkatkan mutu endplate pada tipe EEP lebih efektif karena kemampuan dalam menahan beban ultimit meningkat 13% dari 130,0 kN menjadi 150,0 kN dengan tipe FEP. Nilai indeks ketahanan tipe EEP sebesar 1330,077 lebih besar 14% dari tipe FEP sebesar 1147,255. Dengan demikian, tipe EEP dengan meningkatkan mutu endplate menggunakan SCC lebih kuat dalam menahan beban ultimit dan bersifat lebih daktail.

Kata kunci: e*xtended end plate, flush end plate,* pengaku, semi kontinyu komposit, FEA

1 PENDAHULUAN

Suatu struktur baja tidak terlepas dari elemen-elemen seperti balok dan kolom yang harus disambung. Sambungan merupakan bagian terlemah dari struktur baja. Kegagalan struktur baja dapat terjadi pada sambungan ataupun komponen penyambung. Daya tahan dari sambungan balok-kolom merupakan hal yang menjadi perhatian utama pada penelitian ini. Dalam struktur baja untuk portal, sambungan lebih bersifat semi kaku (semi rigid connection) karena selalu ada deformasi elastis pada sambungan yang menggunakan baut sehingga sifat kaku sempurna tidak tercapai (Arifwan, 2007).

Penelitian eksperimental di laboratorium dengan memberikan pembebanan terpusat pada ujung balok hingga mendapatkan kondisi beban mencapai beban ultimit menggunakan sambungan tipe Extended End Plate (EEP). Hasil yang didapat yaitu terjadinya deformasi pada sambungan endplate akibat dari beban ultimit yang mampu ditahan sambungan sehingga mengakibatkan terjadi tekuk lokal pada *endplate* dan *flens* kolom (Tahir dan Hussein, 2008). Pada penelitian ini melanjutkan penelitian Tahir dan Hussein (2008) dengan menganalisis beban ultimit pada program komputasi sampai mencapai kondisi softening pada profil yang sama. Selanjutnya

Correspondence: Faridha Hayati
Email: faridhahayati@yahoo.com

memenambahkan pengaku pada *flens* kolom akibat terjadi tekuk lokal pada *endplate* dan flens kolom.

Perilaku sambungan Flush dan Extended End Plate Beam to Column dalam penelitian terdahulu menggunakan bantuan program komputasi (Shaker dan Elrahman, 2014). Konfigurasi baut pada tipe Flush End Plate (FEP) menggunakan 6 buah baut dan tipe EEP menggunakan 8 buah baut dengan ketebalan endplate yang sama. Pembebanan yang diberikan adalah beban terpusat pada ujung balok arah vertikal ke bawah. Hasil momen rotasi pada tipe FEP lebih kecil dibandingkan dengan tipe EEP. Menganalisis sambungan endplate pada tipe FEP dan EEP dengan variasi mengurangi jumlah baut masing-masing 2 buah baut merupakan lanjutan dari penelitian Shaker dan Elrahman (2014) yang akan dilakukan pada penelitian ini.

Numerical Modelling of Semi-continuous Composite Connection merupakan penelitian terdahulu dengan bantuan program komputasi. Semi-kontinyu komposit diatas balok baja menggunakan deck baja gelombang (metal decking) pada sambungan tipe FEP dengan 8 buah baut. Pada *flens* kolom dimodelkan dengan pengaku untuk menghindari tekuk yang terjadi pada *endplate* dan *flens* kolom. Permodelan menggunakan simplified shell elemen dan *spring elemen* sebagai model pendekatan mengunakan baut. Hasil penelitian bahwa pengaruh ketebalan endplate sangat signfikan terhadap kekakuan sambungan (Taufik dan Xiao, 2007). Penelitian ini dilanjutkan dengan menganalisis semi-kontinyu komposit pendekatan *modelling* menggunakan 3D shell elemen pada tipe FEP dan EEP dengan variasi tanpa menggunakan deck baja gelombang. Posisi semi-kontinyu komposit langsung menempel pada flens atas balok dan menggunakan jumlah baut masing-masing 6 buah baut.

Permodelan yang dilakukan pada penelitian akan terlihat perilaku tekuk yang terjadi pada sambungan *endplate* pada balok-kolom. Bentuk profil yang terjadi setelah diberikan beban hingga mencapai beban ultimit hingga softening juga dilakukan pada penelitian ini. Pengaruh mutu dan ketebalan endplate serta konfigurasi baut juga dikombinasikan pada penelitian ini. Selain itu juga dikombinasikan dengan ada dan tidaknya pengaku pada sambungan. Sampai mendapatkan daktilitas momen kurvatur pada system kontinyu komposit yang terjadi pada sambungan balok-kolom portal baja. Hal tersebut diatas akan dianalisa dengan melakukan penelitian melalui modelling dengan bantuan program komputasi dengan *Finite Element Analysis* (FEA).

Sambungan semi kaku (*semi rigid connection*) mempunyai fleksibilitas sambungan yang dapat disesuaikan. Penggunaan detail baut tidak terlalu rumit karena dikombinasi dengan penggunaan sambungan las, sehingga mudah dalam pelaksanaan dan lebih ekonomis dalam penggunaan baut. Untuk penelitian ini, sambungan semi kaku yang digunakan yaitu tipe EEP dan FEP. Pemilihan tipe tersebut berdasarkan tipe sambungan yang sering diaplikasikan untuk konstruksi portal baja (*steel frame*).

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara permodelan sambungan endplate pada balok-kolom portal baja. Model sambungan *endplate* menggunakan analisis metode elemen hingga FEA dengan bantuan program komputasi. Analisis pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas momen dan perilaku tekuk lokal yang terjadi dari sambungan endplate pada balok-kolom.

Model sambungan endplate menggunakan analisis metode elemen hingga dengan bantuan software komputer dilakukan penyederhanaan. Hal ini dikarenakan kapasitas komputer yang digunakan untuk pemrosesan program. Tipe material model sambungan endplate yang digunakan yaitu 4node SHELL143. Permodelan yang dilakukan adalah memodelkan sambungan endplate tipe EEP berdasarkan data yang digunakan pada eksperimental terdahulu sesuai dengan pengujian di laboratorium (Tahir dan Hussein, 2008). Dimensi balok-kolom yang digunakan yaitu baja profil WF 450.200.8.12 dan WF 250.250.11.11.

Hasil analisis selanjutnya akan dilakukan validasi dengan model eksperimental terdahulu. Proses validasi yaitu membandingkan hasil analisis metode elemen hingga menggunakan bantuan program komputasi dengan hasil eksperimental uji di laboratorium. Tingkat kesalahan (error) maksimal 2,00% dari hasil analisis, jika error lebih besar dari 2,00% maka dilakukan cek kembali terhadap model sambungan *endplate* pada program komputasi.

Penelitian dilakukan mulai dari merumuskan masalah dan tujuan dilanjutkan dengan kajian pustaka yang berisi landasan teori dan hasil eksperimental terdahulu. Selanjutnya dilakukan pendekatan sistem 3D solid model dengan simplified menjadi 3D shell model. Sambungan baut disederhanakan dengan elemen tipe COMBIN39 Untuk melakukan validasi secara FEA dan manual. Permodelan validasi menggunakan input data dari Tahir dan Hussien (2008). Nilai momen-rotasi FEA mendekati sama dengan momen-rotasi eksperimental. Jika tingkat kesalahan kurang dari 2,00% maka bisa dilanjutkan dengan permodelan FEA. Jika tingkat kesalahan lebih dari 2,00% maka kembali ke pendekatan sistem.

Permodelan FEA dengan bantuan program komputasi dilakukan dalam 5 (lima) tahap pengujian. Pengujian tahap I tipe EEP tanpa pengaku, pengujian tahap II tipe EEP dengan pengaku. Pengujian tahap III tipe FEP tanpa pengaku, pengujian tahap IV tipe EEP dengan pengaku. Variasi dalam pengujian tahap I sampai dengan tahap IV yaitu ketebalan endplate 15 mm, ketebalan *flens* kolom 12 mm, ketebalan endplate 17 mm dan mutu *endplate* 351 MPa. Pengujian tahap V tipe EEP dan FEP dengan pengaku menggunakan sistem semi-kontinyu komposit, variasi dalam pengujian tahap V yaitu ketebalan *endplate* 17 mm dengan mutu endplate 351 MPa dan ketebalan *endplate* 17 mm dengan mutu *endplate* 700 MPa.

Plot displacement dan tegangan yang terjadi pada sambungan akibat diberikan pembebanan statis terpusat diujung balok. Hasil dari analisis dilakukan perhitungan mmen-rotasi, syarat beban yang diberikan hingga mencapai beban ultimit dan tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan ultimit. Jika sesuai persyaratan selanjutnya dibuat hasil dan pembahasan dengan *curve fitting*, dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dan saran, penelitian selesai.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan Tahap I sampai dengan Tahap V maka dapat disimpulakan pada Tabel 1 berikut.

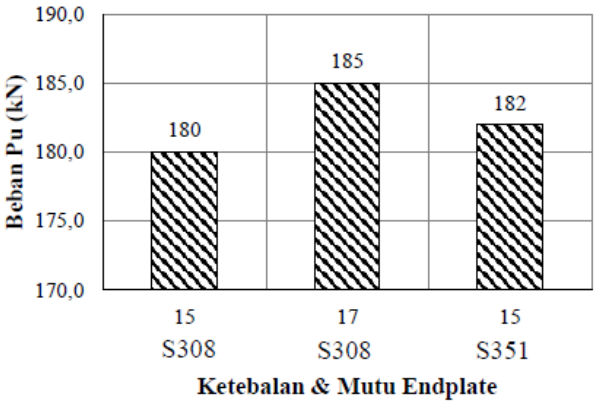
Tabel 1. Hasil Pengujian Tahap I sampai dengan Tahap V

No.	Kode Model	Beban P_u (kN)	Rotasi θ (m.rad)	Momen M_u (kN.m)	Tegangan σ_u (MPa)
Pengujian Tahap I					
1	FH-*EEP*-15-308-11-O	172,0	97,65	223,60	502,165
2	FH-*EEP*-15-308-12-O	180,0	95,18	234,00	488,072
3	FH-*EEP*-17-308-12-O	185,0	94,25	240,50	512,025
4	FH-*EEP*-15-351-12-O	182,0	93,42	236,60	753,090
Pengujian Tahap II					
1	FH-*EEP*-15-308-11-S	254,0	14,97	330,20	526,457
2	FH-*EEP*-15-308-12-S	254,5	13,18	330,85	510,308
3	FH-*EEP*-17-308-12-S	230,0	10,42	299,00	502,909
4	FH-*EEP*-15-351-12-S	260,5	13,85	338,65	531,050
Pengujian Tahap III					
1	FH-*FEP*-15-308-11-O	110,0	97,11	143,00	508,455
2	FH-*FEP*-15-308-12-O	115,0	90,49	149,50	502,643
3	FH-*FEP*-17-308-12-O	120,0	96,66	156,00	508,035

Tabel 1 (lanjutan)

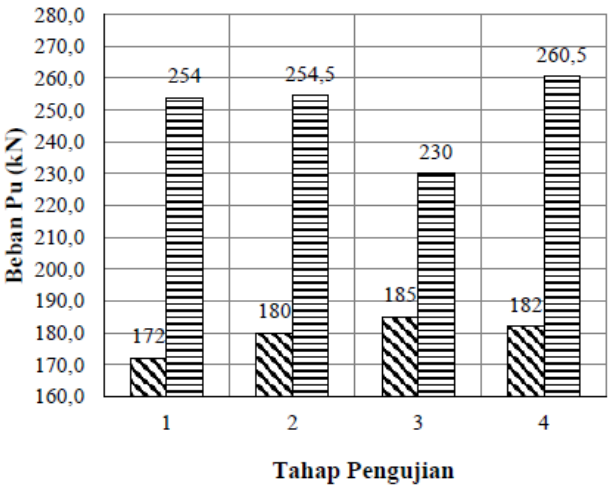
No.	Kode Model	Beban P_u (kN)	Rotasi θ (m.rad)	Momen M_u (kN.m)	Tegangan σ_u (MPa)
4	FH-*FEP*-15-351-12-O	121,0	99,36	157,30	508,515
Pengujian Tahap IV					
1	FH-*FEP*-15-308-11-S	130,0	82,22	169,00	487,491
2	FH-*FEP*-15-308-12-S	150,0	99,47	195,00	436,711
3	FH-*FEP*-17-308-12-S	152,0	100,04	197,60	437,081
4	FH-*FEP*-15-351-12-S	152,0	100,89	197,60	666,650
Pengujian Tahap V					
1	FH-EEP-17-355-12-S-SCC	306,1	27,60	397,90	551,817
2	FH-EEP-17-700-12-S-SCC	346,0	33,48	449,80	786,387
3	FH-FEP-17-351-12-S-SCC	292,8	57,08	380,60	698,002
4	FH-FEP-17-700-12-S-SCC	326,0	58,88	423,85	856,243

Berdasarkan Tabel 1 diatas, diketahui Variasi ketebalan endplate mempengaruhi kekuatan sambungan pada tipe EEP tanpa pengaku. Ketebalan endplate optimum dalam menahan beban adalah 17 mm seperti terlihat pada Gambar 1. Ketebalan yang lebih rendah akan mengurangi kekuatan pada sambungan, akan mengakibatkan buckling pada bagian *flens* kolom dan *endplate* di bagian atas terutama pada daerah baut yang mengalami tekanan akibat pembebanan dan mengakibatkan lendutan arah vertikal (UY) yang lebih besar pada struktur.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan & Mutu *Endplate* tipe EEP

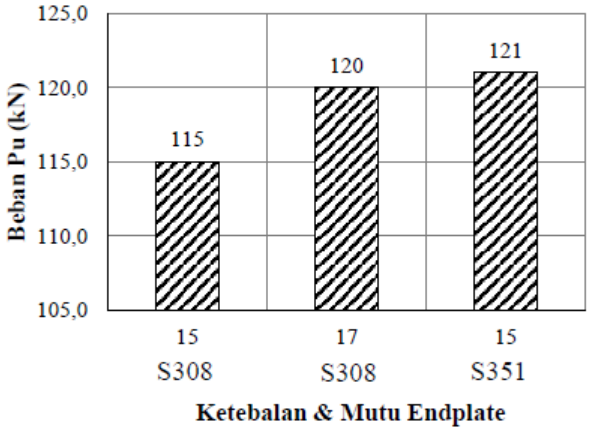
Selain itu, variasi dengan adanya pengaku pada flens kolom tipe EEP menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 48% dari beban 172,0 kN menjadi 254,0 kN dibandingkan dengan tidak adanya pengaku, dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Keterangan : ▨ ada pengaku; ⊟ tidak ada pengaku

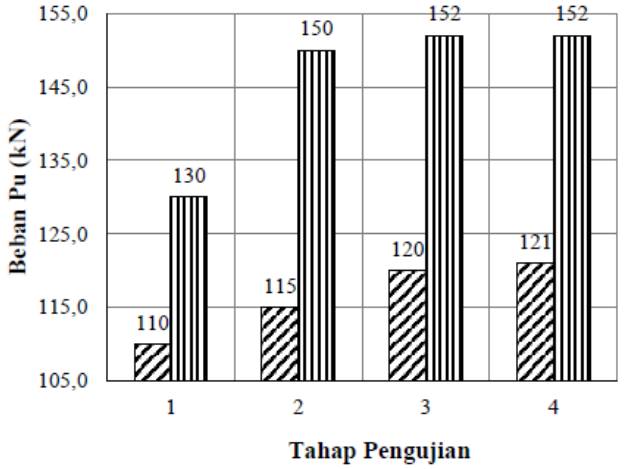
Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan & Mutu *Endplate* tipe EEP

Adapun variasi ketebalan endplate mempengaruhi kekuatan sambungan pada tipe FEP. Ketebalan endplate optimum dalam menahan beban adalah 17 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Ketebalan yang lebih rendah akan mengurangi kekuatan pada sambungan, akan mengakibatkan buckling pada bagian flens kolom dan endplate di bagian atas terutama pada daerah baut yang mengalami tekanan akibat pembebanan dan mengakibatkan lendutan arah vertikal (UY) yang lebih besar pada struktur.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan & Mutu *Endplate* tipe FEP

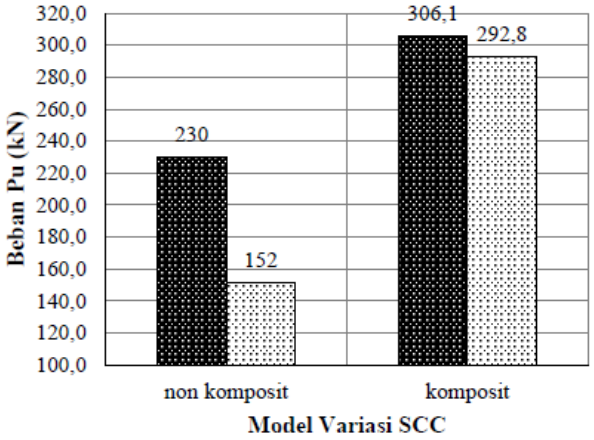
Sedangkan variasi dengan adanya pengaku pada *flens* kolom tipe FEP menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 25% lipat dari beban 121,0 kN menjadi 152,0 kN dibandingkan dengan tidak adanya pengaku, dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Keterangan : ada pengaku; tidak ada pengaku

Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Pengaku pada tipe FEP

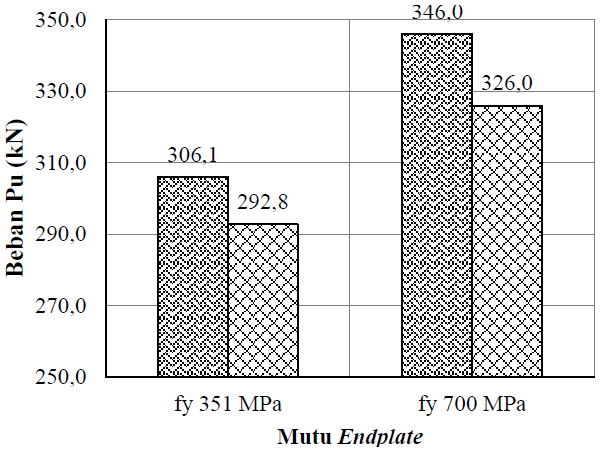
Variasi dengan sistem semi kontinyu komposit digunakan pada ketebalan endplate optimum adalah 17 mm dengan masing-masing tipe endplate yaitu EEP dan FEP dengan menaikkan mutu endplate. Tipe EEP menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 25% dari beban 230,0 kN menjadi 306,1 kN dibandingkan dengan tidak adanya semi kontinyu komposit. Tipe FEP menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 2 kali lipat dari beban 152,0 kN menjadi 292,0 kN dibandingkan dengan tidak adanya semi kontinyu komposit pada Gambar 5 berikut.



Keterangan : EEP; FEP

Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi SCC

Kemudian dengan meningkatkan mutu endplate maka menambah kemampuan dalam menahan beban pada Gambar 6 berikut.



Keterangan : EEP; FEP

Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Mutu Endplate pada SCC

Adapun data non linier momen rotasi untuk model dengan adanya pengaku dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan menggunakan metode *curve fitting analitycal model for moment-rotation*. Perhitungan dengan metode tersebut ditabelkan pada Tabel 2 dan 3 berikut.

Tabel 2. Power Model tipe EEP dengan pengaku

Kode Model	R_{ki} (kN.m/rad	M_{uc} (kN.m	n	q
FH-*EEP*-15-308-11-S	48,719	6,77	0,890	0,996
FH-*EEP*-15-308-12-S	50,135	6,59	0,877	0,996
FH-*EEP*-17-308-12-S	55,970	5,34	0,862	0,996
FH-*EEP*-15-351-12-S	50,759	6,67	0,883	0,996
FH-EEP-17-315-12-S-SCC	208,427	340,00	1,098	1,157
FH-EEP-17-700-12-S-SCC	208,140	450,00	1,192	1,234

dimana:

$$M = \frac{R_{ki} \cdot \theta}{\left(1 + \frac{\theta}{\theta_o}\right)^n}$$

Tabel 3. Power Model tipe FEP dengan pengaku

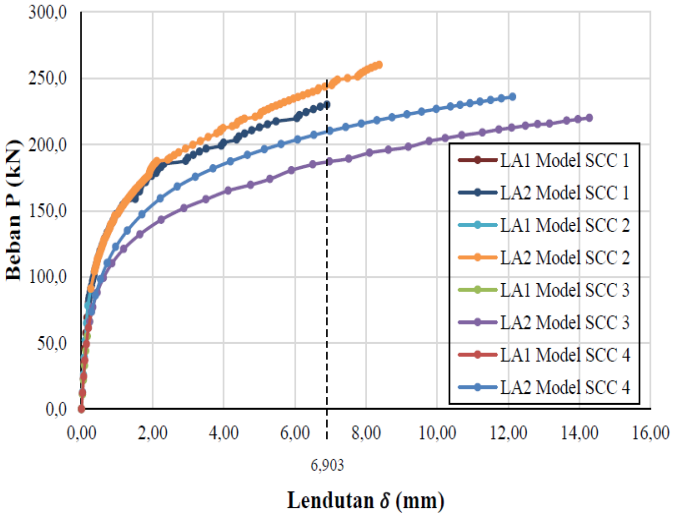
Kode Model	R_{ki} (kN.m/rad	M_{uc} (kN.m	n	q
FH-*EEP*-15-308-11-S	8,000	169,00	1,094	1,275
FH-*EEP*-15-308-12-S	8,450	197,00	1,006	1,134
FH-*EEP*-17-308-12-S	8,450	198,00	1,045	1,185
FH-*EEP*-15-351-12-S	12,860	338,70	1,089	1,268
FH-EEP-17-315-12-S-SCC	80,000	350,00	1,123	1,187
FH-EEP-17-700-12-S-SCC	90,000	426,00	0,978	1,005

dimana:

$$M = \frac{R_{ki} \cdot \theta}{\left(1 + \frac{\theta}{\theta_o}\right)^n}$$

Dari Tabel 2 dan 3 tersebut, dapat disimpulkan bahwa inisial kekakuan sambungan (R_{ki}) lebih besar dengan tipe sambungan EEP dibandingkan dengan tipe sambungan FEP, sehingga dapat disimpulkan bahwa tipe sambungan EEP lebih kaku.

Untuk daktilitas momen kurvatur pada sambungan dengan variasi SCC dilakukan perhitungan indeks ketahanan pada luas daerah di bawah kurva grafik hubungan antara beban P (kN) dengan lendutan δ (mm). Data yang diperoleh dari hasil percobaan diplotkan pada grafik dan dicari regresinya. Hasil dari regresi merupakan persamaan dengan L_{A1} merupakan kondisi liniear dengan batas bawah 0 dan batas atas pada kondisi leleh. L_{A2} kondisi nonliniear dengan batas bawah pada kondisi leleh dan batas atas dilihat dari grafik dengan nilai lendutan terkecil adalah 6,903 pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Gabungan Permodelan dengan Variasi SCC

Adapun momen kurvatur daktilitas pada Sistem Semi-Kontinyu Komposit dapat disimpulkan pada Tabel 4 berikut.

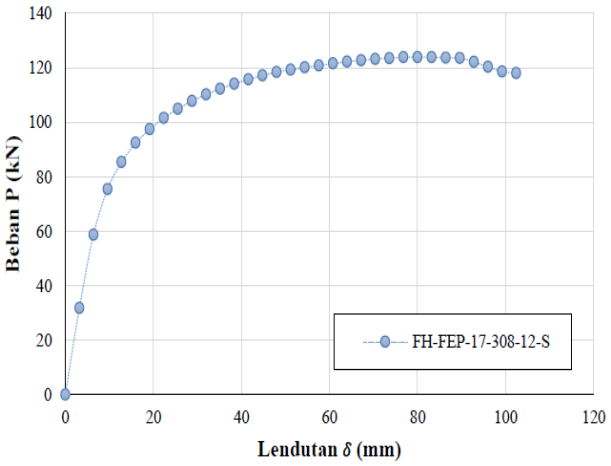
Tabel 4. Momen Kurvatur Daktilitas Pada Sistem Semi-Kontinyu Komposit

Kode Model	P_u	L_{A1}	L_{A2}	*Toughness Index* $TI = L_{A1} + L_{A2}$
FH-EEP-17-315-12-S-SCC	130,00	9,285	1.268,00	1277,285
FH-EEP-17-700-12-S-SCC	150,00	14,077	1.316,00	1330,077
FH-FEP-17-315-12-S-SCC	152,00	8,555	1.020,00	1028,555
FH-FEP-17-700-12-S-SCC	152,00	12,255	1.135,00	1147,255

Berdasarkan Tabel 4 tersebut dapat diketahui bahwa:

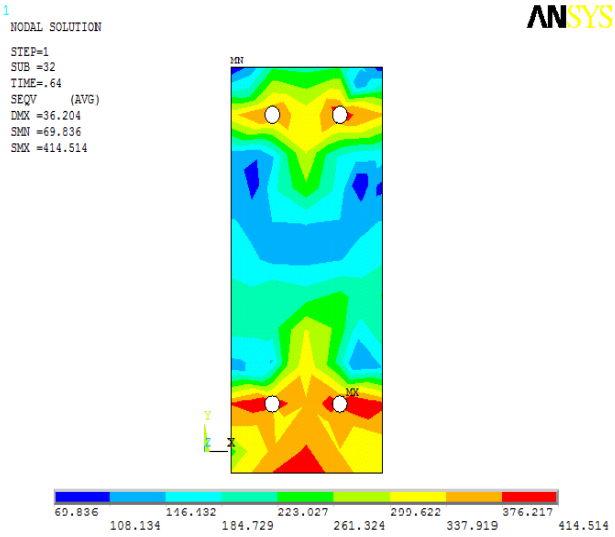
a. tipe sambungan EEP dengan meningkatkan mutu *endplate* maka beban ultimit yang mampu ditahan oleh sambungan meningkat 13% dari 130,0 kN menjadi 150,0 kN. Nilai indeks ketahanan meningkat 5% dari 1277,285 menjadi 1330,077 sehingga kondisi sambungan dalam menahan beban bersifat daktail.
b. tipe sambungan FEP pada pengujian dengan meningkatkan mutu endplate maka beban ultimit yang mampu ditahan oleh sambungan tidak terjadi peningkatan. Nilai indeks ketahanan meningkat 11% dari 1028,555 menjadi 1147,255 sehingga kondisi sambungan dalam menahan beban bersifat daktail, hasil tersebut memiliki tren yang sama dengan penelitian Taufik dan Xiao (2007).
c. peningkatan mutu endplate pada pengujian tipe sambungan EEP lebih efektif karena kemampuan dalam menahan beban ultimit meningkat 13% dari 130,0 kN menjadi 150,0 kN dibandingkan dengan tipe sambungan FEP. Nilai indeks ketahanan pada tipe sambungan EEP sebesar 1330,077 lebih besar 14% dibandingkan dengan tipe sambungan FEP dengan nilai indeks ketahanan 1147,255. Dengan demikian, tipe sambungan EEP dengan meningkatkan mutu endplate menggunakan SCC lebih kuat dalam menahan beban ultimit dan bersifat lebih daktail.

Selanjutnya, model tipe FEP dengan menggunakan pengaku dilakukan pengujian terhadap kondisi softening, beban yang diberikan berupa beban displacement pada ujung balok. Hasil dari pemrosesan program dapat dilihat pada grafik beban vs lendutan pada Gambar 8 berikut.

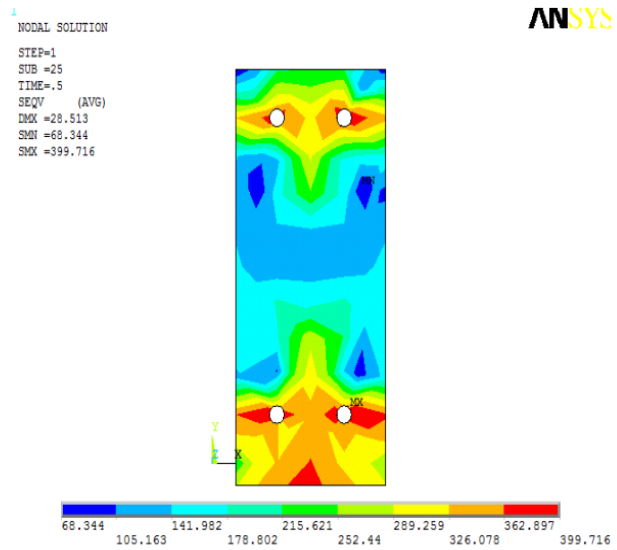


Gambar 8. Grafik Beban vs Lendutan pada Model FEP

Berdsarkan pemrosesan program pada Gambar 7 tersebut, memberikan hasil berupa beban maksimal sebesar 123.970 N dan terjadi pada saat lendutan sebesar 80,0 mm. Stress contour endplate pada saat ultimit dan rupture secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10 berikut.



Gambar 9. *Stress Contour Endplate* pada saat ultimit



Gambar 10. *Stress Contour Endplate* pada saat *rupture*

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 tersebut, *stress contour endplate* pada saat kondisi ultimit dengan nilai tegangan sebesar 414,514 MPa dan pada saat kondisi *rupture* dengan nilai tegangan sebesar 399,716 MPa.

4 KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian analisis model 3D simplified dengan FEA ANSYS diperoleh perilaku sambungan balok-kolom terhadap variasi dalam pengujian Tahap I sampai dengan Tahap V adalah sebagai berikut:

1. Beban ultimit yang mampu ditahan oleh tipe EEP lebih besar 35% dengan tipe FEP. Sistem semi kontinyu komposit sambungan endplate dengan adanya pengaku pada tipe FEP meningkat sampai 2 kali lipat dari beban 152,0 kN menjadi 292,0 kN dengan sambungan endplate non komposit. Tipe EEP meningkat 25% akibat variasi semi kontinyu komposit dari beban 230,0 kN menjadi 306,1 kN dengan sambungan endplate non komposit.
2. Perilaku tekuk lokal (local buckling) yang terjadi di daerah sambungan pada bagian flens kolom yang mengalami beban ultimit terjadi pada endplate tanpa pengaku, namun dapat dihindari dengan memasang pengaku pada flens kolom minimal pada bagian sejajar flens atas balok.
3. Kapasitas momen tipe EEP dengan adanya pengaku pada flens kolom menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 48% dari beban 172,0 kN menjadi 254,0 kN. Tipe FEP dengan pengaku pada flens kolom menambah kekuatan pada sambungan dalam menahan beban 25% dari beban 121,0 kN menjadi 152,0 kN.
4. Momen kurvatur daktilitas dengan meningkatkan mutu endplate pada tipe EEP lebih efektif karena kemampuan dalam menahan beban ultimit meningkat 13% dari 130,0 kN menjadi 150,0 kN dengan tipe FEP. Nilai indeks ketahanan tipe EEP sebesar 1330,077 lebih besar 14% dari tipe FEP sebesar 1147,255. Dengan demikian, tipe EEP dengan meningkatkan mutu endplate menggunakan SCC lebih kuat dalam menahan beban ultimit dan bersifat lebih daktail.

DAFTAR RUJUKAN

ANSYS, Realease 9.0. 2007. *Programmer's Manual for ANSYS Incorporations and ANSYS Europe, Ltd.*

Arifwan, Dian Sukma. 2007. *Analisis Sambungan Portal Baja Antara Balok dan Kolom Dengan Menggunakan Baut dan Las*. Medan: Universitas Sumatra Utara

Barlat, F. 2012. *Constitutive Modeling for Metals, Alloy Technology and Materials Research Division.* Alcoa Inc., Alcoa Technical Center.

Christoper, RJ. 1964. *Calibration of Alloy Steel Bolts,* Master of Sience Thesis, Lehigh University.

Chandrupatla, Tirupathi R. dan Belegundu Ashok D. 1997. *Introduction to Finite Elements in Engineering Second Edition*. United Sates of America: Prentice Hall.

ESDEP. 1994. The European Steel Design Education Programme. ESDEP Working Group.

Ford, H. 1963. *Advanced Mechanics of Materials. London*: Longmans, Green and Co. LTD.

Galambos, Theodore V., F. J. Lin dan B. G. Johnston. 1995. *Basic Steel Design with LRFD*. Prentice Hall, ISBN-13: 978-0130595775.

Hutton, D. V. 2004. *Fundamentals of Finite Element Analisys*. New York: The McGraw-Hill Companies.

Keszult, Hogyan. 2002. *Semi Rigid Connections in Steel Construction*. Chapter 9.

Murray, Thomas M. dan A. E. Sumner. 2004. Extended End-Plate Momen Connections. http://203.158.253.140/media/eBook/Engineer/Structural/Steel.designer.guide.Extended.End-Plat.Moment.Connections.pdf, diakses tanggal 1 Maret 2012).

Park, R., Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. Jhon Wiley & Sons. Inc. Salmon, C. G. dan John E. J. 1991. Struktur Baja Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Strutur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.

Shaker, Fattouh M.F. dan Elrahman, Waseem M. Abd. 2014. Behavior of Flush and Extended End-Plate Beam-To-Column Joint under Bending and Axial Force. *World Applied Sciences Journal* 30 (6): 685-695.

SNI. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002*.

Stolarki, T., Nakasone, Y., Yoshimoto, S. 2006. *Engineering Analysis With Ansys Software*. Elsevier Butterworth.

Swanson , J., A. 2004. *ANSYS 9.0 Manual*, ANSYS Inc. And ANSYS Europe, Ltd.

Tahir, Mahmood Md dan Hussein, Md Azman. 2008. Experimental Tests on Extended End-Plate Connectionswith Variable Parameters, *Steel Structures* 8. 369-381. Johor, Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.

Taufik, S. dan Xiao R.Y. 2007. *Numerical Modelling of Semi-continuous Composite Connection with High Strength Steel*, Civil-Comp Press. Paper 153.

Taufik, S. 2008. *Behaviour of Bolted Connection with High Strength Steel and Stainless Steel*. Swansea: School of Engineering Swansea University Singleton Park, PhD Dissertation.

Taufik, S., Baharom S. dan Xiao R.Y. 2009. Computational Frame Analysis of Partially Restrained Connection with Strain Softening Effect. *Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. Civil-Comp Press.Paper 136.

Taufik, S., Baharom S. dan Xiao R.Y. 2011. Predicted Behaviour of Partially Restrained Connection with Cold Formed High Strength Steel by 3D Finite Element Modelling, *Advanced Materials Research* Vols. 250-253 pp 1734-1743.

Taufik, S. 2012. *Curve Fitting, Bahan Kuliah Metode Numerik Terapan*. Banjarmasin: Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Taufik, S. 2013. Numerical Modelling of Semi-rigid Connection with High Strength Steel, *Study of Civil Engineering and Architechture (SCEA)* Volume 2 Issue 2.

Udomphol, T. 2007. *Elements of The Theory of Plasticity*. Suranaree University Of Technology.

Wald F. dan Steenhuis M. 1993. The Beam to Column Bolt Joint Stiffness According to Eurocode 3. *Proceedings of Workshop 1992-COST CI*, Strasbourg, pp. 503-516).

Wikipedia. 2014, Juli 12. *Curve_fitting*. Diambil kembali dari http://en.wikipidia.org/wiki/Curve_fitting