

## PENGARUH VARIASI PANJANG PELAT PENGAKU FLUSH END PLATE TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN BALOK KE BALOK

Juan Gerard Tawoeda

Banu Dwi Handono, Jorry D. Pangouw

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [juantawoeda@gmail.com](mailto:juantawoeda@gmail.com)

### ABSTRAK

*Konstruksi baja memiliki elemen-elemen yang harus disambung satu per satu hingga membentuk kesatuan struktur. Salah satu sambungan baja yang digunakan dalam menghubungkan balok anak ke balok induk adalah sambungan flush end plate. Sambungan ini menggunakan pelat pengaku (stiffener) yang berpengaruh terhadap kekuatan sambungan dan lendutan yang terjadi pada balok anak. Perilaku sambungan dimodelkan dengan data-data yang sesuai dengan perencanaan desain. Balok induk menggunakan profil WF 400x200 sedangkan balok anak menggunakan profil WF 350x175. Pada variasi panjang stiffener menggunakan perbandingan antara panjang stiffener yang akan dipasang dengan tinggi web balok induk. Rasio panjangnya adalah 0, 0.25, 0.5, 0.75 dan 1. Pemodelan sambungan dianalisis dengan program ANSYS Workbench Mechanical APDL Solver sebagai 3D-FEM untuk mendapatkan data tegangan, regangan dan lendutan akibat pengaruh variasi panjang stiffener. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan rasio stiffener yang dipasang pada sambungan flush end plate balok ke balok akan meningkatkan pula kapasitasnya mulai dari 21.495 % hingga 46.413 %. Pertambahan panjang stiffener juga mengakibatkan jumlah tegangan, regangan dan lendutan berkurang. Dengan demikian pengaruh eksistensi dan pertambahan panjang stiffener harus diperhatikan untuk mendapatkan kapasitas sambungan yang optimal.*

**Kata Kunci:** Flush End Plate, Stiffener, Finite Element Method, ANSYS

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang

Saat ini perkembangan dunia teknologi semakin pesat dalam berbagai bidang, salah satunya adalah bahan konstruksi. Bahan konstruksi merupakan komponen utama dalam membangun suatu struktur sehingga dapat terpenuhinya rancangan struktur yang sesuai. Pemilihan bahan konstruksi juga diperlukan untuk mendapatkan struktur yang kuat dan efisien.

Salah satu bahan konstruksi yang sangat marak digunakan saat ini adalah baja. Baja merupakan bahan konstruksi yang kuat, memiliki dimensi yang lebih kecil sehingga lebih ringan dibandingkan beton, serta memiliki sifat yang daktail. Baja sering digunakan pada struktur rangka atap, kolom maupun balok. Pada proses pengerjaan-pun struktur baja lebih mudah dikerjakan daripada beton. Namun struktur baja memiliki komponen sambungan yang harus didesain sedemikian rupa agar tiap elemen dapat menyalurkan beban dengan baik sampai pada pondasi. Sistem sambungan yang baik akan mengoptimalkan kekuatan masing-masing

elemen yang akan disambung sehingga mengurangi resiko terjadinya kegagalan struktur.

Sambungan balok ke balok merupakan salah satu sambungan yang berperan penting dalam memikul pembebanan yang terjadi pada suatu struktur. Sambungan tersebut biasanya didesain sebagai sambungan yang memikul gaya geser akibat beban yang diberikan pada pelat lantai. Salah satu sambungan balok ke balok yang sering digunakan saat ini adalah tipe sambungan *flush end plate*. Sambungan ini dimodelkan agar dapat menyalurkan beban dengan baik dari balok anak terhadap balok induk.

Sistem sambungan balok ke balok ini dinamakan sambungan *flush end plate* karena dimensi panjang dan lebarnya sama dengan dimensi tinggi dan lebar pada balok anak. Sambungan ini terdiri dari elemen yang akan disambung, pelat penyambung atau pelat akhir (*end plate*), *lateral plate*, pelat pengaku (*stiffener*) dan baut. Pelat akhir (*end plate*) adalah pelat baja yang berada pada ujung balok anak yang akan disambung. *Lateral plate* adalah pelat penahan lateral yang berada diantara flange bagian atas dan bawah balok induk. Sedangkan

pelat pengaku (*stiffener*) digunakan sebagai pengaku pada *lateral plate* dengan web balok induk. Baut digunakan sebagai penyambung antara *end plate* balok anak dan *lateral plate* pada balok induk.

### Rumusan Masalah

Desain panjang pelat pengaku (*stiffener*) pada sambungan balok ke balok dengan *flush end plate* akan mempengaruhi kekuatan sambungan tersebut. Untuk itu, perlu dilakukan analisis terhadap pengaruh eksistensi *stiffener* pada kekuatan sambungan. Variasi dalam desain sambungan ini mulai dari analisa panjang *stiffener* nol (tanpa *stiffener*) sampai panjang penuh pelat *stiffener*.

### Batasan Masalah

Agar masalah yang dibahas mengarah pada tujuan dan juga keterbatasan literatur serta untuk mempermudah analisa, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut.

- 1) Tipe sambungan yang dianalisis hanya merupakan sambungan tipe geser.
- 2) Beban yang bekerja adalah beban *force* pada seluruh permukaan *flange* balok anak dengan jumlah beban yang dimisalkan.
- 3) Panjang bentang balok anak 9m.
- 4) Hanya menggunakan profil baja WF BJ 37.
- 5) Balok induk menggunakan profil 400x200.
- 6) Balok anak menggunakan profil 350x175.
- 7) Analisis sambungan menggunakan program ANSYS 17.2 *Workbench*
- 8) Menggunakan tebal *endplate* yang sama dengan tebal *lateral plate* dan tebal *stiffener* (10mm).
- 9) Ukuran panjang *stiffener* menggunakan rasio antara panjang *stiffener* dan tinggi web balok induk. Variasi Panjangnya adalah sebagai berikut:
  - Rasio 0 (tanpa *stiffener*)
  - Rasio 0.25
  - Rasio 0.5
  - Rasio 0.75
  - Rasio 1 (panjang penuh pada web balok)
- 10) Menggunakan baut A325 (20mm).
- 11) Jumlah baut 4 buah.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh eksistensi dan variasi panjang pelat pengaku (*stiffener*) terhadap

kekuatan sambungan balok ke balok dengan *flush end plate*, serta mengetahui pengaruhnya terhadap lendutan yang terjadi pada balok anak.

### Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengembangkan pengetahuan tentang pengaruh panjang pelat pengaku (*stiffener*) terhadap kekuatan sambungan baut *flush end plate* dari balok ke balok.
- 2) Memahami penggunaan *software* ANSYS terhadap analisis sambungan balok ke balok.
- 3) Dapat dikembangkan pada tahap variasi elemen lainnya

## LANDASAN TEORI

### Balok

Balok adalah suatu batang struktural yang menerima beban tegak lurus sumbu memanjang batang dan bekerja secara transversal terhadap tumpuannya. Balok biasanya berbentuk panjang, lurus seperti prisma. Balok baja menopang dek baja atau papan beton pracetak. Balok dapat ditopang oleh balok induk (*girder*), kolom, atau dinding penopang beban. (Beer, 1996)

Karena baja struktural sulit dikerjakan lokasi (*on-site*) maka biasanya dipotong, dibentuk, dan dilubangi dalam pabrik sesuai spesifikasi disain. Hasilnya berupa konstruksi rangka struktural yang relatif cepat dan akurat. Baja struktural dapat dibiarkan terekspos pada konstruksi tahan api yang tidak terlindungi, tapi karena baja dapat kehilangan kekuatan secara drastis karena api, pelapis anti api dibutuhkan untuk memenuhi kualifikasi sebagai konstruksi tahan api.

Perancangan suatu balok terdiri atas pemilihan bagian komponen yang akan menahan pergeseran dan pelenturan yang dihasilkan oleh suatu pembebanan. Perancangan suatu balok meliputi dua bagian yang berbeda, bagian yang pertama merupakan perhitungan gaya geser (*shear*) dan momen lentur (*bending*) yang dihasilkan oleh beban. Bagian kedua berhubungan dengan pemilihan bagian komponen terbaik untuk menahan gaya geser dan momen lentur yang telah dihitung pada bagian pertama. (Beer, 1996)

### Sambungan

Bahan baja sebagai bahan bangunan, diproduksi di pabrik-pabrik peleburan dalam bentuk ukuran dan panjang tertentu sesuai dengan standard yang ditentukan. Oleh karena itu tidaklah mungkin membangun suatu konstruksi secara monolit (dipabrikasi), akan tetapi terpaksa dibangun dari elemen-elemen yang akan disambung di lapangan.

Sifat dari sambungan sangat tergantung pada jenis dan konstruksi sambungan yang bervariasi mulai dari sendi sampai dengan kaku sempurna. Pada struktur batang, istilah kekakuan sering digunakan untuk faktor EI atau sering disebut *Stiffness*.

Adapun fungsi / tujuan sambungan baja antara lain:

1. Untuk menggabungkan beberapa batang baja membentuk kesatuan konstruksi sesuai kebutuhan.
2. Untuk mendapatkan ukuran baja sesuai kebutuhan (panjang, lebar, tebal, dan sebagainya).
3. Untuk memudahkan dalam penyetakan konstruksi baja di lapangan.
4. Untuk memudahkan penggantian bila suatu bagian / batang konstruksi mengalami rusak.
5. Untuk memberikan kemungkinan adanya bagian / batang konstruksi yang dapat bergerak misal peristiwa muai-susut baja akibat perubahan suhu.

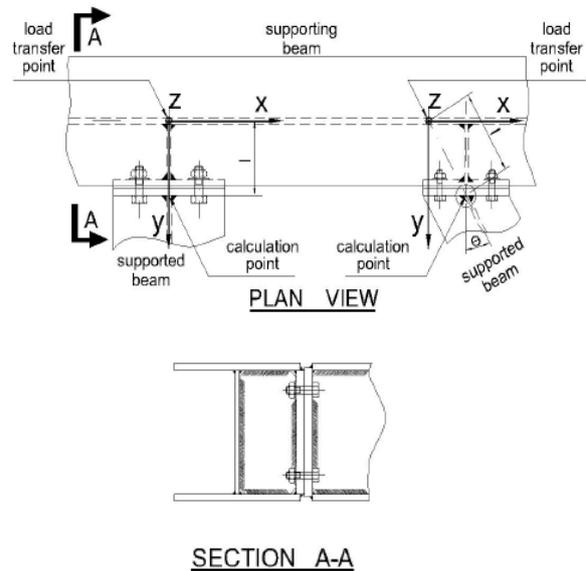
### Sambungan Balok ke Balok dengan *Flush End Plate*

Dalam perkembangan desain, penggunaan elemen balok anak memiliki fungsi tambahan selain menopang pelat lantai. Salah satu fungsi elemen balok anak yaitu menjadi pengaku lateral pada balok induk untuk mencegah terjadinya tekuk torsi lateral. Untuk itu, pada tipe sambungan ini baut/paku keling hanya dirancang untuk menahan gaya reaksi vertikal saja.

Sambungan baut *end plate* membawa banyak keuntungan karena biaya rendah, mudah dipasang dan tidak ada pekerjaan pengelasan lapangan. Satu-satunya kelemahan adalah balok harus dibuat dengan batas ketat untuk memastikan tingkat rendah gangguan perakitan. Masalah ini bisa diminimalisir dengan mengadopsi prosedur "*as built*" sebelum fabrikasi.

Di bawah sudut pandang struktural, keuntungan utama dari tipe sambungan *flush end*

*plate* adalah kapasitas tinggi untuk mentransmisikan gaya langsung dari flens balok yang didukung ke flens balok pendukung tanpa pengaruh web. (de Lema, 2009)



Gambar 1. Sambungan *Flush End Plate*

### Metode Elemen Hingga (FEM)

Dari sudut pandang engineering, metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menyatukan elemen-elemen struktur yang dapat dianalisis secara terpisah ke dalam sebuah persamaan kesetimbangan global struktur (Dill, 2011).

Dasar FEA bergantung pada penguraian domain menjadi sejumlah subdomain (elemen) yang terbatas dimana solusi perkiraan sistematis dibangun dengan menerapkan metode variasional atau metode *Weighted Residual*.

Kemampuan untuk mendiskritisasi domain tidak beraturan dengan elemen hingga membuat metode ini menjadi alat analisis yang berharga dan praktis untuk solusi masalah terhadap keadaan batas, kondisi awal (*initial condition*) dan masalah eigenvalue yang timbul dalam berbagai disiplin ilmu teknik.

Metode analisis elemen hingga memerlukan langkah-langkah utama sebagai berikut:

1. Diskretisasi domain menjadi jumlah subdomain yang terbatas (elemen)
2. Pemilihan fungsi interpolasi.
3. Pengembangan elemen matriks untuk subdomain (element).

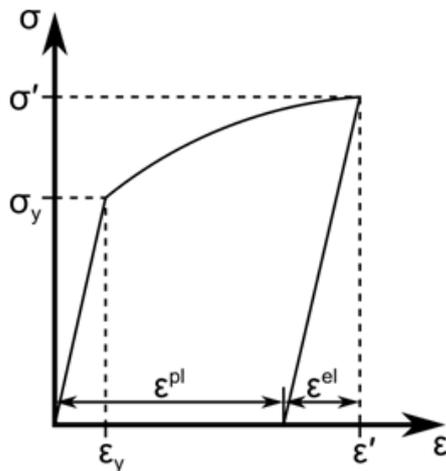
4. Susunan elemen matriks untuk setiap subdomain untuk mendapatkan matriks global untuk keseluruhan domain.
5. Solusi dari persamaan.
6. Perhitungan tambahan (jika diinginkan)

3) Tahapan Output yang didalamnya membahas tentang hasil analisis program terhadap sambungan

Panjang Balok	: 9 m
Geometri sambungan	: <i>Flush end plate</i>
Profil balok Induk	: WF 400x200
Profil kolom	: WF 350x175
<i>Lateral Plate</i>	: 374x175, tebal 10 mm.
<i>End-plate</i>	: 350x175, tebal 10 mm.
Ukuran baut	: M20
Jumlah Baut	: 4 buah
Mutu baja	: BJ-37
Mutu baut	: A325
Rasio panjang <i>stiffener</i>	: 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1

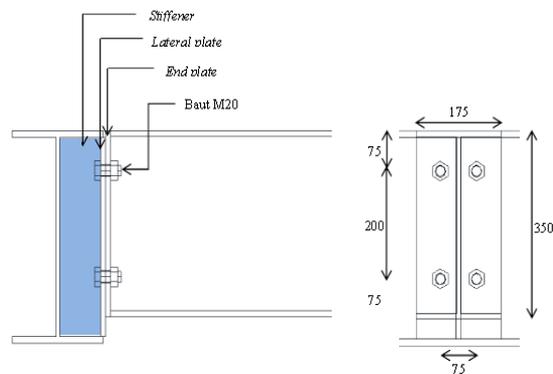
**Nonlinieritas Bahan**

Hubungan tegangan-regangan nonlinier adalah penyebab umum perilaku struktural nonlinier. Bahan nonlinieritas terjadi karena adanya hubungan nonlinier antara tegangan dan regangan; Artinya, tegangan adalah fungsi nonlinier 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 2. *Stress-strain curve for an elastic-plastic material*

Detail geometri dan variasi panjang *stiffener* dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 3. Detail Geometri Sambungan

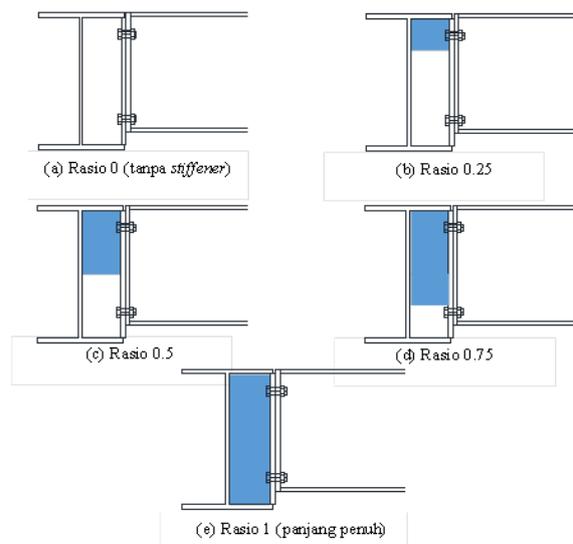
**METODOLOGI PENELITIAN**

**Tahapan penelitian**

Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah metode numerik dengan menggunakan *software* ANSYS untuk mengetahui kekuatan sambungan terhadap beberapa variasi Plat penguaku (*Stiffener*).

Metode penelitian ini dibagi didalam 3 tahapan yaitu :

- 1) Tahapan input data untuk memodelkan geometri yang akan dianalisa
- 2) Tahapan analisis data untuk melakukan analisa terhadap pemodelan sambungan

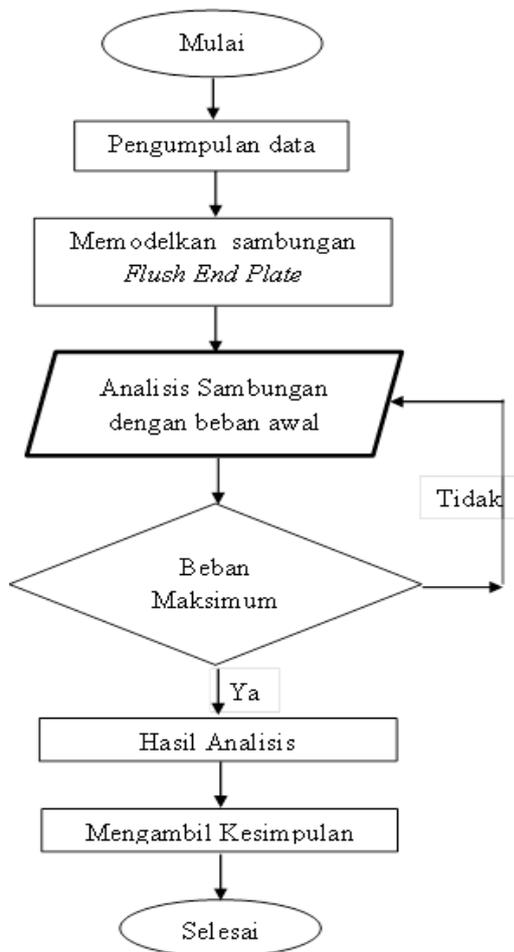


Gambar 4. Variasi Panjang *Stiffener*

**Data Beban**

Beban *Force* diletakkan diseluruh permukaan *flange atas* balok anak sebesar 180 kN untuk mencari kapasitas sambungan. Jika sambungan masih mampu memikul beban tersebut maka beban akan ditambah sampai mendapatkan kapasitas sambungan maksimum.

**Diagram Alir Penelitian**

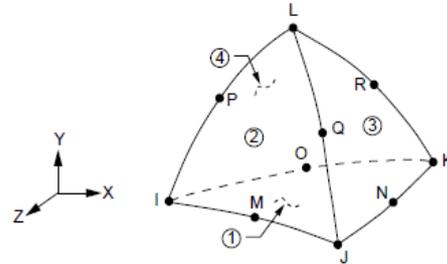


**Pemodelan Sambungan pada Program Ansys**

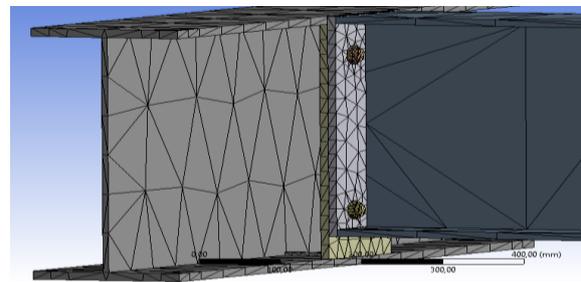
Tabel 1. *Engineering Data*

	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Isotropic Hardening	Bilinear Isotropic Hardening
Material Number 1 (Beams, lateral plates, end plates, stiffeners)	7850	Young's Modulus (EX)= 200000 Mpa Poisson's Ratio (PRXY)= 0.3	Yield Stress = 240 MPa Tangent Modulus = 6700 MPa
Material Number 2 (Bolts)	7850	Young's Modulus (EX)= 200000 Mpa Poisson's Ratio (PRXY)= 0.3	Yield Stress = 560 MPa Tangent Modulus = 6700 MPa

Material model yang digunakan adalah *Bilinear Isotropic Hardening* dengan *tangent modulus* dipakai sebesar 1/30 kali modulus elastisitasnya. (Dewobroto 2016). *Element type* yang digunakan adalah *Tetrahedrons* dengan 10 *Nodes*.



Gambar 5. Elemen *Tetrahedrons* 10 *Nodes*



Gambar 6. Hasil Meshing Ansys *Workbench*

Tabel 2. Pemodelan *contact pair*

Contact	Target	Coefficient of friction	Contact algorithm	Behaviour of contact surface
Stiffener	Balok Induk	-	MPC algorithm	Bonded (always)
Lateral Plate	Balok Induk	-	MPC algorithm	Bonded (always)
Lateral Plate	Stiffener	-	MPC algorithm	Bonded (always)
End plate	Lateral Plate	-	Augmented Lagrange	Frictionless
Kepala baut	Lateral plate	-	MPC algorithm	Bonded (always)
mur	End Plate	-	MPC algorithm	Bonded (always)
End plate	balok	-	MPC algorithm	Bonded (always)

Karena sambungan balok ke balok merupakan sambungan geser maka tidak diberikan koefisien friksi antara *Lateral Plate* dan *End Plate* serta menggunakan *Augmented Lagrange* untuk *contact alogarithm*. Pemodelan tersebut dimaksudkan agar kedua pelat tersebut hanya bersentuhan tetapi tidak terjadi penetrasi dan tidak melekat.

**Analisis Pemodelan**

Pemodelan dianalisis melalui perintah *solve* dalam program *Ansys*. Analisa terhadap pemodelan akan berhenti pada beban yang dimisalkan. Hasil analisa dapat dilihat dalam bentuk tabel sesuai dengan jumlah *substeps* yang diinginkan. Program *Ansys* juga menampilkan animasi pemodelan saat menerima beban luar maupun gaya pratarik.

**ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan program *Ansys Workbench* adalah data berupa lendutan yang terjadi pada balok anak, beban *ultimate* dan tegangan serta regangan pada baut akibat pengaruh eksistensi dan variasi panjang pelat pengaku (*stiffener*) pada sambungan *flush end plate*. Pada penelitian ini kondisi batas analisis berada pada batas regangan 2% dan lendutan sebesar  $L/240$ .

Batas Regangan = 0.02

$L = 9 \text{ m} = 9000 \text{ mm}$

Batas lendutan =  $\frac{9000}{240} = 37.5 \text{ mm}$

Tabel 3. Hasil analisis pada rasio panjang *stiffener* 0

sub-steps	Time (s)	Beban (Kg/m)	Lendutan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0,03	67,98	1,5222	48,287	0,00024
2	0,07	135,96	3,045	91,202	0,00046
3	0,1	203,94	4,5686	130,69	0,00066
4	0,13	271,92	6,0933	168,59	0,00086
5	0,17	339,91	7,6188	205,89	0,00105
6	0,2	407,89	9,1452	242,79	0,00124
7	0,23	475,86	10,674	281,31	0,00144
8	0,27	543,86	12,211	321,25	0,00164
9	0,3	611,83	13,778	365,42	0,00187
10	0,33	679,8	15,399	415,96	0,00213
11	0,37	747,8	17,059	472,9	0,00242
12	0,4	815,77	18,759	538,9	0,00276
13	0,43	883,75	20,5	540,3	0,00298
14	0,47	951,74	22,274	548,63	0,0036
15	0,5	1019,7	24,067	557,63	0,0051
16	0,53	1087,7	25,876	572,53	0,00729
17	0,55	1121,7	26,844	582,81	0,00878
18	0,57	1155,7	28,242	592,93	0,01005
19	0,58	1189,7	29,137	608,27	0,01244
20	0,61	1240,6	30,525	625,52	0,01481
21	0,63	1291,6	32,402	648,82	0,01804
22	0,65	1334,1	33,584	663,36	0,02
23	0,67	1359,6	34,295	672,09	0,02126
24	0,7	1427,6	36,195	694,94	0,02445
25	0,72	1474,1	37,5	713,071	0,0266

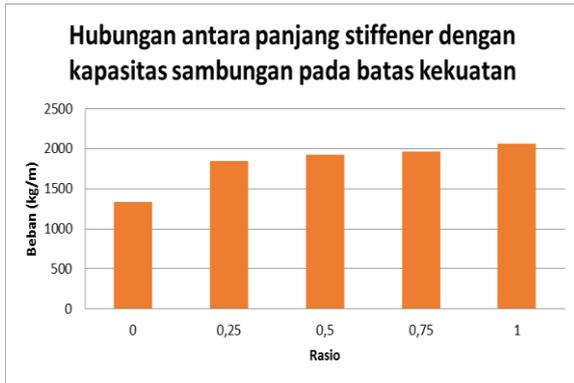
Tabel 4. Hasil analisis pada rasio panjang *stiffener* 0.25

sub-steps	Time (s)	Beban (Kg/m)	Lendutan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0,03	67,98	1,438	38,231	0,00019
2	0,07	135,96	2,8748	74,896	0,00038
3	0,1	203,94	4,3101	108,69	0,00055
4	0,13	271,92	5,7442	140,19	0,00071
5	0,17	339,91	7,177	170,21	0,00086
6	0,2	407,89	8,6085	198,94	0,001
7	0,23	475,86	10,038	226,52	0,00115
8	0,27	543,86	11,474	253,68	0,00128
9	0,3	611,83	12,943	281,86	0,00143
10	0,33	679,8	14,469	310,23	0,00157
11	0,37	747,8	16,025	339,34	0,00173
12	0,4	815,77	17,611	369,85	0,00188
13	0,43	883,75	19,218	402,94	0,00206
14	0,47	951,74	20,84	437,87	0,00224
15	0,5	1019,7	22,476	481,48	0,00246
16	0,53	1087,7	24,128	511,63	0,00259
17	0,57	1155,7	25,802	542,79	0,0028
18	0,6	1223,7	27,538	551,55	0,00314
19	0,62	1257,7	28,492	552,93	0,0034
20	0,63	1291,6	29,469	556,58	0,00366
21	0,65	1334,1	30,603	561,81	0,00416
22	0,66	1342,6	30,831	562,54	0,00427
23	0,68	1393,6	32,172	567,72	0,00524
24	0,72	1461,6	33,446	576,47	0,00681
25	0,75	1529,6	35,164	588,27	0,00891
26	0,78	1597,5	36,897	605,63	0,0111
27	0,79	1620,9	37,5	611,57	0,01189
28	0,82	1665,5	38,645	622,95	0,01341
29	0,85	1733,5	40,401	638,68	0,01566
30	0,88	1801,5	42,169	656,3	0,01823
31	0,9	1845,2	43,31	668,01	0,02

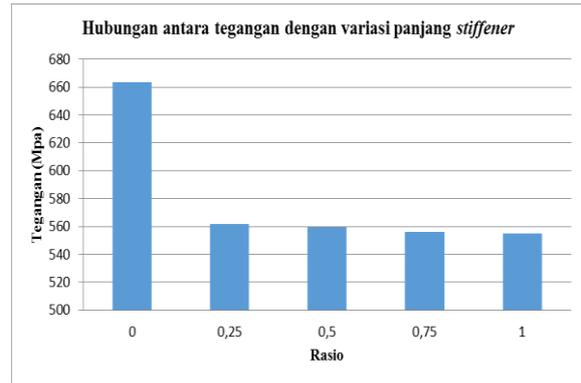
Dari data hasil analisis, dibuat tabel dan grafik untuk masing-masing variasi panjang pelat pengaku (*stiffener*).

Tabel 5. Perbandingan hasil analisis kapasitas sambungan terhadap variasi panjang *stiffener*

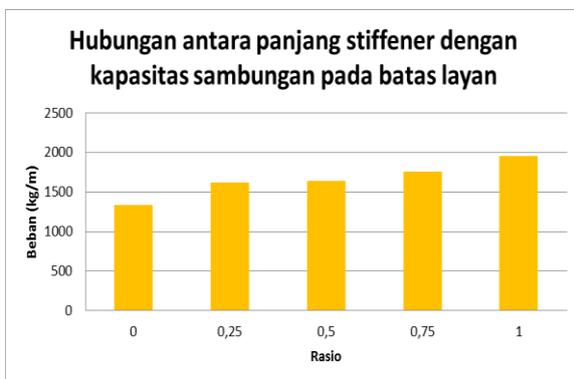
Rasio	0	0.25	0.5	0.75	1
Batas Kekuatan (kg/m)	1334.117	1845.188	1928.963	1960.11	2061.142
Pertambahan kapasitas (%)		38.307	44.587	46.921	54.494
Batas layan (kg/m)	1334.117	1620.896	1640.383	1754.705	1953.323
Pertambahan kapasitas (%)		21.495	22.956	31.525	46.413



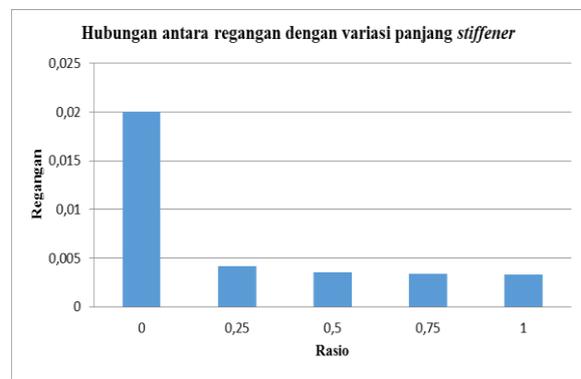
Gambar 7. Grafik hubungan antara panjang stiffener dengan kapasitas sambungan pada batas kekuatan



Gambar 9. Grafik hubungan antara tegangan dengan variasi panjang stiffener



Gambar 8. Grafik hubungan antara panjang stiffener dengan kapasitas sambungan pada batas layan



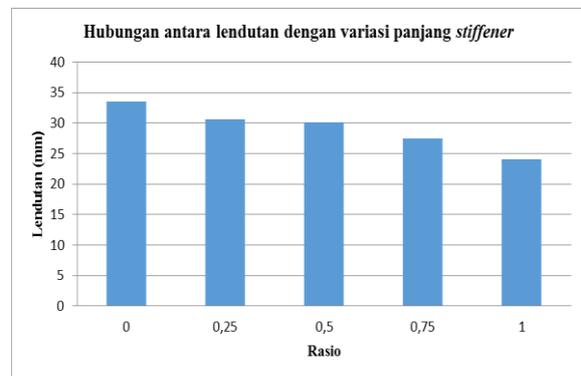
Gambar 10. Grafik hubungan antara regangan dengan variasi panjang stiffener

### Perbandingan pengaruh stiffener pada sambungan Flush End Plate

Dengan beban yang sama pada semua variasi panjang stiffener dapat dibandingkan tegangan, regangan dan lendutan yang terjadi. Beban diambil dari kapasitas terkecil yaitu sebesar 1334.117 kg/m. Tegangan dan regangan maksimum terjadi pada baut sambungan, sedangkan lendutan terjadi pada balok anak.

Tabel 6. Perbandingan tegangan, regangan dan lendutan terhadap variasi stiffener

Rasio	0	0.25	0.5	0.75	1
Tegangan (Mpa)	663.36	561.81	559.34	556	555.2
Regangan	0.02	0.004164	0.00358	0.003403	0.003292
Lendutan (mm)	33.584	30.603	30.139	27.417	24.051



Gambar 11. Grafik hubungan antara lendutan dengan variasi panjang stiffener

## PENUTUP

### Kesimpulan

Pemodelan sambungan pada penelitian ini dibuat dalam bentuk 3 dimensi yang kemudian dianalisis dengan metode elemen hingga (FEM) melalui program ANSYS Workbench.

Berikut ini beberapa hal yang menjadi kesimpulan dalam penelitian.

1. Berdasarkan hasil yang ditampilkan pengaruh eksistensi *stiffener* sangat besar terhadap kapasitas sambungan *flush end plate*. Dapat dilihat dari pertambahan kapasitas mulai dari 21.495 % pada rasio 0.25 hingga 46.413 % pada rasio 1 (panjang penuh *stiffener*).
2. Saat menerima beban yang sama, pertambahan panjang *stiffener* akan menurunkan jumlah tegangan dan regangan pada sambungan serta lendutan pada balok anak.
3. Pada batas kekuatan sambungan, variasi panjang pelat pengaku (*stiffener*) yang paling efisien adalah pada rasio 0.5 karena selisih kapasitas sambungannya hanya 2.334% dibandingkan dengan rasio 0.75. Kemudian jika dibandingkan dengan rasio 0.25, pertambahan kapasitasnya mencapai 6.28%.
4. Pada rasio 0 (tanpa *stiffener*), batas regangan dicapai sebelum dibatasi dengan batas lendutan. Hal ini diakibatkan oleh kenaikan tegangan dan regangan yang sangat signifikan dibandingkan dengan adanya *stiffener* pada sambungan.
5. Pada hasil analisis sambungan, baut mengalami kegagalan terlebih dahulu

sebelum *lateral plate* dan *end plate* yang berarti kedua pelat tersebut masih tergolong tebal dan kekuatan geser baut yang menentukan dibanding kekuatan tumpu pelat.

#### Saran

1. Pada sambungan *Flush End Plate* dianjurkan untuk menggunakan pelat pengaku (*stiffener*) sebagai elemen tambahan.
2. Pada penampang balok induk dengan ketinggian badan balok yang besar diperlukan analisis ulang untuk mengetahui perilaku sambungan.
3. Perlu dilakukan analisa tambahan mengenai pengaruh sambungan pada balok induk yang memungkinkan terjadinya tekuk torsi lateral.
4. Melakukan analisa lebih lanjut mengenai dimensi dan penempatan *stiffener* terbaik pada sambungan.
5. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi lain seperti jumlah baut, tebal *lateral plate* dan tebal *end plate* serta menganalisis dengan memberikan gaya pra-tarik pada baut (*Pretension Bolt*)
6. Dapat dibandingkan dengan sambungan balok ke balok tipe *Choke*.
7. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan di laboratorium struktur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Lucio Gonzalez de Lema, Beam-to-Beam Joints With Bolted End-Plate Connections Concerning Steel Platforms Angra 2 NPP
- Setiawan, Agus, 2008., *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dewobroto, Wiryanto. 2016. *Struktur Baja Perilaku dan Desain – AISC 2010*. Edisi Ke-2. Lumina Press, Jakarta.
- Ferdinand P. Beer, E. Russel Johnston, Jr, John T. DeWolf, David F. Mazurek. *Mechanics of Materials*, 1996.
- Subramanian N. 2008. *Design of Steel Structures*. Oxford University Press
- 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.
- Suhendro B. 2000. *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.Yogyakarta.