

**ANALISA NUMERIK PERKUATAN SAMBUNGAN BALOK-KOLOM DENGAN HAUNCH,  
EXTENDED END PLATE DAN BAUT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA  
PADA BANGUNAN SMF**  
*Numerical Analysis of Beam-Column Connections with Haunch, Extended End Plate and Bolts  
Using Finite Element Method in SMF Buildings*

Fathmah Mahmud\*, Suparjo\*, I Nyoman Merdana\*, Logika Suharto\*

\*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,  
Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia

Email : fathmah\_mahmud@unram.ac.id, suparjo2409@unram.ac.id, nmerdana@unram.ac.id,  
suharto@gmail.com

Manuscript received: 31 Januari 2024

Accepted:

01 Maret 2024

**Abstrak**

Sambungan balok kolom sangat menentukan kinerja sebuah bangunan struktur gedung, jika terjadi kegagalan pada sambungan balok kolom struktur gedung dapat menyebabkan runtuhnya gedung tersebut secara keseluruhan, disamping prinsip *strong column weak beam* harus kita utamakan jadi jika terjadi sendi plastis pada sambungan balok kolom balok yang pertama runtuh bukan kolom. CBFEM method adalah metode analisa finite element untuk menganalisa sambungan kolom-balok dengan memodelkan elemen sambungan secara detail dan presisi, dimana setiap elemen (plates and bolts) pada sambungan dihasilkan analisa tersendiri dengan Metode Elemen Hingga. Profil yang digunakan yaitu kolom WF 450.450.21.32 dan balok profil WF 600.350.19.25, perkuatan extended end plate tebal 32 mm sedangkan perkuatan haunch tebal 32 mm, mutu baja BJ 41 fy 250MPa sama untuk semua profil perkuatan extended end plate ada yang menggunakan 4 baut dan penambahan menggunakan 8 baut, diameter baut 16mm serta dengan perkuatan haunch. Beban geser yang bekerja pada sambungan balok kolom -124 KN sedangkan momen lentur yang bekerja -339,8 KNm. Dari hasil analisa ini terlihat dengan menambahkan baut jadi 8 menyebabkan daerah kritis lebih luas, semua baut dan pelat penyambung kritis dan tegangan pada daerah yang lain lebih tinggi dibanding dengan yang menggunakan 4 baut, dengan penambahan baut tegangan rata-rata naik sebesar 14,28%. Ini disebabkan baut menambah pengekangan dan luasan profil lebih sedikit karena bertambahnya lubang baut. Sambungan balok kolom dengan perkuatan haunch tegangan pada sambungan turun sebesar 74,45%, serta tegangan kritis berpindah ke haunch.

Kata kunci : Perkuatan extended end plate, Baut, Perkuatan haunch, Sambungan balok-kolom.

**PENDAHULUAN**

Sambungan balok kolom sangat menentukan kinerja sebuah bangunan struktur gedung, jika terjadi kegagalan pada sambungan balok kolom struktur gedung dapat menyebabkan runtuhnya gedung tersebut, disamping prinsip *strong column weak beam* harus kita utamakan jadi jika terjadi sendi plastis pada sambungan balok kolom balok yang pertama runtuh balok bukan kolom. Idealisasi desain diperhitungkan dengan adanya beban gravitasi dan beban gempa secara bolak-balik, sehingga diharapkan yang mengalami leleh duluan pada balok di daerah sendi plastis Sambungan Balok Kolom (SBK) bukan terjadi pada sendi plastis di kolom karena akan menyebabkan kegagalan struktur secara keseluruhan. Pada kenyataannya semua balok didesain dengan ukuran yang sama meskipun besarnya momen nominal, gaya geser dan beban yang terjadi dimasing-masing sendi plastis berbeda. Kegagalan lentur yang tidak cukup daktail pada struktur Sambungan Balok Kolom (SBK) bangunan tahan gempa, tidak dapat menjamin keselamatan para penghuni rumah. Disamping itu besarnya kerugian, pada

kegagalan kekuatan lentur dan geser pada Sambungan Balok Kolom (SBK) bangunan dan tahan gempa mengakibatkan biaya yang cukup besar dalam hal untuk merenovasi, Budianto (2010).

Oktavia, (2020) et al, kegagalan atau keruntuhan bangunan pasca gempa ditentukan oleh kualitas sambungan. Pemilihan sambungan yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin terjadinya sendi plastis pada daerah balok. Studi ini membahas tentang perilaku dari sambungan baja tipe *Extended End Plate* saat diberi beban siklik dengan menggunakan software ABAQUS 6.14. Hasil eksperimental berupa momen-rotasi, nilai kekakuan rotasi dan adanya mode kegagalan akan dibandingkan dengan pemodelan yang dilakukan pada program ABAQUS 6.14. Pemodelan yang digunakan *welded plate I-Shaped* dengan dimensi kolom 300x250x8x12 mm, dimensi balok 300x200x8x12 mm, ketebalan pengaku kolom 12 mm dan ketebalan pengaku *extended end plate* 10 mm. Hasil pemodelan yang sudah didapat jika dibandingkan dengan hasil eksperimental tidak memiliki selisih yang signifikan. Hasil pemodelan dengan program bantu *finite element* merupakan sebuah pendekatan sehingga hasilnya tidak sama persis dengan hasil eksperimen yang dilakukan. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan pemodelan pada sambungan memiliki kemampuan daktilitas.

Model BFP-UR memiliki kapasitas momen lebih rendah daripada 80% momen plastis balok saat rotasi 4%, yaitu sebesar 165,47 kN-m. Perkuatan dengan *extended end-plate* mampu meningkatkan kapasitas momen rata-rata sebesar 28,32% dari model BFP-UR. Sedangkan perkuatan dengan trapezoid *haunch* meningkatkan kapasitas momen rata-rata sebesar 24,37% dari model BFP-UR. Disipasi energi yang dihasilkan oleh model BFP-UR adalah sebesar 1.590,933 kN.m-rad. Efek perkuatan sambungan dengan *extended end-plate* meningkatkan kapasitas disipasi rata-rata sebesar 1.881,85 kN.m-rad, namun perkuatan sambungan dengan trapezoid *haunch* menghasilkan energi disipasi energi yang lebih kecil, yaitu rata-rata sebesar 1.190,64 kN.m-rad. Perkuatan mampu menurunkan tegangan pada area panel zone berada di daerah elastis akibat penambahan luasan panel zone. Perkuatan yang diusulkan telah memenuhi persyaratan yang diberikan oleh AISC 358-16 dan SNI 7860:2020, yaitu mampu menahan 80% momen plastis balok saat terjadi rotasi 4% dalam Ghifari (2022) et al.

Sapta (2021) et al, sambungan pelat ujung yang diperpanjang dapat memperoleh daya dukung ultimit dan kekakuan awal yang sama dengan sambungan las namun kurva histeritik, kurva perkembangan degradasi dan kecenderungan fraktur sangat berbeda, pengaku pelat ujung merupakan pertahanan pertama sambungan yang secara efektif mengubah mode kegagalan dan menghindari patah getas (Meng Wong, 2013) et al. Hasil analisa kapasitas sambungan kolom-balok (sambungan baut) bahwa dengan menggunakan stiffener dapat mengurangi tegangan-regangan yang terjadi pada web balok, akan tetapi meningkatkan tegangan dan regangan yang terjadi pada *top flange* dan *bottom flange*. Untuk kapasitas sambungan tidak menimbulkan peningkatan yang signifikan.

Dalam perencanaan bangunan kolom harus lebih kuat terhadap balok supaya jika terjadi sendi plastis pada sambungan dengan begitu struktur masih aman. Berdasarkan uraian diatas sambungan balok kolom sangat penting dalam sebuah struktur untuk itu perlu analisa yang lebih mendalam mengenai perkuatan sambungan balok kolom. Oleh karena itu penulis meneliti perkuatan sambungan balok kolom dengan perkuatan *extended end plate* dengan variasi jumlah baut 4 dan 8 serta dengan penambahan *haunch* pada bangunan SMF.

## TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Budianto (2010), kriteria desain yang disarankan pada saat perencanaan hubungan balok kolom adalah :

- Kekuatan sambungan minimal harus sama dengan bagian-bagian struktur pembentuk sambungan tetapi harus lebih kuat dari sendi plastis. Hal ini diperlukan untuk mengeliminasi daerah yang tidak dapat dimasuki pada saat perbaikan, mengusahakan disipasi energi yang baik pada daerah join serta pengurangan kekakuan pada saat pembebanan siklik.
- Kekuatan kolom harus lebih kuat dari pada balok. Selama pembebanan seismik, sambungan yang direncanakan berdeformasi elastis yang berarti juga deformasi sambungan tidak boleh memperbesar simpangan antar tingkat dan tidak terjadi kerusakan akibat geser.

Selama ini dalam perencanaan sambungan baut, semakin banyak baut semakin kuat menahan gaya gaya dalam yang terjadi seperti baut menahan gaya geser, gaya tarik gaya tumpu (Agus, 2013), sebagai berikut ;

Tahanan geser

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots (1)$$

Tahanan Tarik

$$R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots (2)$$

Tahanan tumpu

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \dots\dots\dots (3)$$

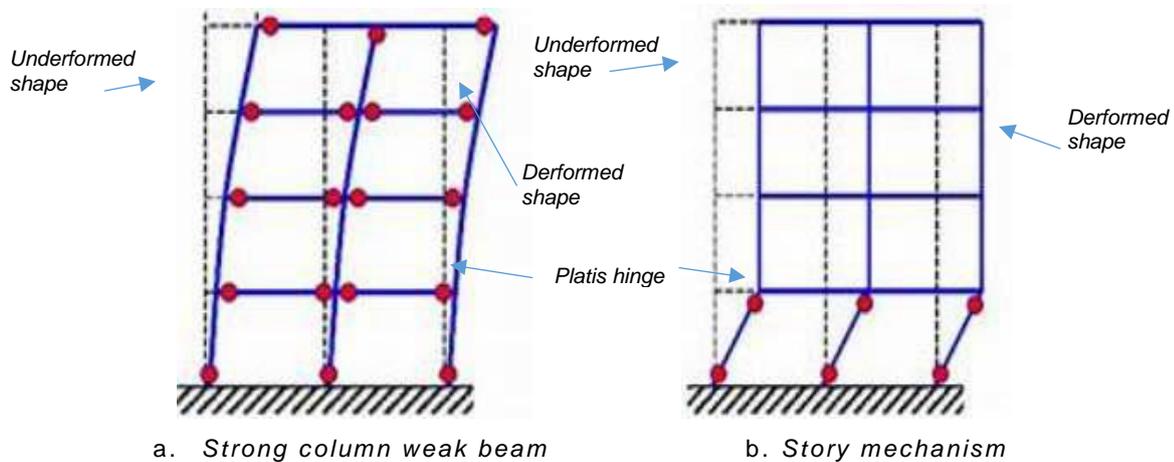
Kekuatan sambungan dengan baut dapat dievaluasi dengan meninjau beberapa kemungkinan kegagalan (*failure*). Kekuatan biasanya dihitung dengan mempertimbangkan jumlah lapis pelat/batang yang disambung. Ada 6 (enam) tipe kegagalan yang mungkin terjadi pada sambungan (Zacoeb, 2014):

1. Pelat robek pada daerah sambungan (*tearing failure of plates*).
2. Keruntuhan geser pada baut (*shear failure of bolts*).
3. Keruntuhan geser pada pelat yang disambung (*shear failure of plate*).
4. Keruntuhan tumpu pada pelat (*bearing failure of plate*).
5. Keruntuhan blok geser pada pelat (*shear block failure of plate*).
6. Keruntuhan tumpu pada baut (*bearing failure of bolt*).

Jenis sambungan geser-kritis pada struktur baja memerlukan adanya *proof load* pada baut mutu tinggi untuk menghasilkan gaya jepit di antara 2 pelat yang tersambung. Selain kontrol kekuatan baut harus dilakukan, pelat yang tersambung perlu dilakukan kontrol kekuatannya dengan menggunakan persamaan kekuatan tumpu pada pelat, karena kemungkinan terjadinya mekanisme tumpu antara tepi lubang pelat dengan batang baut bila tahanan kritis yang dihasilkan tidak mampu menahan beban eksternal yang diaplikasikan . Asumsi ini berbeda dengan prinsip sambungan geser kritis, yaitu slip tidak boleh terjadi. Studi numerik berikut ini mempelajari tentang perilaku pelat berlubang pada sambungan geser-kritis dan gaya kontak yang terjadi di antara dua pelat yang tersambung. Perilaku yang diamati meliputi deformasi dan tegangan yang terjadi sehubungan dengan adanya *proof load* dan beban eksternal. Studi numerik dilakukan dengan menggunakan analisis kontak yang tersedia dalam software

*Finite Element Analysis (FEA)*. Hasil dari analisis kontak menunjukkan bahwa kondisi tegangan yang terjadi pada pelat berlubang dari sambungan geser-kritis saat menerima beban tarik tersebut berbeda dengan kondisi tegangan pelat berlubang dari sambungan tipe tumpu. Selain itu diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan *proof load* hingga melebihi batas minimumnya dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan gaya jepit, dan deformasi yang ditimbulkan di sekitar tepi lubang pelat masih relatif kecil (Setiyarto, 2011).

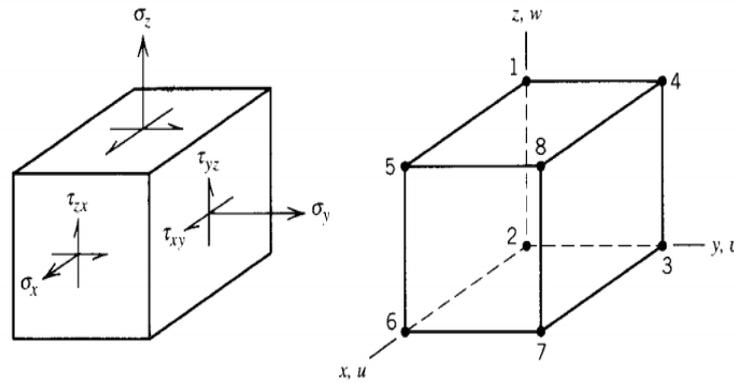
Dewobroto (2016) *Special Momen Frame (SMF)* jenis struktur yang didesain bekerja secara inelastic penuh. Oleh karena itu pada bagian yang mengalami sendi plastis perlu disiapkan secara khusus. Sistem ini nyocok didesain untuk gedung tinggi yang masih memungkinkan system portal, pada umumnya ketinggian bangunan dibatasi karena persyaratan deformasi lateral. Struktur rangka harus didesain berperilaku *strong column weak beam* untuk memastikan tidak terjadi sendi plastis dikolom yang dapat menyebabkan *story mechanism* bisa dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Perilaku inelastic sistem portal daktail (Dewobroto,2016)

## METODE PENELITIAN

Metode elemen hingga merupakan suatu cara numerik untuk mendapatkan solusi pendekatan dari masalah-masalah fisik dimana solusi analitiknya sulit atau tidak dapat diselesaikan. Untuk masalah-masalah fisik dengan batas-batas yang tidak teratur, metoda ini lebih mudah digunakan dibandingkan dengan metoda beda hingga. Dengan metoda ini solusi yang didapat hanya merupakan harga-harga pada titik titik diskret (Ngurah, 2018). Elemen hingga aksisimetri sering digambar sebagai bidang segitiga maupun segi empat tetapi bentuk bidang tersebut sebenarnya merupakan penampang melintang elemen annular dan apa yang tampak sebagai titik nodal sebenarnya adalah lingkaran nodal (Cook, 1995)



Gambar 2 a Tegangan 3D b. FE Hexagonal (Cook, 1995)

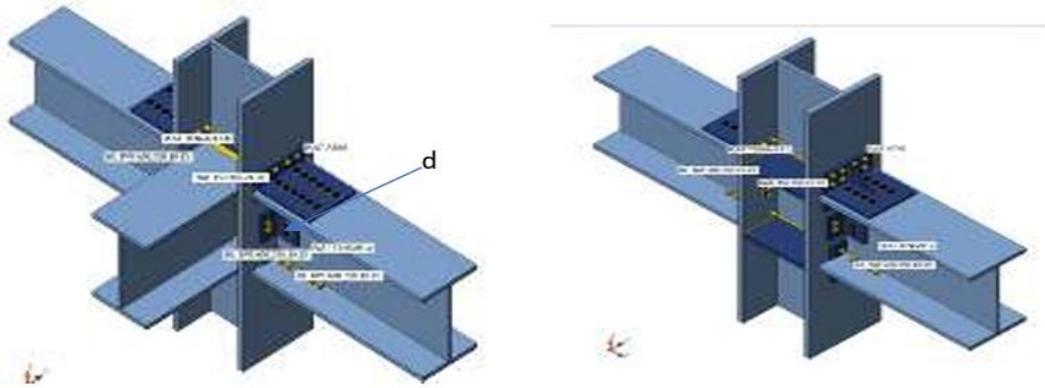
Untuk tegangan dan regangan pada simetri aksial dan material isotropic bisa diberikan persamaan berikut (Liu, 2002, Susatio, 2004, Weaver, 1993) :

$$\sigma = \{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad \varepsilon = \{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad \sigma = E\varepsilon$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

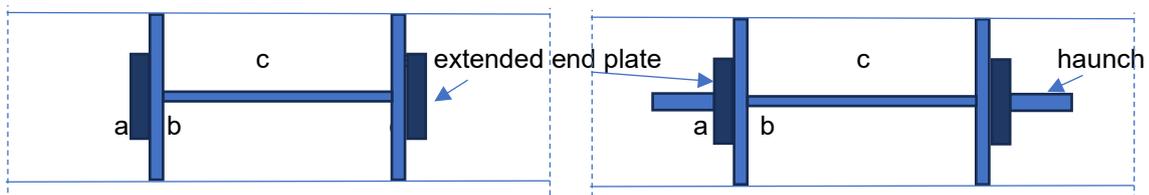
dengan  $\nu$  = angka poisson,  $E$  = modulus elastis

CBFEM method adalah metode analisa *finite element* untuk menganalisa sambungan kolom-balok dengan memodelkan elemen sambungan secara detail dan presisi, dimana setiap elemen (*plates and bolts*) pada sambungan dihasilkan analisa tersendiri dengan Metode Elemen Hingga (Sapta, 2021). Pada penelitian ini program Analisa yang digunakan idea statica.



**Gambar 3** Sambungan balok kolom perkuatan *extended end plate* dengan 4 dan 8 baut tanpa perkuatan *haunch*

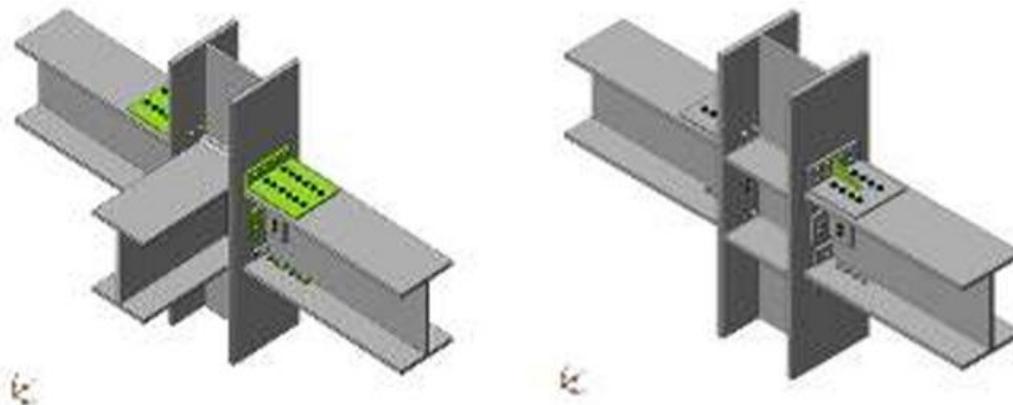
Data profil yang digunakan yaitu kolom WF 450.450.21.32 dan balok profil WF 600.350.19.25, perkuatan *extended end plate* tebal 32 mm sedangkan perkuatan *haunch* tebal 32 mm, mutu baja yang dianalisa BJ 41 fy 250MPa sama untuk semua profil perkuatan *extended end plate* ada yang menggunakan 4 baut dan ada yang menggunakan 8 baut, penambahan jumlah baut selama ini dianggap menambah kekuatan sambungan karena tiap baut memiliki kuat nominal sebesar Persamaan (1), (2) dan (3). Diameter baut 16mm serta dengan perkuatan *haunch*. Beban geser yang bekerja pada sambungan balok kolom -124 KN sedangkan momen lentur yang bekerja -339,8 KNm. Detail profil dan perkuatan *extended end plate* serta *haunch* terlihat pada Gambar 3 dan **Gambar 4**.



**Gambar 4** Sambungan balok kolom dengan perkuatan *haunch*

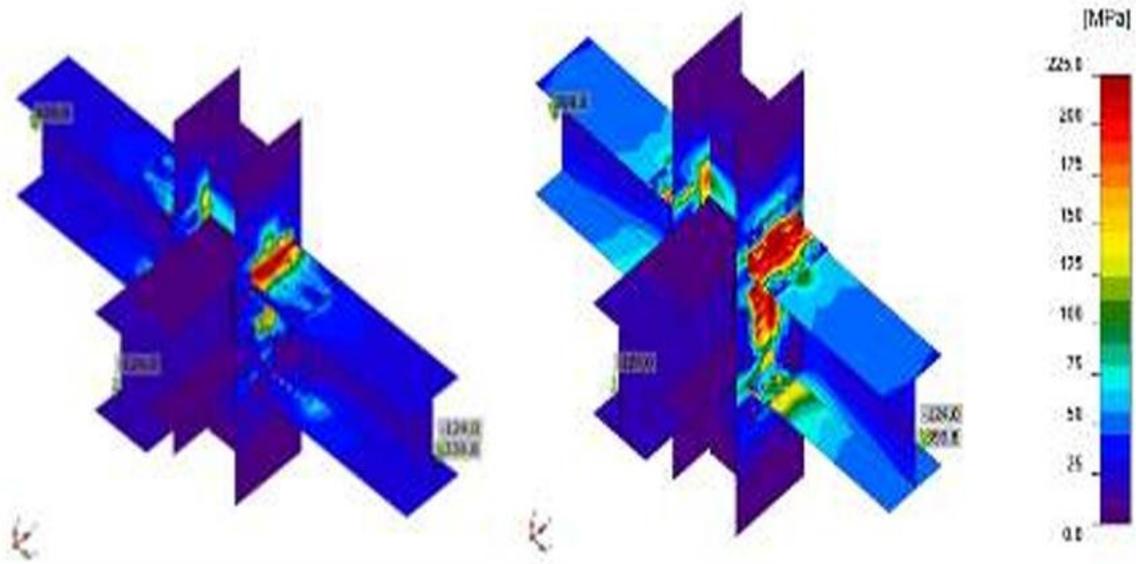
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa program idea statika menggunakan *extended end plate* 4 baut, dengan penambahan baut menjadi 8 dan menambahkan sambungan perkuatan *haunch* bisa terlihat pada **Gambar 4** berikut.



**Gambar 5.** Hasil Idea Statika

Sambungan balok kolom tanpa perkuatan *haunch* dan dengan *extended end plate* saja menunjukkan warna abu tegangan yang diterima kecil sedangkan warna hijau tegangan sudah maksimum tetapi masih bisa diterima. Jika melihat ini sambungan yang menggunakan *extended end plate* dengan yang menggunakan tambahan perkuatan dengan *haunch* tempat kritisnya berbeda. Dengan penambahan perkuatan *haunch* posisi kritis bukan lagi di pelat *extended end plate* dan baut tetapi ke perkuatan *haunch*.



a. Balok kolom dengan *extended end plate* 4 baut    b Balok kolom dengan *extended end plate* 8 baut

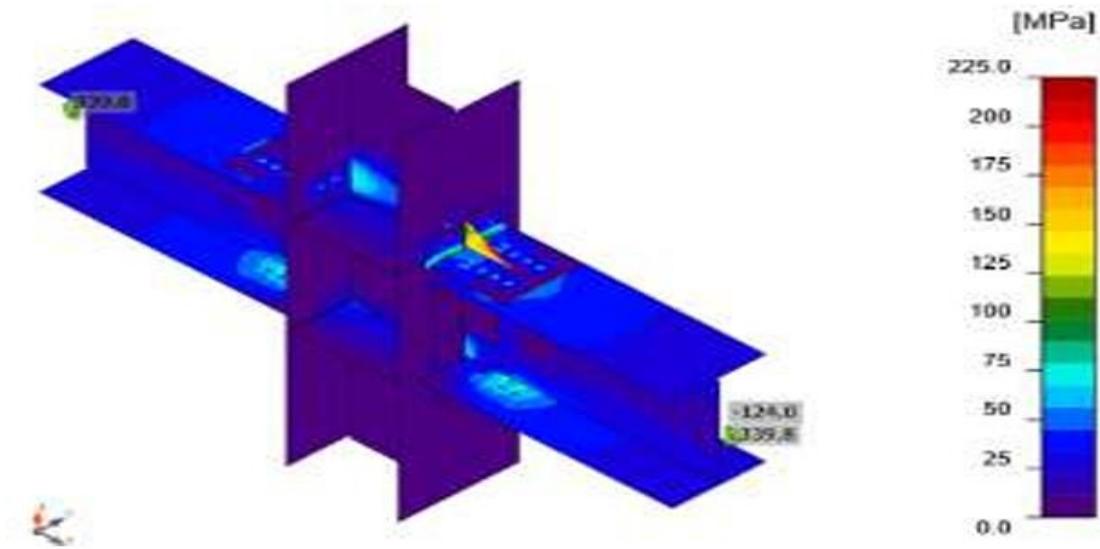
**Gambar 6** Sambungan balok kolom dengan *extended end plate* dengan 4 dan 8 baut

Hasil analisa yang lebih rinci pada Gambar 6, dengan perbedaan gradasi warna menunjukkan tegangan yang diterima masing masing lokasi sesuai gambar acuan sebelah kanan. Untuk sambungan yang tanpa perkuatan *haunch* menunjukkan dengan 4 baut, di titik a yaitu pada *extended end plate* menunjukkan tegangan maksimum yaitu sebesar 229,3 MPa, pada titik b disayap kolom tegangan menunjukkan 165,6 MPa, sedangkan pada c ditengah kolom sebesar 176,6 MPa dan titik d tengah balok sebesar 151 MPa.

Untuk sambungan yang tanpa perkuatan *haunch* hanya menggunakan *extended end plate* tetapi menambah jumlah baut menjadi 8 baut, menunjukkan hasil sebagai berikut di titik a yaitu pada *extended end plate* menunjukkan tegangan maksimum yaitu sebesar 225,3 MPa, pada titik b disayap kolom tegangan menunjukkan 193,4 MPa, sedangkan pada c ditengah kolom sebesar 185,9 MPa dan titik d tengah balok sebesar 182,4 MPa, terlihat tegangan maksimum menurun tetapi tegangan rata-rata meningkat, serta menyebabkan daerah kritis lebih luas untuk *extended end plate* dibanding dengan yang menggunakan 4 baut, dengan penambahan jumlah baut menjadi 8 tegangan rata-rata naik sebesar 14,28%. Semua titik di daerah sambungan baut mengalami kritis untuk yang menggunakan 8 baut. Ini disebabkan pengekangan baut bertambah dengan penambahan jumlah baut, serta luasan profil berkurang karena lubang akibat baut.

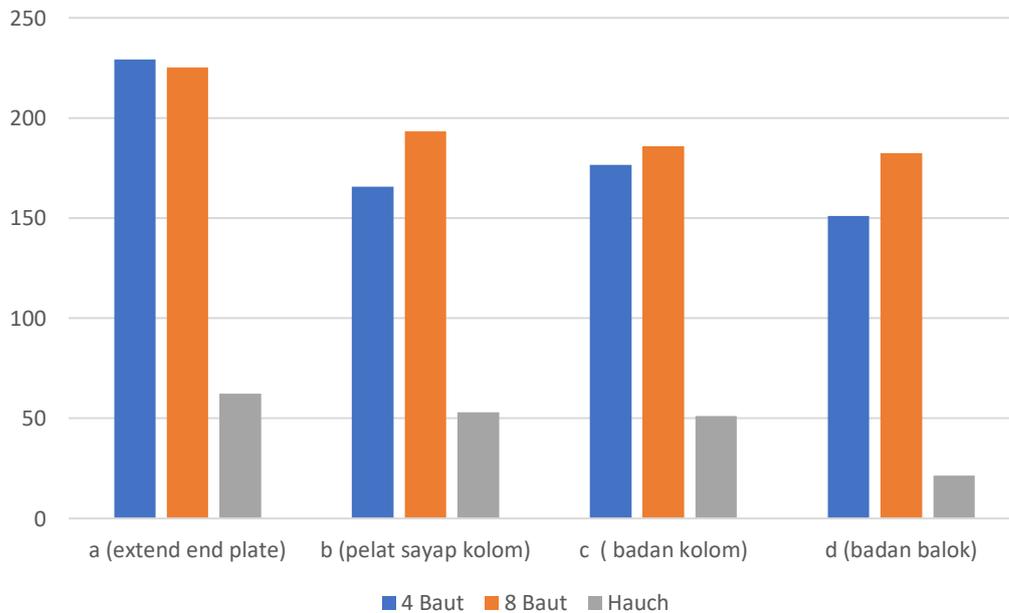
Kegagalan dengan sambungan *extended end plate* dengan baut pada sambungan balok kolom ini adalah kegagalan robeknya pelat pada daerah sambungan dan keruntuhan geser pada baut. Untuk

yang menggunakan baut yang lebih banyak baut yaitu 8 lebih dahulu terjadi keruntuhan, sedangkan yang menggunakan perkuatan *haunch* terjadi robek pada pelat *haunch*.



**Gambar 7** Hasil analisa dengan perkuatan haunch

Setelah diberikan perkuatan *haunch* pada sambungan balok kolom titik kritis berpindah ke pelat perkuatan haunch sebesar 229,3 MPa, sedangkan titik titik yang lain turun dengan hasil sebagai berikut di titik a yaitu pada *extended end plate* menunjukkan tegangan maksimum yaitu sebesar 62,4 MPa, pada titik b disayap kolom tegangan menunjukkan 52,9 MPa, sedangkan pada c ditengah kolom sebesar 51,1 MPa dan titik d tengah balok sebesar 21,3 MPa. Perbedaan hasil perkuatan *extended end plate* dengan 4 baut,8 baut dan dengan perkuatan *haunch* terlihat pada **Gambar 8**



**Gambar 8** Tegangan menggunakan 4 baut, 8baut dan haunch

Pada Gambar. 8 menunjukkan hasil tegangan sambungan dengan *extended end plate* 4 baut 8 baut dan dengan tambahan perkuatan *haunch*. Setelah memberikan perkuatan *haunch* tegangan pada sambungan balok kolom turun rata rata sebesar 74,45% Jika memperhatikan hasil dengan perkuatan *haunch* sesuai dengan penelitian Ghifari, 2022 dengan perkuatan *haunch* dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada daerah panel zone.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Sambungan kalok-kolom dengan *extended end plate* dengan 8 baut menaikkan tegangan 14,28% dibanding 4 baut dan daerah kritis lebih luas, sedangkan dengan menambahkan perkuatan *haunch* daerah kritis berpindah ke *haunch* dan tegangan pada *extended end plate* menurun rata-rata sebesar 74,45%. Dengan pemasangan perkuatan *haunch* disambungan balok kolom dengan ini prinsip *strong column weak beam* terpenuhi dengan penambahan perkuatan *haunch* sambungan karena perkuatan balok yang lebih dulu mengalami kritis atau runtuh sedangkan kolom tegangannya masih rendah.

### Saran

Penelitian diharapkan bisa dilanjutkan untuk berbagai macam perilaku sambungan karena tidak selamanya penambahan jumlah baut meningkatkan kekuatan dari sambungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budianto. (2010). *Perilaku Dan Perancangan Sambungan Balok Kolom Beton Pracetak Untuk Rumah Sederhana Cepat Bangun Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Berdinding Pengisi (Infilled-Frame)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Cook, R. D. (1995). *Finite Element Modeling for Stress Analysis*. New York: Printed in the United States of America.
- Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja*. Tangerang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Ghifary, F. (2022). *Perkuatan Sambungan Tipe BFP (Bolted Flange Plate) Dengan Menggunakan Haunch Dan Extended End-Plate*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Liu, Y. (2002). *Introduction to Finite Element Method*. Ohio: University Cincinnati.
- Salmon. (1999). *Struktur Baja desain LRFDD*. Jakarta: Erlangga.
- Sapta, & Farlianti, S. (2021). Analisa Kapasitas Sambungan Kolom-Balok Baja Menggunakan Stiffener Pada Balok Dengan CBFEM Method. *Teknika Jurnal Teknik*, 8(1), 107-122.
- Setiawan, A. (2013). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFDD*. Jakarta: Erlangga.
- Setiyarto, Y. D. (2011). Studi Numerik: Perilaku Pelat Berlubang Akibat Proof Load Baut Mutu Tinggi Dengan Menggunakan Analisis Kontak. *Majalah Ilmiah Unicom*, 9(1), 107-121. Retrieved from <https://repository.unikom.ac.id/30535/1/volume-91-artikel-12.pdf>
- Silalahi, O. U., Suswanto, B., & Piscesa, B. (2020). Studi Analisis Perilaku Sambungan Kaku (Rigid Connection) Balok – Kolom Baja Tipe Extended End Plate dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 23-32. Retrieved from <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats/article/view/5346>
- Suharto, L. (2023). *Perancangan Struktur Gedung Rumah Sakit Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton Dan Base Isolator Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB)*. Mataram: Universitas Mataram.
- Susatio, Y. (2004). *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Tjerita, A. N. (2018). *Metoda Elemen Hingga Torsi Pada Penampang Batang Non-Circular (Terjemahan)*. Denpasar, Bali: Universitas Udayana.
- Tumurang, O. M., Dapas, S., & Windah, R. (2016). Analisis Tata Letak Stiffener Terhadap Tekuk Lokal Baja. *Jurnal Sipil Statik*, 4(7), 405-413. Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/issue/view/1398>

Wang, M., Shi, Y., Wang, Y., & Shi, G. (2013). Numerical study on seismic behaviors of steel frame end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*(90), 140-152. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.07.033>

Weaver, Jr, W., & Johnston, P. (1989). *Elemen hingga untuk analisis struktur*. Bandung: Eresco.

Zacoeb, A. (2014). *Sambungan Baut*. Retrieved from <http://zacoeb.lecture.ub.ac.id/files/2014/10/9-Baut.pdf>