

# Studi Perbandingan Tipe Lubang Baut pada Sambungan Baja dengan Metode *Bearing Type Connection* dan *Slip Critical Connection*

Mardis Darwis<sup>1\*</sup>, Bahdin Ahad Badia<sup>2</sup>, La Rahman<sup>3</sup>, Ezra Pasereng Rambak<sup>4</sup>,  
Fadel Khalifah Ibrahim<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Program Studi Teknologi Sipil, Politeknik Tridaya Virtu Morosi  
Desa Morosi, Kecamatan Morosi, Kabupaten Konawe 93456

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Metalurgi Industri Logam, Politeknik Tridaya Virtu Morosi  
Desa Morosi, Kecamatan Morosi, Kabupaten Konawe 93456

\*<sup>1</sup>E-mail: [mardisdarwis88@gmail.com](mailto:mardisdarwis88@gmail.com)

**Abstract** — This research aims to determine connection analysis using 4 different types of holes. There are 4 types of connection holes (bolt holes), including Standard Hole (STD), Short-Slotted Hole (SSL), Oversized Hole (OVS), and Long-Slotted Hole (LSL). Analysis of connection calculations using the Load and Resistance Factor Design (LRFD) method. The design of each connection uses the same number of bolts with a uniform bolt layout. The bolts used are based on SNI 1729:2015 standards. From the results of the analysis of the strength of the standard hole type connection (Standard Hole), it shows that the smallest shear block strength is 731.71 kN. The oversized hole has a friction resistance of 104.89 kN, the short-slotted hole parallel to the direction of the force is 104.89 kN, then the one perpendicular to the direction of the force has a friction resistance of 123.4 kN. The long slot hole has 2 frictional resistances, namely parallel to the direction of the force of 74.04 kN and perpendicular to 86.38 kN.

**Keywords:** slip critical connection; Standard Hole (STD); Oversized Hole (OVS); Short-Slotted Hole (SLS) and Long-Slotted Hole (LSL).

**Abstrak** — Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan sambungan dengan menggunakan 4 tipe lubang yang berbeda. Adapun 4 tipe lubang sambungan (bolt holes) diantara lain Standard Hole (STD), Short-Slotted Hole (SSL), Oversized Hole (OVS), dan Long-Slotted Hole (LSL). Analisis perhitungan sambungan menggunakan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD). Desain tiap sambungan menggunakan jumlah baut yang sama dengan tata letak baut seragam. Adapun baut yang digunakan berdasarkan standar SNI 1729:2015. Dari hasil analisis kuat sambungan tipe lubang standar (Standar Hole) menunjukkan tahanan terkecil kekuatan block geser sebesar 731.71 kN. Lubang oversized nilai tahanan friksi sebesar 104.89 kN, Lubang short-slotted hole sejajar arah gaya sebesar 104.89 kN, kemudian yang tegak lurus arah gaya memiliki tahanan friksi sebesar 123.4 kN. Lubang slot panjang memiliki 2 tahanan friksi yaitu yang sejajar arah gaya sebesar 74.04 kN dan tegak lurus sebesar 86.38 kN.

**Kata Kunci:** sambungan tipe friksi; Lubang Standar; Lubang Ukuran Lebih; Lubang Slot-Pendek; Lubang Slot Panjang.

## I. PENDAHULUAN

Pada konstruksi baja, elemen baja biasanya dihubungkan menggunakan pelat sambung dimana pelat kebanyakan mengalami gaya geser model sambungan geser banyak diaplikasikan pada banyak tipe sambungan (balok-ke-balok, balok-ke-kolom, kolom-ke-kolom) (Bouchair et al., 2008). Jika sambungan baut tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku maka ini akan menyebabkan terjadinya kegagalan geser atau tarik pada pelat tumpu pada baut. Kegagalan sambungan akan menyebabkan kerugian ekonomi karena ketika gagal sambung maka konstruksi akan mengalami kegagalan struktur (Adel et al., 2017). Dengan menggunakan metode desain yang ada pada SNI-1729, pada kajian ini kami membahas mengenai sambungan pelat

dengan berbagai tipe lubang baut. Kelebihan dari sambungan tipe geser banyak diaplikasikan pada berbagai tipe sambungan (Gong, 2014; Abidela et al., 2012). Mekanisme kerja dari sambungan baut adalah kuat tumpu dari baut kepada pelat maupun kekuatan akibat friksi antara pelat dan elemen yang disambungkan (Hoang et al., 2012). Tetap tipe sambungan ini bisa mengalami beberapa mode kegagalan diantara lain kegagalan tumpu pelat, baut putus dan pelat sobek (block geser) (Plumier, 1994). Pada umumnya desain konstruksi selalu didesain agar mengalami kegagalan daktail dimana kegagalan ini disebabkan oleh model geometri sambungan yaitu jarak tepi baut maupun jarak tepi pelat ke baut luar (Zaihua, 2015). Untuk menyambung 2 atau lebih batang (*member*) pada konstruksi baja

para aplikator menggunakan beberapa jenis metode yaitu sambungan baut, sambungan menggunakan paku keeling, las, baut dan kombinasi las-baut. Beberapa metode tersebut banyak digunakan dalam berbagai konstruksi baja. Salah satu tipe sambungan yang paling banyak digunakan adalah sambungan dengan menggunakan baut. Adapun pada studi ini kami membahas sambungan baut dengan berbagai tipe lubang pada sambungan baut. Sambungan baut Desain tiap sambungan menggunakan jumlah baut yang sama dengan tata letak baut seragam. Adapun baut yang digunakan berdasarkan standar SNI 1729:2015. (AISC 360-05.2005, 2005). Sambungan baut terdiri dari dua tipe yaitu Tipe Tumpu (*bearing type connection*) dan baut tipe friksi (*slip critical connection*). Sambungan tipe tumpu dalam pelaksanaannya diberi pengencangan *Snug-tight* sedangkan tipe friksi didesain dengan memberikan *pretensioned force* pada baut sehingga terjadi *clamping* antara plat dan baja profil. Berdasarkan perbedaan mekanisme transfer beban, beban pada baut dapat dibedakan antara lain baut tipe tumpu (*bearing type-bolt*) dan baut pre-tensioned (*slip type*). Baut tipe tumpu mengalami beban langsung dari tiap bagian pelat dan balok, sementara baut tipe slip menerima gaya tarik yang akibatkan oleh pengencangan dua pelat atau lebih. Dari perilaku tersebut baut akan ditempatkan pada lubang-lubang dengan posisi yang sama. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui berapa kapasitas beban secara analitis sambungan dengan menggunakan 4 tipe lubang yang berbeda. Adapun 4 tipe lubang sambungan (*bolt holes*) diantara lain *Standard Hole (STD)*, *Short-Slotted Hole(SSL)*, *Oversized Hole(OVS)*, dan *Long-Slotted Hole (LSL)* (SNI 1729:2020, 2020).

## II. METODE

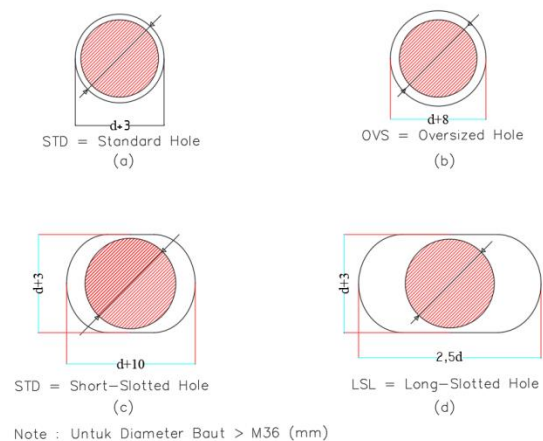
Analisis perhitungan sambungan metode dengan menggunakan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* dimana metode ini mensyaratkan kekuatan desain masing-masing komponen structural sama atau melebihi kekuatan yang ditentukan dengan kombinasi pembebanan Desain tiap sambungan menggunakan jumlah baut yang sama dengan tata letak baut seragam. Adapun baut yang digunakan berdasarkan standar SNI 1729:2015 (Borello, 2006).

Tabel 1. Data dimensi lubang nominal baut

| Diameter Baut | Dimensi Lubang (Diameter) mm |                      |                           |                         |
|---------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
|               | Standard Hole (STD)          | Oversized Hole (OVS) | Short-Slotted Hole (SSL)  | Long-Slotted Hole (LSL) |
| M16           | 18                           | 20                   | 18 x 22                   | 18 x 40                 |
| M20           | 22                           | 24                   | 22 x 26                   | 22 x 50                 |
| M22           | 24                           | 28                   | 24 x 30                   | 24 x 55                 |
| M24           | 27                           | 30                   | 27 x 32                   | 27 x 32                 |
| M27           | 30                           | 35                   | 30 x 37                   | 30 x 37                 |
| M30           | 33                           | 38                   | 33 x 40                   | 33 x 75                 |
| ≥ M36         | $d + 3$                      | $d + 8$              | $(d + 3) \times (d + 10)$ | $(d + 3) \times 2,5d$   |

Sumber: SNI 1729:2015 (Spesifikasi untuk bangunan gedung baja structural)

Selain dimensi lubang baut maka jarak tepi dan jarak antar baut harus ditentukan dalam analisis sambungan. Jarak tepi baut merujuk pada jarak dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain, sedangkan jarak antar baut adalah jarak terpendek antara baut pada ukuran yang sama atau ukuran yang berhubungan dengan baut yang sama. Menggunakan SNI 1729-2015, jarak tepi maksimum dari pusat setiap baut ke tepi terdekat dari bagian-bagian dalam kontak harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung.



Gambar 1. Dimensi lubang nominal baut  
Sumber: SNI 1729:2015

Jarak dari pusat lubang standar (Standard Hole) ke suatu tepi dari suatu bagian yang disambung pada setiap arah tidak boleh kurang dari nilai yang berlaku dari Tabel 2. Atau seperti yang disyaratkan. Jarak dari pusat suatu ukuran berlebih atau lubang slot ke suatu tepi dari suatu bagian yang disambung harus tidak kurang dari yang diperlukan untuk suatu lubang standar ke suatu tepi dari bagian yang disambung.

Tabel 2. Jarak tepi minimum<sup>[a]</sup> dari pusat lubang standar (*standard hole*)<sup>[b]</sup> ke tepi bagian yang disambung

| Diameter Baut (mm) | Jarak Tepi Minimum |
|--------------------|--------------------|
| 16                 | 22                 |
| 20                 | 26                 |
| 22                 | 28                 |
| 24                 | 30                 |
| 27                 | 34                 |
| 30                 | 38                 |
| 36                 | 46                 |
| Di atas 36         | 1,25d              |

Sumber: SNI 1729:2015

Konfigurasi sambungan dan jenis baut menentukan jarak tepi sambungan slip kritis. Baut baja harus disesuaikan dengan desain benda uji yang direncanakan dengan menambah jarak antara tepi baut dan tepi sambungan pelat baja. Studi oleh Pranata et al. (2018) menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan dari jarak antar baut lebih besar daripada tegangan yang dihasilkan dari jarak baut dengan tepi. Semakin jauh jarak antar baut, tegangan yang dihasilkan semakin besar begitu pula sebaliknya (Pranata, et al., 2018)

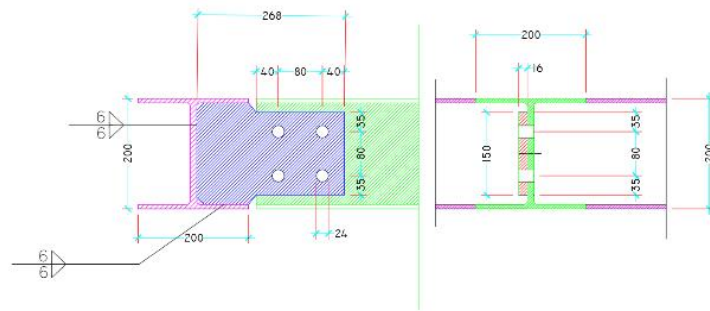
Tabel 3. Nilai penambahan jarak tepi C<sub>2</sub> (mm)

| Diameter Nominal dari Pengencangan | Oversized Hole | Lubang Slot        |  | Sumbu Panjang Tegak Lurus Terhadap Tepi Paralel terhadap Tepi |
|------------------------------------|----------------|--------------------|--|---|
|                                    |                | Short-Slotted Hole | Long-Slotted Hole (LSL) <sup>[a]</sup> |   |
| ≤ 22                               | 2              | 3                  |  |   |
| 24                                 | 3              | 3                  | 0,75d                                  | 0   |
| ≥ 27                               | 3              | 5                  |  |   |

<sup>[a]</sup>Apabila panjang slot kurang dari maksimum yang diperbolehkan (lihat Tabel 1), C<sub>2</sub> Boleh direduksi sebesar setengah perbedaan antara panjang slot maksimum dan aktual

Sumber: SNI 1729:2015

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Model sambungan baja (shear tab-connection – beam to girder)

Sambungan baja diatas akan dijadikan sebagai model sambungan yang akan dihitung secara analisis dengan 4 tipe lubang yang menyambung antara plat dengan balok H-Beam yang merupakan sambungan geser (shear connection). Konfigurasi lubang sambungan akan disesuaikan sesuai dengan luasan plat sambung dengan 4 tipe lubang yaitu Standard Hole (STD), Oversized Hole (OVS), Short-Slotted Hole (SLS), dan Long-Slotted Hole (LSL).

Tabel 4. Spesifikasi Produk Baja H-Beam

| Steel Class | Dimension (mm) |     |     |                |                | Sectional Area (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|----------------|-----|-----|----------------|----------------|-----------------------------------|
|             | Nominal        | H   | B   | t <sub>f</sub> | t <sub>w</sub> |                                   |
| 100x100x6   | 100            | 100 | 6.0 | 8.0            | 8.0            | 21.59                             |
| 125x125x6.5 | 125            | 125 | 6.5 | 9.0            | 8.0            | 30.00                             |
| 150x150x7   | 150            | 150 | 7.0 | 10             | 8.0            | 39.65                             |
| 175x175x7.5 | 175            | 175 | 7.5 | 11             | 13             | 51.43                             |
| 200x200x8   | 200            | 200 | 8.0 | 12             | 13             | 63.53                             |

Sumber: Spesifikasi product Krakatau Steel

Cek Geometrik Sambungan – *Shear Tab to Beam Web*  
 Diameter Baut (HTB) = 22 mm – (*High Tension Bolt*)

Tebal Pelat Sambung = 16 mm

Dimensi H-Beam (Lihat Tabel 4)

Las Sudut = 6 mm

1. Sambungan Tipe Tumpu dengan Lubang Baut Standar (*Standard Hole*)

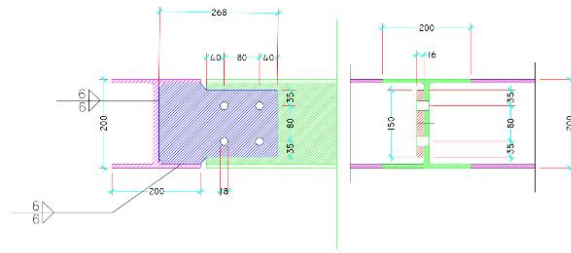
Diameter Baut (HTB) = 16 mm – (*High Tension Bolt*)

Tebal Pelat Sambung = 16 mm

Dimensi H-Beam (Lihat Tabel 4)

Las Sudut = 6 mm

Diameter Lubang = 18 mm (Tabel.2)



Gambar 3. Posisi Sambungan Baut *Standard Hole (STD)*

Jarak Tepi Minimum = 28 mm (Tabel.3),  
 Dipakai 35 mm  
 Spasi antar baut = 80 mm

[Standard Hole]

**1. Profil H-Beam 200.200.8**  
 $db = 16\text{mm}$   
 $f_y = 250\text{MPa}$   
 $f_u = 410\text{MPa}$   
 $A_g = 6353\text{mm}^2$   
 $A_n = A_g - ((2*(db + 2\text{mm})*12\text{mm})) = 5921\text{ mm}^2$   
 $A_e = 0.8*A_n = 4736.8\text{ mm}^2$   
 $\text{Leleh} = 0.9*f_y*A_n = 1332.22\text{ kN}$   
 $\text{fraktur} = 0.75*f_u*A_e = 1456\text{ kN}$

**2. Kekuatan Block geser**  
 $f_{y\_pelat} = 240\text{MPa}$   
 $f_{u\_pelat} = 370\text{MPa}$   
 $A_{gt} = 80\text{mm}*15\text{mm} = 1200\text{mm}^2$   
 $A_{nt} = A_{gt} - (1*2\text{mm}*16\text{mm}) = 1168\text{ mm}^2$   
 $A_{gv} = 80\text{mm}*(db + 2\text{mm})*2 = 2880\text{ mm}^2$   
 $A_{nv} = A_{gv} - (1.5*18\text{mm}*16\text{mm}) = 2448\text{ mm}^2$   
 $R_{n\_kiri} = ((0.6*f_{u\_pelat}*A_{nv}) + (1*f_{u\_pelat}*A_{nt})) = 975.62\text{ kN}$   
 $R_{n\_kanan} = ((0.6*f_{y\_pelat}*A_{gv}) + (1*f_{u\_pelat}*A_{gv})) = 1480.32\text{ kN}$   
 $R_n = \min(R_{n\_kiri}; R_{n\_kanan}) = 975.62\text{ kN}$   
 $\phi R_{n\_Geser} = 0.75*R_n = 731.71\text{ kN}$

**3. Kuat Geser Baut**  
 $F_{nv} = 372\text{MPa}$   
 $F_{nt} = 620\text{MPa}$   
 $A_b = (1/4*3.14*db^2) = 200.96\text{ mm}^2$   
 $R_{n\_Baut} = F_{nv}*A_b = 74.76\text{ kN}$   
 $\phi R_{n\_Baut} = 0.75*R_{n\_Baut}*4 = 224.27\text{ kN}$

**4. Kuat Tumpu Pelat**  
 $l_{c\_luar} = 40\text{mm} - (db + 2\text{mm})*1/2 = 31\text{ mm}$   
 $l_{c\_dalam} = 80\text{mm} - (db + 2\text{mm}) = 62\text{ mm}$   
 $t_p = 16\text{mm}$   
 $R_{n\_Dalamkr} = 1.2*l_{c\_luar}*t_p*f_{u\_pelat} = 220.22\text{ kN}$   
 $R_{n\_Dalamkn} = 1.2*l_{c\_dalam}*t_p*f_{u\_pelat} = 440.45\text{ kN}$   
 $R_{n\_kananPlat} = 2.4*(db + 2\text{mm})*t_p*f_{u\_pelat} = 255.74\text{ kN}$   
 $\phi R_{n\_pelat} = 0.75*((2*R_{n\_Dalamkr}) + (4*R_{n\_kananPlat})) = 1097.57\text{ kN}$

**5. Kuat Sambungan Baut**

$$\phi R_{n\_SambunganBaut} = 0.75*((2*R_{n\_Dalamkr}) + (4*\phi R_{n\_Baut})) = 1003.15\text{ kN}$$

**6. Kesimpulan Beban Maksimum yang dapat dipikul**

$$\phi T_p = \min(\text{Leleh}; \text{fraktur}; \phi R_{n\_Geser}; \phi R_{n\_SambunganBaut}) = 737.71\text{ kN}$$

Sumber : Data Olahan *Calcpad*

**2. Sambungan Tipe Slip-Kritis dengan Lubang Baut Berlebih (*Oversized Hole*)**

Diameter Baut (HTB) = 16 mm – (*High Tension Bolt*)

Tebal Pelat Sambung = 16 mm

Dimensi H-Beam (Lihat Tabel 4)

Las Sudut = 6 mm

Diameter Lubang = 20 mm (Tabel.2)

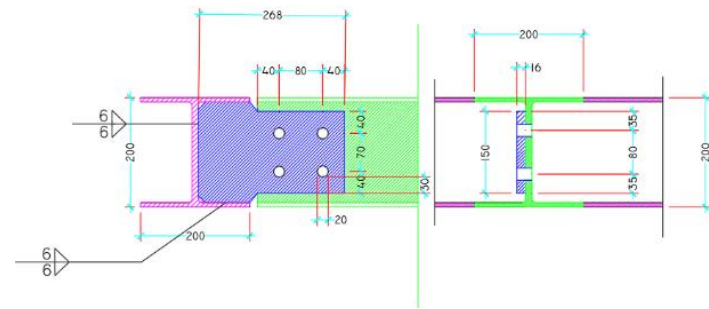
Jarak Tepi Minimum = 28 mm (Tabel.3),  
 Dipakai 35 mm

Spasi antar baut = 80 mm

Tabel 5. Pratarik baut minimum, kN\*

| Ukuran Baut, mm | Pratarik Baut Minimum, kN* |            |
|-----------------|----------------------------|------------|
|                 | Baut A325M                 | Baut A490M |
| M16             | 91                         | 114        |
| M20             | 142                        | 179        |
| M22             | 176                        | 221        |
| M24             | 205                        | 257        |
| M27             | 267                        | 334        |
| M30             | 326                        | 408        |
| M36             | 475                        | 595        |

Sumber: SNI 1729:2015 (Tabel J.31)



Gambar 4. Posisi Sambungan Baut *Oversized Hole(OVS)*

**Oversized Hole(OVS)**

$$\mu = 0.30$$

$$D_u = 1.13$$

$$H_f = 1.0$$

$$T_b = 91\text{kN}$$

$$n_s = 1$$

$$D_b = 16\text{mm}$$

$$R_{n\_Slip} = \mu*D_u*H_f*T_b*n_s = 30.85\text{ kN}$$

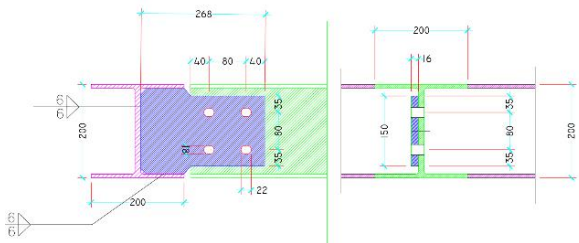
$$\phi R_{n\_OVS} = 0.85*R_{n\_Slip} = 26.22\text{ kN}$$

$$\text{TotalFriction} = \phi R_{n\_OVS}*4 = 104.89\text{ kN}$$

Sumber: Data olahan *Calcpad*

**3. Sambungan Tipe Slip-Kritis dengan Lubang Slot Pendek (*Short-Slotted Hole*)**

- Diameter Baut (HTB) = 16 mm – (High Tension Bolt)
- Tebal Pelat Sambung = 16 mm
- Dimensi H-Beam (Lihat Tabel 4)
- Las Sudut = 6 mm
- Diameter Lubang = 18x22 mm (Tabel.2)
- Jarak Tepi Minimum = 28 mm (Tabel.3), Dipakai 35 mm
- Spasi antar baut = 80 mm



Gambar 5. Posisi Sambungan Baut Short-Slotted Hole(SLS)

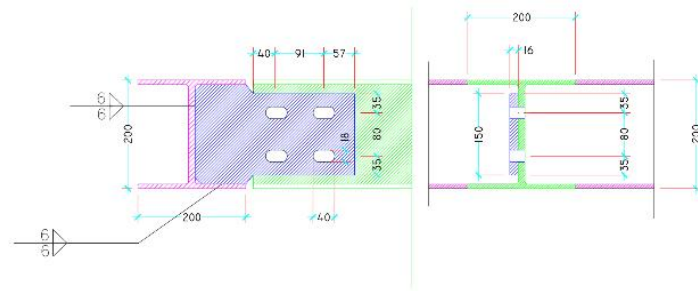
**Short-Slotted Hole (SLS)**

$\mu = 0.30$   
 $Du = 1.13$   
 $Hf = 1.0$   
 $Tb = 91\text{kN}$   
 $ns = 1.0$   
 $Db = 16\text{mm}$   
**"Sejajar arah Gaya (Short-Slotted Hole/SLS)"**  
 $\phi Rn_{SLS1} = 0.85 * Rn_{Slip} = 26.22 \text{ kN}$   
 $TotalFriction = \phi Rn_{SLS1} * 4 = 104.89 \text{ kN}$   
**"Tegak Lurus dengan Gaya (Short-Slotted Hole/SLS)"**  
 $\phi Rn_{SLS2} = 1 * Rn_{Slip} = 30.85 \text{ kN}$   
 $TotalFriction = \phi Rn_{SLS2} * 4 = 123.4 \text{ kN}$

Sumber: Data olahan Calcpad

4. Sambungan Tipe Slip-Kritis dengan Lubang Slot Panjang (Long-Slotted Hole)

- Diameter Baut (HTB) = 16 mm – (High Tension Bolt)
- Tebal Pelat Sambung = 16 mm
- Dimensi H-Beam (Lihat Tabel 4)
- Las Sudut = 6 mm
- Diameter Lubang = 18x40 mm (Tabel.2)
- Jarak Tepi Minimum = 28 mm (Tabel.3), Dipakai 35 mm
- Spasi antar baut = 80 mm



Gambar 6 . Posisi Lubang Sambungan Baut Long-Slotted Hole(LSL)

**Long-Slotted Hole (LSL)**

$\mu = 0.30$   
 $Du = 1.13$   
 $Hf = 1.0$   
 $Tb = 91\text{kN}$   
 $ns = 1.0$   
 $Db = 16\text{mm}$

**"Sejajar arah Gaya (Long-Slotted Hole/LSL)"**

$\phi Rn_{LSL1} = 0.6 * Rn_{Slip} = 18.51 \text{ kN}$   
 $TotalFriction = \phi Rn_{LSL1} * 4 = 74.04 \text{ kN}$

**"Tegak lurus arah Gaya (Long-Slotted Hole/LSL)"**

$\phi Rn_{LSL2} = 0.7 * Rn_{Slip} = 21.59 \text{ kN}$   
 $TotalFriction = \phi Rn_{LSL2} * 4 = 86.38 \text{ kN}$

Sumber: Data olahan Calcpad

Hasil perhitungan untuk setiap tipe lubang dengan konfigurasi posisi yang sama menunjukkan perbedaan kapasitas beban aksial tarik yang bisa diterima oleh sambungan dengan tipe lubang baut yang berbeda. Pada sambungan yang menggunakan lubang standar (Standard Hole) Sambungan baut dengan tipe tumpu (Bearing type connection) menunjukkan besaran nilai kapasitas daya dukung beban aksial yang lebih besar dari pada sambungan 3 sambungan tipe friksi (Slip Critical Connection).

1. Tipe Lubang Baut Standar (Standard Hole)

Pada sambungan ini khusus untuk sambungan tipe tumpu dimana baut hanya diberi pengencangan snug tight kemudian beban akan diteruskan dari baut ke pelat sehingga luasan lubang yang digunakan adalah diameter+2m (16 mm +2 mm). adapun model sambungan yang digunakan menggunakan pelat 16 mm yang disambungkan ke elemen tarik H.Beam 200.200.8 yang diberi gaya aksial tarik. Dari hasil analisis didapatkan nilai kekuatan sambungan sebagai berikut :

Kondisi Leleh

- a. Leleh =  $0.9.fy.An = 1332.22 \text{ kN}$

Kondisi Fraktur

- b. Fraktur =  $0.75 \cdot f_u \cdot A_e = 1456 \text{ kN}$   
Kekuatan Block Geser
  - c.  $\phi R_n_{\text{Geser}} = 0.75 \cdot R_n = 731.71 \text{ kN}$   
Kuat Tumpu Pelat
  - d.  $\phi R_n_{\text{Pelat}} = 1097.57 \text{ kN}$   
Kuat Sambungan Baut
  - e.  $\phi R_n_{\text{baut}} = 1003.15 \text{ kN}$   
Maka kekuatan sambungan lubang standar (*Standard hole*) diambil nilai tahanan terkecil yaitu kekuatan block geser sebesar 731.71 kN.
2. Tipe Lubang Baut Berlebih (*Oversized Hole*)  
Pada sambungan lubang baut *Oversized*, tiap baut memberikan tahanan gesek sebesar 26.22 kN/baut. Sehingga dengan jumlah 4 baut maka tahanan geseknya sebesar 104.89 kN.
  3. Tipe Lubang Baut Slot Pendek (*Short-Slotted Hole*)  
Pada sambungan lubang baut *Short-Slotted Hole*, tiap baut memberikan tahanan gesek sebesar 26.22 kN untuk lubang yang sejajar dengan arah gaya. Sehingga dengan jumlah 4 baut maka tahanan geseknya sebesar 104.89 kN. Tetapi jika posisi gaya tegak lurus terhadap sisi panjang lubang maka nilai tahanan geseknya sebesar 30.85 kN/baut, untuk 4 buah baut didapatkan tahanan friksi sebesar 123.4 kN.
  4. Tipe Lubang Baut Slot Panjang (*Long-Slotted Hole*)  
Pada sambungan lubang baut slot panjang (*Long-Slotted Hole*), tiap baut memberikan tahanan gesek sebesar 18.51 kN/baut ketika arah gaya sejajar dengan sisi panjang lubang adalah 74.04 kN. Untuk arah gaya yang tegak lurus terhadap sisi panjang lubang tahanan friksinya sebesar 21.59 kN. Sehingga dengan jumlah 4 baut maka tahanan friksinya sebesar 86.38 kN.

## V. KESIMPULAN

1. Untuk kekuatan sambungan dengan lubang standar (*Standard Hole*) digunakan untuk sambungan tipe tumpu (*Bearing type Connection*) dimana baut menerima beban dari pelat dan elemen balok. sambungan ini memiliki nilai tahanan tiap lubang yang lebih besar dari sambungan dengan lubang *Oversized*, Slot Pendek dan Slot Panjang.
2. Untuk mendapatkan tahanan friksi yang setara dengan tahanan tumpu baut maka harus menambah jumlah baut karena

tahanan friksi hanya sekitar  $\frac{1}{2}$  dari tahanan tumpu adapun untuk memperbesar *clamping force* maka antar permukaan bisa dengan memberikan *coating* khusus sehingga nilai friksi bisa meningkat.

3. Untuk memperbesar *clamping force* pada dua bidang gesek bisa dengan mengganti ukuran baut sehingga pretension yang dilaksanakan bisa lebih besar dan berakibat pada tahanan friksi yang semakin besar.
4. Sambungan dengan lubang tipe oversized, Slot Pendek dan Slot Panjang memerlukan penanganan khusus dalam pelaksanaannya sehingga meningkatkan biaya pengerjaan karena dalam proses pemasangannya akan memerlukan jumlah baut yang lebih banyak daripada sambungan lubang standar (*Standard Hole*) dalam hal ini sambungan tipe tumpu.
5. Sambungan dengan lubang oversized, Short-Slotted, dan Long-Slotted memiliki kelebihan dalam hal ereksi konstruksi baja dimana ketika lubang ini dapat mempermudah proses *adjustment* sambungan ketika ada elemen baja yang tidak pas saat pelaksanaannya. Sebagai contoh saat memasang joint pada kolom dan balok dan membutuhkan *adjustment* maka akan sangat sulit melakukannya jika menggunakan lubang standar (*Standard Hole*) karena posisi lubang sudah dan ukuran lubang dan baut hanya selisih  $d+2 \text{ mm}$

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bouchair, J. Averseng, A. Abidelah. (2008). Analysis of the behavior of stainless steel bolted connections. *Journal of Constructional Steel*. France: Elsevier.
- [2] F. Adel, S. Shokrollahi, M. Jamal-Omidi and A. Ahmadian. (2017). A model updating method for hybrid composite/aluminum bolted joints using modal test data. Iran: Elsevier.
- [3] Y. Gong. (2014). Ultimate tensile deformation and strength capacities of bolted-angle connections. Canada: Elsevier
- [4] A. Abidelah, A. Bouchair, D. Kerdal. (2012). Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. Algeria: Elsevier
- [5] Hoang, C. T. D., Herbelot, A., Imad. (2012). On failure mode analysis in a bolted single lap joint under tension shearing.
- [6] A. Plumier. (1994). Behaviour of connections. Belgium: J. Construct Steel Research.
- [7] T. Tajeuna, F. Legeron, P. Labossiere, M. Demers, S. Langlois, E. (2015). Effect of geometrical parameters of aluminum-to-steel bolted connections. Canada: Elsevier.

- [8] Zaihua, Z. (2015). Comparative study on design and calculating theories of high-strength bolted connections with non-standard holes between China and Indian. Hunan, China: IJRSET.
- [9] AISC 360-05.2005. (2005) *Specification for Structural Steel Buildings*. USA: AISC
- [10] SNI 1729:2020. (2020). *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja structural*. Indonesia: BSN
- [11] Borello, D. J. (2006). *Bolted steel slip-critical connections with fillers: I. Performance*. USA: Elsevier
- [12] Pranata, Y.A., Sulandari, N., Milyardi, R. (2018), Experimental tests and analytical studies of bearing-type axial.