

Studi Eksperimental Batang Tarik Sambungan Baut pada Plat Baja

**DESI HARDIANTI, BERNARDINUS HERBUDIMAN,
NESSA VALIANTINE DIREJJA**

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional
Email: desi.hardianti96@gmail.com

ABSTRAK

*Sambungan baut pada batang tarik baja memiliki kapasitas dengan macam-macam tipe kegagalan. Melalui penelitian ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran untuk mengetahui salah satu jenis kegagalan pada sambungan batang tarik. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan kapasitas sambungan batang tarik plat baja 70mm*300mm*3mm disambung dengan baut penyambung diameter 8mm dengan mutu A449 melalui studi analisis kapasitas dan kegagalan dengan studi eksperimental. Pada studi analisis kapasitas dan kegagalan sambungan batang tarik baja diperoleh kapasitas sambungan sebesar 44,04kN dengan tipe kegagalan geser. Pada studi eksperimental dilakukan pengujian tarik sambungan baja batang tarik, didapatkan nilai kapasitas ultimit sebesar 52,23kN. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah baik hasil perhitungan secara analitis dan pengujian eksperimental di laboratorium menunjukkan trend yang baik dan sama. Kekuatan nominal tarik rencana (R_n) dari hasil studi analitis dengan beban ultimit hasil studi eksperimental memiliki perbedaan sebesar 15,69 % dengan hasil eksperimental lebih tinggi.*

Kata kunci: sambungan batang tarik baja, eksperimental, analitis, kapasitas.

ABSTRACT

*The bolted connection of the tension rod has capacity with various types of failure. Through this research, it is hoped that it can become a learning medium to find out one of the types of failures in the tension rod joint. In this research, the comparison of 70mm*300mm*3mm angle cross-section connections using 8mm bolt connectors with A449 quality through capacity analysis studies and failure with experimental studies. In the capacity analysis and failure of the steel pull rod connection, a connection capacity of 44.04kN was obtained with a type of shear failure. In the experimental study, tensile testing of tensile rod steel was carried out, obtained the ultimate capacity value of 52.23kN. The conclusion that can be drawn from this study is that both the results of analytical calculations and experimental testing in the laboratory show a good and the same trend. The nominal strength of plan pull (R_n) from the results of analytical studies with ultimate load results from experimental studies had a difference of 15.69% with higher experimental results.*

Keywords: steel tension joint, experimental, analytical, capacity.

1. PENDAHULUAN

Struktur sambungan batang tarik baja memiliki kapasitas dengan macam – macam tipe kegagalan. Kapasitas sambungan batang tarik baja dapat ditentukan melalui analitis kapasitas dan kegagalan sambungan. Berdasarkan analitis kapasitas dan kegagalan sambungan batang tarik baja, kapasitas sambungan batang tarik baja yang di tentukan dihasilkan berdasarkan banyak parameter struktur diantaranya dimensi dan mutu batang tarik, tebal dan mutu pelat penyambung, dan terakhir tebal dan mutu baut sambungan. Kapasitas sambungan batang tarik baja hasil analisis kapasitas dan kegagalan sambungan seringkali memiliki nilai yang lebih rendah dari kapasitas sambungan dalam kondisi riil. Berdasarkan penelitian ini dilakukan perbandingan kapasitas sambungan batang tarik melalui studi analitis kapasitas, kegagalan dan studi eksperimental dengan tipe kegagalan geser.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari kapasitas kekuatan sambungan aksial batang tarik baja dengan metode analitis berdasarkan prediksi kapasitas kekuatan berdasarkan literatur dan pengujian eksperimental di Laboratorium.

Ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu benda uji yang di tinjau adalah sambungan aksial batang tarik, metode pembebanan adalah uniaxial tarik, jumlah benda uji adalah 3 (tiga) benda uji, pengujian menggunakan *Universal Testing Machine* di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Nasional, dalam perhitungan analitis digunakan asumsi tegangan leleh (F_y) batang baja sebesar 219,679 MPa dan tegangan ultimit (F_u) batang baja sebesar 302,678 MPa, kegagalan yang di tinjau adalah kegagalan geser pada alat sambung mekanik baut, plat baja yang ditinjau adalah kegagalan geser pada alat sambung mekanik baut, plat baja yang ditinjau adalah plat ukuran 70 mm * 300 mm * 3 mm, baut yang digunakan adalah baut mutu tinggi diameter 8 mm mutu A449.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Kekuatan Sambungan Batang Tarik Baja Menggunakan Baut

Analisis kekuatan sambungan batang tarik menggunakan baut dilakukan berdasarkan SNI 1729:2015 "Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural". Persamaan–persamaan yang harus dipenuhi menurut metode DFBK (Desain Faktor Beban dan Ketahanan) adalah sebagai berikut:

Kekuatan batang tarik menurut batas leleh pada penampang bruto sesuai SNI 1729:2015 Bab D2 (a) ditunjukkan dengan **Persamaan 1**.

$$\phi R_n = \phi * F_y * A_g \quad \dots(1)$$

halmana:

- R_n = kuat nominal menurut batas leleh batang tarik [N],
- ϕ = faktor ketahanan kondisi batas leleh tarik (0,90),
- F_y = tegangan leleh minimum material baja [MPa],
- A_g = luas bruto penampang batang tarik [mm²].

Kekuatan batang tarik menurut batas keruntuhan pada penampang bruto sesuai SNI 1729:2015 Bab D2 (b) ditunjukkan dengan **Persamaan 2**.

$$\phi R_n = \phi * F_u * A_e \quad \dots(2)$$

halmana:

- R_n = kuat nominal menurut batas keruntuhan batang tarik [N],

- ϕ = faktor ketahanan kondisi batas keruntuhan tarik (0,75),
 F_u = tegangan putus minimum material baja [MPa],
 A_e = luas neto efektif penampang batang tarik [mm²].

Luas neto efektif (A_e) dihitung mengikuti ketentuan SNI 1729:2015 Bab D3 seperti pada **Persamaan 3 dan 4**.

$$A_e = U * A_n \quad \dots(3)$$

halmana:

- U = faktor *shear lag*,
 A_n = luas neto penampang batang tarik [mm²].

Penyaluran gaya tarik pada sambungan tidak melalui semua elemen penampang, perhitungan faktor *shear lag* (U):

$$U = 1 - \frac{x}{l} \quad \dots(4)$$

halmana:

- x = eksentrisitas sambungan [mm],
 l = panjang sambungan [mm].

Luasa neto penampang batang tarik (A_n) dihitung mengikuti ketentuan SNI 1729:2015 Bab B4.3, yang dapat dituliskan seperti **Persamaan 5**.

$$A_n = A_g - n_{baut} * d * t \quad \dots(5)$$

halmana:

- n_{baut} = jumlah lubang baut pada garis potensial keruntuhan batang tarik,
 d = diameter lubang untuk perhitungan luas neto batang tarik, sesuai SNI 1729:2015 Bab B4.3 3b diambil 2mm lebih besar dari diameter nominal lubang baut. Diameter nominal lubang baut mengikuti ketentuan SNI 1729:2015 Bab J3.2 yaitu diameter baut (d_b) + 2mm untuk $d_b < 24$ mm [mm],
 t = tebal pelat dimana terdapat lubang [mm].

Kekuatan geser baut pada sambungan tipe tumpu, sesuai SNI 1729:2015 Bab J3.6 ditunjukkan dengan **Persamaan 6**.

$$\phi R_n = \phi * F_{nv} * A_b \quad \dots(6)$$

halmana:

- R_n = kuat nominal geser baut [N],
 ϕ = faktor ketahanan kondisi batas geser baut (0,75),
 F_{nv} = tegangan geser nominal baut [MPa],
 A_b = luas nominal tubuh baut tidak berulir atau bagian berulir [mm²].

Kekuatan tumpu lubang baut (ϕR_n), sesuai SNI 1729:2015 Bab J3.10 (a) ditunjukkan dengan **Persamaan 7**.

$$R_n = 1,2 * l_c * t * F_u \leq 2,4 * d_b * t * F_u \quad \dots(7)$$

halmana:

- R_n = kuat nominal tumpu pada lubang baut [N],
 ϕ = faktor ketahanan kondisi batas tumpu (0,75),
 l_c = jarak bersih dalam arah gaya, antar tepi lubang baut [mm],
 t = tebal material yang disambung, digunakan yang paling tipis [mm],
 d_b = diameter baut [mm],

F_u = tegangan putus minimum material baja [MPa].

Kekuatan geser blok (ϕR_n) pada sambungan batang tarik baja, sesuai SNI 1729:2015 Bab J4.3 ditunjukkan dengan **Persamaan 8**.

$$R_n = 0,6 * F_u * A_{nv} + U_{bs} * F_u * A_{nt} \leq 0,6 * F_y * A_{gv} + U_{bs} * F_u * A_{nt} \quad \dots(8)$$

halmana:

R_n = kuat nominal geser blok [N],

ϕ = faktor ketahanan kondisi batas geser blok (0,75),

A_{nt} = luas neto yang menahan tarik [mm²],

A_{nv} = luas neto yang menahan geser [mm²],

A_{gv} = luas bruto yang menahan geser [mm²],

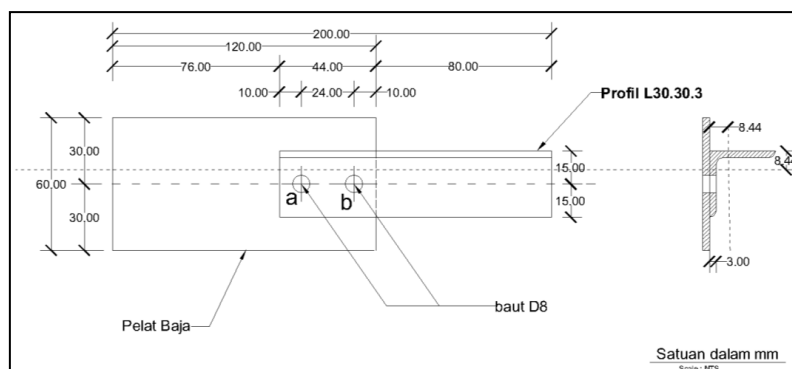
U_{bs} = koefisien reduksi untuk perhitungan keruntuhan geser blok,

$U_{bs} = 1,0$ untuk tegangan tarik terdistribusi merata,

$U_{bs} = 0,5$ untuk tegangan tarik terdistribusi tidak merata,

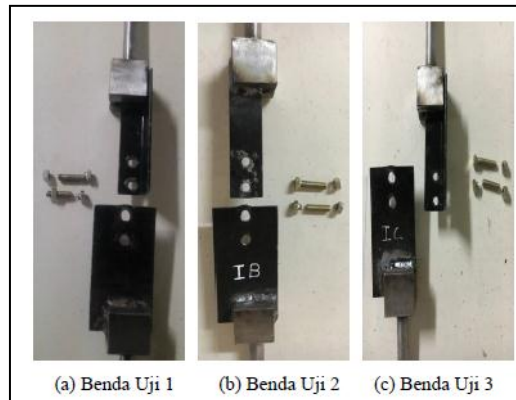
F_u = tegangan putus minimum material baja [MPa].

Studi eksperimental yang dilakukan Sulandari et al. (2017) tentang "Studi Eksperimental dan Analitis Kapasitas Sambungan Baja Batang Tarik dengan Tipe Kegagalan Geser Baut" menggunakan profil baja didasarkan pada ASTM E8/E8M – 16a *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials* (ASTM, 2016) dengan kecepatan menguji *chroshead* sebesar 0,015 mm/mm/menit. Pengujian batang tarik baja dilakukan dari profil siku sama kaki mutu BJ-37 ukuran 30x30x3mm disambung dengan pelat baja mutu BJ – 37 tebal 3 mm menggunakan baut mutu A307 diameter 8 mm yang memiliki konfigurasi sambungan seperti **Gambar 1**.



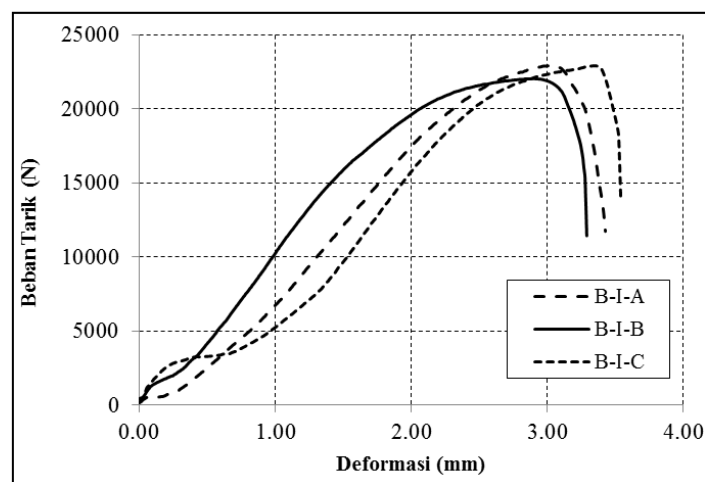
Gambar 1. Konfigurasi sambungan pengujian sambungan batang tarik baja (Sumber: Sulandari et al., 2017)

Berdasarkan studi eksperimental pengujian sambungan batang tarik baja disiapkan 3 benda uji sesuai dengan konfigurasi **Gambar 1**. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Ketiga benda uji mengalami kegagalan geser pada baut sesuai dengan hasil studi kasus analitis. Hasil pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), didapatkan kurva beban terhadap deformasi (kurva $P - D$). Dari kurva $P - D$ diperoleh nilai beban batas proporsional (P_y) dan nilai beban ultimit (P_u) benda uji sambungan batang tarik baja yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil pengujian tarik benda uji sambungan batang tarik baja (Sumber: Sulandari et al.,2017)

Ketiga benda uji mengalami kegagalan geser pada baut sesuai dengan hasil studi kasus analitis. Hasil pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), didapatkan kurva beban terhadap deformasi (kurva $P-D$). Dari kurva $P-D$ diperoleh nilai beban batas proporsional (P_y) dan nilai beban ultimit (P_u) benda uji sambungan batang tarik baja yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Kurva $P-D$ benda uji sambungan batang tarik baja (Sumber: Sulandari et al.,2017)

2.2 Pengujian Eksperimental Sambungan Batang Tarik Baja Menggunakan Baut

Pengujian eksperimental tarik sambungan batang tarik baja dilakukan untuk memperoleh nilai P maksimum dari rancangan konfigurasi sambungan, sehingga didapat konfigurasi sambungan yang kekuatannya baik dan ekonomis untuk material baja dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Nasional. **Gambar 4** memperlihatkan *Universal Testing Machine* (UTM) yang digunakan untuk pengujian eksperimental.

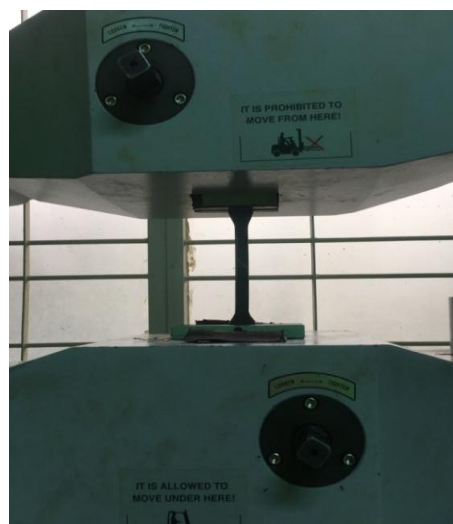


Gambar 4. Universal testing machine (UTM) untuk pengujian tarik sambungan baja

Sebelum merancang benda uji dilakukan pengetesan mutu baja dengan konfigurasi mengikuti untuk mendapatkan nilai tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) untuk dipakai dalam analitis dan mendapatkan konfigurasi jarak antar baut yang efisien. Spesimen uji tarik baja dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Spesimen bahan plat baja

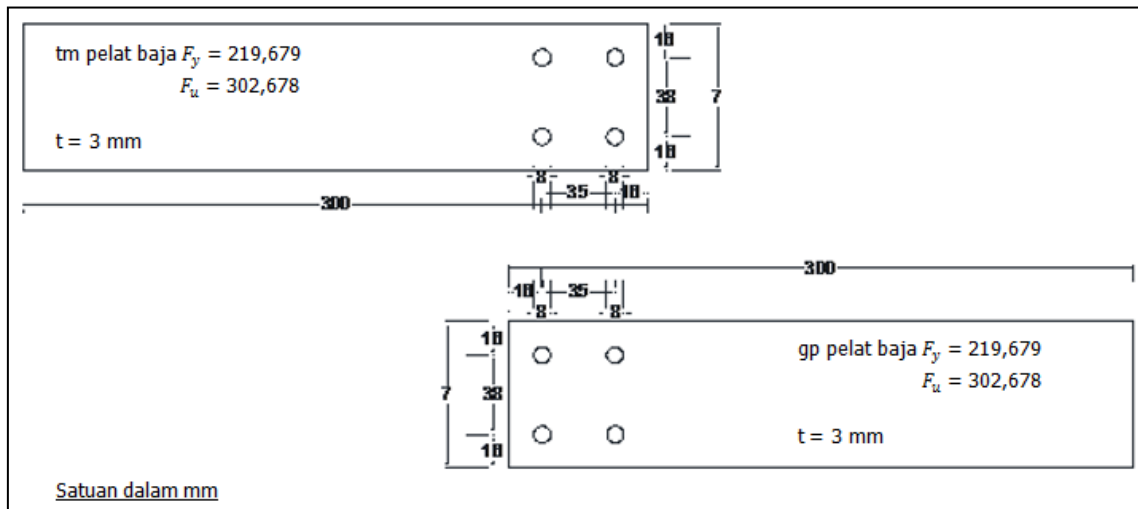


Gambar 6. Pelaksanaan uji tarik pada spesimen plat baja

Pelaksanaan uji tarik untuk spesimen bahan plat baja didapatkan nilai hasil rata – rata tegangan leleh (F_y) batang baja sebesar 233,543 MPa dan tegangan ultimit (F_u) batang baja sebesar 319,135 MPa. Nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit yang diperoleh digunakan pada analitis sambungan benda uji.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pengujian batang tarik baja dari plat besi ukuran 7 mm * 300 mm * 3mm disambung dengan pelat baja tebal 3mm menggunakan baut mutu A449 diameter 8mm yang memiliki konfigurasi sambungan seperti **Gambar 7**.



Gambar 7. Konfigurasi spesimen dan jarak antar baut

3.1 Studi Analitis Kekuatan Sambungan Batang Tarik Baja Menggunakan Baut

Data pelat baja :

$$\begin{aligned}
 B &= 610 \text{ mm}, & A_g &= 210 \text{ mm}^2, \\
 H &= 70 \text{ mm}, & F_y &= 219,679 \text{ MPa}, \\
 T &= 3 \text{ mm}, & F_u &= 302,678 \text{ MPa}.
 \end{aligned}$$

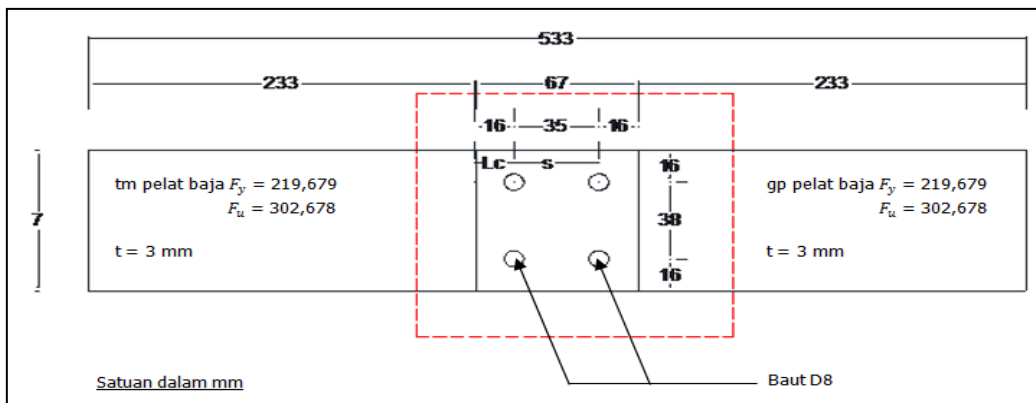
Data pelat penyambung :

$$t_p = 3 \text{ mm}, \quad F_y = 219,679 \text{ MPa}, \quad F_u = 302,678 \text{ MPa}.$$

Data baut penyambung, mutu A449:

$$\begin{aligned}
 D_b &= 8 \text{ mm}, & d_h &= 10 \text{ mm}, \\
 n_{baut} &= 4, \\
 A_b &= 50,265 \text{ mm}^2, & F_{nt} &= 620 \text{ MPa}, & F_{nv} &= 380 \text{ MPa}.
 \end{aligned}$$

Konfigurasi benda uji menunjukkan jarak tepi (l_c) dan jarak antar baut di tunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Konfigurasi benda uji sambungan pelat

Kekuatan batang tarik plat baja menurut batas leleh dan batas keruntuhan dihitung menurut **Persamaan 1 sampai Persamaan 8** diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\phi R_n = 0,90 * F_y * A_g$$

$$\phi R_n = 41.519,3 \text{ N}$$

Kekuatan batang menurut kondisi batas keruntuhan tarik:

$$\phi R_n = 0,75 * F_u * A_e$$

$$A_n = A_g - n_{baut} * d * t = 210 - (2) (12) (3) = 138 \text{ mm}^2$$

$$A_e = u. A_n = 1 * 138 = 138 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 34.051,3 \text{ N}$$

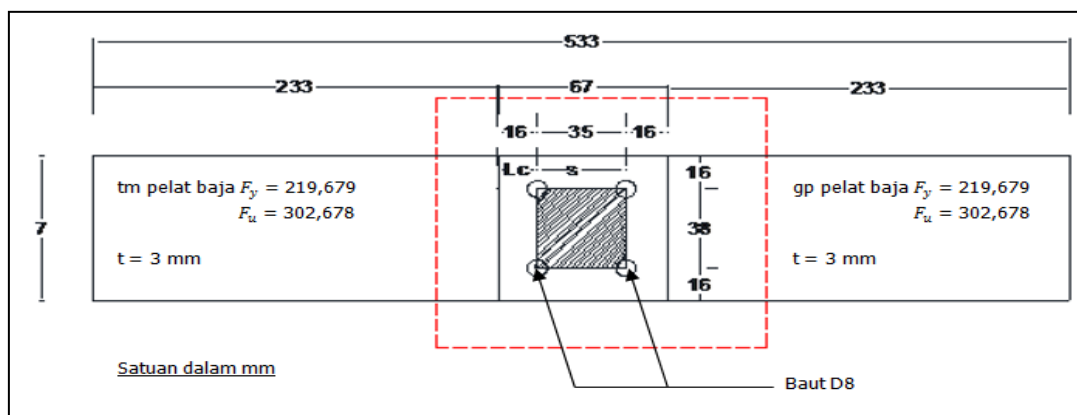
Kekuatan geser baut pada sambungan tipe tumpu dihitung menurut **Persamaan 6**, dengan hasil sebagai berikut:

Kekuatan geser sambungan yang menggunakan 2 buah baut:

$$\phi R_n = 0,75 * n_{baut} * F_{nv} * A_b$$

$$\phi R_n = 57.302,1 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu lubang baut dihitung sesuai **Persamaan 7**. Berdasarkan perhitungan ini perlu ditentukan jarak bersih (l_c) antar tepi lubang baut a ke tepi batang tarik yang disambung serta tepi lubang baut a dan baut b seperti ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Penentuan jarak bersih (l_c) antar tepi lubang baut

Studi Eksperimental Batang Tarik Sambungan Baut pada Plat Baja

$$\begin{array}{ll}
 t_{\text{pelat}} & = 3 \text{ mm,} & F_u & = 302,678 \text{ MPa,} \\
 l_c \text{ ujung} & = 16 \text{ mm,} & l_c \text{ lainnya} & = 35 \text{ mm,} \\
 l_c \text{ ujung} = l_c \cdot \frac{dh}{2} & = 11 \text{ mm,} & l_c \text{ lainnya} & = s - h = 25 \text{ mm.}
 \end{array}$$

Kekuatan tumpu lubang baut:

$$R_n = 1,2 * l_c * t * F_u \leq 2,4 * d_b * t * F_u$$

$$\begin{array}{ll}
 l_c \text{ ujung:} & 12.637,75 \leq 18.382,18 \rightarrow R_{na} = 12.637,75 \text{ N} \\
 l_c \text{ lainnya:} & 28.722,15 \leq 18.382,18 \rightarrow R_{nb} = 18.382,18 \text{ N}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{maka: } R_n & = 2 * R_{na} + 2 * R_{nb} \\
 R_n & = 62.039,84 \text{ N} \\
 \phi R_n & = 46.529,88 \text{ N}
 \end{array}$$

Kekuatan geser blok sambungan batang tarik baja dihitung sesuai **Persamaan 8**.

Kekuatan geser blok:

$$R_n = 0,6 * F_u * A_{nv} + U_{bs} * F_u * A_{nt} \leq 0,6 * F_y * A_{gv} + U_{bs} * F_u * A_{nt}$$

$$\begin{array}{ll}
 A_{gv} = 51 * 3 * 2 & = 306 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} = 306 - 1,5 * 12 * 3 * 2 & = 198 \text{ mm}^2 \\
 A_{gt} = 38 * 3 & = 114 \text{ mm}^2 \\
 A_{nt} = 114 - 1 * 12 * 3 & = 78 \text{ mm}^2 \\
 \text{Fraktur: } 0,6 * F_u * A_{nv} + U_{bs} * F_u * A_{nt} & = 62805,776 \text{ N} \\
 \text{Leleh: } 0,6 * F_y * A_{gv} + U_{bs} * F_u * A_{nt} & = 67771,210 \text{ N} \\
 \text{Nilai terkecil yang menentukan, sehingga } R_n & = 62.805,776 \text{ N} \\
 \phi R_n & = 47.104,330 \text{ N}
 \end{array}$$

Rangkuman kapasitas sambungan batang tarik baja ditunjukkan pada **Tabel 1**, yaitu berdasarkan perhitungan analitis kapasitas kekuatan batas leleh tarik, kekuatan keruntuhan tarik, kekuatan geser sambungan baut, kekuatan tumpu lubang baut, dan kekuatan geser blok.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Analisis Kapasitas Sambungan Batang Tarik Baja

Analitis	ϕR_n [kN]	R_n [kN]	Keterangan
Kekuatan batas leleh tarik	41,51	46,13	
Kekuatan batas keruntuhan tarik	34,05	45,4	menentukan
Kekuatan batas geser sambungan	57,30	76,40	
Kekuatan batas tumpu lubang baut	44,13	58,84	
Kekuatan batas geser blok	44,67	59,56	

Berdasarkan studi analitis, konfigurasi sambungan batang tarik baja pada penelitian ini seperti yang terdapat pada **Gambar 8** memiliki kuat batas sebesar 45,4 kN dengan kegagalan geser pada baut yang membatasi (tanpa faktor ϕ).

3.2 Studi Eksperimental Sambungan Batang Tarik Baja

Pelaksanaan eksperimen *initial test* dilakukan pengujian menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Nasional. Tahap ini akan diperoleh nilai P maksimum dari rancangan konfigurasi sambungan sehingga didapat konfigurasi sambungan yang kekuatannya baik dan ekonomis untuk material baja. Berdasarkan studi eksperimental pengujian sambungan batang tarik baja disiapkan benda uji sesuai dengan konfigurasi **Gambar 8**. Kondisi awal benda uji yang akan dilakukan tes tarik telah disambung dengan baut dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Kondisi awal benda uji sambungan batang tarik

Setelah benda uji siap, dilakukan pengujian tarik pada sambungan. Hasil pengujian tarik pada setiap sambungan batang tarik baja ditunjukkan pada **Gambar 11**.



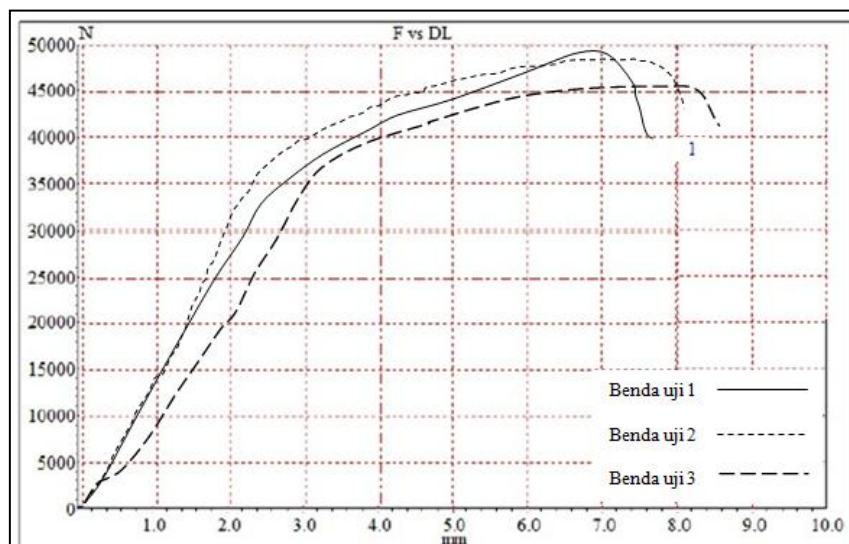
Gambar 11. Benda uji sambungan pelat terpasang pada UTM

Benda uji ditarik secara berkala sampai mencapai beban maksimum dan mendapatkan pola kegagalannya. Pola kegagalan pada eksperimental di laboratorium dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Hasil pengujian benda uji sambungan batang tarik baja

Berdasarkan **Gambar 12**, benda uji mengalami kegagalan geser pada baut sesuai dengan prediksi hasil studi analitis. Hasil pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), didapatkan kurva beban terhadap tegangan. Dari kurva diperoleh nilai ultimit (P_u) benda uji sambungan batang tarik baja yang ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Kurva $P - D$ benda uji sambungan tarik baja

Berdasarkan **Gambar 14** diperoleh nilai rata-rata beban ultimit (P_u) dari ketiga benda uji sambungan batang tarik baja sebesar 47.989,196 N. Kuat batas desain (R_n) dari hasil studi analitis sebesar 44,04 kN atau 44.040 N (tanpa faktor ϕ). Jika dibandingkan dengan nilai beban ultimit dari hasil studi eksperimental (P_u) rata-rata dari 3 (tiga) benda uji adalah sebesar 45.401,73 N berarti hasil studi eksperimental memiliki 5,39 % lebih besar.

4. KESIMPULAN

Studi analitis dan studi eksperimental sambungan batang tarik baja dengan konfigurasi sambungan seperti pada **Gambar 9**, menghasilkan kesimpulan yang sama untuk kondisi batas sambungan batang tarik yaitu kegagalan runtuh tarik. Benda uji didesain berdasarkan perhitungan analitis untuk mengalami runtuh pada pelat, hasil pengujian eksperimental untuk benda uji menunjukkan pola kegagalan runtuh pada pelat. Kekuatan nominal tarik rencana (R_n) dari hasil studi analitis dengan beban ultimit hasil studi eksperimental memiliki perbedaan sebesar 15,69% dengan hasil eksperimental lebih tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- American Society of Testing and Materials. (2016). *ASTM E8/E8M-16a Standar Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. America: ASTM.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 1729:2015 "Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural"*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Sulandari, N., Milyardi, R., & Pranata, Y. A. (2017). Studi Eksperimental dan Analitis Kapasitas Sambungan Baja Batang Tarik dengan Tipe Kegagalan Geser Baut. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 82-93.