

Analisis Distribusi Tegangan Pada Sambungan Baut Struktur Baja

Edison Hatoguan Manurung¹, Riza Fahlevi²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular, Jakarta, Indonesia
email: edisonmanurung2010@yahoo.com, rizal.arthamas@gmail.com

Article Info

Article history:

Received June 20, 2026

Revised July 11, 2026

Accepted July 16, 2026

Keywords:

Steel Structures, Bolted Joints, Stress Distribution, IDEA StatiCa, AISC 360-16.

ABSTRACT

Bolted connections are one of the key components in steel structures because they serve to transfer forces between structural elements. Failure of these connections can occur due to uneven stress distribution, thereby reducing the overall capacity and performance of the structure. This study aims to analyze the stress distribution in bolted joints of steel structures with variations in the number of bolts, specifically 4, 6, and 8 bolts. The analysis was conducted using IDEA StatiCa software based on the AISC 360-16 standard, with A36 steel and A325-grade bolts with a diameter of 5/8 inch. The applied loads consist of a shear force of 100 kN and a moment of 90 kNm. The analysis results show that the 4-bolt configuration yields a maximum utilization of 101.4%, thus failing to meet design requirements. Meanwhile, the 6- and 8-bolt configurations yield utilizations of 82.2% and 82.1%, respectively, thereby meeting design requirements. Increasing the number of bolts was shown to distribute tensile and shear forces more evenly and reduce the load borne by each bolt. However, increasing the number of bolts did not result in a significant change in the maximum stress on the joint plate. Based on the research results, the 6-bolt configuration was deemed more efficient because it met the strength requirements without requiring an excessive number of bolts.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received June 20, 2026

Revised July 11, 2026

Accepted July 16, 2026

Kata Kunci:

Struktur Baja, Sambungan Baut, Distribusi Tegangan, IDEA StatiCa, AISC 360-16.

ABSTRAK

Sambungan baut merupakan salah satu komponen penting dalam struktur baja karena berfungsi meneruskan gaya antar elemen struktur. Kegagalan pada sambungan dapat terjadi akibat distribusi tegangan yang tidak merata sehingga mengurangi kapasitas dan kinerja struktur secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan pada sambungan baut struktur baja dengan variasi jumlah baut sebanyak 4, 6, dan 8 buah. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa berdasarkan standar AISC 360-16 dengan material baja A36 dan baut mutu A325 berdiameter 5/8 inci. Beban yang digunakan berupa gaya geser sebesar 100 kN dan momen sebesar 90 kNm. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi 4 baut menghasilkan utilisasi maksimum sebesar 101,4% sehingga tidak memenuhi persyaratan desain. Sementara itu, konfigurasi 6 dan 8 baut menghasilkan utilisasi masing-masing sebesar 82,2% dan 82,1% sehingga memenuhi persyaratan desain. Penambahan jumlah baut terbukti mampu mendistribusikan gaya tarik dan geser secara lebih merata serta menurunkan beban yang diterima oleh setiap baut. Namun, peningkatan jumlah baut tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap tegangan maksimum pada pelat sambungan. Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi 6 baut dinilai lebih efisien karena telah memenuhi persyaratan kekuatan tanpa memerlukan penambahan baut yang berlebihan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Riza Fahlevi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular, Jakarta, Indonesia

email: rizal.arthamas@gmail.com

PENDAHULUAN

Struktur baja banyak digunakan pada bangunan modern karena memiliki kekuatan tinggi, berat yang relatif ringan, serta kemudahan dalam proses fabrikasi dan konstruksi. Salah satu aspek penting dalam perencanaan struktur baja adalah desain sambungan, karena sambungan berfungsi sebagai media transfer gaya antar elemen struktur. Kinerja sambungan yang kurang baik dapat menyebabkan konsentrasi tegangan yang berlebihan dan berpotensi menimbulkan kegagalan struktur.

Sambungan baut merupakan jenis sambungan yang banyak digunakan pada konstruksi baja karena memiliki kemudahan dalam pemasangan, inspeksi, dan pemeliharaan. Distribusi gaya yang terjadi pada baut tidak selalu merata, terutama ketika sambungan menerima kombinasi gaya geser dan momen. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian baut menerima beban yang lebih besar dibandingkan baut lainnya sehingga memengaruhi tingkat keamanan sambungan.

Perkembangan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga memungkinkan analisis perilaku sambungan dilakukan secara lebih detail. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah IDEA StatiCa yang mampu mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi(1), serta kapasitas elemen sambungan berdasarkan standar desain yang berlaku. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis distribusi tegangan pada sambungan baut struktur baja dengan variasi jumlah baut sebanyak 4, 6, dan 8 buah. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh jumlah baut terhadap distribusi tegangan dan kapasitas sambungan sehingga dapat menjadi referensi dalam perencanaan struktur baja yang lebih efisien dan aman (2,3).

METODE

Dalam penelitian ini, metode deskriptif kuantitatif karena bertujuan untuk menganalisis dan menggambarkan distribusi tegangan pada sambungan baut struktur baja berdasarkan data numerik yang diperoleh dari perhitungan dan pemodelan. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi nilai tegangan, deformasi, dan pola distribusi gaya pada sambungan baut akibat beban yang bekerja. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dibandingkan dengan teori serta ketentuan perencanaan struktur baja yang berlaku untuk mengetahui perilaku sambungan dan tingkat keamanan struktur. Melalui pendekatan kuantitatif, penelitian ini dapat menghasilkan informasi yang terukur dan objektif mengenai kinerja sambungan baut pada struktur baja.

Data penelitian yang digunakan berupa data geometri, material, dan pembebanan pada sambungan baut struktur baja. Model sambungan terdiri atas kolom profil H 400×200×8 mm dan balok profil H 250×125×6 mm yang menggunakan material baja ASTM A36 dengan tegangan leleh (F_y) sebesar 248,2 MPa. Sambungan direncanakan menggunakan baut mutu tinggi ASTM A325 berdiameter 5/8 inci (16 mm). Analisis dilakukan dengan variasi jumlah baut sebanyak 4, 6, dan 8 buah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi tegangan dan kapasitas sambungan. Pembebanan yang diberikan pada model berupa gaya geser sebesar 100 kN dan momen lentur sebesar 90 kNm sesuai kondisi desain. Seluruh pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa berdasarkan ketentuan AISC 360-16 sehingga diperoleh data berupa distribusi tegangan, gaya tarik dan geser pada baut, serta tingkat utilisasi sambungan (4). Metode penelitian yang digunakan meliputi:

- a) Studi literatur untuk membangun landasan teori
- b) Pemodelan sambungan baut

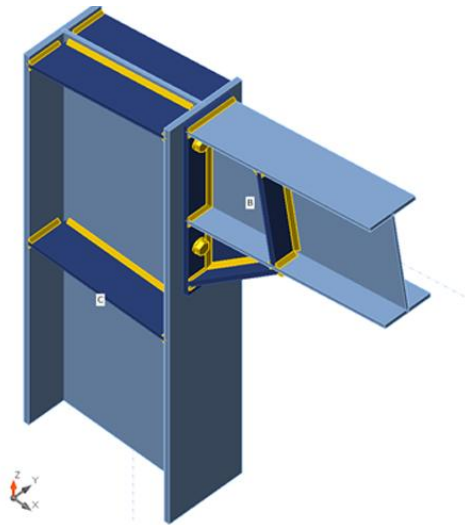
- c) Input material dan pembebanan
- d) Analisis *Finite Element Method* (FEM)
- e) Evaluasi distribusi tegangan
- f) Analisis hasil

Data Penelitian yang digunakan meliputi:

- a) Mutu baja $f_y = 250$ MPa
- b) Modulus elastisitas. $E = 200.000$ MPa
- c) Diameter baut A325
- d) Tebal pelat = 14 mm

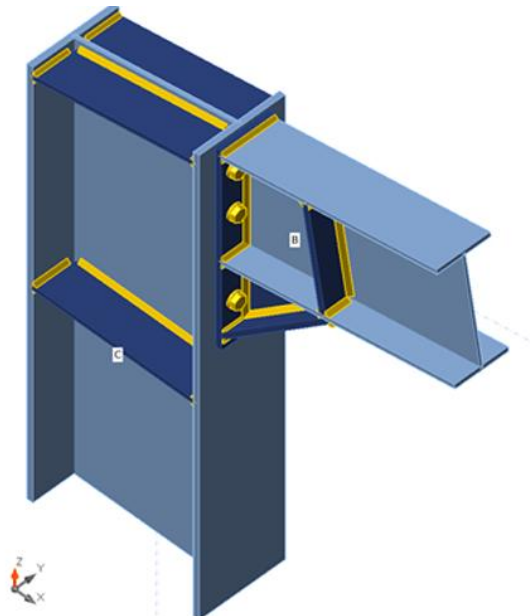
Dengan variasi model yang dianalisis sebagai berikut:

- a) Sambungan 4 baut



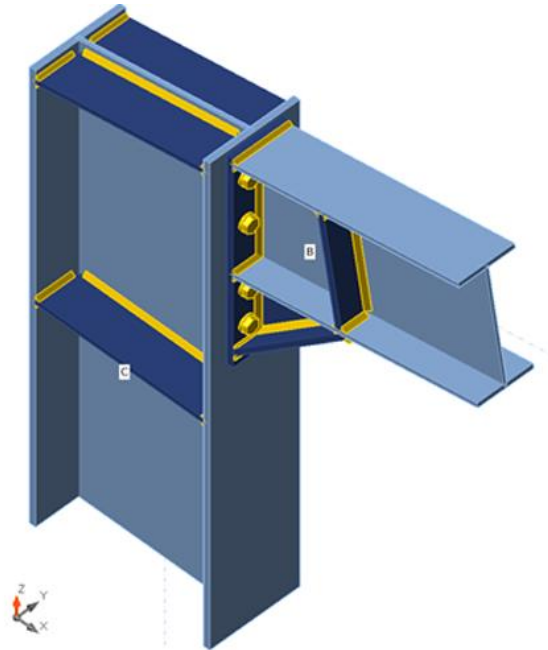
Gambar 1. Sambungan 4 Baut

- b) Sambungan 6 baut



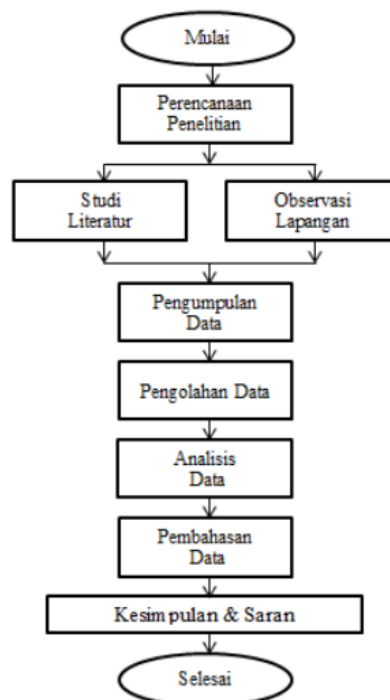
Gambar 2. Sambungan 6 Baut

c) Sambungan 8 baut



Gambar 3. Sambungan 8 Baut

Penelitian ini memiliki alur seperti pada Gambar 4.



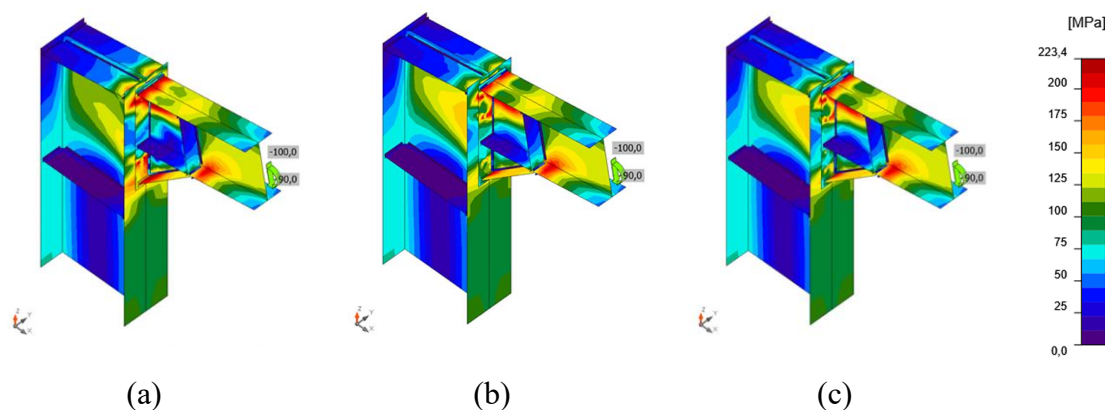
Gambar 4. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Tegangan

Analisis tegangan dilakukan untuk mengevaluasi perilaku sambungan baut struktur baja terhadap beban yang bekerja serta mengetahui pola distribusi tegangan yang terjadi pada setiap variasi jumlah baut. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa dengan pendekatan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) berdasarkan

ketentuan AISC 360-16 (5). Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk kontur tegangan ekuivalen (equivalent stress) yang menunjukkan daerah dengan konsentrasi tegangan tertinggi pada elemen sambungan. Variasi jumlah baut sebanyak 4, 6, dan 8 buah dibandingkan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi tegangan, gaya yang diterima baut, serta tingkat utilisasi sambungan(6). Hasil analisis masing-masing model disajikan pada gambar dan pembahasan berikut.



Gambar 5. (a) Tegangan Ekuivalen Sambungan 4 Baut (b) Tegangan Ekuivalen Sambungan 6 Baut (c) Tegangan Ekuivalen Sambungan 8 Baut

Lokasi Tegangan Maksimum

Berdasarkan hasil analisis, tegangan maksimum terjadi pada area sambungan yang berada di sekitar kelompok baut terluar dan pelat sambungan (end plate). Kondisi ini disebabkan oleh adanya kombinasi gaya geser dan momen yang menghasilkan gaya tarik terbesar pada baut yang berada paling jauh dari titik pusat kelompok baut. Akibatnya, daerah tersebut menjadi lokasi utama transfer gaya sehingga mengalami tegangan yang lebih tinggi dibandingkan bagian sambungan lainnya.

Konsentrasi Tegangan

Kontur tegangan menunjukkan adanya konsentrasi tegangan pada daerah sekitar lubang baut, pelat sambungan, dan area pertemuan antara balok dengan end plate. Konsentrasi tegangan terjadi akibat perubahan geometri penampang serta adanya kontak langsung antara baut dan pelat yang menyebabkan distribusi gaya tidak merata. Pada konfigurasi 4 baut, konsentrasi tegangan terlihat lebih dominan karena beban dipikul oleh jumlah baut yang lebih sedikit. Hal ini ditunjukkan oleh nilai utilisasi baut yang mencapai 101,4% sehingga melampaui kapasitas desain yang diizinkan (7).

Perubahan Pola Tegangan Akibat Variasi Jumlah Baut

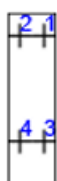
Penambahan jumlah baut dari 4 menjadi 6 dan 8 buah menyebabkan pola distribusi tegangan menjadi lebih merata. Beban yang semula terkonsentrasi pada beberapa baut dapat didistribusikan ke lebih banyak elemen penghubung sehingga gaya tarik dan gaya geser yang diterima setiap baut berkurang. Meskipun demikian, lokasi tegangan maksimum tetap berada di sekitar baut terluar dan area sambungan balok–pelat karena daerah tersebut masih menjadi jalur utama transfer beban. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan baut secara signifikan menurunkan utilisasi baut, namun tidak memberikan perubahan yang berarti terhadap nilai tegangan maksimum pada pelat sambungan.

2. Distribusi Gaya Baut

Distribusi gaya tarik pada baut dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah baut terhadap beban yang diterima oleh masing-masing baut dalam sambungan. Nilai gaya tarik diperoleh dari hasil analisis menggunakan IDEA StatiCa dan digunakan untuk mengevaluasi

tingkat pemerataan distribusi beban pada kelompok baut. Hasil perhitungan gaya tarik untuk setiap konfigurasi sambungan disajikan pada Tabel 1-3 dan Gambar 6.

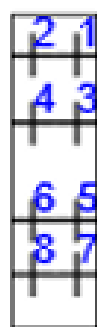
Tabel 1. Gaya Tarik dan Gaya Geser Sambungan 4 Baut

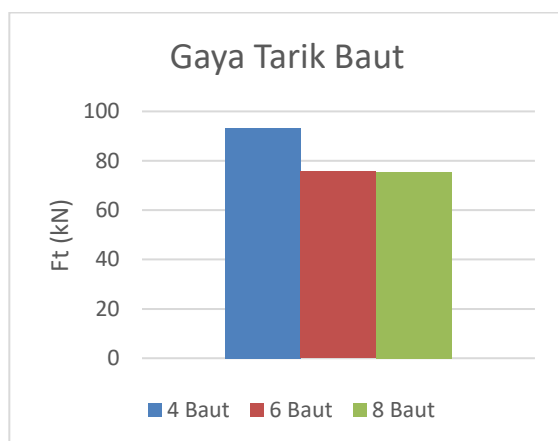
Bentuk	Item	Ft (kN)	V (kN)
	B1	93,3	10,8
	B2	93,4	10,8
	B3	25,7	38,5
	B4	25,7	38,5

Tabel 2. Gaya Tarik dan Gaya Geser Sambungan 6 Baut

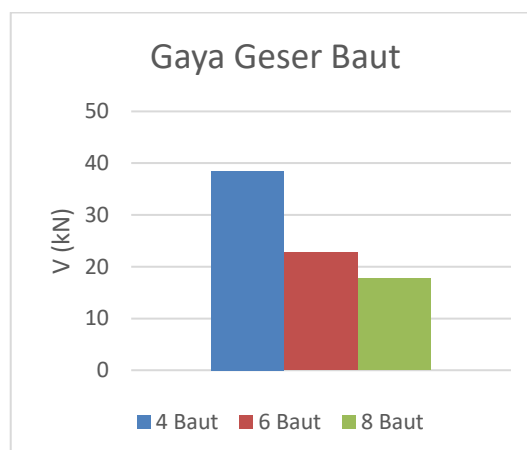
Bentuk	Item	Ft (kN)	V (kN)
	B1	75,7	10,2
	B2	75,6	10,2
	B3	49,8	16,3
	B4	49,8	16,3
	B5	1,8	22,8
	B6	1,6	22,8

Tabel 3. Gaya Tarik dan Gaya Geser Sambungan 8 Baut

Bentuk	Item	Ft (kN)	V (kN)
	B1	75,5	6,5
	B2	75,5	6,5
	B3	49,1	10,8
	B4	49,1	10,8
	B5	4,8	14,3
	B6	4,8	14,3
	B7	0,9	17,7
	B8	0,8	17,7



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Grafik Gaya Tarik Baut (b) Grafik Gaya Geser Baut

Berdasarkan Tabel 1-3 dan Gambar 6, terlihat bahwa baut yang berada pada posisi terluar menerima gaya tarik terbesar dibandingkan baut lainnya. Pada konfigurasi 4 baut, gaya tarik maksimum mencapai 93,4 kN, sedangkan pada konfigurasi 6 dan 8 baut masing-masing menurun menjadi 75,7 kN dan 75,5 kN. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penambahan jumlah baut mampu mendistribusikan beban tarik secara lebih merata sehingga gaya yang diterima oleh setiap baut menjadi lebih kecil. Kondisi ini berkontribusi terhadap penurunan utilisasi baut dan peningkatan kapasitas sambungan secara keseluruhan. Namun, perbedaan gaya tarik maksimum antara konfigurasi 6 dan 8 baut relatif kecil, sehingga penambahan baut lebih lanjut tidak memberikan peningkatan kinerja yang signifikan.

Penambahan jumlah baut menyebabkan gaya geser yang diterima oleh setiap baut menjadi lebih kecil. Pada konfigurasi dengan jumlah baut yang lebih sedikit, beban geser terdistribusi pada area yang terbatas sehingga setiap baut menerima gaya yang relatif besar. Sebaliknya, ketika jumlah baut ditambah, beban dapat dibagi ke lebih banyak elemen penghubung sehingga distribusi gaya menjadi lebih merata. Hal ini terlihat dari penurunan gaya geser maksimum dari konfigurasi 4 baut ke 6 dan 8 baut. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan baut efektif dalam mengurangi konsentrasi beban pada baut tertentu, meningkatkan efisiensi distribusi gaya, serta menurunkan risiko terjadinya kegagalan akibat tegangan geser yang berlebihan pada sambungan (8).

3. Pengaruh Jumlah Baut Terhadap Utilisasi Sambungan dan Tegangan Plat

Utilisasi sambungan digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan kapasitas baut terhadap beban yang bekerja. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah baut terhadap kinerja sambungan serta menentukan konfigurasi yang mampu memenuhi persyaratan desain. Nilai utilisasi maksimum untuk setiap variasi jumlah baut disajikan pada Tabel 4-6 dan Gambar 7.

Tabel 4. Utilisasi Sambungan 4 Baut

Bentuk	Item	ϕR_n , bearing (kN)	$U_{t_i}(\%)$	$U_{t_s}(\%)$	Status
	B1	148,6	101,4	19,5	Not OK
	B2	148,6	101,4	19,5	Not OK
	B3	148,6	27,9	69,7	OK
	B4	148,6	27,9	69,7	OK

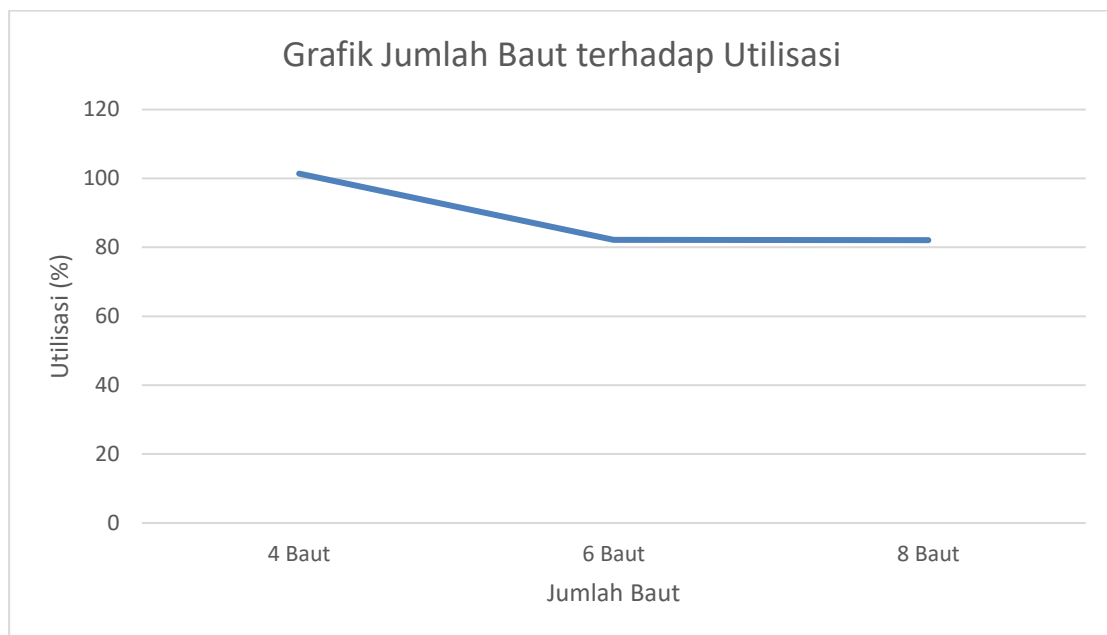
Tabel 5. Utilisasi Sambungan 6 Baut

Bentuk	Item	ϕR_n , bearing (kN)	$U_{t_i}(\%)$	$U_{t_s}(\%)$	Status
	B1	148,6	82,2	18,4	OK
	B2	148,6	82,2	18,4	OK
	B3	148,6	54,1	29,6	OK
	B4	148,6	54,1	29,6	OK
	B5	148,6	2,0	41,2	OK
	B6	148,6	1,8	41,2	OK

Tabel 6. Utilisasi Sambungan 8 Baut

Bentuk	Item	F_t (kN)	V (kN)	$U_{t_s}(\%)$	Status
	B1	148,6	82,1	11,8	OK

	B2	148,6	82,1	11,8	OK
	B3	148,6	53,4	19,5	OK
	B4	148,6	53,4	19,5	OK
	B5	148,6	5,2	26,0	OK
	B6	148,6	5,2	26,0	OK
	B7	148,6	0,9	32,0	OK
	B8	148,6	0,8	32,0	OK



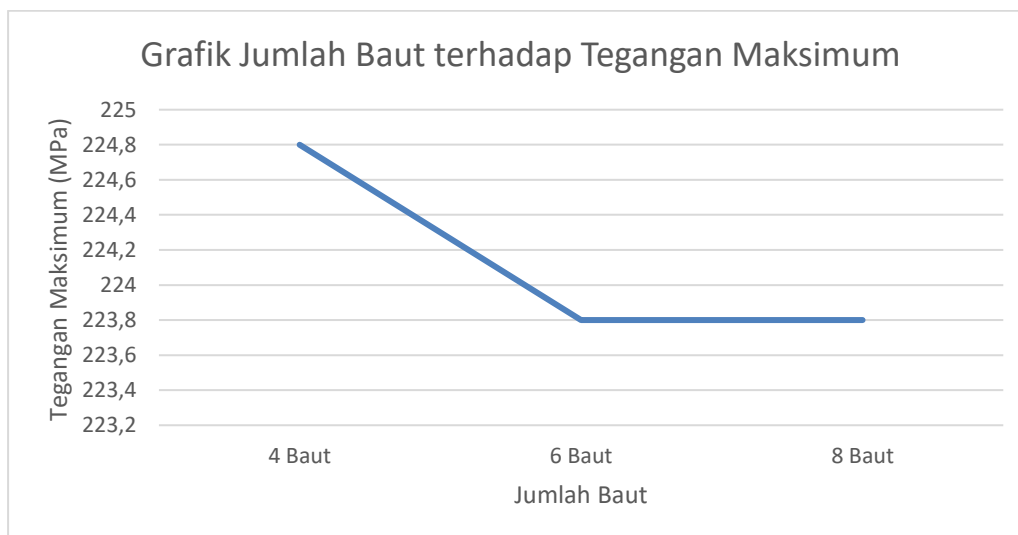
Gambar 7. Grafik Jumlah Baut Terhadap Utilisasi

Berdasarkan Tabel 4-6 dan Grafik 7, terlihat bahwa penambahan jumlah baut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan utilisasi sambungan. Utilisasi maksimum menurun dari 101,4% pada konfigurasi 4 baut menjadi 82,2% pada konfigurasi 6 baut, menunjukkan bahwa penambahan baut mampu meningkatkan kapasitas sambungan dan memperbaiki distribusi beban. Namun, penambahan jumlah baut menjadi 8 buah hanya menghasilkan utilisasi sebesar 82,1%, sehingga penurunannya relatif tidak signifikan dibandingkan konfigurasi 6 baut. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi 6 baut telah mampu memberikan kinerja sambungan yang optimal dan memenuhi persyaratan desain, sedangkan penambahan baut lebih lanjut tidak memberikan peningkatan kapasitas yang berarti. Utilisasi pada 4 baut sebesar 101,4% dimana hal tersebut tidak aman terhadap sambungan, sehingga perlu dioptimalkan kembali (9).

Selain memengaruhi distribusi gaya pada baut, variasi jumlah baut juga berpotensi memengaruhi distribusi tegangan pada pelat sambungan. Analisis tegangan pelat dilakukan untuk mengevaluasi respons pelat terhadap beban yang bekerja dan mengidentifikasi perubahan nilai tegangan maksimum akibat penambahan jumlah baut. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari hasil analisis untuk setiap konfigurasi sambungan disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 8.

Tabel 7. Tegangan Maksimum Pada Sambungan

Jumlah Baut	Tegangan Maksimum (MPa)
4	148,6
6	148,6
8	148,6



Gambar 8. Grafik Jumlah Baut Terhadap Tegangan Maksimum

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 8, terlihat bahwa penambahan jumlah baut tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai tegangan maksimum pada pelat sambungan. Tegangan maksimum yang terjadi pada ketiga konfigurasi relatif sama, yaitu sekitar 224 MPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah baut lebih berpengaruh terhadap redistribusi gaya dan penurunan beban yang diterima setiap baut dibandingkan terhadap penurunan tegangan maksimum pada pelat. Dengan demikian, pelat sambungan tetap mengalami tingkat tegangan yang hampir sama meskipun jumlah baut ditambah, sementara peningkatan kinerja sambungan terutama ditunjukkan oleh menurunnya utilisasi baut dan semakin meratanya distribusi gaya (10).

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan jumlah baut berpengaruh terhadap distribusi tegangan dan distribusi gaya pada sambungan baja. Tegangan maksimum tetap terkonsentrasi di sekitar area baut dan pelat sambungan, namun distribusi gaya tarik dan geser menjadi lebih merata seiring bertambahnya jumlah baut. Kondisi tersebut menyebabkan utilisasi baut menurun dari 101,4% pada konfigurasi 4 baut menjadi 82,2% pada 6 baut dan 82,1% pada 8 baut. Meskipun demikian, penambahan baut dari 6 menjadi 8 tidak memberikan peningkatan kinerja yang signifikan. Oleh karena itu, konfigurasi 6 baut dapat dianggap sebagai alternatif yang paling efektif karena telah memenuhi persyaratan desain dengan distribusi beban yang baik tanpa memerlukan penambahan baut yang berlebihan (11).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Sambungan 4 baut menghasilkan utilisasi maksimum 101,4% sehingga tidak memenuhi kriteria desain
- Penambahan jumlah baut menjadi 6 dan 8 menghasilkan utilisasi masing-masing 82,2% dan 82,1% sehingga memenuhi persyaratan AISC 360-16.
- Penambahan jumlah baut menyebabkan distribusi gaya tarik dan geser menjadi lebih merata.

- d) Tegangan maksimum pada plat relatif tidak berubah sehingga pengaruh utama terjadi pada baut.
- e) Konfigurasi 6 baut merupakan alternatif yang lebih efisien karena telah memenuhi syarat tanpa penambahan baut berlebih.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nybacka J. Comparative Study of AISC Specifications & Idea StatiCa Development of AISC Based Excel Tools. 2018.
2. Fahlevi R, Manurung EH. Perilaku Sambungan Baut dan Sambungan Las Pada Struktur Baja. INOMATEC: Jurnal Inovasi dan Kajian Multidisipliner Kontemporer. 2026;1(03).
3. Chayadi O, Hatoguan Manurung E, Prajoko A. Evaluasi Perilaku Sambungan Baja Pada Struktur Rangka Momen Tahan Gempa: Analisis Studi Literatur Dan Statistik Terhadap Sambungan Tipe Extended End-Plate [Internet]. Vol. 3. 2026;3(1):317–26. Available from: <https://doi.org/10.62335>
4. Gewain RG, Troup EWJ. Structural Steel Buildings ABSTRACT. AISC Engineering Journal. 2001;78–89.
5. Sulistiyo MB, Annisa G, Hidayah E, Studi P, Sipil ST, Jember U, et al. Menggunakan Program Bantu Elemen Hingga. Vol. 13. 2019;13(3):199–206.
6. Hardianti D, Herbudiman B, Diredja NV. Studi Eksperimental Batang Tarik Sambungan Baut pada Plat Baja. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil. 2018;4(4):118.
7. McCormac JC, Csernak SF. Structural Steel Design 5th Ed. Book. 2006. p. 1–738.
8. Komara I, Wahyuni E, Suprobo P. Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan. Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS). 2016;1–9.
9. Tayu B, Handono BD, Pandaleke R, Teknik F, Sipil J, Sam U, et al. Perilaku Sambungan Baut Flush End-Plate Balok. Vol. 5. 2017;5(5).
10. Pramono HS, Sutrisno W, Yasin I. Analisis Sambungan Baut Pada Titik Buhul Jembatan Rangka Baja Menggunakan Metode Elemen Hingga. RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil. 2018;3(2):52–63.
11. Cook, R., Malkus, D., Plesha, M., Witt R. Robert_D- _Cook_David_S- _Malkus_Michael_E- _Pleshbookos-Org-Fem.Pdf. 2002.