

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Dewobroto dkk. (2016) menyatakan Sambungan baja adalah bagian kritis pada struktur dan dapat menentukan kekuatan struktur keseluruhannya, Penelitian tentang studi karakteristik baut mutu tinggi (A325 dan Grade 8.8) terhadap tarik dan pengaruh pada perencanaan sambungan,

Tabel 2.1. Kesetaraan Baut Berdasarkan Sifat Mekaniknya (Aditya, 2015)

Keterangan	A325	Grade 8.8	A490	Grade 10.9	F10T
Tegangan leleh (MPa)	660	640 660	940	940	900
tegangan Tarik (MPa)	830	800 830	1040-1210	1040	1000-1200
Tegangan Proof Load (MPa)	600	580 600	830	830	-

Dari Tabel 2.1. peneliti membandingkan secara khusus baut A325 dan Grade 8.8, yang dianggap banyak dipakai tetapi dengan spesifikasi acuan yang berbeda yaitu ASTM A325M-04 dan ISO 898-1:2009. Metode yang digunakan yaitu pertama peneliti mengevaluasi sifat fisik baut diantara keduanya, dengan mutu dan diameter sama, setelah itu mengevaluasi fisik dan kuat tarik, pola keruntuhan tarik : putus atau ulir (*stripping*), baut friksi dan baut tumpu, dan terakhir baut mutu tinggi : *preload* dan *non-preload*. Dari hasil uji tarik mutu A325 dan Grade 8.8 sampai putus, diketahui bahwa keduanya mempunyai mutu material sama, hanya saja perbedaannya terdapat pada sifat fisik, dimana dimensi mur pada Grade 8.8 lebih kecil yang dianggap memicu terjadinya *stripping*. Jadi baut A325 atau baut Grade HR 8.8 yang khusus tipe *preload* bisa digunakan untuk struktur jembatan. Kesimpulannya bahwa grade 8.8 yang diuji tarik sampai putus dan mengalami *stripping*, adalah baut tipe *non-preload* yang tidak sesuai jika untuk konstruksi jembatan. Sambungan geser hanya cocok menggunakan baut tipe *non-preload*.

Sambungan batang tarik menggunakan ukuran tebal pelat berbeda dan ukuran baut yang sama mengalami kekuatan tarik yang hampir sama (Silviana, 2016). Penelitian tersebut tentang studi kekuatan sambungan batang tarik pelat baja

dengan alat sambung baut. Metode penelitian dilakukan melalui pembuatan benda uji dan pengujian benda uji dengan menggunakan uji laboratorium (*universal testing machine*). Nilai dari pengujian (*universal testing machine*) akan dibandingkan dengan hasil analisis. Terdapat empat macam benda uji yaitu benda uji tarik standar pelat, benda uji tarik standar baut, dan benda uji *pull out* yang masing-masing berjumlah 6 benda uji. Pembuatan benda uji standart pelat diantaranya 3 benda uji dengan tebal pelat 8 mm dan 3 benda uji dengan tebal pelat 10 mm, benda uji tarik standar baut masing masing 3 benda uji diameter 3/8" dan diameter 1/2" dan pembuatan benda uji *pull out* dimana pelat 8 dan 10 mm disambung dengan pelat berukuran yang sama kemudian dibuat dengan masing-masing ukuran baut diameter 3/8", diameter 1/2", dan 1/4" yang berjumlah satu baut. Hasil penelitian bahwa sambungan menggunakan pelat tebal 8 mm sedikit lebih kuat dibandingkan dengan pelat 10 mm, dikarenakan baut yang digunakan mengalami kegagalan baut lebih cepat ketimbang pelat yang lebih tipis. Hasil eksperimental dan perhitungan analisis didapat kekuatan tarik lebih kecil daripada hasil eksperimental, dikarenakan metode ASD menggunakan tegangan izin, sedangkan secara eksperimen faktor beban yang mempengaruhi batang tarik.

Sulandari dkk. (2017) menyatakan sambungan baut pada batang tarik baja memiliki kapasitas dengan macam-macam tipe kegagalan. Parameter pada analisis kapasitas dan kegagalan sambungan batang tarik baja diantaranya profil dan mutu batang tarik, tebal dan mutu pelat penyambung, tebal dan mutu baut sambungan. Sulandari dkk. meneliti tentang studi eksperimental dan analitis kapasitas sambungan baja batang tarik dengan tipe kegagalan geser, pada penelitiannya menggunakan profil siku 30.30.3 mm dengan mutu BJ-37 disambung dengan pelat mutu BJ-37 tebal 3 mm dan baut penyambungnya berdiameter 8 mm dengan mutu A307. Peneliti menggunakan 3 (tiga) benda uji, pengujian menggunakan *universal testing machine* di laboratorium, dan analisis manual. Hasil dari penelitian ini adalah benda uji sambungan batang tarik baja yang dilakukan di laboratorium diperoleh nilai rata-rata dari tiga benda uji yaitu beban ultimit ( $P_u$ ) sebesar 22,628 kN, dan untuk hasil studi analisis kekuatan nominal tarik rencana ( $R_n$ ) sebesar 18,9 kN, hasil studi eksperimental memiliki perbedaan sebesar 16,48%.

Hadianti dkk. (2018) menyatakan tentang perbandingan kapasitas pada sambungan tarik dengan judul studi eksperimental batang tarik sambungan baut pada baja, Pada penelitian ini dilakukan perbandingan batang tarik baja 70.30.3 dengan baut berdiameter 8 mm mutu A449. Metode yang digunakan melalui studi analisis kapasitas dan kegagalan sambungan dengan tipe geser diperoleh sebesar 44,04 kN dengan tipe kegagalan geser, dan pengujian eksperimental didapatkan nilai kapasitas ultimit sebesar 52,23 kN. Peneliti menyimpulkan kekuatan nominal tarik rencana ( $R_n$ ) dari hasil studi analisis dengan beban ultimit hasil eksperimental memiliki perbedaan sebesar 15,69% dan dengan hasil eksperimental lebih tinggi.

Ada dua kondisi kegagalan baut pada perencanaan jembatan *canai dingin* di Indonesia, dan Australia yaitu ditemukan kondisi saat sambungan terjadi baut terbelah karena kegagalan geser dan pengencangan baut karena ukuran lubang semakin besar (Haris dkk, 2018). Peneliti menggunakan metode perhitungan analisis dan pengujian eksperimental pada penelitian ini, Penelitian tersebut tentang *bolt connection behaviour of the cold-formed steel joint*. Benda uji menggunakan profil *Channel 75.35.0,75* disambung menggunakan 8 baut berdiameter 8 mm. Metode menggunakan dua kondisi yaitu tipe pertama pada ada dua profil *Channel* saling menempel dan disambung bagian tebal badan dengan satu baut. Pada tipe kedua, dua profil disambung dengan 2 baut pada bagian sayap profil dengan ukuran baut sama. Hasil eksperimental dari perilaku sambungan baut pada sambungan *canai dingin*, pada kondisi *ultimate* persamaan analisis mendefinisikan lebih besar daripada hasil eksperimental pada saat terjadi kegagalan geser baut karena kegagalan geser yang menunjukkan bahwa lekukan pada lubang, akibat dari lekukan terjadi berubah bentuk pada lubang baut menjadi oval. Kondisi ini menyebabkan bagian tengah lubang menjadi tidak lagi bertepatan pada saat baut dikencangkan. Perhitungan analisis memprediksi resistensi yang lebih rendah dalam kisaran 4-22%.

Sambungan dirancang untuk memungkinkan *slip* untuk menghindari dari kegagalan pada penampang dan kegagalan pada baut, perlawanan sambungan ditentukan oleh tumpu antara baut dan pelat baja yang bergantung pada kekuatan material baja (Wang dkk, 2018). Studi eksperimental dan numerik menjadi metode sambungan dua baut yang diatur dalam arah tegak lurus untuk memuat antara baja mutu tinggi. Penelitian tersebut tentang *bearing-strength of high strength steel plate*

*in two-bolt connections*. Peneliti menggunakan 36 benda uji dibuat dari baja dengan kekuatan leleh nominal 550 MPa, 690 MPa, dan 890 MPa, diuji terhadap kegagalan pelat baja. Hasil pembahasan terdapat tiga macam kegagalan sambungan baut yaitu *splitting failure*, *tearout failure*, dan *mixed failure*, peneliti mengusulkan menggunakan persamaan yang ditetapkan untuk memprediksi besarnya perlawanan *mixed failure*. Penggunaan yang optimal dari material baja mutu tinggi, rentang jarak tepi ke baut yang optimal disarankan berdasarkan analisis parametrik. Perbandingan analisis parametrik dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *eurocode3* dapat dipanjangkan jarak yang diijinkan antara sambungan yang dibaut dengan baja mutu tinggi.

Wang dkk. (2019) melakukan penelitian tentang *shear behavior of lap connection using one-side bolts*, Benda uji dibuat 36 sampel dengan berbeda ketebalan pelat geser baut, benda uji termasuk 2 pelat dasar dengan lubang baut normal dan satu pelat geser sekrup dengan lubang baut ulir internal, ketebalan pelat dasar 30 mm, diameter lubang pada pelat dasar 22 mm dan diameter baut 20 mm. Peneliti melakukan penyelidikan eksperimental dan numerik pada perilaku gaya geser dari sambungan baut yang dikencangkan. Sambungan geser baut satu putaran mengalami tiga model kegagalan 1, kegagalan fraktur geser baut 2, kegagalan lubang pelat 3, kegagalan geser pelat. EC3-1-8 menjadi acuan untuk memprediksi tahanan geser setiap model kegagalan. Hasil permodelan disimpulkan bahwa baut akan miring jika ketebalan pelat dasar lebih kecil dari diameter baut. perbedaan Hasil eksperimental dan numerik dalam ketahanan geser ultimit pada *threaded-fixed one-side bolt* yaitu 0,24% dan mengalami kegagalan patah pada ulir baut, untuk ketahanan geser ultimit pada baut tradisional mengalami perbedaan 2,5% karena fraktur baut disertai kemiringan baut. Peneliti menyimpulkan bahwa pelat geser yang disekrup dapat menggantikan baut tradisional dalam aplikasi konstruksi.

Rosyidah dkk. (2018) meneliti tentang keruntuhan jembatan akibat kegagalan pelat buhul pada sambungan jembatan rangka baja (Studi Kasus : Jembatan I-35w Misisipi). Peneliti menggunakan metode permodelkan keruntuhan jembatan dengan analisis dan numerik (*finite element*). Jembatan *truss* utama memiliki 3 bentang dan memiliki 14 bentang. Peraturan yang digunakan AASHTO untuk mengevaluasi kekuatan pelat buhul. Beban yang dimodelkan yaitu beban mati, hidup, dan beban

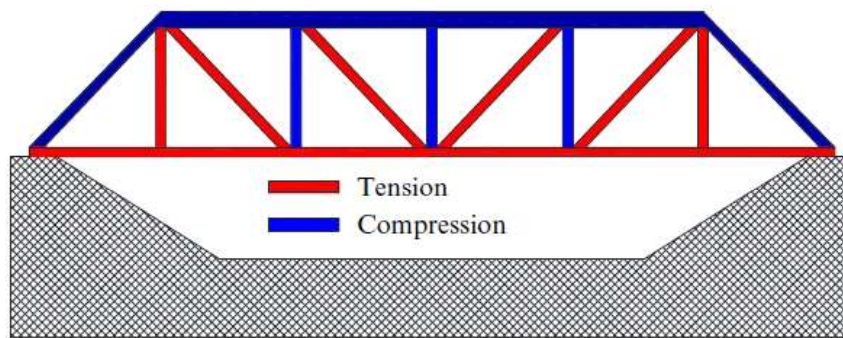
*impact*. Hasil dan pembahasan diperoleh dugaan awal penlitu keruntuhan awal diakibatkan oleh korosi, dikarenakan umur jembatan sudah cukup lama, setelah diteliti kembali, struktur jembatan roboh diakibatkan kegagalan pada pelat buhul, karena dokumen perencanaan jembatan tidak ada. Perencanaan sambungan dianggap selesai dan aman dengan pengecekan sambungan baut atau las, dan tebal pelat minimal sama dengan tebal profil. Kesimpulan dari analisis dan numerik menunjukkan bahwa penyebab keruntuhan disebabkan kapasitas pelat buhul U10 mengalami kurang kapasitas ketebalannya, dibandingkan dengan pelat buhul lainnya. Begitu juga evaluasi FEM menunjukkan bahwa kapasitas pelat buhul pada sambungan U10 tidak masuk dari ijin sehingga pelat buhul mengalami *overstress*. Pola permodelan antara analisis dengan numrtik mirip dengan kerusakan pada jembatan aslinya.

## **2.2. Dasar Teori**

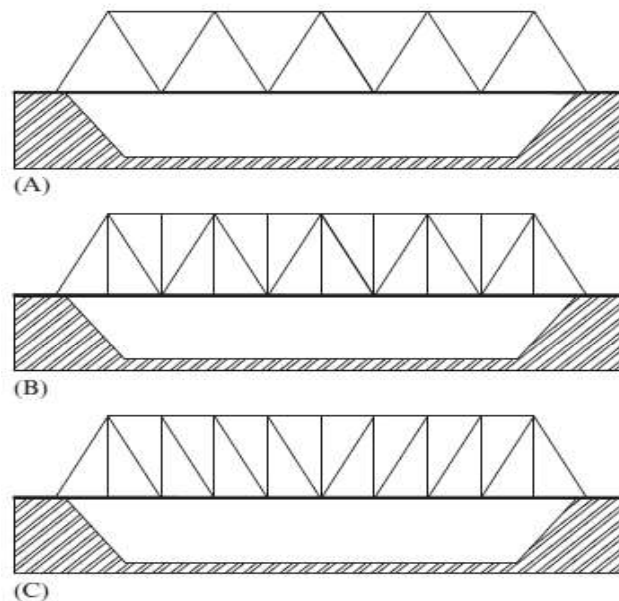
### **2.2.1. Jembatan**

Jembatan adalah konstruksi yang dibuat membawa pengguna jalan atau muatan lainnya untuk melewati rintangan. Jembatan dibutuhkan untuk pejalan kaki, jalan, dan kereta api. Kendala dapat berupa sungai, lembah, saluran laut ( Lin dan Yuda, 2017).

Jembatan *truss* adalah struktur elemen saling terhubung membentuk kombinasi segitiga, baja pada *truss* menjadi penompang seperti balok utama untuk menahan gaya aksial pada jembatan, dalam mekanika, Rangka umumnya didefinisikan sebagai struktur yang terhubung dengan dua elemen gaya yaitu gaya tekan dan gaya tarik, posisi gaya tekan dan tarik tergantung pada tipe dan beban jembatan, dapat dilihat pada Gambar 2.1 elemen membentuk segitiga, gaya diterapkan hanya pada kedua titik akhir pada ujung-ujung rangka dan elemen yang berdekatan terhubung pada sambungan pada kerangka jembatan, oleh karena itu, momen lentur dan torsi umumnya diabaikan karena sambungan diasumsikan dapat menahan gaya aksial, dan sambungan tidak ada gaya rotasi ( Lin dan Yuda, 2017). contoh gambar tipe jembatan *truss* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.1 Jembatan *truss* dengan gaya aksial ( Lin dan Yuda, 2017).



Gambar 2.2 Tipe *Truss* pada rangka jembatan. (A) *Warren truss*. (B) *Modified Warren truss*. (C) *Pratt truss*. ( Lin dan Yuda, 2017).

Konstruksi jembatan rel kereta api umumnya menggunakan rentang pendek balok sederhana di atas tumpuan substruktur, jembatan rangka baja (*trusses*) menggunakan rentang yang lebih panjang daripada jembatan gelagar, dimaksudkan supaya pelaksanaan dan pemeliharaan dapat dijalankan dengan baik. Jembatan tipe *truss* merupakan salah satu jembatan dengan bentang yang panjang lebih dari 55 meter, Susunan elemen-elemen linier membentuk kombinasi segitiga sehingga menjadi bentuk rangka yang stabil (Rosyidi, 2016). Gambar jembatan rel kereta api dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jembatan kereta api ( Lin dan Yuda, 2017).

### 2.2.2. Sambungan

Sambungan adalah las atau susunan baut yang mengalihkan gaya normal atau gaya geser dari satu elemen ke elemen lainnya (AISC,2012). Sambungan berfungsi mengalihkan gaya-gaya dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga beban luar yang bekerja pada struktur dapat diteruskan ke pondasi. Sambungan harus direncanakan minimal sama atau lebih besar dibanding kuat perlu, yang dihasilkan dari analisa struktur terhadap beban-beban terfaktor, atau ditentukan dari kekuatan elemen yang disambung. (Dewobroto, 2016)

Jenis-jenis Alat Sambung yaitu :

- a. Baut Mutu Tinggi,
- b. Paku Keling,
- c. Las.

Kriteria perencanaan sambungan menurut SNI-1729-2015 yaitu :

- a. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhitungkan sambungan,
- b. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan,
- c. Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja dengan memperhitungkannya.

### 2.2.3. Sambungan Baut

Baut adalah cara yang praktis dan sederhana untuk menghubungkan elemen, namun jarak yang diizinkan dalam perakitan elemen struktur dan bisa mengurangi biaya pembuatan harus dipertimbangkan (Moze, 2018). dengan penelitian yang berjudul *Bearing Strength at Bolt Holes in Connections with Large End Distance and Bolt Pitch*. Saat ini sambungan baut sudah pilihan utama untuk perakitan struktur jembatan baja di lapangan, jembatan baja biasanya menggunakan baut mutu tinggi, sambungan baut bukan karena ekonomis, jika dibandingkan dengan sambungan las, Sistem baut dipilih karena relatif mudah dari sisi pengawasan, sehingga hasilnya lebih dapat dilihat. Baut mutu tinggi menggantikan paku keling (*Rivet*) yang sudah lama karena kuat materialnya lebih tinggi, hampir dua kali lipat. Ada dua jenis baut di pasaran, baut biasa (ASTM A307) dan baut mutu tinggi (ASTM A325 dan A490). Baut biasa (ASTM A307) disebut juga baut hitam atau baut mesin, terbuat dari baja karbon rendah dengan kuat tarik 450 MPa (minimum), sama seperti material baja A36. Selain material, Jarak antar baut harus diperhatikan, karena dapat mempengaruhi sambungan yang dipakai. Menurut Anggara (2014), jarak baut berpengaruh terhadap gaya tarik dan geser sambungan, jarak antar baut semakin besar maka tegak lurus dengan menahan gaya tarik dan semakin besar jarak tepi semakin besar pula kekuatan sambungan pada gaya tarik. Detail pemasangan baut mutu tinggi terhadap pelat sambungannya perlu diperhatikan panjang baut perlu dengan pemilihan yang efektif sehingga bidang geser jangan sampai terjadi pada bagian ulir. Bentuk sambungan dan beban mempengaruhi orientasi gaya yang bekerja pada baut (Dewobroto, 2016).

Tipe-tipe sambungan dan kekuatan baut :

a. *Bearing type* atau sambungan geser

Sambungan pelat terutama mengalami beban pada pelat, dimana beban antara pelat di distribusikan sebagai beban geser baut.

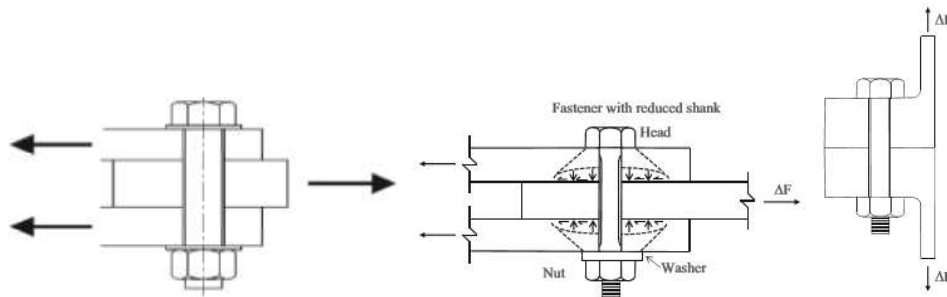
b. Sambungan *slip*

Beban antara pelat di distribusikan melalui gaya geser antar pelat dan gaya geser kombinasi gaya tarik.

c. *Tension-type connections*

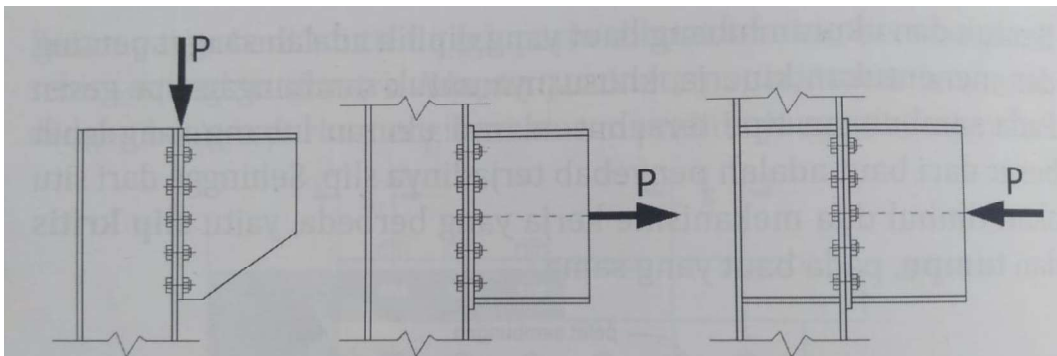


Sambungan yang dijepit dimana arah beban eksternal sejajar dengan baut.



Gambar 2.4 Sambungan tipe *Bearing* (kiri) Sambungan *Slip* (tengah) sambungan *Tension* (kanan). (Lostberg, 2016)

Baut dibebani arah longitudinal (searah sumbu), menerima gaya tarik. Kekuatan baut terhadap tarik lebih tinggi dibandingkan baut geser, jadi meskipun bebannya sama. Tetapi jika digunakan bentuk sambungan yang orientasi baut berbeda, maka jumlah bautnya bisa saja berbeda. Baut dibebani arah transversal (tegak lurus sumbu) menerima geser disebut sambungan tipe geser (Dewobroto, 2016). Perencanaan sambungan baut tipe geser pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sambungan geser (kiri) Sambungan tarik (tengah) Sambungan tekan (kanan). (Dewobroto, 2016)

Pada perencanaan batang tarik, reduksi luas penampang akibat lubang baut diperhitungkan sebagai luas penampang netto ( $A_n$ ). Adanya detail sambungan yang bervariasi, disesuaikan dengan proses fabrikasi dan kemudahan *erection*. pengaruh tersebut diperhitungkan pada parameter luas penampang efektif ( $A_e$ ). Konfigurasi sambungan baut tipe geser dan cara pemasangan baut mutu tinggi, keterkaitan tersebut menghasilkan dua mekanisme pengalihan gaya-gaya yang berbeda yaitu slip-kritis dan tumpu. (Dewobroto, 2016).

#### 2.2.4. Batang Tarik

Perencanaan batang tarik menggunakan material sambungan yang dipilih lebih kuat dari batang yang disambung. Bagian sambungan ditentukan batang lemah pada kekuatan sistem. Jadi dimana bagian sambungan lebih besar dibanding bagian batang, dikarenakan kekuatan pasti ditentukan bagian batang lemah. Kinerja batang tarik ditentukan oleh dua hal yaitu efektifitas kuat penampang, dan kinerja sistem sambungan yang digunakan. Jika dalam persamaan kinerja batang tarik ditentukan oleh tiga kondisi yaitu  $A_g$ ,  $A_n$  dan  $A_e$ .

#### 2.2.5. Batang Tekan

Batang tekan adalah komponen struktur yang dapat memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, kapasitas batang tekan ditentukan oleh tekuk (*Buckling*). Tak hanya tekuk batang tekan dipermasalahkan pada stabilitas konfigurasi geometri (struktur dan penampang). Perilaku tekuk dibedakan menjadi dua yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Penyelesaian dari kedua perilaku juga berbeda, tekuk lokal menjadi penyelesaian yang lebih kompleks dibanding tekuk global. Agar penyelesaian tekuk global dapat diatasi dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing. Itu dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal ( $b/t$ ). Struktur efisien jika penampangnya tidak langsing, karena tidak ada resiko tekuk. Tekuk global ditentukan oleh kelangsingan elemen penampang dan bentuknya, tekuk global ditentukan tiga perilaku yaitu tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk lentur-torsi.