

# PERANCANGAN DAN ANALISIS JEMBATAN RANGKA BAJA CANAI DINGIN (*COLD FORMED STEEL*) UNTUK PEJALAN KAKI

Reza Ermawan<sup>1)</sup>, Ismeddiyanto<sup>2)</sup>, Ridwan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

<sup>2)</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email : *reza.ermawan@student.unri.ac.id*

## ABSTRACT

Cold-formed steel is one of the alternative material that can be used as for truss bridge structures. The high slenderness of cold-formed steel is very prone to buckling (local, distortion, and global) so that the determination of cross-section capacity will be different from hot rolled steel. In Indonesia, cold-formed steel as a structure has been regulated in SNI 7971:2013. According to SNI 7971:2013, there are two methods to determine cross-sectional capacity of cold-formed steel, effective width and direct strength method. The design of a cold-formed steel truss bridge for the loading of class II pedestrians, with a combination of loading from AASHTO LRFD Guide Specification for the Design of Pedestrian Bridge (2009). This research aimed to study the efficiency of truss bridge configurations by comparing bridge weight-displacement ratio of the analyzed bridge truss systems. Bridges were designed in three truss system configurations, Warren, Pratt and Howe. The tension and compression elements, were designed with effective width and direct strength method which were available in CUFSM4 software. The results of the analysis showed that the addition of bridge weight was proportional to the reduction of bridge deflection. Warren truss bridge system produced the smallest ratio of efficiency among the three system, with a value of 5,11, while the Pratt and Howe truss bridge system had the ratio of efficiency of 5,36 and 5,50, respectively. Furthermore, the reduction of the compressive area was also proportional to the slenderness of the element analyzed with effective width method. The cross sections that had high slenderness, failures occurred in local buckling. If the cross-section did not experienced global buckling on the elastic buckling curve, the failure occurred in the distortion buckling. The direct strength method also produced a higher compressive capacity of 9.33% in profile variations and 8.84% in length variations compared to the effective width method.

*Keywords* : *Truss bridge, cold formed steel, truss system, direct strength method, effective widths method.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan konsumsi baja canai dingin yang cukup besar di Asia Tenggara. Berdasarkan data yang disampaikan oleh Hidayat Triseputro, Direktur Eksekutif *Indonesian Iron and Steel Industry Association* (IISIA), permintaan *cold rolling mill* (baja canai dingin) di tahun 2017 tercatat hampir 13 juta ton. Untuk permintaan baja canai dingin di tahun 2018 diprediksi mencapai kisaran 14 juta ton (Hidayat, 2018). Dengan

tingginya permintaan baja canai dingin di Indonesia, maka material ini sudah sangat umum digunakan dalam konstruksi bangunan terutama pada struktur rangka.

Baja canai dingin merupakan lembaran baja yang profilnya dibentuk dalam suhu ruangan dengan proses *press-breaking* atau *roll-forming*. Ketebalan pelat baja yang dibentuk berkisar dari 0,3 mm hingga 6 mm (Yu, 2010). Dengan ketebalan profil yang tipis membuat baja canai dingin sangat rentan terhadap tekuk (*buckling*), baik itu

tekuk global, lokal, maupun distorsional. Baja canai dingin umumnya dijumpai penerapannya pada struktur rangka atap, plafon dan rangka bangunan. Penggunaan material baja canai dingin pada struktur jembatan masih sangat jarang dijumpai.

Di Indonesia sendiri penggunaan baja canai dingin sebagai struktur telah diatur di dalam SNI 7971:2013 struktur baja canai dingin. Peraturan ini memuat persyaratan dimensi profil baja canai dingin, serta metode perhitungan kapasitas penampang baja canai dingin dalam menahan beban eksternal struktur.

Desain kapasitas baja canai dingin dengan metode lebar efektif merupakan acuan utama pada SNI 7971:2013 dan untuk metode kekuatan langsung hanya dibahas pada satu bab pada peraturan tersebut. Kedua metode tersebut memiliki pendekatan yang berbeda satu sama lain dan hal ini akan menjadi perhatian penulis dalam merancang jembatan rangka dalam penelitian ini.

### 1.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana analisis dan desain jembatan rangka baja canai dingin untuk pejalan kaki dengan metode lebar efektif (*effective widths*) dan metode kekuatan langsung (*direct strength method*), serta memilih konfigurasi rangka yang memiliki perbandingan antara kekuatan dan berat (*strength-to-weight ratio*) yang paling optimal.

### 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui gaya dalam yang terjadi pada struktur jembatan rangka (*truss*

*bridge*) pada setiap variasi konfigurasi rangka;

2. Memperoleh rasio antara berat jembatan terhadap lendutan yang paling optimal dari berbagai variasi konfigurasi rangka;
3. Mengkaji perbandingan kapasitas penampang tekan dari metode lebar efektif dan metode kekuatan langsung;
4. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kapasitas tekan dari metode lebar efektif;
5. Mengkaji pengaruh tekuk yang terjadi terhadap kapasitas tekan dari baja canai dingin.

### 1.3 Manfaat

Diharapkan dalam penelitian ini dapat bermanfaat untuk :

1. Menambah wawasan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan struktur jembatan rangka menggunakan material baja canai dingin;
2. Menjadi referensi dalam menganalisis struktur jembatan menggunakan material baja canai dingin metode lebar efektif (*effective widths*) dan metode kekuatan langsung (*direct strength method*).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

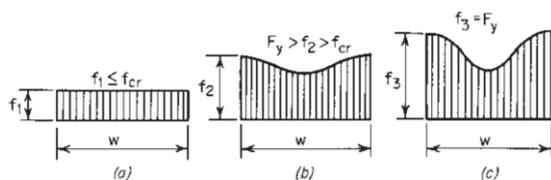
### 2.1 Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka (*truss bridge*) adalah sistem struktur konstruksi jembatan yang disusun dari rangka-rangka pada suatu bidang dan tiap elemennya dihubungkan dengan sendi pada titik buhulnya. Jembatan rangka merupakan jembatan dengan gelagar memanjang dinding penuh yang disusun dari panel baja dan dirangkai satu persatu dengan baut.

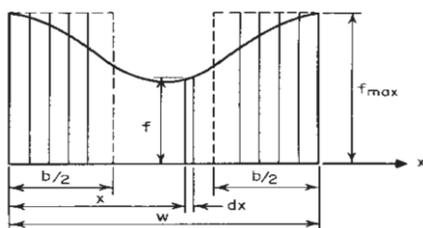
Pada dasarnya jembatan rangka merupakan gabungan elemen yang membentuk segitiga yang stabil tanpa terjadi pergerakan titik pada struktur diluar pengaruh deformasi elemen. Elemen rangka pada sistem ini dominan menerima gaya aksial baik berupa tarik maupun tekan, sedangkan lentur yang terjadi cenderung kecil dan sering diabaikan. Agar pengaruh lentur dapat diabaikan maka beban yang diberikan harus melalui titik hubung (*joint*) tiap rangka (Schodek, 1998).

## 2.2 Metode Lebar Efektif (*Effective Widths Method*)

Metode analisis lebar efektif (*effective widths*) diperkenalkan oleh Von Karman pada tahun 1932. Metode ini menjelaskan bahwa distribusi tegangan yang tidak seragam pada suatu pelat tipis dengan lebar elemen ( $w$ ) tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 1, dapat diasumsikan sebagai tegangan maksimum terdistribusi merata pada suatu lebar efektif sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 1 Distribusi tegangan pada elemen tekan dengan pengaku (Yu, 2010)



Gambar 2 Lebar efektif pada elemen tekan dengan pengaku (Yu, 2010)

## 2.3 Metode Kekuatan Langsung (*Direct Strength Method*)

Metode kekuatan langsung (*direct strength method*) adalah salah satu alternatif metode desain untuk baja canai dingin. Metode desain ini dikembangkan oleh American Iron and Steel Institute (AISI) pada awal tahun 2000, dan ditambahkan pada tahun 2007 sebagai Apendiks 1 peraturan AISI untuk baja canai dingin. Di Indonesia sendiri, metode ini dimuat didalam SNI 7971:2013 Bab 7 sebagai metode alternatif desain baja canai dingin. Analisis metode kekuatan langsung harus menggunakan profil yang sesuai pada persyaratan prakualifikasi pada SNI 7971:2013.

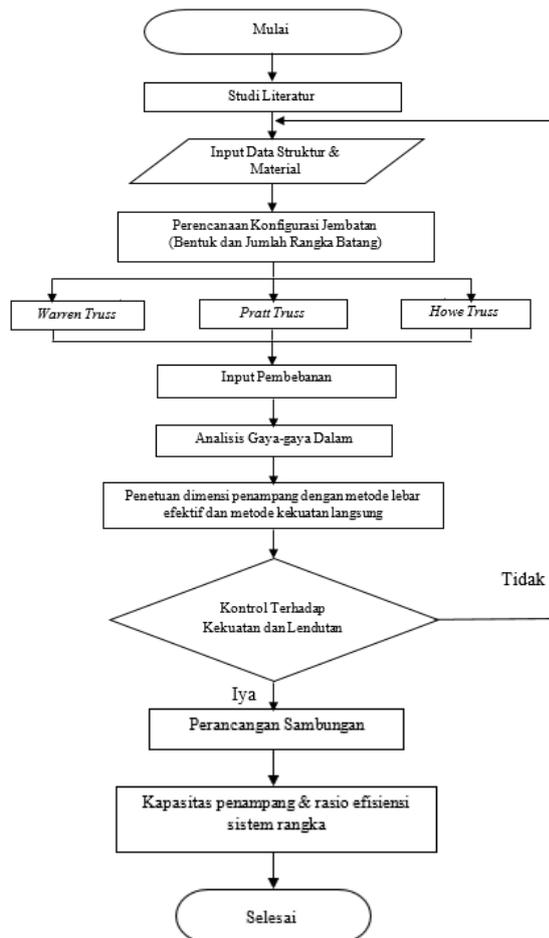
Metode kekuatan langsung berbeda dari metode pendekatan lebar efektif pada canai dingin. Metode ini menyatakan bahwa elemen baja canai dingin bukan hanya merupakan fungsi dari tekuk elastis pada pelat lokal (*local buckling*) seperti metode lebar efektif, akan tetapi juga merupakan fungsi dari tekuk distorsi (*distorsional buckling*) dan tekuk global (*global buckling*). Sehingga pada metode kekuatan langsung (*direct strength method*) desain baja canai dingin mencakup semua moda (bentuk) tekuk yang dapat terjadi pada elemen baja canai dingin.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan program *freeware* CUFSM sebagai alat bantu dalam menganalisis komponen baja canai dingin dengan metode kekuatan langsung (*direct strength method*). Program CUFSM menghasilkan kurva tekuk dari bentuk profil yang dianalisis, kurva tekuk ini berfungsi untuk mengelompokkan jenis tekuk dan menentukan besarnya nilai kapasitas tekan dari setiap jenis tekuk.

### 3. METODE PERANCANGAN

#### 3.1 Diagram Alir Perancangan

Untuk memudahkan memahami tahapan dalam penelitian ini, dapat dilihat bagan alir berikut :



Gambar 3 Diagram alir penyaluran beban

#### 3.2 Kondisi Perancangan dan Asumsi Pemodelan

Jembatan yang direncanakan merupakan tipe jembatan rangka baja canai dingin pejalan kaki lantai kendaraan atas (*Deck Type*), dengan bentang 8 m dan lebar 2 m. Jembatan yang akan dianalisis adalah jembatan pejalan kaki kelas II.

Bahan penyusun rangka jembatan menggunakan baja canai dingin dengan mutu G550, G500, dan G450. Untuk profil

preliminary digunakan profil C75.10. Sambungan yang digunakan berupa sambungan baut AS 4291.1 (ISO 898-1) dengan mutu 4.6.

#### 3.3 Tahapan penelitian

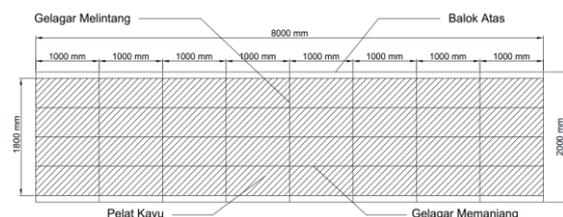
Tahapan penelitian ini diawali dengan membuat tiga model konfigurasi rangka jembatan dengan bantuan *software* SAP2000. Pada tahapan pemodelan ini, akan diperoleh profil yang paling optimum untuk menahan beban yang ada. Nilai lendutan hasil pemodelan harus memenuhi persyaratan lendutan minimal dari AASHTO 2009, yaitu  $L/360$ .

Tahapan selanjutnya merupakan analisis kapasitas dari profil yang diperoleh dari hasil iterasi dengan SAP2000. Kapasitas profil akan dianalisis dengan menggunakan metode lebar efektif dan metode kekuatan langsung. Metode kekuatan langsung memerlukan *software* CUFSM4 sebagai alat bantu.

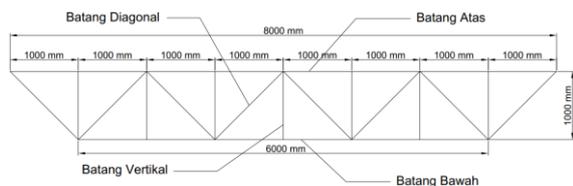
Tahapan terakhir adalah merencanakan sambungan pada setiap jembatan dengan kondisi batas sesuai dengan SNI 7971:2013.

#### 3.4 Perencanaan Konfigurasi Rangka

Jembatan rangka yang dianalisis dalam penelitian ini terdiri dari 3 tipe berdasarkan bentuk rangkanya, yaitu tipe *Warren truss*, *Pratt truss* dan *Howe truss*.



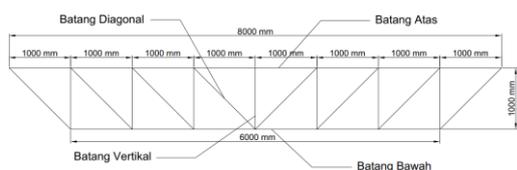
Gambar 4 Tampak atas gelagar dari semua konfigurasi jembatan



Gambar 5 Konfigurasi Warren

Tabel 1 Profil rangka Warren

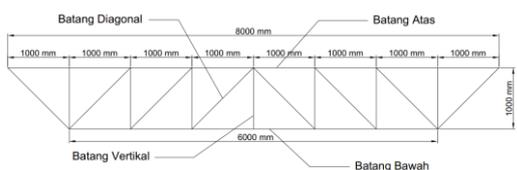
Elemen	Profil (mm)
Batang Vertikal (BV)	(C100.10)
Batang Diagonal (BD)	(C150.12)
Batang Atas (BA)	(C200.15)
Batang Bawah (BB)	(C100.15)
Gelagar melintang (GML)	(C150.15)
Bracing (BR)	(C100.10)
Gelagar Memanjang (GMP)	(C100.10)



Gambar 6 Konfigurasi Pratt

Tabel 2 Profil rangka Pratt

Elemen	Profil (mm)
Batang Vertikal (BV)	(C100.12)
Batang Diagonal (BD)	(C100.10)
Batang Atas (BA)	(C150.19)
Batang Bawah (BB)	(C100.15)
Gelagar melintang (GML)	(C.150.15)
Bracing (BR)	(C100.10)
Gelagar memanjang (GMP)	(C100.10)



Gambar 7 Konfigurasi Howe

Tabel 3 Profil rangka Howe

Elemen	Profil (mm)
Batang Vertikal (BV)	(C100.10)
Batang Diagonal (BD)	(C100.15)
Batang Atas (BA)	(C200.15)
Batang Bawah (BB)	(C100.15)
Gelagar melintang (GML)	(C150.15)
Bracing (BR)	(C100.10)
Gelagar memanjang (GMP)	(C100.10)

### 3.5 Pembebanan Jembatan Pejalan Kaki

Pembebanan jembatan pada penelitian ini mengacu pada Rancangan Pedoman Departemen PU tentang Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki (2007), dan AASHTO LRFD *Guide Specification for the Design of Pedestrian Bridge* (2009). Adapun beban-beban yang diinput pada penelitian ini yaitu terdiri dari beban mati berupa berat sendiri jembatan, beban hidup berupa beban pejalan kaki, dan beban angin.. Kombinasi beban yang digunakan sesuai dengan AASHTO LRFD *Guide Specification for the Design of Pedestrian Bridge* (2009) dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Kombinasi Faktor Reduksi Pembebanan (AASHTO, 2009)

Kondisi Batas	Beban Mati & Beban Mati Tambahan		
	Beban Mati	Beban Hidup	Beban Angin
Kuat I	1,25	1,75	0
Kuat II	1,25	0	1,40
Layan I	1,00	1,00	0,30

Beban mati adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang dapat berupa elemen struktural maupun nonstruktural dengan sifat tetap. Pada jembatan rangka, beban mati terdiri atas berat struktur rangka, berat sambungan mur-baut, berat sambungan pelat, berat lantai jembatan dan railing. Besarnya beban mati tergantung dari dimensi bahan dan kerapatan massa bahan yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kerapatan massa untuk berbagai bahan (SNI 1725-2016)

Bahan	Kerapatan massa (kg/m <sup>3</sup> )
Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	7.240
Baja ( <i>steel</i> )	7.850
Kayu (ringan)	800
Kayu Keras ( <i>Hardwood</i> )	1.125
Beton ringan (low density)	1.250-2.000
Beton $f'_c < 35$ MPa	2.320
Beton $35 < f'_c < 105$ MPa	$2.240 + 2,29 f'_c$
Lapisan permukaan aspal	2.245
Timbunan tanah padat	1.755
Kerikil dipadatkan	1.920-2.315

Beban hidup pejalan kaki untuk jembatan kelas I berupa beban terpusat 2000 kgf (20 kN) dari kendaraan ringan/ternak dan beban merata 5 kPa. Jembatan pejalan kaki kelas II hanya menerima beban hidup merata sebesar 4 kPa. Pembebanan pejalan kaki tersebut, dianggap memberikan batas yang cukup untuk keselamatan semua pengguna biasa dari jembatan pejalan kaki.

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan rangka yang diambil tegak lurus terhadap arah angin.

Mengacu pada *AASHTO LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridge* (2009), tekanan akibat angin dapat dihitung dengan rumus :

$$P_z = 0,613K_zGV^2I_rC_d \dots\dots (1)$$

Keterangan :

- $P_z$  adalah tekanan angin (Pa)
- $K_z$  adalah faktor ketinggian (dapat dilihat pada Tabel 7)
- G adalah faktor efek hembusan (minimal 1,14)
- V adalah kecepatan angin rencana (45 m/det)
- $I_r$  adalah faktor kepentingan angin (dapat dilihat pada Tabel 6)
- $C_d$  adalah faktor seret angin (2 untuk elemen rangka datar dan 1,2 untuk elemen rangka silinder)

Tabel 6 Faktor kepentingan angin (ASSHTO Signs, 2008)

Periode ulang (tahun)	Faktor kepentingan angin
100	1,15
50	1,00
25	0,87
10	0,71

\*faktor kepentingan angin untuk  $v = 45$  m/det

Dalam perencanaan jembatan pejalan kaki kelas II, diambil faktor kepentingan ( $I_r$ ) dari periode ulang 100 tahun dengan nilai sebesar 1,00.

Tabel 7 Faktor ketinggian  
(ASSHTO Signs, 2008)

Tinggi, m (ft)	$K_z$
5,0 (16,4) atau kurang	0,87
7,5 (24,6)	0,94
10,0 (32,8)	1,00

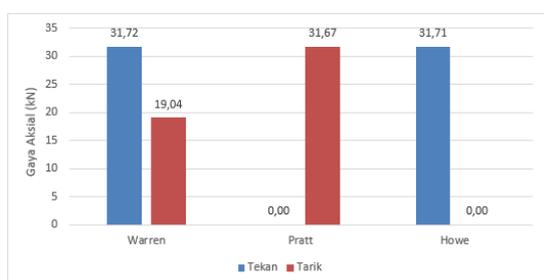
Dalam perencanaan jembatan pejalan kaki kelas II, diambil faktor ketinggian ( $K_z$ ) dari tinggi jembatan kurang dari 5 m dengan nilai sebesar 0,87.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

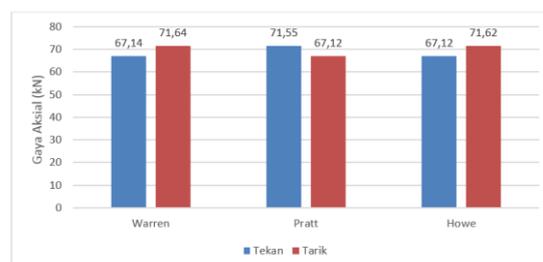
### 4.1 Gaya Dalam Struktur Jembatan

Variasi arah batang diagonal, menghasilkan gaya dalam yang berbeda meskipun dengan pembebanan yang serupa. Sistem rangka Warren menghasilkan batang diagonal dalam kondisi tarik dan tekan, sistem rangka Pratt menghasilkan batang diagonal dalam kondisi tarik, dan sistem rangka Howe menghasilkan batang diagonal pada kondisi tekan.

Untuk rekapitulasi gaya aksial maksimum pada batang diagonal dapat dilihat pada Gambar 8 dan untuk gaya aksial maksimum pada setiap sistem rangka dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Gaya aksial maksimum pada batang diagonal



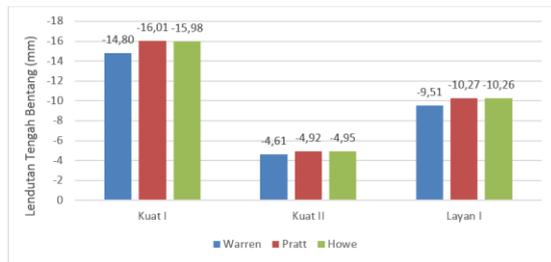
Gambar 9 Gaya aksial maksimum terhadap variasi sistem rangka

Dari Gambar 8, dapat diketahui gaya aksial tekan tertinggi bernilai 31,72 kN dari batang diagonal rangka Warren dan untuk rangka Howe bernilai 31,71 kN. Pada rangka Pratt sendiri, batang diagonal hanya terjadi gaya aksial tarik dengan nilai 31,67 kN. Dari keseluruhan batang pada rangka, tekan tertinggi terjadi pada rangka Pratt dengan nilai 71,55 kN dan tarik tertinggi pada rangka Warren dengan nilai 71,64 kN.

### 4.2 Gaya Dalam Struktur Jembatan

Perbedaan sistem rangka menghasilkan lendutan maksimum yang berbeda, walaupun secara keseluruhan panjang dari setiap rangka sama. Lendutan paling maksimum dihasilkan pada kombinasi pembebanan kuat I, yang merupakan kombinasi beban mati dan beban hidup. Jembatan rangka Warren menghasilkan lendutan terkecil dibandingkan jembatan Howe dan Pratt, Jembatan Warren memiliki lendutan maksimum sebesar 14,80 mm, lalu jembatan Howe dengan lendutan 15,98 mm dan 16,01 mm untuk jembatan Pratt.

Lendutan akibat kombinasi beban lain juga menunjukkan bahwa rangka Warren menghasilkan lendutan yang paling kecil jika dibandingkan dua jembatan lainnya. Untuk keseluruhan nilai lendutan pada variasi sistem rangka dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Lentutan terhadap variasi sistem rangka

Sistem rangka Pratt memiliki lendutan yang paling besar dibandingkan sistem rangka lainnya, hal ini disebabkan batang diagonal pada sistem rangka pratt berada dalam kondisi tarik sehingga elemen profil mengalami pertambahan panjang. Pada rangka Howe, lendutan lebih baik dari sistem rangka Pratt karena batang diagonal berada dalam kondisi tekan yang artinya batang diagonal akan mengalami perpendekan, akan tetapi kondisi tekan pada baja canai dingin sangat beresiko terhadap tekuk, sehingga akan dibutuhkan profil yang lebih besar untuk menahan gaya aksial tekan tersebut. Sistem rangka Warren menghasilkan batang diagonal dalam tarik dan tekan, kombinasi gaya aksial ini menghasilkan lendutan yang paling minimal dari sistem rangka Pratt dan Howe.

#### 4.3 Rasio Berat dan Lentutan Jembatan

Perbedaan gaya aksial pada setiap sistem rangka menghasilkan kebutuhan profil yang berbeda, sehingga menghasilkan berat yang berbeda juga. Berat dari struktur akan berpengaruh kepada volume penggunaan baja canai dingin yang digunakan pada konstruksi jembatan pejalan kaki. Berat dari jembatan sangat dipengaruhi pada besarnya gaya dalam yang terjadi pada rangka, semakin besar gaya dalam yang ada, maka akan semakin besar juga profil yang dibutuhkan.

Dalam kasus baja canai dingin, gaya aksial tekan menjadi sangat penting dalam pemilihan profil baja canai dingin, dikarenakan kemungkinan terjadi tekuk sangat besar.

Perhitungan rasio berat dan lendutan jembatan sangat bermanfaat untuk memperoleh sistem rangka jembatan yang paling efisien. Jembatan dapat dikatakan efisien jika menghasilkan berat dan lendutan yang paling minimum.

Nilai rasio efisiensi pada setiap variasi rangka jembatan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Rasio efisiensi jembatan

Tipe Jembatan	Berat Jembatan (kg)	Lendutan Maksimum (mm)	Rasio Efisiensi
<i>Warren</i>	348,25	14,80	5,15
<i>Pratt</i>	335,04	16,01	5,36
<i>Howe</i>	344,08	15,98	5,50

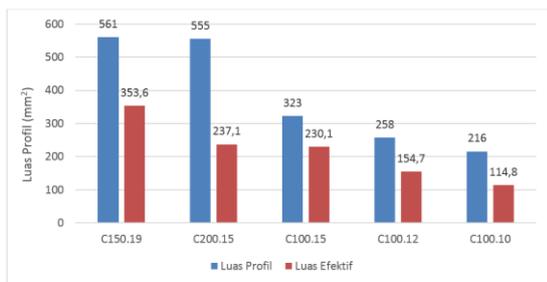
Dari Tabel 8 diatas, dapat dilihat bahwa peningkatan bobot jembatan rangka berbanding lurus dengan penurunan lendutan jembatan yang terjadi, sehingga lendutan terkecil akan terjadi pada bobot jembatan rangka terbesar. Rasio efisiensi terkecil dihasilkan oleh rangka Warren dengan nilai sebesar 5,15, lalu rangka Pratt dengan nilai sebesar 5,35 dan rangka Howe dengan nilai 5,50.

#### 4.4 Kapasitas Penampang Metode Lebar Efektif

##### 4.4.1 Luas efektif elemen kanal

Lebar efektif elemen yang dihitung pada bab sebelumnya merupakan elemen dari profil kanal. Profil kanal ini dibagi atas beberapa elemen lokal, yaitu: elemen dengan pengaku tepi (elemen sayap), elemen tanpa pengaku (lips), dan elemen

dengan pengaku pada setiap tepi (elemen badan). Untuk rekapitulasi nilai reduksi luasan pada setiap profil kanal panjang satu meter dapat dilihat pada Gambar 11 dan untuk persentase reduksi luasan dapat dilihat pada Tabel 9.



Gambar 11 Perbandingan luasan profil dan luasan efektif

Tabel 9 Persentase reduksi luasan

Profil	Luas Profil, $A_g$ (mm <sup>2</sup> )	Luas Efektif, $A_e$ (mm <sup>2</sup> )	Persentase Reduksi (%)
C150.19	561	353,6	36,966
C200.15	555	237,1	57,276
C100.15	323	230,1	28,764
C100.12	258	154,7	40,028
C100.10	216	114,8	46,844

Dari tabel 9 dapat disimpulkan bahwa besarnya reduksi luasan yang terjadi tidak berbanding lurus terhadap luasan kotor profil. Besarnya nilai reduksi penampang dipengaruhi oleh kelangsingan elemen pada profil (b/t) (dapat dilihat pada Tabel 10)

Tabel 10 Persentase reduksi luasan

Profil	Kelangsingan Elemen (b/t)	Persentase Reduksi (%)
C150.19	104,868	36,966
C200.15	174,667	57,276
C100.15	90,167	28,764

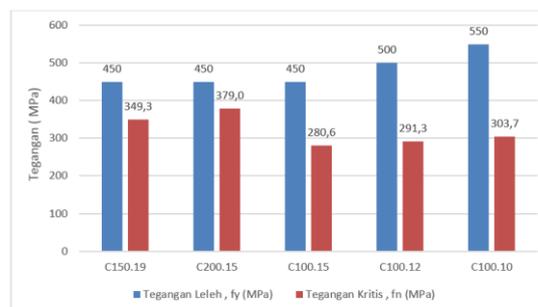
C100.12	113,125	40,028
C100.10	136,750	46,844

Dari Tabel 10 diatas, dapat dilihat kelangsingan yang semakin besar dari profil baja canai dingin menghasilkan reduksi luasan yang lebih besar juga. Hal ini menyebabkan profil dengan ketebalan yang tipis memiliki luasan tekan yang kecil, sehingga kapasitas tekan dari profil tersebut akan semakin kecil. Profil kanal dipasaran dengan ketebalan yang tipis ( $\leq 1,00$  mm) biasanya akan memiliki mutu yang tinggi (G550) untuk mengimbangi reduksi luasan tekan akibat tekuk lokal yang terjadi.

#### 4.4.2 Tegangan kritis penampang

Tegangan kritis merupakan tegangan tereduksi dari tegangan leleh penampang ( $f_y$ ) yang dianggap masih mampu menahan tekuk global (tekuk lentur, torsi, atau lentur-torsi). Tegangan kritis sangat bergantung kepada kelangsingan non dimensi profil kritis ( $\lambda_c$ ) dan mutu material baja canai dingin yang digunakan. Nilai kelangsingan yang semakin tinggi pada suatu profil menghasilkan reduksi kapasitas tegangan yang semakin besar, karena kecenderungan untuk mengalami tekuk global dan tekuk lokal menjadi semakin tinggi.

Untuk Rekapitulasi tegangan kritis profil kanal dapat dilihat pada Gambar 12.

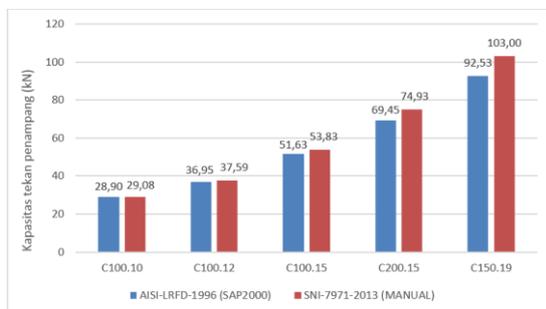


Gambar 12 Rekapitulasi tegangan kritis profil kanal

#### 4.4.3 Kapasitas tekan penampang metode lebar efektif

Kapasitas tekan pada baja canai dingin, didapatkan dengan mengalikan luas efektif penampang dengan kapasitas tegangan kritis profil tersebut. Kapasitas tekan yang didapat akan dikurangi dengan faktor reduksi dari peraturan yang berlaku.

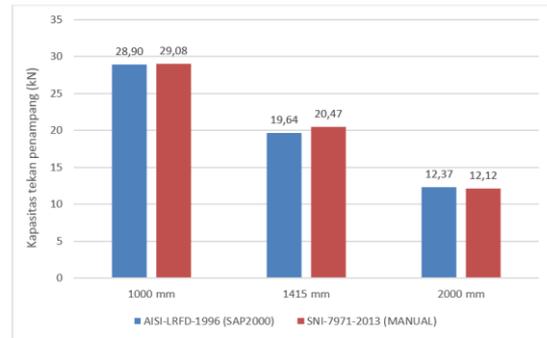
Untuk rekapitulasi kapasitas tekan penampang dengan metode lebar efektif pada profil kanal panjang satu meter dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Rekapitulasi kapasitas tekan AISI dan SNI untuk panjang satu meter

Pada Gambar 13, kapasitas tekan metode efektif yang didapat dari hasil perhitungan di SAP2000 cenderung lebih rendah dari hasil dari perhitungan manual. Perbedaan nilai kapasitas yang terjadi disebabkan tingkat ketelitian perhitungan dan peraturan yang berbeda untuk penentuan kapasitas tekan. Pada SAP2000 kapasitas tekan dihitung berdasarkan peraturan AISI-LRFD-1996 dan perhitungan manual menggunakan peraturan SNI-7971-2013. Rata-rata selisih nilai kapasitas tekan dari SAP2000 dan hitungan manual tidak terpaut terlalu jauh yaitu sebesar 4,75 persen.

Untuk rekapitulasi kapasitas tekan dengan metode lebar efektif pada profil C100.10 dengan berbagai variasi panjang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Rekapitulasi kapasitas tekan AISI dan SNI pada C100.10

Dari Gambar 14 dapat diketahui bahwa penambahan panjang pada pada struktur rangka mengakibatkan penurunan kapasitas tekan yang dimiliki. Penurunan kapasitas akan semakin meningkat pada setiap satuan panjang batang pada rangka. Pada kasus C100.10 diatas, persentase penurunan untuk panjang 1415 mm sebesar 29,59 persen dan 2000 mm sebesar 82,83 persen.

#### 4.5 Kapasitas Penampang Metode Kekuatan Langsung

Kapasitas penampang dengan metode kekuatan langsung menggunakan metode *finite strip* untuk mencari rasio tekuk kritis dari sebuah profil. Alat bantu yang dipakai untuk menghitung rasio tekuk kritis menggunakan *software* CUFSM 4. Pada metode ini antar elemen dianggap ikut berpartisipasi dalam menahan tekuk yang terjadi, sehingga nilai kapasitas penampangnya tentu akan lebih besar dari metode lebar efektif.

##### 4.5.1 Kapasitas tekan berdasarkan variasi tekuk (*buckling*)

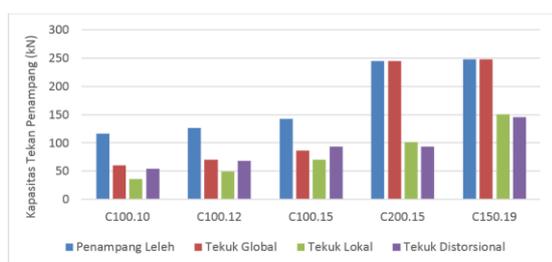
Nilai kapasitas tekan baja canai dingin sangat bergantung pada tipe tekuk dan rasio tekuk kritis yang terjadi. Tipe tekuk yang diperhitungkan pada metode kekuatan langsung yaitu tekuk lokal, tekuk

distorsional, dan tekuk global atau euler (lentur, torsi, dan lentur-torsi).

Perbandingan kapasitas tekan penampang berdasarkan variasi tekuk pada panjang satu meter dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 15.

Tabel 11 Nilai kapasitas tekan penampang berdasarkan tipe tekuk

Profil	Leleh (kN)	Global (kN)	Lokal (kN)	Distorsional (kN)
C100.10	116,54	60,30	36,42	53,66
C100.12	126,55	70,43	48,73	67,78
C100.15	142,59	85,94	69,93	92,90
C200.15	245,00	245,00	101,22	92,96
C150.19	247,65	247,65	150,68	145,46



Gambar 15 Kapasitas penampang berdasarkan tipe tekuk

Dari Gambar 5.9 dapat diketahui bahwa pada profil yang memiliki luasan yang besar pada panjang satu meter belum terjadi tekuk global pada penampang. Hal ini dikarenakan rasio tekuk yang terjadi hanya sampai bagian tekuk distorsional. Pada elemen yang memiliki luasan besar, nilai tekuk lokal yang terjadi akan menurun, dikarenakan nilai tekuk lokal sangat dipengaruhi oleh besarnya tekuk global yang terjadi.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa tekuk untuk elemen yang memiliki kelangsingan yang besar kapasitas tekan penampang diperoleh dari tekuk lokal yang terjadi.

#### 4.5.2 Kapasitas tekan berdasarkan variasi panjang

Panjang elemen batang pada struktur rangka sangat mempengaruhi besarnya kapasitas tekan yang ditahan profil. Pada baja canai dingin, variasi panjang tentu akan mempengaruhi nilai tekuk yang terjadi. Untuk melihat pengaruh penambahan panjang terhadap nilai kapasitas tekan dari tekuk yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 16.



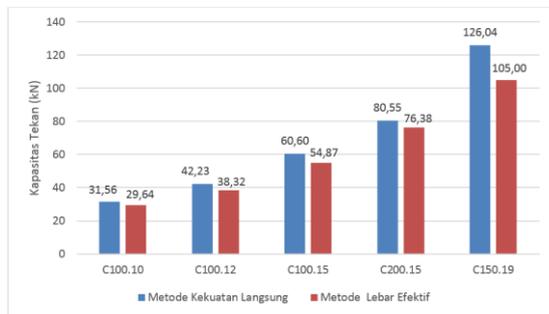
Gambar 16 Kapasitas penampang berdasarkan panjang batang

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan panjang pada elemen struktur akan mempengaruhi nilai tekuk global dan tekuk lokal yang terjadi. Tekuk global dan tekuk lokal akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan panjang yang terjadi, dan hal ini tidak berlaku pada tekuk distorsional. Besarnya nilai tekuk distorsional tidak dipengaruhi oleh penambahan atau pengurangan panjang pada elemen struktur.

#### 4.6 Perbandingan Kapasitas Tekan Metode Lebar Efektif dan Metode Kekuatan Langsung

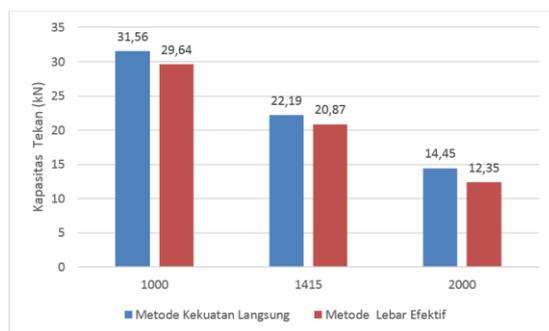
Metode yang berbeda pada desain kapasitas penampang menghasilkan nilai tahanan nominal yang berbeda pula. Lihat Gambar 17 untuk melihat perbedaan nilai dari kedua metode yang dipakai pada SNI-

7971-2013 berdasarkan variasi profil yang digunakan pada panjang satu meter.



Gambar 17 Perbandingan nilai kapasitas tekan dari berbagai profil

Untuk perbandingan kapasitas tekan dari kedua metode pada profil C100.10 terhadap variasi panjang dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Perbandingan nilai kapasitas tekan terhadap panjang

Dari Gambar 17 dan 18 diatas, nilai kapasitas berdasarkan metode kekuatan langsung lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai dari metode lebar efektif. Nilai kapasitas penampang pada metode lebar efektif lebih rendah dikarenakan adanya reduksi lebar elemen untuk mengantisipasi tekuk lokal yang terjadi. Pada metode kekuatan langsung luasan pada profil seluruhnya ikut berpartisipasi dalam menahan tekan yang terjadi dan antar elemen (badan, sayap, dan lips) ikut berpartisipasi dalam menahan tekuk yang ada.

Rata-rata selisih besarnya nilai kapasitas tekan pada berbagai variasi profil adalah sebesar 9,33 persen dan untuk rata-rata selisih nilai kapasitas tekan pada variasi panjang bernilai 8,84 persen.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada elemen batang atas pada seluruh variasi rangka mengalami gaya aksial tekan, dan pada elemen batang bawah pada seluruh variasi rangka mengalami gaya aksial tarik. Untuk elemen batang diagonal pada rangka Warren mengalami gaya aksial tarik dan tekan, dengan nilai tertinggi tarik sebesar 19,04 kN dan nilai tertinggi tekan sebesar 31,72 kN. Pada rangka Pratt, batang diagonal hanya mengalami gaya aksial tarik, dengan nilai tarik tertinggi sebesar 31,67 kN dan elemen batang diagonal pada rangka Howe hanya menerima gaya aksial tekan, dengan nilai tekan tertinggi 31,71 kN
2. Jembatan rangka Warren dengan berat 348,5 kg dan lendutan 14,80 mm menghasilkan sistem rangka yang paling optimal dengan rasio efisiensi sebesar 5,11. Nilai rasio efisiensi pada rangka Warren lebih efisien 3,88 persen dari rangka Pratt dan 6,24 persen lebih efisien dari rangka Howe.
3. Metode kekuatan langsung memiliki nilai kapasitas lebih besar 9,33 persen jika dibandingkan dengan metode lebar efektif pada variasi profil yang digunakan. Untuk profil yang sama dengan variasi panjang yang berbeda nilai kapasitas tekan metode kekuatan

langsung lebih tinggi 8,84 persen jika dibandingkan dengan metode lebar efektif.

4. Besarnya reduksi luasan elemen pada profil baja canai dingin berbanding lurus dengan kelangsingan dari profil tersebut dan luas kotor profil tidak mempengaruhi reduksi luasan pada elemen tersebut. Penambahan panjang pada elemen struktur rangka berdampak pada penurunan kapasitas tekan pada penampang, semakin panjang elemen struktur maka kapasitas tekan akan semakin berkurang.
5. Tekuk global dan lokal pada elemen baja canai dingin sangat dipengaruhi oleh panjang elemen struktur, nilai kapasitas tekan akan menurun seiring dengan bertambahnya panjang. Hal ini tidak berlaku pada penentuan kapasitas tekuk distorsional, karena nilai tekuk distorsional tidak bergantung pada panjang elemen strukturnya. Struktur dengan kelangsingan yang besar akan kritis terhadap tekuk lokalnya. Jika pada suatu panjang elemen belum terjadi tekuk global, dalam kasus ini pada profil dengan kelangsingan kecil, maka penampang akan kritis pada tekuk distorsionalnya.

## 5.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang bisa dilakukan untuk penelitian serupa kedepannya, yaitu:

1. Lebih teliti dalam melakukan *input data properties* material, data profil maupun pembebanan jembatan pada program SAP2000 dan CUFSM 4

untuk meminimalisir terjadinya kesalahan hasil *output* analisis.

2. Untuk mengakomodasi beban kendaraan ringan perlu dilakukan perancangan kelas jembatan yang lebih tinggi, sehingga fungsi jembatan dapat menjadi lebih optimal.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway And Transportation Officials. (2008). *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic*. Washington, DC: AASHTO.
- American Association of State Highway And Transportation Officials. (2009). *LRFD GUIDE SPECIFICATION FOR DESIGN OF PEDESTRIAN BRIDGE*. Washington, DC: AASHTO.
- American Iron and Steel Institute. (2007). *Cold-Formed Steel Design Manual*. Washington, DC: AISI.
- Badan Standarisasi Nasional. (2007). *Perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 7971 - Struktur Baja Canai Dingin*. Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1725 - Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Barker, R., & Puckett, J. (1997). *Design of Highway Bridges : Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. New York, USA: A

- Wiley-Interscience Publication,  
John Wiley & Sons. Inc.
- Chen, W.-F. (2014). *Bridge Engineering Handbook Superstructure Design*. New York: CRC Press.
- Direktorat Bina Teknik. (1995). *Tata Cara Perencanaan Jembatan Penyeberangan untuk Pejalan Kaki di Perkotaan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hibbeler, R. C. (2002). *Structural Analysis*. Salmon: Prentice Hall.
- Hidayat, A. (2018, Desember 28). *IISIA optimis permintaan baja canai dingin tahun ini naik 9%*. Diambil kembali dari kontan.co.id: <https://industri.kontan.co.id/news/iisia-optimis-permintaan-baja-canai-dingin-tahun-ini-naik-9>
- Hidayatullah, B. W. (2015). Studi Analisis Pengaruh Perkuatan Sambungan Pada Struktur Jembatan Rangka Canai Dingin Terhadap Lendutan. *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, 1-13.
- Ipv Delft. (2015). *Brief Dutch Design Manual For Bicycle and Pedestrian Bridges*. Delft: Ipv Delft.
- IT Transport. (2004). *Footbridges Manual for Construction at Community and District Level*. London: Department for International Development.
- Lautensleger, R. (1991). Galvanized Cold-Formed Steel Bridges for Low-Volume Roads. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, 328.
- Puri, V. L. (2015). Perancangan Jembatan Pejalan Kaki Dengan Sistem Struktur Baja Canai Dingin. *Jurnal Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada*, 1-10.
- Schafer, B. W. (2006). Designing Cold-formed Steel Using the Direct. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, 481-485.
- Schodek, D. (1998). *Struktur*. Bandung: PT. Eresco.
- Struyk, H., & Veen, K. (1984). *Jembatan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Suhendro, B. (2000). *Analisis Struktur Metode Matrix*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wiguna, A. (2014). Analisis Kekuatan Baja Canai Dingin (Cold Formed Steel). *Jurnal Kalibrasi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*, 1-20.
- Yu, W. (2010). *Cold-Formed Steel Design*. Missouri: John Wiley & Sons.