

PERENCANAAN STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA CANAI DINGIN

Regyna A. D. Latumeten¹, Averina Aprilia A.², Hasan Santoso³, Ima Muljati⁴

ABSTRAK : Baja canai dingin sudah mulai banyak digunakan sebagai struktur bangunan sekarang ini. Pengaplikasiannya paling sering digunakan untuk struktur rangka atap. Di dalam perencanaannya, biasanya pemodelan struktur rangka atap dilakukan secara sederhana dimana sambungan dianggap *flexible*. Namun pada kenyataannya struktur tersebut tidak mungkin bisa menjadi *flexible*, melainkan sebuah struktur yang memiliki sambungan *rigid* yang bukan hanya menerima aksial saja, namun juga lentur dan geser. Adapun variasi yang dibuat ialah bentuk kuda-kuda (*king post* dan *fink truss*), profil (*hat* dan *lipped channel*), bentang (8 meter, 10 meter dan 12 meter). Pedoman yang mengatur tentang persyaratan dalam mendesain baja canai dingin juga baru saja dikeluarkan pada tahun 2013, yakni SNI 7971-2013. Permasalahannya adalah belum tentu semua model dan penampang yang berada di pasaran sudah memenuhi SNI 7971-2013 yang mengatur tentang baja canai dingin. Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk memberikan contoh perhitungan yang sesuai dengan SNI 7971-2013 dalam mendesain struktur kuda-kuda rangka atap sederhana, serta menentukan pemodelan struktur yang paling aman. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pemodelan *rigid* yang lebih aman, serta memberikan contoh perhitungan struktur rangka atap menurut SNI 7971-2013.

KATA KUNCI : baja canai dingin, struktur rangka atap, sambungan *rigid*, sambungan *flexible*, SNI 7971-2013 Struktur Baja Canai Dingin.

1. PENDAHULUAN

Baja canai dingin (*cold-formed steel*) sudah mulai banyak digunakan. Penggunaan baja canai dingin paling banyak digunakan sebagai struktur atap. Di dalam perencanaannya, biasanya pemodelan struktur rangka atap dilakukan secara sederhana, yakni dengan menganggapnya sebagai rangka batang *flexible* yang hanya dapat menerima gaya aksial saja. Namun pada kenyataannya, struktur rangka atap adalah struktur *rigid* yang bukan hanya menerima gaya aksial, namun juga mampu menahan momen yang terjadi. Selain itu dalam pemodelan biasanya titik pertemuan tiap bagian dianggap bertemu pada satu sambungan. Namun, pada pelaksanaannya tiap bagian itu tidak dapat bertemu pada satu titik, sehingga timbul eksentrisitas yang disebabkan oleh bentuk profil yang tidak simetris. Dengan kondisi tersebut, maka diperlukan studi perbandingan antara sambungan yang dimodelkan secara *rigid* dan *flexible*. Selain jenis pemodelannya, pada kenyataannya juga ada begitu banyak variasi model geometri rangka atap serta penampang yang digunakan oleh berbagai macam produsen.

Di negara lain, peraturan yang mengatur mengenai baja canai dingin sudah ada sejak lama, seperti AISI (*American Iron and Steel Institute*) dari Amerika dan AS/NZS 4600 Standard dari Australia (Yu, 1991). Sedangkan di Indonesia sendiri peraturan tentang baja canai dingin baru terbit pada tahun 2013. Permasalahannya adalah belum tentu semua model dan penampang di pasaran sudah memenuhi SNI 7971-2013. Oleh karena itu, perlu disediakan contoh-contoh perhitungan sebagai panduan desain struktur rangka atap yang sesuai dengan peraturan yang baru.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, regyna_94@yahoo.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, avex307@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Krsiten Petra, hasan@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra imuljati@petra.ac.id

2. LANDASAN TEORI

2.1. Perencanaan Struktur Rangka Atap Baja Canai Dingin

Dalam desain perlu diperhatikan hal-hal berikut.

1) Desain lentur

Momen lentur desain (M^*) dari komponen struktur lentur harus memenuhi persyaratan yaitu:

$$M^* = \phi_b M_s \quad (\text{SNI 7971 3.3.1(1)})$$

$$M^* = \phi_b M_b \quad (\text{SNI 7971 3.3.1(2)})$$

dimana

ϕ_b = faktor reduksi kapasitas untuk lentur

M_s = kapasitas momen penampang nominal yang dihitung

M_b = kapasitas momen komponen struktur nominal yang dihitung

2) Desain tarik

$$N^* \leq \phi_t N_t \quad (\text{SNI 7971 3.2.1})$$

dimana

ϕ_t = faktor reduksi kapasitas untuk komponen struktur tarik

N_t = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tarik

3) Kombinasi aksial tarik dan lentur

$$\frac{M_x^*}{\phi_b M_{bx}} + \frac{M_y^*}{\phi_b M_{by}} - \frac{N^*}{\phi_t N_t} \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.5.2(1)})$$

$$\frac{N^*}{\phi_t N_t} + \frac{M_x^*}{\phi_b M_{sxf}} + \frac{M_y^*}{\phi_b M_{syf}} \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.5.2(2)})$$

dimana

N_t = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tarik

M_{sxf}, M_{syf} = kapasitas momen leleh penampang nominal dari penampang utuh terhadap sumbu x dan y

M_{bx}, M_{by} = kapasitas momen komponen struktur struktur nominal terhadap sumbu x dan y, dari penampang efektif

4) Desain tekan

Gaya aksial tekan desain (N^*) harus memenuhi berikut ini:

$$N^* \leq \phi_c N_s \quad (\text{SNI 7971 3.4.1.1})$$

$$N^* \leq \phi_c N_c \quad (\text{SNI 7971 3.4.1.2})$$

dimana

ϕ_c = faktor reduksi kapasitas untuk komponen struktur dalam tekan

N_s = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tekan

N_c = kapasitas komponen struktur nominal dari komponen struktur dalam tekan

5) Kombinasi aksial tekan dan lentur

Gaya tekan aksial desain (N^*), dan momen lentur desain (M_x^* dan M_y^*) terhadap sumbu x dan y dari penampang efektif, harus memenuhi syarat berikut ini

$$(a) \quad \frac{N^*}{\phi_c N_c} + \frac{C_{mx} M_x^*}{\phi_b M_{bx} \alpha_{nx}} + \frac{C_{my} M_y^*}{\phi_b M_{by} \alpha_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.5.1(1)})$$

$$(b) \quad \frac{N^*}{\phi_c N_s} + \frac{M_x^*}{\phi_b M_{bx}} + \frac{M_y^*}{\phi_b M_{by}} \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.5.1(2)})$$

Jika $N^*/\phi_c N_c \leq 0,15$, interaksi berikut harus digunakan sebagai pengganti poin (a) dan (b)

$$\frac{N^*}{\phi_c N_c} + \frac{M_x^*}{\phi_b M_{bx}} + \frac{M_y^*}{\phi_b M_{by}} \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.5.1(3)})$$

dimana

- ϕ_c = faktor reduksi kapasitas untuk komponen struktur tekan
 N_s = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tekan
 N_c = kapasitas komponen struktur nominal dari komponen struktur dalam tekan
 ϕ_b = faktor reduksi kapasitas untuk lentur
 C_{mx}, C_{my} = koefisien untuk momen ujung yang tidak sama
 M_x^*, M_y^* = momen lentur desain terhadap sumbu x dan y dari penampang efektif, ditentukan untuk gaya aksial desain saja
 α_{nx}, α_{ny} = faktor amplifikasi momen

6) Desain geser

Gaya geser desain (V^*) pada setiap potongan penampang harus memenuhi

$$V^* \leq \phi_v V_v \quad (\text{SNI 7971 3.3.4.1})$$

dimana

- ϕ = faktor reduksi kapasitas untuk geser
 V_v = kapasitas geser nominal pelat badan

7) Kombinasi lentur dan geser

Untuk balok dengan pelat badan tanpa pengaku, momen lentur desain (M^*) dan gaya geser desain (V^*) harus memenuhi

$$\left(\frac{M^*}{\phi_b M_s}\right)^2 + \left(\frac{V^*}{\phi_v V_v}\right)^2 \leq 1,0 \quad (\text{SNI 7971 3.3.5(1)})$$

dimana

- M_s = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur struktur dalam tarik
 V_v = kapasitas momen leleh penampang nominal dari penampang utuh terhadap sumbu x dan y

2.2. Sambungan Sekrup

1) Sambungan sekrup dalam geser

a) Jarak minimum dan jarak tepi

Jarak antara pusat-pusat sekrup tidak boleh kurang dari tiga kali diameter sekrup nominal (d_f).
Jarak dari pusat sekrup ke tepi semua bagian tidak boleh kurang dari $3 d_f$.

b) Tarik pada bagian tersambung

Gaya tarik desain (N_t^*) pada penampang neto harus memenuhi:

$$N_t^* \leq \phi N_t \quad (\text{SNI 7971 5.4.2.2(1)})$$

dimana:

- ϕ = faktor reduksi kapasitas sambungan sekrup dalam tarik
 N_t = kapasitas tarik nominal penampang neto bagian tersambung

c) Jungkit (tilting) dan tumpu lubang

Gaya tumpu desain (V_b^*) pada satu sekrup harus memenuhi

$$V_b^* \leq \phi V_b \quad (\text{SNI 7971 5.4.2.3(1)})$$

dimana:

- ϕ = faktor reduksi kapasitas sekrup yang menerima miring dan tumpu lubang
 V_b = kapasitas tumpu nominal bagian tersambung

d) Geser sambungan yang dibatasi jarak ujung

Gaya geser desain V_{fv}^* yang dibatasi jarak ujung harus memenuhi:

$$V_{fv}^* \leq \phi V_{fv} \quad (\text{SNI 7971 5.4.2.4(1)})$$

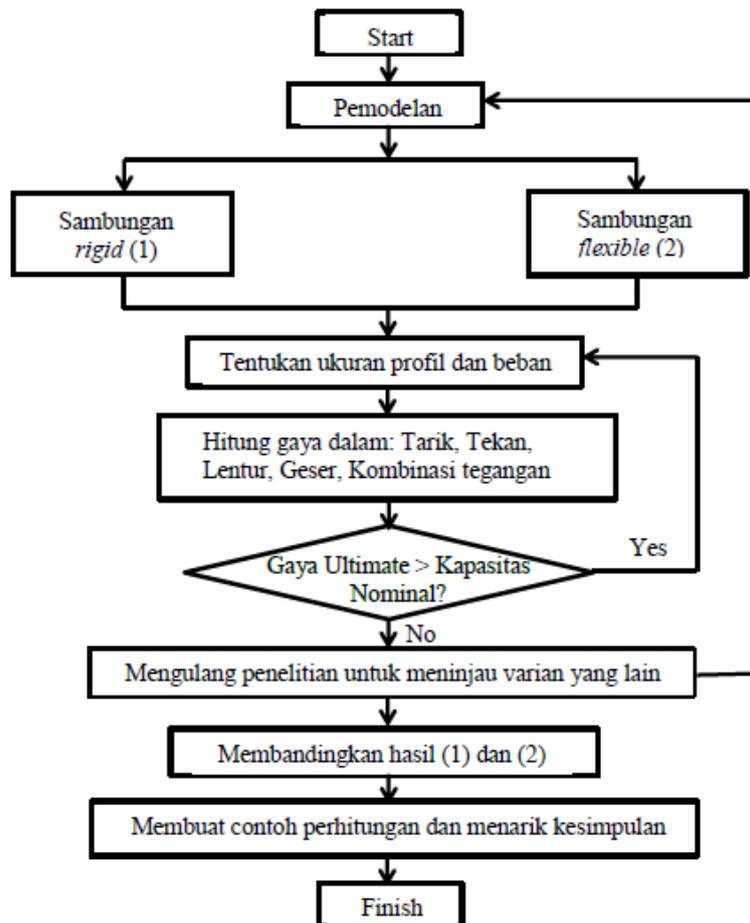
dimana:

- ϕ = faktor reduksi kapasitas sekrup

- V_{fv} = kapasitas geser nominal
- e) Sekrup dalam geser
Kapasitas geser nominal sekrup harus ditentukan tidak boleh kurang dari $1,25V_b$.
- 2) Sambungan sekrup dalam tarik
- a) Jarak tepi minimum
Jarak dari pusat sekrup ke setiap tepi bagian tersambung tidak boleh kurang dari $3d_f$.
- b) Cabut (pull-out) dan tembus (pull-through)
Gaya tarik desain N^*_t pada sekrup harus memenuhi:
$$N^*_t \leq \phi N_t \quad (\text{SNI 7971 5.4.3.2(1)})$$
dimana
 $\phi = 0,5$
 N_t = kapasitas nominal sambungan dalam tarik
- c) Sekrup dalam tarik
Kapasitas tarik nominal sekrup tidak boleh kurang dari $1,25N_t$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Perhitungan kapasitas profil rangka atap dilakukan secara manual. Perhitungan gaya gaya dalam dilakukan dengan bantuan software SAP (pemodelan rangka atap, *input* jenis profil dan beban rencana). Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Garis Besar Prosedur Penelitian

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Pendahuluan

Bagian ini akan menyajikan perbandingan gaya-gaya dalam maksimum yang dihasilkan oleh pemodelan sambungan *rigid* dan sambungan *flexible*.

4.2. Lentur

Perbandingan momen lentur maksimum untuk semua varian dapat dilihat pada **Tabel 1**. Bagian yang diarsir adalah bagian yang nilainya lebih besar.

Tabel 1. Perbandingan Lentur Maksimum

Jenis Profil	Gaya Lentur Maksimum (kNm)			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	0.304	0.189	0.341	0.334
L 10 C	0.727	0.190	0.753	0.334
L 12 C	0.455	0.190	0,6396	0.332
L 8 H	0.291	0.186	0.341	0.331
L 10 H	0.625	0.185	0.559	0.333
L 12 H	0.410	0.185	0.574	0.332

4.3. Tarik

Perbandingan gaya tarik maksimum untuk semua varian dapat dilihat pada **Tabel 2**. Bagian yang diarsir adalah bagian yang nilainya lebih besar.

Tabel 2. Perbandingan Gaya Tarik Maksimum

Jenis Profil	Gaya Tarik Maksimum (kN)			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	10.170	10.050	5.772	5.4
L 10 C	14.221	13.783	7.448	7,187
L 12 C	7.164	7.140	5.746	5.128
L 8 H	9.798	9.583	5.496	5.407
L 10 H	13.791	12.841	7.192	7.187
L 12 H	7.011	6.552	5.725	5.128

4.4. Tekan

Perbandingan gaya tekan maksimum untuk semua varian dapat dilihat pada **Tabel 3**. Bagian yang diarsir adalah bagian yang nilainya lebih besar.

Tabel 3. Perbandingan Gaya Tekan Maksimum

Jenis Profil	Gaya Tekan Maksimum (kN)			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	-23.248	-22.525	-23,778	-22,238
L 10 C	-30.349	-29.044	-32,395	-29,773
L 12 C	-38.009	-36.034	-40,28	-36,276
L 8 H	-22.544	-22.339	-22,876	-22,239
L 10 H	-29.151	-28.874	-30,888	-29,773
L 12 H	-36.463	-35.720	-37,815	-36,276

Secara umum, hasil dengan sambungan *rigid* lebih aman dibandingkan hasil dengan sambungan *flexible*. Namun pada tabel di atas untuk struktur *fink truss* dengan profil *hat* bentang 8 meter dan 10 meter, menunjukkan bahwa sambungan *flexible* menghasilkan gaya tekan yang lebih besar. Akan tetapi, perbedaan ini hanya sebesar 2% saja.

4.5. Geser

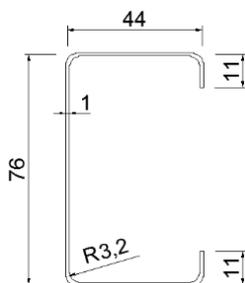
Perbandingan gaya geser maksimum untuk semua varian dapat dilihat pada **Tabel 4**. Bagian yang diarsir adalah bagian yang nilainya lebih besar.

Tabel 4. Perbandingan Gaya Geser Maksimum

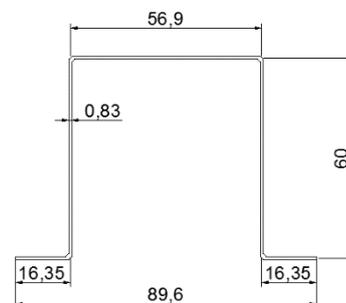
Jenis Profil	Gaya Geser Maksimum (kN)			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	5.155	0.626	5,492	2,215
L 10 C	7.130	0.632	8,491	2,033
L 12 C	7.001	0.631	6,739	2
L 8 H	5.018	0.615	5,292	2,214
L 10 H	6.958	0.615	7,944	2,033
L 12 H	6.838	0.613	6,519	2

4.6. Interaksi

Untuk perhitungan interaksi ini, profil yang digunakan sama untuk semua varian, sehingga dapat dibandingkan satu dengan yang lain. Profil *channel* yang digunakan adalah ukuran 76.44.11 dengan tebal 1 mm (**Gambar 2**). Sedangkan profil *hat* yang digunakan adalah ukuran 60.56,9.16,35 dengan tebal 0.83 mm (**Gambar 3**).



Gambar 2. Penampang Profil Channel



Gambar 3. Penampang Profil Hat

4.6.1. Interaksi Lentur dan Tarik

Perbandingan interaksi lentur dan tarik yang terjadi pada masing-masing varian dapat dilihat pada **Tabel 5**. Perhitungan interaksi digunakan sebagai perbandingan antara kapasitas dengan gaya-gaya dalam yang terjadi. Bagian yang diarsir pada tabel adalah bagian yang nilai interaksinya lebih besar.

Tabel 5. Perbandingan Interaksi Lentur dan Gaya Tarik Maksimum

Jenis Profil	Interaksi Lentur dan Gaya Tarik			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	0.091	0.090	0.089	0.087
L 10 C	0.128	0.124	0.12	0.118
L 12 C	0.106	0.064	0.0923	0.046
L 8 H	0.163	0.147	0.154	0.139
L 10 H	0.212	0.197	0.201	0.187
L 12 H	0.241	0.101	0.238	0.095

4.6.2. Interaksi Lentur dan Tekan

Hasil perhitungan interaksi lentur dan tekan yang terjadi pada masing-masing varian dapat dilihat pada **Tabel 6**. Perhitungan interaksi digunakan sebagai perbandingan antara kapasitas dengan gaya-gaya dalam yang terjadi. Bagian yang diarsir pada tabel adalah bagian yang nilai interaksinya lebih besar.

Tabel 6. Interaksi Lentur dan Gaya Tekan Maksimum

Jenis Profil	Interaksi Lentur dan Gaya Tekan			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	0.390	0.378	0.453	0.387
L 10 C	0.511	0.489	0.597	0.604
L 12 C	0.632	0.599	0.694	0.603
L 8 H	0.581	0.576	0.603	0.595
L 10 H	0.755	0.747	0.798	0.759
L 12 H	0.920	0.915	0.932	0.921

4.6.3. Interaksi Lentur dan Geser

Perbandingan interaksi lentur dan geser yang terjadi pada masing-masing varian dapat dilihat pada **Tabel 7**. Perhitungan interaksi digunakan sebagai perbandingan antara kapasitas dengan gaya-gaya dalam yang terjadi. Bagian yang diarsir pada tabel adalah bagian yang nilai interaksinya lebih besar.

Tabel 7. Interaksi Lentur dan Gaya Geser Maksimum

Jenis Profil	Interaksi Lentur dan Gaya Geser			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	0.103	0.002	0.116	0.0024
L 10 C	0.212	0.002	0.244	0.0024
L 12 C	0.193	0.002	0.195	0.003
L 8 H	0.364	0.020	0.398	0.021
L 10 H	0.842	0.020	0.846	0.021
L 12 H	0.701	0.020	0.767	0.021

4.7. Sambungan Sekrup

Perbandingan jumlah sekrup maksimum yang berada pada satu sambungan untuk setiap varian dapat dilihat pada **Tabel 8**. Bagian yang diarsir pada tabel adalah bagian yang jumlah sekrupnya lebih banyak.

Tabel 8. Perbandingan Jumlah Sekrup Maksimum

Jenis Profil	Interaksi Lentur dan Gaya Geser			
	King Post		Fink Truss	
	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>	Sambungan <i>Rigid</i>	Sambungan <i>Flexible</i>
L 8 C	5	5	3	3
L 10 C	7	7	3	3
L 12 C	4	4	4	4
L 8 H	7	7	6	6
L 10 H	10	9	6	6
L 12 H	6	6	6	6

4.8 Analisis

Pemodelan *rigid* menghasilkan gaya dalam yang lebih besar, sehingga untuk struktur yang sama jika didesain dengan sambungan *rigid* akan lebih aman. Interaksi terbesar secara keseluruhan adalah interaksi antara lentur dan tekan yaitu sebesar 0.920, menunjukkan bahwa pemodelan menggunakan sambungan *rigid* maupun *flexible* di dalam penelitian ini masih aman menurut SNI 7971-2013. Rata-rata perbedaan hasil perencanaan struktur rangka atap menggunakan sambungan *flexible* dan *rigid* pun hanya 8,82%. Sehingga perencanaan menggunakan sambungan *flexible* dalam penelitian ini masih aman dan bisa digunakan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan struktur rangka atap baja canai dingin menurut SNI 7971-2013, baik untuk kuda-kuda tipe *king post* maupun *fink truss*, untuk profil *channel* dan *hat* pada bentang 8, 10 hingga 12 meter, secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa perencanaan struktur rangka atap menggunakan sambungan *rigid* lebih aman dibandingkan perencanaan menggunakan sambungan *flexible*.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan-kesimpulan yang telah diambil, diberikan saran-saran untuk penelitian-penelitian berikutnya mengenai perencanaan struktur rangka atap baja canai dingin menurut SNI 7971-2013, meliputi :

1. Penambahan jenis profil yang digunakan, seperti misalnya profil kanal Z.
2. Penambahan variasi jenis sambungan, bukan hanya sekrup saja.

6. DAFTAR REFERENSI

Departemen Pekerjaan Umum. (2013). *SNI 7971-2013 Struktur Baja Canai Dingin*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.

Yu, W. W. (1991). *Cold Formed Steel Design (2nd ed.)*. John Wiley & Sons, New York.