

PERENCANAAN ELEMEN STRUKTUR BAJA CANAI DINGIN DENGAN PROGRAM EXCEL

Frans Yuridion¹, Putra Wibawa², Bambang Wyanto³, Hasan Santoso⁴

ABSTRAK :Sekarang ini baja canai dingin (*cold-formed steel*) sudah mulai banyak digunakan dalam struktur bangunan seperti gording, panel, dan dak. Dibandingkan dengan *hot-rolled*, baja canai dingin relatif lebih ringan,cepat ,dan mudah perakittannya. Namun dalam hal desain perencanaan di Indonesia, belum banyak panduan yang tersedia. Untuk desain perencanaan, dikembangkan *spreadsheet* untuk melakukan perhitungan kapasitas baja canai dingin yang mengacu pada SNI 7971:2013. Dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang *spreadsheet* desain baja canai dingin, penelitian ini bertujuan untuk melakukan verifikasi dari *spreadsheet* yang ada. *Spreadsheet* tersebut dapat menentukan kapasitas profil tarik, lentur, tekan, geser, tumpu, kombinasi lentur dan geser, kombinasi lentur dan tumpu, kombinasi aksial tekan dan lentur, serta kombinasi aksial tarik dan lentur yang sesuai dengan beban-beban yang terjadi pada beberapa jenis profil baja canai dingin. Dari penelitian ini, didapati pada SNI 7971:2013 ada beberapa rumus yang masih perlu dikoreksi dan tidak dapat mengakomodasi profil *hat* yang terdapat pada *spreadsheet*.

KATA KUNCI:profil baja canai dingin,verifikasi, SNI 7971:2013

1. PENDAHULUAN

Saat ini, baja canai dingin (*cold-formed steel*) sudah mulai banyak digunakan sebagai komponen struktur bangunan seperti gording, reng dan dak. Dengan meningkatnya kebutuhan akan baja canai dingin, produsen-produsen baja canai dingin semakin banyak dalam memproduksi baja canai dingin, sehingga semakin beragam baja canai dingin yang ada di lapangan. Dengan kondisi ini, maka diperlukan *spreadsheet* untuk membantu perencana struktur menghitung kapasitas dari baja canai dingin untuk berbagai jenis profil dan ukuran.

Dengan rampungnya penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan secara berturut-turut oleh Ariussanto(2015), Louis(2015), dan Setiawan(2014) yang mampu menghasilkan *spreadsheet* untuk mendesain dan menghitung berbagai macam jenis profil baja canai dingin yang umum ada di lapangan, maka dibutuhkan verifikasi apakah prosedur perhitungan pada *spreadsheet* telah sesuai dan memenuhi standar SNI 7971:2013. Oleh karena itu,tujuan dari penelitian ini adalah melakukan verifikasi maupun koreksi jika diperlukan.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414214@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414215@john.petra.ac.id.

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, bambangw@petra.ac.id.

2. LANDASAN TEORI

Lebar Efektif yang diperhitungkan dalam desain:

- Lebar efektif untuk perhitungan kapasitas profil tanpa pengaku dan dengan pengaku.
- Lebar efektif untuk perhitungan defleksi tanpa pengaku dan dengan pengaku.

Dalam desain perlu diperhatikan hal-hal berikut.

2.1. Desain tarik

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

dimana

ϕ_t = faktor reduksi kapasitas untuk komponen struktur tarik

N_t = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tarik

2.2. Desain tekan

$$N^* \leq \phi_c N_s \quad (\text{SNI 7971 3.4.1})$$

$$N^* \leq \phi_c N_c \quad (\text{SNI 7971 3.4.1})$$

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

2.3. 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

2.4. Desain geser

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

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

dimana

ϕ_v = faktor reduksi kapasitas untuk geser

V_v = kapasitas geser nominal pelat badan

2.5. Kombinasi lentur dan geser

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

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

Untuk balok dengan pengaku pelat badan transversal, momen lentur desain (M^*) harus memenuhi

$$M^* \leq \phi_b M_b \quad (\text{SNI 7971 3.3.5(2)})$$

Gaya geser desain (V^*) harus memenuhi

$$V^* \leq \phi_v V_v \quad (\text{SNI 7971 3.3.5(3)})$$

2.6. Tumpu

$$R_b^* \leq \phi_w R_b \quad (\text{SNI 7971 3.3.6.1})$$

dimana

ϕ_w = faktor reduksi kapasitas untuk tumpu

R_b = kapasitas nominal untuk beban atau reaksi terpusat untuk sebuah pelat badan solid yang menghubungkan sayap atas dan bawah

2.7. Kombinasi lentur dan tumpu

Untuk penampang dengan pelat badan tunggal tanpa pengaku harus memenuhi

$$1,07 \left(\frac{R^*}{\phi_w R_b} \right) + \left(\frac{M^*}{\phi_b M_s} \right) \leq 1,42 \quad (\text{SNI 7971 3.3.7(1)})$$

dimana

R^* = beban atau reaksi terpusat desain yang terjadi bila ada momen lentur

R_b = kapasitas nominal untuk beban atau reaksi terpusat yang terjadi tanpa adanya momen lentur dengan asumsi pembebanan satu sayap interior pelat badan tunggal untuk sekumpulan penampang Z, yaitu jumlah dua pelat badan yang dihitung secara individu

$\phi = 0,9$

M^* = momen lentur desain pada, atau di dekat, titik tempat bekerjanya beban atau reaksi terpusat desain (R^*)

M_s = kapasitas momen penampang nominal terhadap sumbu yang melalui titik berat

2.8. 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

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

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

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

2.9. 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

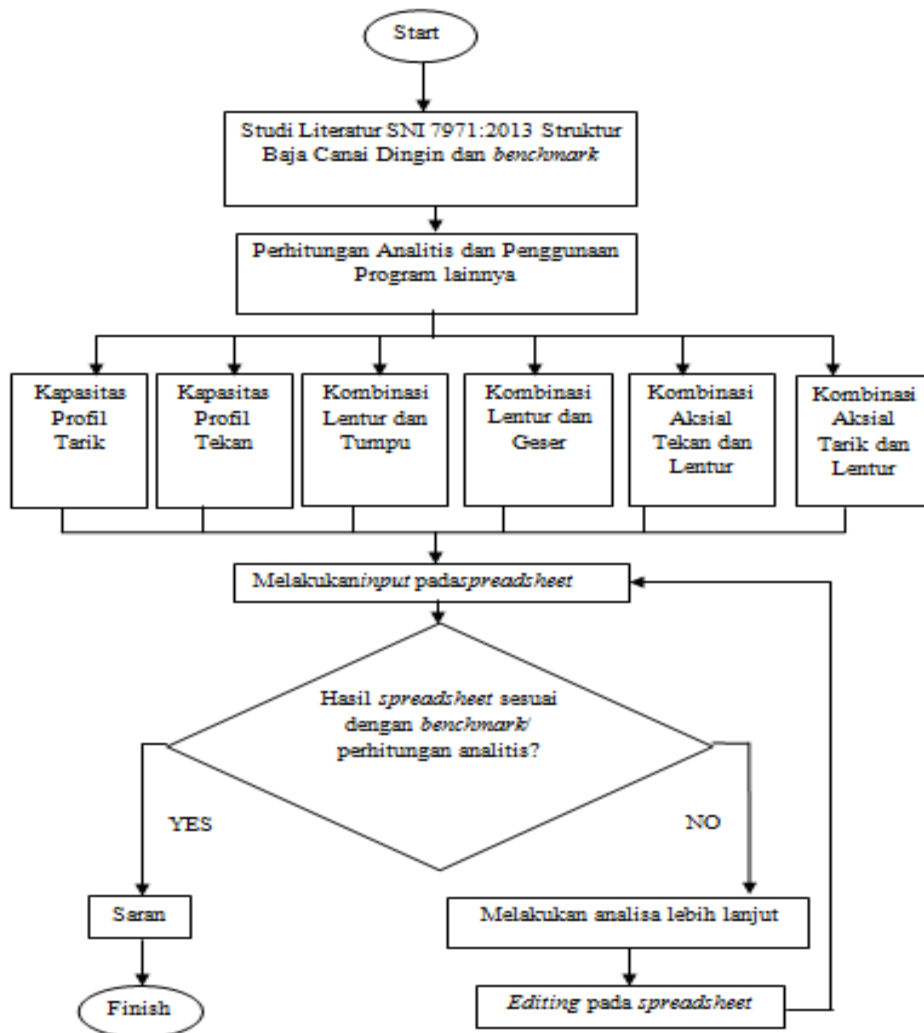
N_t = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tarik

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

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar penelitian yang akan dilakukan untuk memeriksa *spreadsheet* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. USULAN PERUBAHAN PADA SNI 7971:2013 DAN VERIFIKASI SPREADSHEET

Dalam proses verifikasi ditemukan beberapa rumus pada SNI 7971:2013 yang dinilai tidak tepat. Oleh karena itu akan ditampilkan mengenai perbedaan rumus-rumus dan aturan pada SNI 7971:2013 dengan referensi-referensi lainnya. Referensi lain yang dimaksud adalah AS/NZS 4600:2005, program *Swin Channel* oleh Gad(2012), dan Cold-formed Steel Structures to the AISI Specification oleh Hancock(2001). Rumus yang dianggap benar pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** ditampilkan dalam cetak tebal.

Tabel 1. Perbedaan Rumus SNI 7971:2013 dengan Referensi Lain (1)

Pasal/Lampiran/ Gambar	SNI 7971:2013	AS/NZS 4600:2005	<i>Swin Channel</i>
Lampiran D2(5)	$\beta_1 = x^{-2} + \frac{Ix+Iy}{A}$	$\beta_1 = x^{-2} + \frac{Ix+Iy}{A}$	$\beta_1 = x^2 + \frac{Ix+Iy}{A}$
Lampiran D3(2)	$k_{\phi} = \frac{Et^3}{5.46(b_w+0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.11f'_{od}}{Et^2} \left(\frac{b_w^4 \lambda^2}{12.56\lambda^4 + 2.192b_w^4 + 13.39\lambda^2 b_w^2} \right) \right]$	$k_{\phi} = \frac{2Et^3}{5.46(b_w+0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.11f'_{od}}{Et^2} \left(\frac{b_w^4 \lambda^2}{12.56\lambda^4 + 2.192b_w^4 + 13.39\lambda^2 b_w^2} \right) \right]$	
Gambar E1	$I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6ac^2 + 3a^2 c + a^2 b) m^2 I_x$		$I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6ac^2 + 3a^2 c + a^2 b) - m^2 I_x$
3.4.6(2)	$Af_n = Af_y \left(0.055 \left(\frac{f_y}{f_{od}} - 3.6 \right)^2 + 0.237 \right)$		$Af_n = Af_y \left(0.055 \left(\frac{f_y}{f_{od}} - 3.6 \right)^2 + 0.237 \right)$
Tabel E1	$\beta_1 = 2ct(\bar{x}+b)^3 + \frac{2}{3}t(\bar{x}+b) \left[\left(\frac{a}{2} + c \right)^3 - \left(\frac{a}{2} - c \right)^3 \right]$		$\beta_1 = 2ct(\bar{x}+b)^3 + \frac{2}{3}t(\bar{x}+b) \left[\left(\frac{a}{2} \right)^3 - \left(\frac{a}{2} - c \right)^3 \right]$
Tabel 5.4.2.3	$6 \leq d_f/t \leq 3$	$6 \leq d_f/t \leq 13$	

Tabel 2. Perbedaan Rumus SNI 7971:2013 dengan Referensi Lain (2)

Pasal/Lampiran/ Gambar	SNI 7971:2013	AS/NZS 4600:2005	<i>Swin Channel</i>	AISI Specification
2.2.3.2(3)	$b_{e2} = b - b_{e1}$	$b_{e2} = b_e - b_{e1}$		
3.3.4(2)	$V_v = 0.64 t_w^2 \sqrt{Ek_v/f_y}$	$V_v = 0.64 t_w^2 \sqrt{Ek_v/f_y}$		$V_v = 0.64 t_w^2 \sqrt{Ek_v f_y}$
Tabel 1.4	Jumlah siklus fatik 10⁶	Jumlah siklus fatik 106		

Berikut ini merupakan rangkuman dari pasal, lampiran ,maupun gambar pada SNI 7971:2013 yang dinilai kurang tepat atau mengalami kesalahan redaksional beserta modifikasinya . Modifikasi dapat dilihat pada **Tabel 3** ,perubahan dilakukan berdasarkan uraian yang telah ditunjukkan sebelumnya.

Tabel 3. Daftar Usulan Perubahan SNI 7971:2013

Pasal/Lampiran/Gambar	Modifikasi
2.2.3.2(3)	$b_{e2} = b - b_{e1} \rightarrow b_{e2} = b_e - b_{e1}$
3.3.4(2)	$V_v = 0.64 t_w^2 \sqrt{Ek_v/f_y} \rightarrow V_v = 0.64 t_w^2 \sqrt{Ek_v f_y}$
Lampiran D2(5)	dilakukan perubahan pada konstanta $\beta_1 = x^{-2} + \frac{lx+ly}{A} \rightarrow \beta_1 = x^2 + \frac{lx+ly}{A}$
Lampiran D3(2)	dilakukan perubahan pada konstanta $k_{\phi} = \frac{Et^3}{5.46(b_w+0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.11f'_{od}}{Et^2} \left(\frac{b_w^4 \lambda^2}{12.56\lambda^4 + 2.192b_w^4 + 13.39\lambda^2 b_w^2} \right) \right]$ menjadi $k_{\phi} = \frac{2Et^3}{5.46(b_w+0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.11f'_{od}}{Et^2} \left(\frac{b_w^4 \lambda^2}{12.56\lambda^4 + 2.192b_w^4 + 13.39\lambda^2 b_w^2} \right) \right]$
Gambar E1	dilakukan perubahan pada konstanta pilin untuk penampang kanal dengan lip dan penampang <i>hat</i> sebagai berikut: $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6ac^2 + 3a^2c + a^2b) m^2 I_x$ diubah menjadi $I_w \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6ac^2 + 3a^2c + a^2b) - m^2 I_x$
3.4.6(2)	$Af_n = Af_y \left(0.055 \left(\sqrt{\frac{f_y}{f_{od}}} - 3.6 \right)^2 + 0.237 \right)$ sudah sesuai dengan DNI 7971:2013 maupun AS/NZ 4600:2005. namun diubah menjadi $Af_n = Af_y \left(0.055 \left(\sqrt{\frac{f_y}{f_{od}}} - 3.6 \right)^2 + 0.237 \right)$ mengacu pada <i>Swin Channel</i> . Alasan lainnya, dalam banyak kasus $\sqrt{\frac{f_y}{f_{od}}} - 3.6$ tidak dapat dihitung karena hasil di dalam akar merupakan bilangan negatif.
Tabel E1	dilakukan perubahan pada konstanta $\beta_L = 2ct(\bar{x}+b)^3 + \frac{2}{3}t(\bar{x}+b) \left[\left(\frac{a}{2} + c \right)^3 - \left(\frac{a}{2} - c \right)^3 \right]$ menjadi $\beta_L = 2ct(\bar{x}+b)^3 + \frac{2}{3}t(\bar{x}+b) \left[\left(\frac{a}{2} \right)^3 - \left(\frac{a}{2} - c \right)^3 \right]$ Sesuai dengan AS/NZ 4600:2005 dan program <i>Swin Channel</i>
Tabel 5.4.2.3	Syarat $6 \leq d_f/t \leq 3$ diubah menjadi $6 \leq d_f/t \leq 13$ sesuai dengan AS/NZ 4600:2005

Dengan adanya perubahan yang telah dilakukan pada *spreadsheet* perhitungan kapasitas canai dingin, hasil kapasitas tersebut dibandingkan dengan program yang dapat menghitung sesuai dengan aturan SNI 7971:2013. Perbandingan beserta persentase perbedaannya akan diperlihatkan pada **Tabel 4 dan Tabel 5**.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Profil Kanal C

Profil Kanal	SWIN	Ø	CFS	Ø	SPACE GASS	Ø	<i>Spread sheet</i>	Ø	Diff. (%)
Kapasitas tarik 1	132.39	0.9	132.39	0.9			132.39	0.9	0.00
Kapasitas tarik 2	113.55	0.9			112.94	0.9	112.94	0.9	0.00
Kapasitas tekan Ns	57.82	0.85	58.2	0.85	57.82	0.85	57.82	0.85	0.00
Kapasitas tekan Nc	11.33	0.85			11	0.85	10.95	0.85	0.49
Kapasitas tekan terhadap distorsi Nc	52.88	0.85					53.04	0.85	0.30
Kapasitas momen sb X Ms	3.42	0.95	3.46	0.9	3.44	0.95	3.40	0.95	0.49
Kapasitas momen sb X Mb	1.05	0.9			1.02	0.9	1.03	0.9	0.96
Kapasitas momen sb X terhadap distorsi Mb	3.08	0.9					3.08	0.9	0.12
Kapasitas momen sb Y Ms 1	1.08	0.95	1.08	0.9			1.06	0.95	1.58
Kapasitas momen sb Y Mb 1	1.08	0.9					1.06	0.9	1.58
Kapasitas momen sb Y Ms 2	1.22	0.9	1.22	0.9	1.22	0.95	1.23	0.9	0.80
Kapasitas momen sb Y Mb 2	0.19	0.9			0.42	0.9	0.43	0.9	2.65
Kapasitas Geser					8.12	0.9	8.12	0.9	0.00

Tabel 5. Hasil Perbandingan Profil Hat

HAT SECTION	SPACEGASS	Ø	<i>Spreadsheet</i>	Ø	Diff(%)
Kapasitas tarik 1			92.432		
Kapasitas tarik 2	79.48	0.9	78.567	0.9	1.14843
Kapasitas tekan Ns	60.68	0.85	60.597	0.85	0.13611
Kapasitas tekan Nc	1.57	0.85	5.5031	0.85	250.514
Kapasitas momen sb X Ms	1.54	0.95	1.4543	0.95	5.56689
Kapasitas momen sb X Mb	1.45	0.9	1.3224	0.9	8.80215
Kapasitas momen sb Y Ms	1.42	0.95	1.2831	0.95	9.64371
Kapasitas momen sb Y Mb	0.46	0.9	0.4396	0.9	4.43786
Kapasitas Geser	27.92	0.9	27.92	0.9	0.00093

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa yang didapat dari pemeriksaan *spreadsheet* yang telah dibuat, secara umum dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Spreadsheet* untuk perhitungan kapasitas komponen struktural profil *hat* kurang relevan. Hal ini disebabkan pada SNI 7971:2013 hanya terdapat perhitungan konstanta dan *section properties* untuk profil *hat* dengan *web* yang tegak dan tanpa lip. Sedangkan, pada *spreadsheet* profil *hat* yang dihitung memiliki badan yang miring dan dengan lip.
2. Terdapat beberapa rumus yang mengalami kesalahan cetak pada SNI 7971:2013 (dalam mengadaptasi AS/NZS 4600:2005).
3. Terdapat beberapa rumus pada SNI 7971:2013 yang sudah sesuai dengan AS/NZS 4600:2005 namun dianjurkan untuk dilakukan perubahan.

5.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya mengenai pengembangan *spreadsheet* sebagai sarana untuk mempermudah perhitungan dalam mendesain baja canai dingin adalah:

1. Perlunya dilakukan penelitian mengenai *section properties* untuk penampang *hat* yang sesuai dengan profil pada *spreadsheet*.
2. *Spreadsheet* ini dapat dikembangkan untuk sambungan tipe lainnya selain sambungan sekrup, antara lain las, baut, dan paku keling.

6. DAFTAR REFERENSI

- Ariussanto,R. dan Gautama,S. (2015) *Pengembangan Spreadsheet untuk Perhitungan Kapasitas Baja Canai Dingin (Profil Z dengan Stiffener, Profil I dan O dari Dua Profil Kanal C) Berdasarkan SNI 7971:2013*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Committee BD-082. (2005). *AS/NZS 4600:2005 Australian/New Zealand Standard™ Cold-formed Steel Structures*, Standards Australia, Sydney, Australia.
- Gad, E. (2012). *Swin Channel*, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia.
- Hancock ,G.J., Murray ,T.M., & Ellifritt,T.S. (2001). *Cold-formed Steel Structures to the AISI Specification*, Marcel Dekker,United State of America .
- Louis, A. dan Ariyavinanta, E. (2015) *Pengembangan Spreadsheet untuk Perhitungan Kapasitas Baja Canai Dingin dengan Pengaku Berdasarkan SNI 7971:2013*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Setiawan, E. dan Nishimura, Y. (2014). *Penggunaan Spreadsheet dalam Menentukan Kapasitas Profil Baja Canai Dingin Berdasarkan SNI 7971:2013*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Sub Panitia Teknis. (2013). *SNI 7971:2013 Struktur Baja Canai Dingin*.Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.