

PENGARUH BENTUK BADAN PROFIL BAJA RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN

Kezia Ruus

Banu Dwi Handono, Ronny Pandaleke

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: kezia.ruus@gmail.com

ABSTRAK

Adanya produk baja ringan (*cold formed steel*) yang dipakai sebagai material struktur memberikan gagasan untuk melakukan inovasi yaitu, penggunaan material baja ringan pada struktur utama bangunan. Akibat dari penggunaan pelat yang tipis ini, pengaruh tekuk lokal pada badan dan flens penampang akan menjadi lebih signifikan dibanding baja biasa. Namun karena penggunaan pelat yang sangat tipis dan metode pembentukan dengan penggilingan dingin, maka penampang dapat digiling dalam berbagai bentuk yang lebih optimal. Untuk menaikkan kuat tekan penampang, kecenderungan untuk mengalami tekuk dapat dikurangi salah satunya dengan memodifikasi bentuk geometri penampang dengan menggunakan pengaku memanjang, atau biasa disebut pengaku tengah (*Intermediate stiffner*).

Penelitian dilakukan terhadap profil kanal C dengan tiga bentuk modifikasi bentuk badan profil dimana mutu baja ringan mengikuti standar Australia (AS1397) yaitu G550 yang diaplikasikan pada seluruh profil yang akan dianalisis. Selanjutnya dilakukan pemodelan finite element dengan program Ansys Mechanical APDL. Analisis linear buckling (*eigen buckling*) digunakan untuk memperoleh besarnya beban kritis tekuk profil dan mode keruntuhan struktur. Setelah diperoleh besar beban kritis tekuk, maka hasil tersebut dibandingkan antara profil kanal C tanpa modifikasi badan profil (C1) dengan profil kanal C yang dimodifikasi bentuk badan profilnya (C2, C3 dan C4).

Dari analisis *eigen buckling* dengan finite element model diketahui bahwa dengan memodifikasi bentuk badan profil dapat mereduksi tekuk lokal yang terjadi pada badan profil sehingga dapat meningkatkan kemampuan tekan. Persentase peningkatan beban kritis yang terjadi pada *short column* sebesar 1.46%-2.16%, untuk *intermediate column* sebesar 0.08%-1% dan untuk *long column* sebesar 0.1%-0.12%. Peningkatan beban kritis terbesar terjadi pada profil C3 untuk semua angka rasio kelangsingan yang dianalisis.

Kata Kunci : Baja Ringan, Finite Element Model, Eigen Buckling, ANSYS

PENDAHULUAN

Latar belakang

Material baja ringan telah menjadi makin sering digunakan karena meningkatnya kebutuhan akan material baja yang lebih ringan, lebih kuat, lebih ekonomis, lebih tahan lama dan lebih mudah digunakan. Akibat dari penggunaan pelat yang tipis ini, pengaruh tekuk lokal pada badan dan flens penampang akan menjadi lebih signifikan dibanding baja biasa, sehingga rumus-rumus perencanaan yang berlaku pada baja biasa (*hot rolled steel*) perlu disesuaikan, seperti yang telah disediakan oleh AISI dan berbagai badan lainnya. Tekuk (*buckling*) merupakan suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya. Tekuk (*buckling*) terjadi akibat penekanan pada suatu batang dimana yang mengalami gaya tekan aksial. Konsekuensi tekuk

pada dasarnya adalah masalah geometric dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga mengubah bentuk struktur.

Namun karena penggunaan pelat yang sangat tipis dan metode pembentukan dengan penggilingan dingin, maka penampang dapat digiling dalam berbagai bentuk yang lebih optimal, sehingga sekarang ini tersedia banyak sekali jenis baja canai dingin. Untuk menaikkan kuat tekan penampang, kecenderungan untuk mengalami tekuk dapat dikurangi salah satunya dengan memodifikasi bentuk geometri penampang dengan menggunakan pengaku memanjang, atau biasa disebut pengaku tengah (*Intermediate stiffner*).

Penggunaan pengaku tengah ini akan mempersulit perencanaan dengan cara manual, karena rumus yang digunakan sangat tergantung pada bentuk penampang dan juga tegangan pada

suatu bagian penampang. Karena tegangan pada penampang tergantung hasil perencanaan, maka prosedur perencanaan suatu penampang yang dibebani secara aksial akan bersifat iteratif, yang makin mempersulit perencanaannya.

Untuk aplikasi praktis telah dikembangkan program komputer dengan metode elemen hingga untuk melakukan simulasi pengaruh modifikasi bentuk dengan menggunakan pengaku tengah pada berbagai bentuk, yang sangat membantu dalam melakukan optimasi penampang baru atau dalam mencari kapasitas tekuk dari penampang yang belum diuji di laboratorium secara lebih efisien dan cepat.

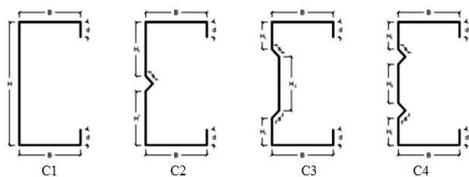
Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis merasa perlu untuk mempelajari "Pengaruh Bentuk Badan Profil Baja Ringan Terhadap Kuat Tekan"

Rumusan Masalah

Kekuatan material baja ringan yang memiliki tampang ber dinding tipis sangat dipengaruhi oleh karakteristik tekuk yang dialaminya. Namun disamping itu material baja ringan memiliki kekhususan dimana pengaruh bentuk geometri penampang sangat besar terhadap perilaku dan kekuatannya dalam memikul beban. Adanya perubahan bentuk yang sedikit saja dari bentuk penampangnya maka kekuatan elemen struktur tadi akan berbeda sama sekali. Karena itu pada penelitian ini akan diteliti berapa besar beban tekuk kritis yang dapat dipikul dan peningkatan kemampuan tekan akibat adanya modifikasi geometri dari penampang tersebut dengan menggunakan program ANSYS Mechanical APDL V16.2.

Batasan Masalah

1. Aplikasi terhadap profil C kanal (C_1) dengan modifikasi tiga bentuk badan profil yaitu C_2 , C_3 dan C_4



2. Digunakan mutu produk baja ringan yang mengacu pada Standard Australia (AS 1397), G550.
3. Tidak memperhitungkan ketidaklurusan batang.

4. Analisis yang dilakukan adalah analisis tekuk linear.
5. Hanya memperhitungkan tekuk lokal
6. Batas kelangsingan 20 hingga 110.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui pengaruh modifikasi bentuk badan profil terhadap kemampuan tekan profil.
2. Untuk memperoleh besarnya peningkatan kemampuan tekan akibat adanya perubahan bentuk badan profil C kanal.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh modifikasi bentuk geometri profil khususnya pada bagian badan profil terhadap tekuk yang terjadi pada baja ringan, terutama dalam kaitannya dengan peningkatan kuat tekan profil.
2. Memberikan informasi bahwa pemodelan struktur dengan program ANSYS Mechanical APDL dapat menjadi alternatif penelitian yang mengurangi waktu dan biaya selain penelitian eksperimental di laboratorium.
3. Disamping itu penelitian ini juga merupakan tugas akhir dari program Strata 1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.

LANDASAN TEORI

Material Baja Ringan (*Cold Formed Steel*)

Profil baja ringan (*cold formed steel*) adalah jenis profil baja yang memiliki dimensi ketebalan relatif tipis dengan rasio dimensi lebar setiap elemen profil terhadap tebalnya sangat besar. Karena dimensi ketebalan profil relatif tipis, maka pembentukan profil dapat dilaksanakan menggunakan proses pembentukan dingin (*cold forming process*). Di dalam proses ini, profil dibentuk dari pelat atau lembaran baja menjadi bentuk yang diinginkan melalui mesin rol atau mesin tekuk pelat (*rolling press* atau *bending brake machines*) pada suhu ruangan. Ketebalan pelat baja yang umumnya digunakan sebagai bahan dasar pembentukan profil biasanya berkisar antara 0.3 mm (Yu, 2000).

Pemakaian baja *cold-formed* berbeda dibanding baja canai panas. Strukturnya relatif lebih ringan jika dibanding dengan baja biasa,

sehingga baja *cold-formed* oleh orang awam diberi nama sebagai baja ringan.

Tegangan Leleh, Kekuatan Tarik dan Kurva Tegangan-Regangan pada Baja Ringan

Kekuatan batang struktural baja ringan tergantung kepada titik leleh (*yield point*) atau kekuatan leleh dari baja kecuali pada daerah sambungan atau pada kondisi dimana tekuk lokal elastis atau tekuk global menjadi kondisi kritisnya. Istilah tegangan leleh (*yield stress*) mengacu kepada titik leleh maupun kekuatan leleh baja ringan. Kekuatan leleh baja ringan terentang mulai dari 165 MPa sampai 552 Mpa (Yu, 2000).

Kekhususan Perencanaan Material Baja Ringan

Sebagai kelompok yang sama dalam sistem struktur dinding tipis maka profil baja ringan (*cold-formed*) mempunyai kekhususan pada perencanaannya, dimana pengaruh bentuk geometri penampang sangat besar terhadap perilaku dan kekuatannya dalam memikul beban. Adanya perubahan bentuk yang sedikit saja dari bentuk penampangnya maka kekuatan elemen struktur tadi akan berbeda sama sekali. Pemberian sedikit tekukan pada profil sehingga menjadi penampang *corrugated* maka kinerjanya mengalami peningkatan yang signifikan dibanding dengan perilaku profil penampang yang relatif datar (tanpa tekukan atau bentuk profil tertentu)

Batang Tekan

Batang tekan adalah elemen struktural yang hanya menerima gaya tekan aksial, di mana gaya bekerja pada sumbu longitudinal melalui sentroid dari penampang, dan gaya tekan bisa dirumuskan menjadi $f = P/A$, di mana f dianggap sama bekerja pada seluruh penampang. (Segui, 2007).

Parameter material F_y dan F_u akan menentukan kuat batang tarik, tetapi pada batang tekan hanya F_y yang penting F_u tidak pernah tercapai. Selain material, maka batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri. Parameter geometri terjadi yaitu :

- Luas penampang (A)
- Pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min})

- Panjang batang dan kondisi pertambahan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL)

Ketiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal yaitu, rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana $r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ adalah radius girasi pada arah tekuk

Teori Tekuk Euler

Rumus Euler menghubungkan parameter geometri (L, A, I); material (E), dan beban aksial tekan P sesaat sebelum tekuk (P_{cr}). Rumus tekuk kolom yang terkenal itu adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL)^2}$$

Pendekatan Euler diatas hanya terjadi pada batang tekan dalam kondisi elastis dengan kelangsingan yang besar ($\lambda > 110$, batang panjang), artinya batang tekan sudah menekuk sebelum tegangan mencapai leleh. Untuk kelangsingan sedang ($\lambda < 110$, batang sedang) akan terjadi tekuk inelastis, yaitu pada sebagian penampang sudah leleh dan untuk batang pendek ($\lambda < 20$) seluruh penampang leleh (Setiawan, 2008).

Kondisi batas Cold Formed Steel

Salah satu kesulitan terbesar untuk desain *cold formed steel* adalah mencegah tekuk setiap elemen. Dikarenakan perbandingan tebal dengan lebar yang besar, maka tegangan setiap elemen yang menyebabkan tekuk terjadi pada tegangan yang relatif rendah dari tegangan leleh (f_y) ketika menerima beban tekan.

Ada 2 batas yang dinyatakan untuk elemen batang tekan yaitu : *yielding* dan tekuk keseluruhan (*overall buckling*), *yielding* merupakan kegagalan yang sering terjadi untuk kolom pendek dan kompak. *Yielding* menyebabkan kegagalan yang terjadi pada seluruh kolom. Untuk kolom yang relatif panjang, maka kemungkinan kegagalan tekuk yang akan terjadi dibandingkan dengan *yielding*.

Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan tekuk pada suatu elemen batang tekan yaitu, rasio kelangsingan dimana rasio kelangsingan adalah panjang elemen batang tekan (L) dibagi dengan radius girasi minimum (r_y), merupakan faktor utama pada tekuk. Namun

tekuk dipengaruhi faktor lain yaitu *end condition* pada elemen, eksentrisitas beban, ketidaksempurnaan dari material. Berdasarkan tekuk pada *cold formed steel* terbagi menjadi tekuk lokal, tekuk distorsional, tekuk global.

1. Tekuk Lokal

Cold Formed Element memiliki rasio sangat besar antara lebar dengan ketebalan. Karena disebabkan rasio yang sangat tinggi dan luasan yang tidak simetris pada bentuknya membuat cold formed menjadi tidak stabil dan dapat mengalami tekuk lokal

Pendekatan perhitungan tekuk lokal dapat dilakukan menggunakan dua metode pendekatan : metode pendekatan elemen (*the element approach*) dan pendekatan interaksi semi-empiris (*semi empirical interaction approach*). Metode pendekatan elemen adalah metode klasik untuk tekuk pelat yang berdiri sendiri untuk tinggi penampang (h), lebar flens (b) dan panjang lip (d) dan tegangan tekuk lokal adalah (f_{cr1}) :

$$(f_{cr1})_{web} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{h}\right)^2 \text{ dan } k = 4$$

$$(f_{cr1})_{flange} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \text{ dan } k=4$$

$$(f_{cr1})_{lip} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{d}\right)^2 \text{ dan } k = 0.43$$

Tekuk lokal dengan pendekatan elemen (*elemen approach*) dapat diperkirakan dengan mengambil nilai minimum dari persamaan-persamaan di atas. Pendekatan interaksi semi-empiris (*semi empirical interaction approach*) tekuk lokal adalah metode tekuk pada satu elemen yang terhubung. Nilai k ditentukan untuk tekuk lokal *flange/lip* dan pada *flange/web*, tekuk dengan persamaan semi empiris merupakan solusi yang paling sesuai dengan hasil dari *finite strip analysis*. Penyelesaian untuk nilai k :

$$k_{flange/lip} = -11.07 \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3.95 \left(\frac{d}{b}\right) + 4 \left(\frac{d}{b} < 0.6\right)$$

$$\text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 k_{flange/web} = 4 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \left(2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0.4}\right)$$

$$\text{jika } \frac{h}{b} < 1 k_{flange/web} = 4 \left(2 - \left(\frac{h}{b}\right)^{0.2}\right)$$

dimana :

H = Tinggi web

B = Lebar flange profil

D = Panjang lip profil

T =Tebal Profil

2. Tekuk Distorsional

Pada awalnya tekuk distorsional terjadi pada setengah panjang bentang dan ditentukan untuk penampang bruto balok (Meiyalagan 2010).

3. Tekuk Global

Gabungan antara tekuk lateral dan tekuk torsional dimana kondisi ini penampang balok akan terpuntir dan sayap tertekan akan tertekuk kearah lateral (Meiyalagan 2010).

Konsep Dasar

Metode elemen hingga menggunakan prinsip yang sama dengan struktur sederhana tersebut dimana setiap struktur yang akan dianalisa dibagi terlebih dahulu menjadi elemen-elemen kecil

Analisa struktur tersebut dapat dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu bagaimana perilaku setiap elemen individual tersebut, kemudian elemen-elemen tersebut duhubungkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya kesetimbangannya dan komabilitas dari perubahan posisi-posisi struktur tersebut sesuai pada setiap nodalnya.

Setelah kedua hal tersebut dipenuhi, baru analisa dapat dilakukan dengan menerapkan perhitungan-perhitungan numerik tersebut di representasikan dengan menggunakan metode matriks untuk menganalisis struktur secara kesinambungan. Karena analisis dilakukan pada setiap elemen maka kedekatan hasil analisis terhadap kondisi sebenarnya sangat bergantung pada jumlah elemen yang dibagi pada struktur yang dianalisa tersebut

Metode kekakuan langsung (*direct stiffness method, DSM*) merupakan implementasi dari metode elemen hingga yang paling luas digunakan (Cook et al. 2002; Felippa 2013; Hutton 2004; Logan 2007). Dalam metode ini, persamaan keseimbangan struktur dinyatakan dalam bentuk matriks

$$KD = F$$

Buckling Analysis

Analisis buckling adalah sebuah cara yang digunakan untuk menentukan beban tekuk (beban kritis ketika sebuah struktur menjadi tidak stabil) dan mode ragam bentuk tekuk (karakteristik dari bentuk berkaitan dengan respon struktur pada tekuk).

Ada 2 cara yang tersedia pada program ANSYS Multiphysics, ANSYS Mechanical, ANSYS Structural, and ANSYS Professional untuk memperkirakan beban tekuk dan mode ragam bentuk pada sebuah struktur : Analisis tekuk non linear dan analisis tekuk eigen value (linear).

1. Analisis tekuk non linear mempertimbangkan ketidaksempurnaan awal, perilaku plastis, gaps, dan large deflection stuktur
2. Analisis tekuk linear (*eigen buckling*) digunakan untuk memprediksi kekuatan teoritis tekuk (titik bifurcation) pada sebuah struktur ideal linear elastis. Metode ini sesuai dengan pendekatan analisis tekuk elastis pada literatur: contohnya analisis tekuk (*eigen buckling*) pada sebuah kolom cocok dengan solusi klasik euler.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya beban tekuk kritis yang dapat dipikul dan mode tekuk yang terjadi pada struktur sehingga dapat diperoleh besarnya peningkatan beban tekuk kritis akibat modifikasi bentuk badan profil. Beban tekuk kritis dapat diperoleh dengan memodelkan dan mensimulasikannya dengan program Ansys Mechanical APDL V16.2 berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Analisis *eigen buckling (linear buckling)* digunakan untuk memprediksi beban tekuk teoritis yang terjadi pada profil. Hasil dari analisis eigen buckling yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk memperoleh besarnya peningkatan beban tekuk kritis yang diakibatkan modifikasi bentuk badan profil. Pada penggunaannya, secara umum program Ansys Mechanical APDL memiliki tahapan utama yaitu :

1. Preprocessing

Preprocessing adalah langkah awal dalam pemodelan elemen hingga. Pada preprocessing terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mendefinisikan detail fungsi-fungsi tersebut

karena fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat pada preprocessing adalah : *Modeling, element type, material properties, meshing dan rigid region.*

2. Solution

Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisa ada beberapa langkah dalam proses solution yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah, *type analysis, constraint dan loading option.*

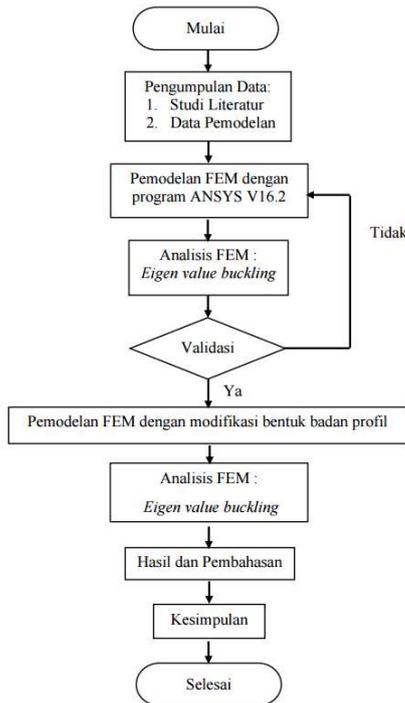
3. General Postprocessing

Setelah proses pemodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses post processing. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah beban tekuk kritis dan distribusi tegangan pada profil.

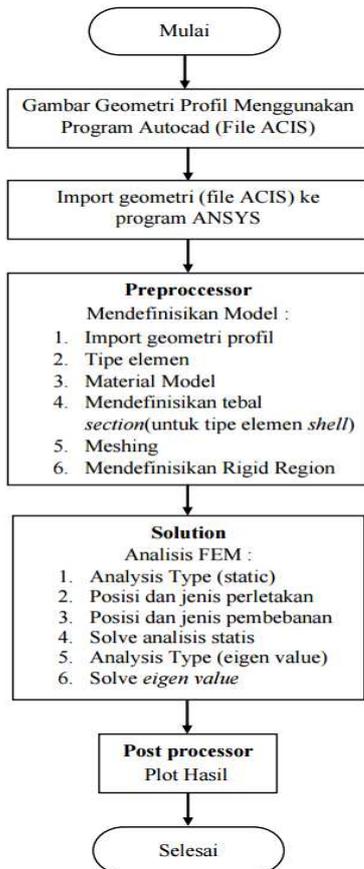
Setelah mendapat beban tekuk kritis dan distribusi tegangan maka hasil tersebut di analisis kembali dan dibandingkan untuk melihat parameter-parameter yang berpengaruh pada peningkatan beban tekuk kritis. Akibat modifikasi bentuk badan profil maka terjadi perubahan terhadap parameter geometri dari masing-masing profil. Luas (A), Inersia (Ix,Iy), radius girasi (r) dan rasio kelangsingan merupakan parameter geometri yang berpengaruh untuk memperoleh beban kritis profil. Untuk mendapatkan peningkatan dari modifikasi bentuk badan profil, maka parameter-parameter geometri dari profil C2,C3 dan C4 (dengan modifikasi bentuk badan profil) harus dibandingkan profil C1 (tanpa modifikasi). Kemudian beban tekuk kritis dari hasil analisis *eigen buckling* dari profil C2, C3 dan C4 dibandingkan dengan beban tekuk kritis profil C1 agar dapat diperoleh besarnya peningkatan yang terjadi akibat modifikasi bentuk badan profil.

Bagan Alir Penelitian

Untuk menghitung besar beban tekuk kritis dan besarnya peningkatan yang terjadi maka dibuatlah tahapan penelitian dalam bentuk bagan alir penelitian sehingga dapat mempermudah dalam pelaksanaannya.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Pemodelan pada Program ANSYS APDL

Pengumpulan Data

Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap pengumpulan referensi yang berkaitan dengan pengerjaan penelitian ini seperti :

- Wang C. et al (2016) *Compression test and numerical analysis of web stiffened channels with complex edge stiffener.*
- Schafer, B.W. (2002), *Local, Distortional, and Euler Buckling in Thin-walled Columns.*

Data Pemodelan

Data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah data material baja ringan dan ukuran/dimensi dari profil baja ringan. Digunakan material baja ringan yang mengacu pada standar Australia (AS 1397). Dengan ukuran/dimensi penampang profil C kanal (tanpa modifikasi) sebagai berikut:

Tabel 1. Ukuran Profil C Kanal

Profil C Kanal	
H	= 64 mm
B	= 34 mm
D	= 8 mm
t	= 0,7 mm

Tabel 2. Mutu Material Baja Ringan

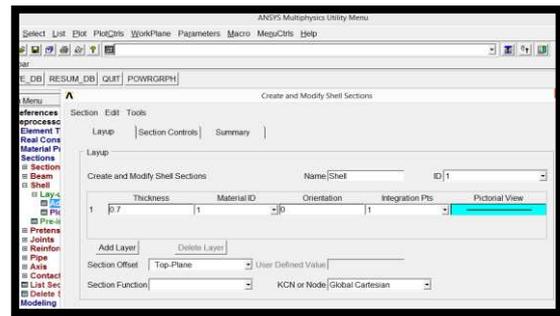
Grade	Tebal (mm)	Kuat Leleh (MPa)	Kuat Tarik (MPa)
G550	≤1.0	550	550

Pemodelan FEM

Pemodelan FEM (*Finite Element Model*) menggunakan program ANSYS V16.2. Pemodelan struktur yang digunakan adalah dengan menggunakan metode elemen hingga dengan program ANSYS V16.2 dimana tahapan-

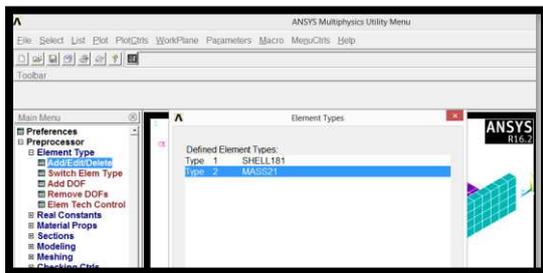
tahapan dalam pemodelan elemen hingga tersebut sebagai berikut :

1. Geometri struktur tidak dibuat di ANSYS, tetapi dibuat menggunakan program autocad, sehingga harus diimpor ke ANSYS terlebih dahulu.
2. Mendefinisikan tipe elemen : Tipe elemen sangat penting dalam suatu analisis metode elemen hingga. Dalam analisis ini jenis elemen yang di gunakan adalah jenis *quadrilateral* dengan tipe elemen *shell 181*. Elemen ini sangat cocok untuk geometri yang rumit karena elemen ini cocok digunakan untuk menganalisis pelat tipis atau ketebalan struktur yang sedang yaitu 4 node element dengan 6 derajat kebebasan (DOF) dalam arah translasi x,y,z dan rotasi arah x,y,z .

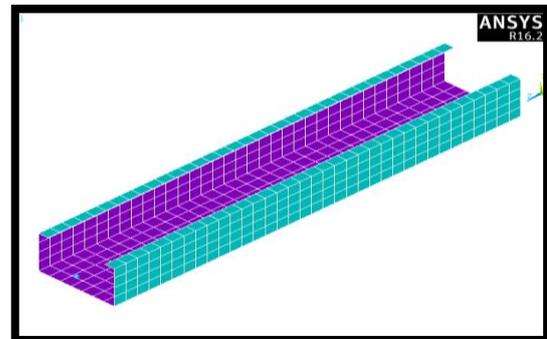


Gambar 1. Shell Thickness

5. Diskritisasi (*Meshing*)
Diskritisasi/*meshing* adalah proses pemodelan dari struktur/objek dengan membaginya dalam elemen-elemen kecil (*finite element* atau elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik yang disebut nodal (*nodes*).



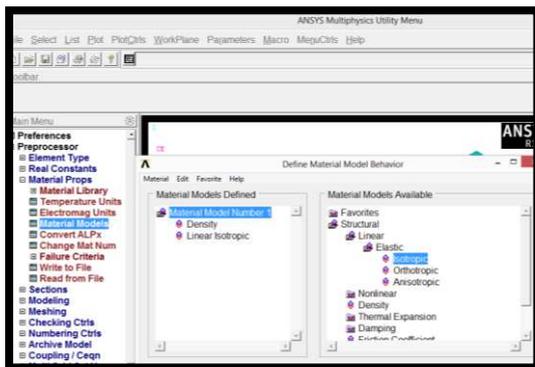
Gambar 3. Element Types



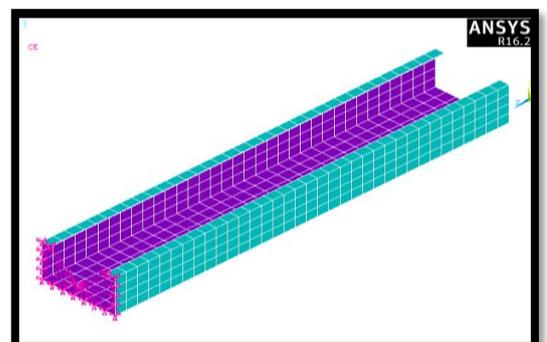
Gambar 2. Diskritisasi (Meshing)

3. Mendefinisikan material model : Material model yang dimasukkan harus sesuai dengan analisis yang akan dilakukan analisis *linear buckling (eigen value)* dalam tugas akhir ini material model yang akan digunakan adalah *linear isotropic*.

6. Rigid Region mendefinisikan *rigid region* dengan menentukan 1 node untuk *master node* dan beberapa node yang akan menjadi *slave nodes* yang bertujuan untuk membuat kaku suatu wilayah. Elemen yang digunakan untuk *master node* adalah *mass21*. *Mass21* adalah elemen titik yang memiliki 6 derajat kebebasan (translasi dan rotasi arah x,y,z)



Gambar 4. Material Models

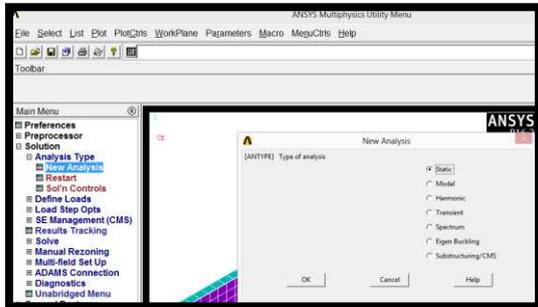


Gambar 3. Rigid Region

4. Mendefinisikan tebal *section* untuk elemen *shell*

7. Tipe Analisis

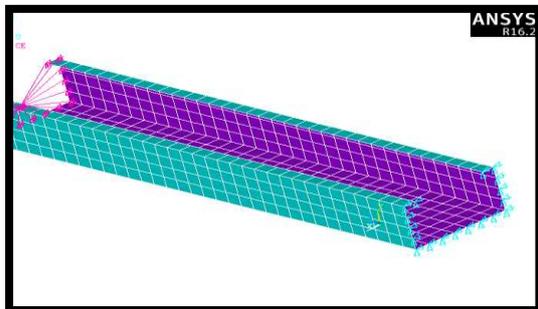
Setelah proses diskritisasi selesai langkah selanjutnya adalah memilih tipe analisis dan metode yang akan digunakan. Tipe analisis yang digunakan adalah tipe analisis statis *static*.



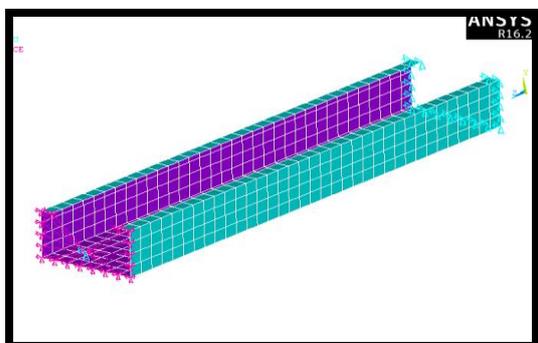
Gambar 4. Analysis Type (static)

8. Pemberian Kondisi Batas

Setelah dilakukan proses *meshing*, tahapan selanjutnya adalah menentukan batasan (*constraint*). Kondisi batas yang diberikan pertama adalah *simply supported*. *Simply supported* diberikan pada bagian bawah *section*



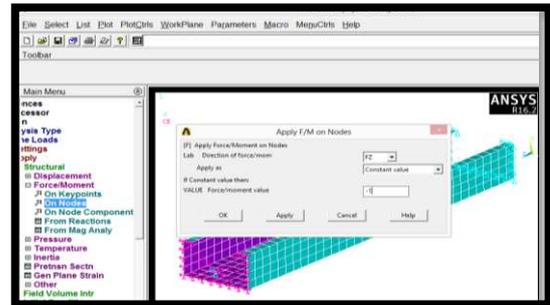
Gambar 5. Constraint pada bagian bawah Dan yang kedua adalah *simply supported* yang diberikan pada master node



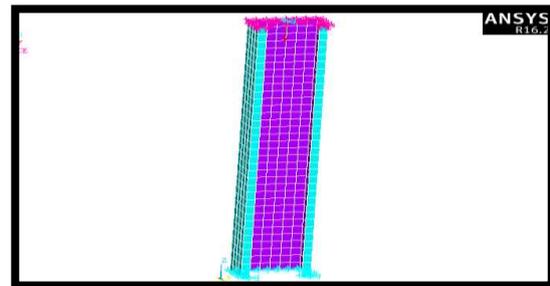
Gambar 6. Constraint Bagian Atas

9. Pemberian Beban

Karena tujuan dari analisis ini adalah mencari beban kritis (P_{cr}) tekuk struktur dengan menggunakan analisis *eigen buckling* maka beban yang akan diberikan adalah gaya aksial pada titik berat profil dengan besar gaya adalah satu satuan yaitu 1 N (unit yang dipasang adalah MPa).



Gambar 11. Pemberian beban $F_z = -1$ N



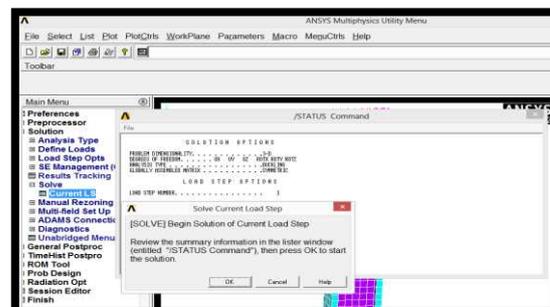
Gambar 7. Beban di Master Node

10. Solve Analisis Statis

Setelah semua parameter dan kondisi batas dimasukkan kemudian langkah selanjutnya adalah solve untuk analisis statis.

11. Analisis *Eigen Buckling* (linear)

Setelah proses perhitungan analisis statis selesai kemudian dilanjutkan dengan analisis eigenvalue dengan mengganti *analysis type* untuk eigenvalue.

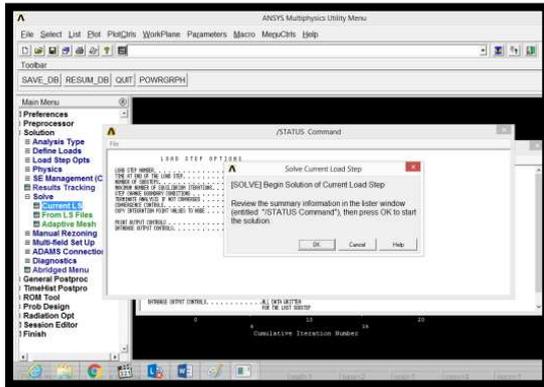


Gambar 8. Analysis Type (eigen buckling)

Dilanjutkan dengan mengatur parameter-parameter untuk analisis *eigen buckling* seperti jumlah *buckling mode* untuk analisis.

12. Solve Analisis Eigen Buckling

Setelah mengatur parameter-parameter analisis eigen value langkah selanjutnya adalah solve analisis *eigen buckling* untuk mendapatkan beban kritis tekuk (Pcr) dan mode tekuk yang terjadi pada struktur.



Gambar 9. Solve Eigen Buckling Analysis

13. Plot Hasil

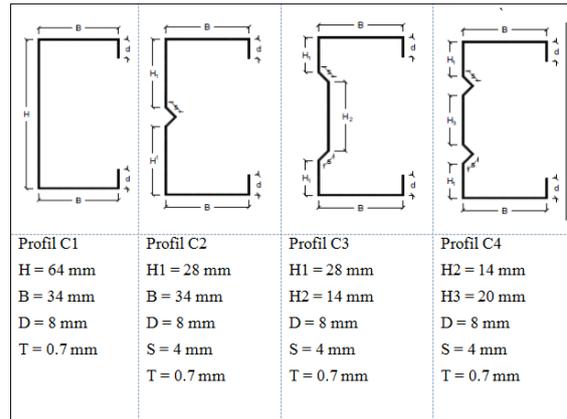
Langkah terakhir adalah plot hasil dari perhitungan analisis *eigen buckling*. Hasil analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban tekuk kritis dan distribusi tegangan tekuk yang terjadi pada profil.

Validasi Pemodelan Elemen Hingga pada Program Ansys

Setelah melakukan proses pemodelan dan analisis pada program ANSYS langkah selanjutnya adalah validasi hasil perhitungan program ansys dengan perhitungan manual untuk tekuk berdasarkan *Hand Calculation of Local and Distortional Buckling* dengan metode semi interaksi semi empiris.

Pemodelan FEM dan Analisis dengan Modifikasi Bentuk Badan Profil

Langkah selanjutnya adalah dilakukan pemodelan dan analisis kembali dengan model yang dimodifikasi bentuk badan profil. Untuk profil C1, C2, C3 dan C4 guna mendapatkan beban kritis dari masing-masing profil. Modifikasi bentuk badan profil dilakukan tanpa menambah atau mengurangi panjang dari badan profil C kanal (tanpa modifikasi)

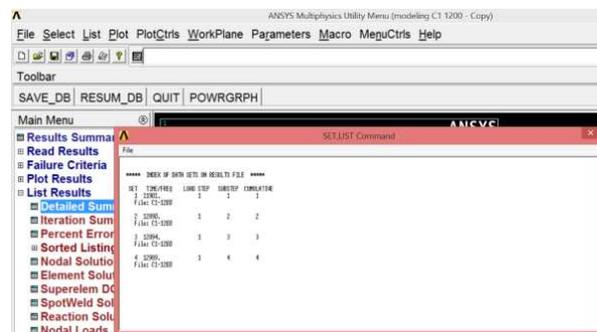


Gambar 10. Modifikasi Bentuk Badan Profil

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Hasil Analisis Metode Elemen Hingga

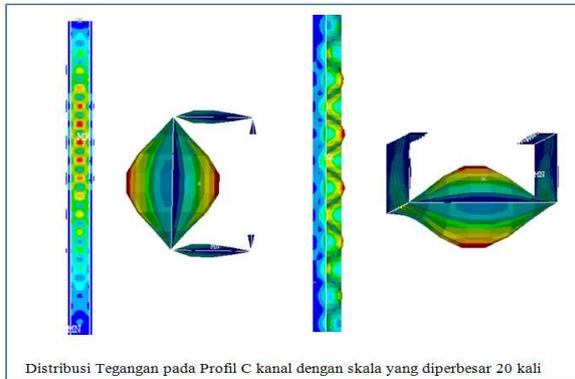
Beban kritis tekuk dapat diprediksi dengan menghitung nilai-nilai eigen (*eigen values*) struktur berdasarkan data geometri, material dan kondisi tumpuan yang ditentukan. Dalam tugas akhir ini analisis elemen hingga juga dilakukan untuk memperoleh beban tekuk kritis profil C kanal, sehingga besarnya peningkatan beban kritis tekuk akibat modifikasi bentuk badan profil dapat diketahui. Hasil analisis *eigen buckling* terhadap profil C kanal disajikan pada gambar berikut



Gambar 16. Hasil Analisis Eigen Buckling pada Program Ansys MAPDL

Dari hasil analisis *eigen buckling* dengan tipe elemen shell181 4 node, dengan panjang profil adalah 1200 mm dan tumpuan sederhana pada kedua ujungnya diperoleh hasil Pcr = 11901.43 N untuk ragam 1. Untuk ragam 2,3 dan 4 hasilnya menjadi lebih besar. Sehingga yang menentukan tekuk pada profil C kanal adalah Pcr ragam 1 yang diambil sebagai beban kritis tekuk. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk dari *Cold Formed*

Steel Limit States bahwa kegagalan profil kanal C adalah tekuk lokal dengan nilai tegangan maksimum terdapat pada badan profil C kanal yang direpresentasikan dengan warna merah pada distribusi tegangan profil. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 17



Gambar 17. Distribusi Tegangan pada Profil C kanal dengan skala yang diperbesar 20 kali

Berdasarkan *Appendix B :Hand Calculation of Local and Distortional Buckling*. Tegangan tekuk lokal (*local buckling stress*) dapat diprediksi menggunakan 2 metode pendekatan yaitu metode pendekatan elemen dan metode interaksi semi empiris. Perhitungan *Hand Calculation of Local and Distortional Buckling* dilakukan hanya pada profil C1 (tanpa modifikasi bentuk badan profil) guna untuk melihat apakah analisis yang dilakukan dengan analisis eigen buckling dengan program Ansy MAPDL konservatif dengan perhitungan *Hand Calculation of Local and Distortional Buckling*

Berikut ini merupakan tabel data ukuran profil C kanal yang akan dianalisis menggunakan *Hand Calculation of Local and Distortional Buckling*.

Tabel 3 Data ukuran profil C kanal

Profil C Kanal	
H	= 64 mm
B	= 34 mm
D	= 8 mm
t	= 0,7 mm

Metode pendekatan elemen

$$\checkmark (f_{cr})_{web} = 4 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{0.7}{64}\right)^2$$

$$(f_{cr})_{web} = 86.497 \text{ N/mm}^2$$

$$\checkmark (f_{cr})_{flange} = 4 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{0.7}{34}\right)^2$$

$$(f_{cr})_{flange} = 306.482 \text{ N/mm}^2$$

$$\checkmark (f_{cr})_{lip} = 0.43 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{0.7}{8}\right)^2$$

$$(f_{cr})_{lip} = 595 \text{ N/mm}^2$$

Metode pendekatan interaksi semi empiris

$$\checkmark k_{flange/web} = -11.07 \left(\frac{8}{34}\right)^2 + 3.95 \left(\frac{8}{34}\right) + 4$$

$$k_{flange/web} = 1.381$$

$$\checkmark \text{if } \frac{h}{b} \geq 1 k_{flange/lip} = 4 \left(\frac{34}{64}\right)^2 \left(2 - \left(\frac{34}{64}\right)^{0.4}\right)$$

$$\text{if } \frac{h}{b} \geq 1 k_{flange/lip} = 4.31$$

$$\checkmark (f_{cr})_{flange/Web} = 1.381 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{0.7}{34}\right)^2$$

$$(f_{cr})_{flange/Web} = 105.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\checkmark (f_{cr})_{flange/Lip} = 4.31 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{0.7}{34}\right)^2$$

$$(f_{cr})_{flange/Lip} = 330.73 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan tekuk lokal (F_{cr}) dapat diprediksi dengan mengambil nilai minimum dari hasil kedua metode pendekatan diatas. Kemudian apabila dikalikan dengan luas profil maka di dapat beban kritis besar 10756.56 N

Tekuk lokal dengan metode pendekatan semi empiris merupakan solusi yang paling sesuai dengan hasil dari *finite strip analysis* begitu juga dengan hasil dari *finite element analysis*. Perbandingan hasil *finite element analysis* dengan *Hand Calculation of Local and Distortional Buckling* metode interaksi semi empiris adalah sebesar 1.1. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan dengan tipe elemen shell 181 dengan tumpuan sederhana pada kedua ujung dan hasil analisis *eigen buckling* dengan metode elemen hingga pada tugas akhir cukup konservatif dengan metode pendekatan interaksi semi empiris.

Parameter yang Mempengaruhi Beban Tekuk Kritis

Dapat dilihat dari pembahasan diatas bahwa profil kanal C runtuh akibat terjadinya tekuk lokal pada badan profil. Untuk menaikkan kemampuan tekan maka dilakukan modifikasi bentuk badan profil sehingga dapat mereduksi tekuk lokal yang

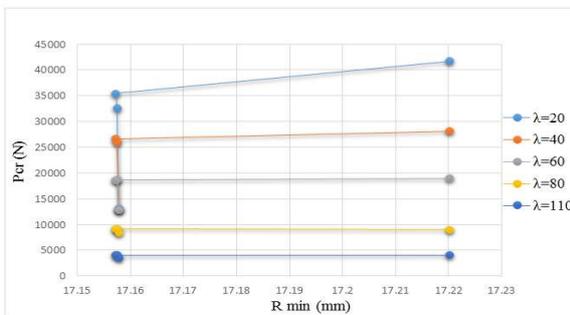
terjadi. Modifikasi yang dilakukan terhadap bentuk badan profil C kanal menyebabkan inersia (I_x, I_y) dari penampang meningkat seperti yang ditunjukkan pada tabel 4

Dari dapat diketahui bahwa Peningkatan inersia (I_x, I_y) dengan modifikasi badan profil C3 merupakan yang terbesar dibandingkan dengan profil C2 atau C4 dengan demikian, rasio kelangsingan arah tekuk profil C3 juga adalah yang terbesar bila dibandingkan dengan profil-profil lainnya.

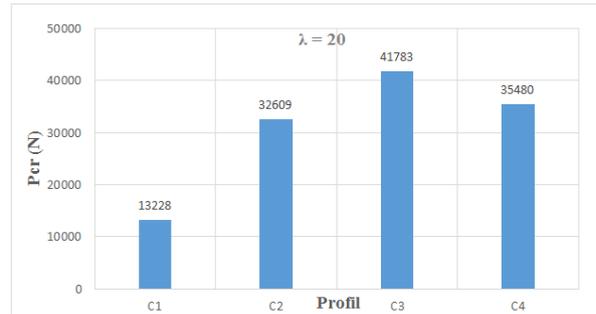
Tabel 4. Data Geometri Profil C1, C2, C3 dan C4

	Profil C1	Profil C2	Profil C3	Profil C4
A (mm^2)	101.64	101.76	101.64	101.80
I_x (mm^4)	29921.77	29945.51	30140.01	29969.26
I_y (mm^4)	69852.74	160875.26	161188.45	148927.57
r_x (mm)	17.15	17.15	17.22	17.1572
r_y (mm)	26.21	39.76	39.82	38.24

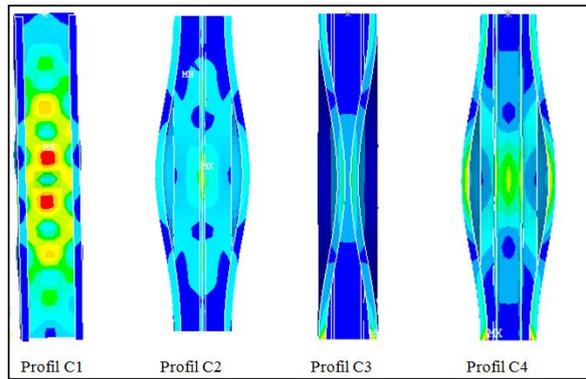
Modifikasi dari bentuk badan profil menyebabkan terjadinya peningkatan dari momen inersia yang sehingga radius girasi arah tekuk meningkat pula dimana $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$, dan rasio kelangsingan profil akan menurun. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan beban kritis tekuk pada profil seperti yang ditunjukkan pada Grafik . Grafik menunjukkan hubungan antara beban kritis tekuk (Pcr) dengan radius girasi arah tekuk (R_{min}) pada profil C1,C2 dan C3. Analisis *eigen buckling* dilakukan pada $\lambda=20$ sampai $\lambda=110$ untuk selengkapnya dapat dilihat pada Grafik 1-



Grafik 1. Pengaruh Radius Girasi Minimum terhadap Beban kritis C1,C2,C3 dan C4

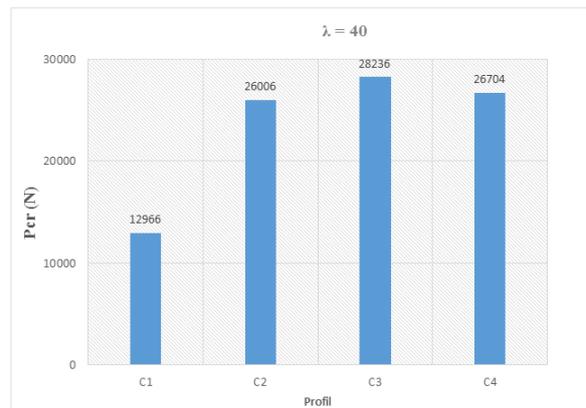


Grafik 1. Besar Beban Kritis Profil C1, C2, C3 dan C4 pada $\lambda=20$



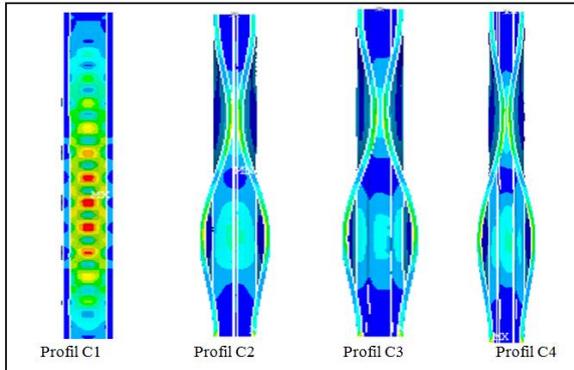
Gambar 17. Distribusi tegangan profil C1, C2, C3 dan C4 pada Rasio Kelangsingan 20 (skala diperbesar 20 kali)

Gambar merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada profil C1, C2, C3 dan C4 dengan rasio kelangsingan 20. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk dari *Cold Formed Steel Limit States* bahwa kegagalan profil C1 akibat tegangan tekuk lokal yang terjadi pada badan profil. Sedangkan kegagalan profil C2, C3 dan C4 akibat tegangan tekuk distortional.

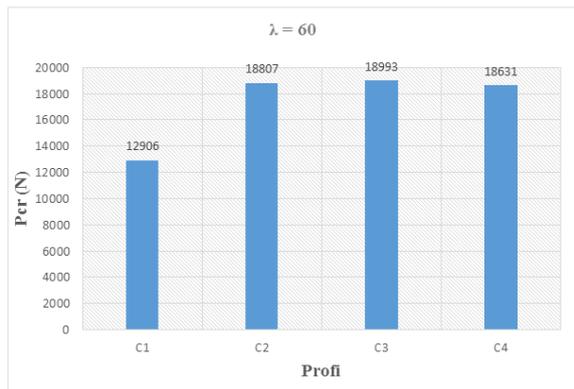


Grafik 2. Besarnya Beban Kritis Profil C1, C2, C3 dan C4 pada $\lambda=40$

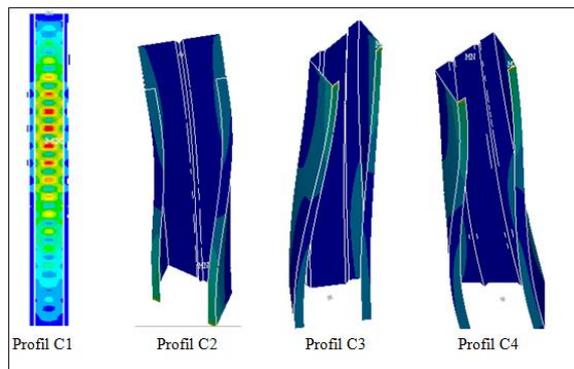
merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada profil C1, C2, C3 dan C4 dengan rasio kelangsingan 20. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk bahwa kegagalan profil C1 akibat tegangan tekuk lokal yang terjadi pada badan profil. Sedangkan profil C2, C3 dan C4 akibat tegangan tekuk distortional.



Gambar 18. Distribusi Tegangan Profil C1, C2, C3 dan C4 Pada Rasio Kelangsingan 40 (skala diperbesar 20 kali)

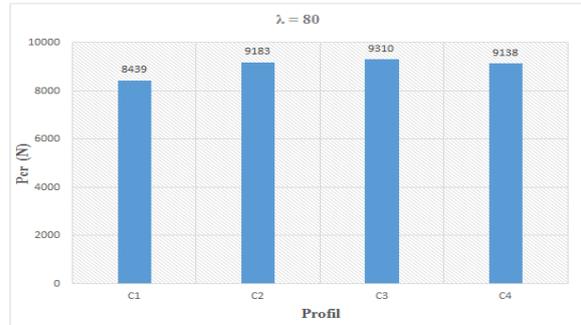


Grafik 3. Besarnya Beban Kritis Profil C1, C2, C3 dan C4 pada $\lambda=60$

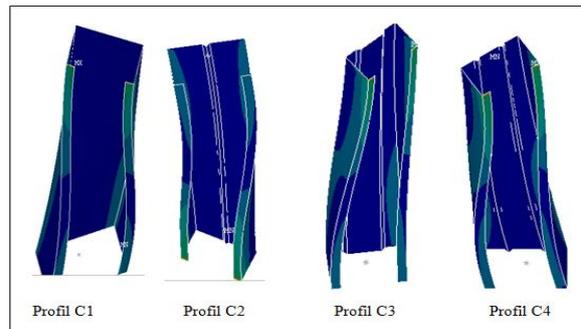


Gambar 19. Distribusi Tegangan Profil C1, C2, C3 dan C4 pada Rasio Kelangsingan 60 (skala diperbesar 20 kali)

Gambar merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada profil C1, C2, C3 dan C4 dengan rasio kelangsingan 60. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk bahwa kegagalan profil C1 akibat tegangan tekuk lokal yang terjadi pada badan profil. Sedangkan profil C2, C3 dan C4 akibat tegangan tekuk *overall* (global).



Grafik 4. Besarnya Beban Kritis Profil C1, C2, C3 dan C4 pada $\lambda=80$

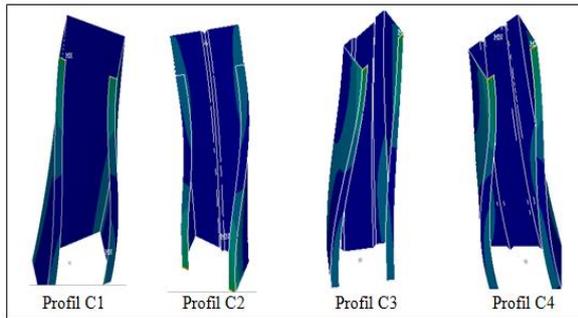


Gambar 20. Distribusi Tegangan Profil C1, C2, C3 dan C4 pada Rasio Kelangsingan 80 (skala diperbesar 20 kali)

Gambar merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada profil C1, C2, C3 dan C4 dengan rasio kelangsingan 60. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk bahwa kegagalan profil C1, C2, C3 dan C4 adalah akibat tegangan tekuk *overall* (global).



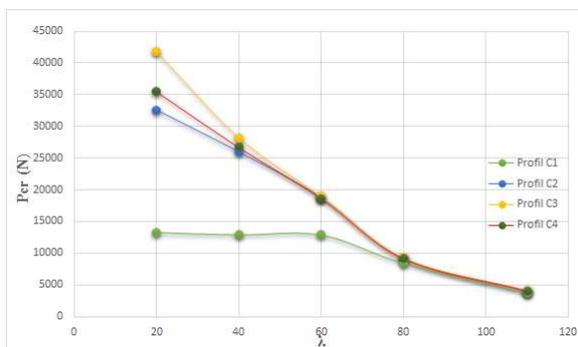
Grafik 5. Besarnya Beban Kritis Profil C1, C2 dan C3 pada $\lambda=110$



Gambar 21. Distribusi Tegangan Profil C1, C2, C3 dan C4 pada Rasio Kelangsingan 110 (skala diperbesar 20 kali)

Gambar merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada profil C1, C2, C3 dan C4 dengan rasio kelangsingan 110. Dapat dilihat berdasarkan konfigurasi bentuk bahwa kegagalan profil C1, C2, C3 dan C4 adalah akibat tegangan tekuk *overall* (global) sama seperti yang terjadi pada rasio kelangsingan 80.

Profil C3 memiliki nilai inersia profil dan radius girasi arah tekuk yang paling besar dibandingkan dengan ketiga profil lainnya maka beban kritis tekuk profil C3 lebih besar dibandingkan dengan beban kritis tekuk C1, C2 dan C4. Rasio kelangsingan profil sangat berpengaruh dalam hal peningkatan beban kritis tekuk. Grafik 7 menunjukkan bahwa semakin besar rasio kelangsingan profil maka peningkatan beban tekuk kritis yang terjadi tidak signifikan. Peningkatan beban tekuk kritis yang paling signifikan terjadi pada rasio kelangsingan (λ) 20 hingga 40. Pada rasio kelangsingan (λ) 60 hingga 110 peningkatan beban tekuk kritis menjadi sangat kecil.



Grafik 6. Hubungan Beban Kritis dengan Rasio Kelangsingan

Tabel menunjukkan persentase peningkatan beban kritis akibat adanya modifikasi bentuk badan profil C2, C3 dan C4 terhadap C1.

Tabel 5. Persentase Beban Kritis

λ	Beban Kritis (Pcr)				Persentase Peningkatan Beban Kritis		
	C1	C2	C3	C4	C2	C3	C4
	(N)				(%)		
20	13228	32609	41783	35480	1.46	2.16	1.68
40	12966	26006	28236	26704	1.00	1.17	1.05
60	12906	18807	18993	18631	0.45	0.47	0.44
80	8439	9183	9310	9138	0.08	0.10	0.08
110	3703.7	4086.4	4165	4089	0.10	0.12	0.10

Dari tabel ini diperoleh peningkatan beban kritis profil C2 sebesar 1.46%, C3 sebesar 2.16% dan C4 sebesar 1.68% pada rasio kelangsingan 20. Peningkatan beban kritis profil C2 sebesar 1%, C3 sebesar 1.17% dan C4 sebesar 1.05% pada rasio kelangsingan 40. Peningkatan beban kritis profil C2 sebesar 0.45%, C3 sebesar 0.47% dan C4 sebesar 0.44 % pada rasio kelangsingan 60. Peningkatan beban kritis profil C2 sebesar 0.08%, C3 sebesar 0.10% dan C4 sebesar 0.08% pada rasio kelangsingan 80. Peningkatan beban kritis profil C2 sebesar 0.10%, C3 sebesar 0.12% dan C4 sebesar 0.10% pada rasio kelangsingan 110.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dengan adanya modifikasi dari badan profil terbukti dapat meningkatkan kemampuan tekan dengan mereduksi tekuk lokal yang terjadi pada profil.
2. Persentase peningkatan beban kritis yang terjadi pada *short column* sebesar 1.46%-2.16%, untuk *intermediate column* sebesar 0.08%-1% dan untuk *long column* sebesar 0.1%-0.12%.
3. Rasio kelangsingan merupakan parameter yang berpengaruh pada besarnya peningkatan beban kritis tekuk akibat modifikasi bentuk badan profil. Semakin besar rasio kelangsingan maka peningkatan yang terjadi tidak akan signifikan.
4. Peningkatan beban kritis terbesar terjadi pada modifikasi bentuk badan profil C3 untuk semua angka rasio kelangsingan yang dianalisis.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya terhadap *failure mode* yang disebabkan adanya modifikasi bentuk badan profil.

2. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya terhadap pengaruh eksentrisitas dan ketidak-lurusan batang pada tekuk profil.
3. Bentuk profil baja ringan dapat dibentuk dengan berbagai macam bentuk profil sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi-variasi lain bentuk profil untuk mengoptimasi kekuatan profil.
4. Setiap penampang kolom baja ringan yang baru perlu diverifikasi dengan pengujian laboratorium dan/atau simulasi elemen hingga nonlinear.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous ,2007. Appendix 1 Design of Cold-Formed Steel Structural Member Using the Direct Strength Method.
- Bargess, M. F., C. Lesmana, dan R. Y. Tallar. 2009. Analisis struktur bending dengan metode elemen hingga. Jurnal Teknik Sipil. Volume 5 Nomor 1.
- Cook, 2002. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. 4th ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- Dewobroto. W, 2015. Struktur Baja. Lumina Press : Jakarta.
- Felippa, Carlos A. 2013. "Introduction To Finite Element Methods (ASEN 5007)" Course Material.
- Kang, T.H.K, et al. 2013. Buckling Modes of Cold Formes Steel Columns.
- Meiyalagan. M, 2010. Investigation on Cold – formed C Section Long Column with intermediate Stiffner & Corner Lips-under Axial Compression. Internatonal Journal of Apllied Engineering Research, Dindigul. Vol.1 No.1.
- Oentong, 2000. Konstruksi Baja. Yogyakarta
- Ross, G.F, 1985. Finite Element Method in Structural Mechanic, Ellis Howard Limite, Chicester
- Segui, W.T, 2007. Steel Design. 4th ed. Canada: Chris Carson.
- Setiawan. A, 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan metode LFRD, Erlangga.: Jakarta
- Schafer, B.W, 2000. Distortional Buckling of Cold-Formed Steel Columns : Final Report . American Iron and Steel Institute, Washington. D.C.
- Schafer B.W, 2001. Thin-walled Column Design Considering Local, Distortional, and Euler Buckling. ASCE Journal of Structural Engineering, 128 (3). 289-299
- Susatio, Y., 2004, Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga, Andi Offset, Yogyakarta.
- Ansys Mechanical APDL Element Reference
- Ansys Mechanical APDL Material Reference
- Ansys Mechanical APDLI Structural Analysis Guide
- Wang C, et al, 2016. Compression Tests and Numerical Analysis of Web-Stiffened Channels With Complex Edge Stiffeners.
- Yu, W.W, 2000. Cold-Formed Steel Design, 3rd ed. John Wiley and Sons, New York.