

SURAT - TUGAS

Nomor: 216-D/1007/FT-UNTAR/II/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada Saudara:

Ir. Sunarjo Leman, M.T.

Untuk melaksanakan kegiatan secara Daring dengan data sebagai berikut:

Nama Seminar : Konferensi Nasional Teknik Sipil (KonTekS) ke 14
Judul Makalah : Analisis Pengaruh Dimensi dan Bentuk Lubang Terhadap Kuat Tekan Baja Cold-Formed dengan Metode Elemen Hingga
Peran : Pemakalah (Presenter)
Pelaksanaan : Kampus ITB - Bandung, 07 Oktober 2020
Penyelenggara : Kerjasama 10 Universitas di Indonesia (ITB, UAJY, UPH, UNUD, USAKTI, UNS, ITENAS, UNTAR, UNIKA Soegijapranata, UNSYIAH)

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.

18 Februari 2021

Dekan



Harto Tanujaya, S.I., M.T., Ph.D.

Tembusan :

1. Kaprodi. Sarjana Teknik Sipil
2. Kasubag. Personalia

PROGRAM STUDI :

- Sarjana Arsitektur, Magister Arsitektur, Sarjana Perencanaan Wilayah dan Kota, Magister Perencanaan Wilayah dan Kota
- Sarjana Teknik Sipil, Magister Teknik Sipil, Doktor Teknik Sipil
- Sarjana Teknik Mesin, Sarjana Teknik Industri, Sarjana Teknik Elektro

Jl. Letjen. S. Parman No.1 - Jakarta 11440

P : (021) 5663124 - 5672548 - 5638335

MPWK : (021) 56967322, MTS : (021) 5655801 - 5655802, DTS : (021) 56967015 - 5645907

F : (021) 5663277, MTS : (021) 5655805, MPWK : (021) 5645956

E : ft@untar.ac.id

www.untar.ac.id

SEMINAR ONLINE

SERTIFIKAT

6-7 Okt 2020, Daring dari Kampus ITB



Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-14

Diberikan kepada

Ir. Sunarjo Leman, M.T.

atas partisipasinya sebagai

PEMAKALAH

Bandung, 07 Oktober 2020
Ketua KoNTeKS ke-14

Ir. Muhamad Abduh, M.T., Ph.D.

Proud
to be a
**CIVIL
ENGINEER**

*Peringatan 100 Tahun
Pendidikan Teknik Sipil
di Indonesia*



ITB



UAJY



UPH



UNUD



USAkti



UNS



ITENAS



UNTAR



UNIKA
SOEGIJAPRANATA



UNSYIAH

P R O S I D I N G

SEMINAR ONLINE

KONTEKS · 14

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-14

6-7 Oktober 2020

Daring dari Kampus ITB

Proud to be a **CIVIL ENGINEER**



TAHUN ITB
&
Pendidikan Tinggi Teknik
di Indonesia

Peringatan 100 Tahun
Pendidikan Teknik Sipil di Indonesia

DIDUKUNG OLEH



BMPPTSSI
(BICEHEC)



P R O S I D I N G

SEMINAR ONLINE



Proud to be a **CIVIL ENGINEER**



Peringatan 100 Tahun Pendidikan Teknik Sipil di Indonesia

6-7 Okt 2020
Daring dari Kampus ITB



F. STRUKTUR

015 - ST	Pemodelan Perilaku Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton Mutu Tinggi yang Dikekang dengan Baja Mutu Tinggi <i>Benny Kusuma, Jonie Tanijaya, dan Felix Chandres</i>	567
093 - ST	Analisis Pengaruh Dimensi dan Bentuk Lubang terhadap Kuat Tekan Baja Cold-Formed dengan Metode Elemen Hingga <i>Joshua Tjandra, Leo S. Tediando, dan Sunarjo Leman</i>	578
165 - ST	Analisis Perbandingan Metode DTI dan DFBK pada Rangka Atap Kayu untuk Bangunan Gudang Berdasarkan SNI 7973:2013 <i>Badriana Nuranita, Bernardinus Herbudiman</i>	588
305 - ST	Optimalisasi Lokasi Sensor dengan Menggunakan Algoritma Biner Berdasarkan MAC dan MSE <i>Richard Frans dan Yoyong Arfiadi</i>	598
361 - ST	Identifikasi Kerusakan Struktur pada Bangunan Gedung 5 Lantai (Studi Kasus di Batam) <i>Teddy Tambunan, Dian Hapsari Agustina, Dicky Ap Budiono, dan Josep Darmana Sakti Tampubolon</i>	606
369 - ST	Analisis Flat Slab Menggunakan Software Opensees <i>Samsul Hasibuan</i>	616
371 - ST	Sambungan Terprakualifikasi Simpson Strong-Tie Strong Frame Dalam RSNi 7972:20xx <i>Suradjin Sutjipto dan Indrawati Sumeru</i>	623

093 - ST

ANALISIS PENGARUH DIMENSI DAN BENTUK LUBANG TERHADAP KUAT TEKAN BAJA COLD-FORMED DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Joshua Tjandra¹, Leo S. Tediato¹, dan Sunarjo Leman¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: Joshua.tjandra21@gmail.com, leotedi@gmail.com, sunarjo@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Baja *Cold-formed* atau dalam Bahasa Indonesia dikenal sebagai baja canai dingin didefinisikan sebagai komponen struktur baja yang proses pembentukan profilnya dilakukan dalam keadaan dingin. Karena proses inilah, baja canai dingin tidak dapat dibentuk simetris dan memiliki ketebalan profil yang relatif lebih tipis dibandingkan baja canai panas. Kedua hal ini menyebabkan baja canai dingin sangat rawan terhadap tekuk lokal. Terkadang, baja canai dingin membutuhkan lubang untuk kebutuhan *ducting* dan *mechanical engineering*. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas pengaruh dimensi dan bentuk lubang terhadap kuat tekan baja canai dingin. Penelitian ini dilakukan menggunakan program metode elemen hingga yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan SNI 7971:2013. Profil yang digunakan adalah profil CNP 100x50x20 dengan panjang 2000 mm. Variasi lubang yang digunakan adalah bentuk bulat dengan oval dengan jumlah lubang satu dan dua buah dengan variasi diameter 10, 20, 30, dan 40mm yang berada pada tengah bentang dan dua lubang di 1/3 dan 2/3 panjang batang. Perletakan yang digunakan sendi-rol dengan arah sejajar dengan batang aksial. Setelah dilakukan analisis, diketahui kuat tekan kuat tekan baja canai dingin tanpa modifikasi sebesar 82,4507 KN. Dengan penambahan lubang, kuat tekan berkurang bersamaan dengan peningkatan ukuran diameter lubang, sebagai contoh kuat tekan dengan sebuah lubang bulat dengan diameter lubang 10, 20, 30, dan 40mm berturut-turut adalah 82,4645; 81,6736; 79,8223; dan 76,2201 KN. Selain itu, diketahui kuat tekan baja canai dingin dengan lubang oval lebih kecil dibandingkan lubang bulat, sebagai contoh penambahan sebuah lubang bulat 30mm menghasilkan kuat tekan 79,8223KN sedangkan sebuah lubang Oval 30mm menghasilkan kuat tekan 78,9231KN.

Kata kunci: baja canai dingin, tekuk lokal, lubang, metode elemen hingga, *Kuat Tekan*

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan ini penggunaan baja *cold-formed* di Indonesia sedang menjadi tren di konstruksi, dimana baja *cold-formed* mulai banyak digunakan sebagai rangka atap. Baja *cold-formed* dianggap cocok untuk menggantikan material kayu, yang biasa digunakan sebagai rangka atap karena kayu dianggap mudah rusak diserang hama dan mudah lapuk termakan usia. Selain itu baja *cold-formed* juga dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan kayu, karena dibuat di pabrik dan mudah dibuat kapan saja. Keunggulan lainnya rangka atap dari baja *cold-formed* adalah kecepatan pemasangannya dan struktur yang relatif tahan lama (Pangaribuan, 2014).

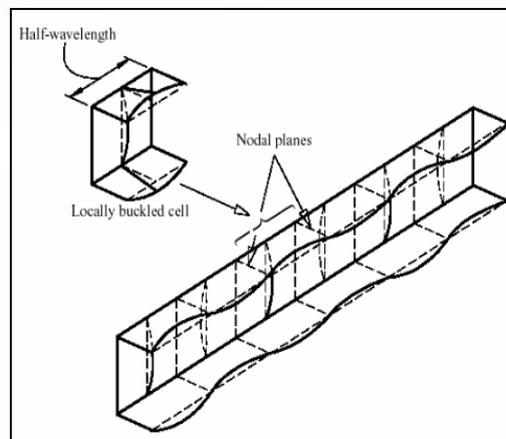
Baja *Cold-formed* yang biasanya digunakan sebagai rangka atap, terkadang dalam pelaksanaan pemasangannya berbeda dengan perencanaan awal. Pada kasus khusus misalnya dibutuhkan lubang pada baja rangka atap untuk kebutuhan *ducting* dan *mechanical engineering* (Moen, 2008), namun dalam perencanaannya baja *cold-formed* itu terkadang tidak diperhitungkan untuk memiliki lubang. Oleh karena itu diperlukan studi lebih detail mengenai pengaruh dari bentuk dan dimensi lubang yang tidak diperhitungkan itu terhadap kuat tekan dari batang baja *cold-formed* tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan kuat tekan baja *cold-formed* dapat dihitung dengan metode elemen hingga yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual SNI 7971:2013. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap pengaruh dimensi lubang, bentuk lubang serta jumlah lubang terhadap kuat tekan baja *cold-formed*.

Secara umum, Baja Canai dingin lebih dikenal dengan sebutan Baja *cold-formed*, yang di definisikan sebagai baja yang di bentuk ke berbagai bentuk tanpa peleburan namun dengan penggabungan dan penekanan lembaran baja tipis menjadi penampang yang di inginkan. Dalam SNI 7971 2013 Baja canai dingin di definisikan sebagai komponen struktur yang dibentuk secara canai dingin (*cold-formed*) dari bahan Baja Karbon atau Low Alloy berbentuk

lembaran, strip, pelat ataupun batangan dengan ketebalan tidak lebih dari 25.4 mm yang digunakan untuk memikul beban tinggi. Sedangkan menurut Yu dan LaBoube (2010), Profil baja *cold-formed* 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 baja *cold-formed* relatif tipis, maka pembentukan profil dapat dilaksanakan menggunakan proses pembentukan dingin. 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.

Dalam bukunya Yu dan LaBoube (2010) menjabarkan Penggunaan material yang tipis pada baja *cold-formed* serta proses pembentukannya yang dilakukan dalam kondisi dingin membuat banyak perbedaan pada struktur konstruksi *cold-formed* dibandingkan struktur konstruksi dengan baja *hot-rolled*. Berikut adalah hal hal penting yang perlu diperhatikan dalam melakukan design baja canai dingin.

1. Tekuk lokal Elemen pada batang baja *cold-formed* biasanya sangat tipis dibandingkan dengan lebarnya, sehingga sangat mudah mengalami tekuk akibat pemberian tekanan sebelum mencapai tegangan keluluhannya. Tekuk lokal elemen (gambar 1) inilah yang menjadi dasar utama dalam perencanaan *design* struktur baja *cold-formed*. Selain tekuk lokal, tekuk distorsional telah sering digunakan sebagai pertimbangan penting dalam *design* baja *cold-formed*.



Gambar 1. Tekuk lokal (Sumber: Bambach, 2003)

2. Kekakuan Torsi

Elemen struktur baja *cold-formed* umumnya langsing dan berupa penampang terbuka sehingga lemah terhadap torsi. Kondisi ini kemudian diperburuk oleh posisi titik pusat massa dan titik pusat geser yang berbeda. Tekuk torsi ini sangat berpengaruh pada struktur baja ringan yang digunakan sebagai komponen batang tekan.

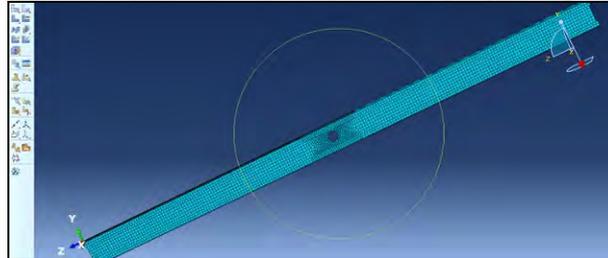
Young (2000) menjelaskan analisis metode elemen hingga dari struktur baja *cold-formed* memainkan peran penting dalam praktik rekayasa, karena relatif murah dan lebih cepat dilakukan dibandingkan pengujian di laboratorium, terutama ketika melakukan studi yang menyangkut efek ketidaksempurnaan geometris penampang. Metode elemen hingga lebih ekonomis dari pada pengujian di laboratorium, asalkan permodelan metode elemen hingga akurat. Oleh karena itu, perlu memverifikasi FEM dengan hasil eksperimen. Secara umum, metode elemen hingga adalah mampu memprediksi beban ultimate dan mode kegagalan kompleks dari komponen struktural baja canai dingin. Selain itu, ketidaksempurnaan geometris lokal dan keseluruhan, tegangan sisa, serta material non-linearitas dapat dimasukkan dalam metode elemen hingga.

2. METODE PENELITIAN

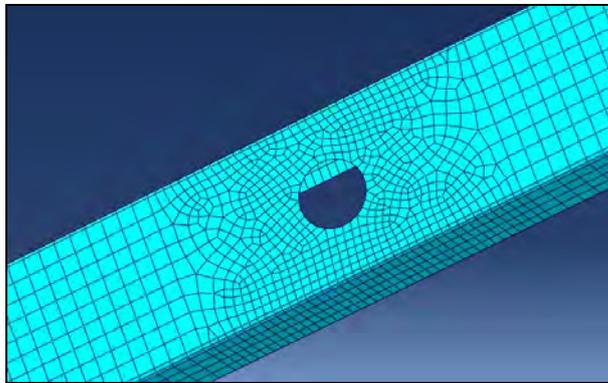
Dalam Penelitian ini, dipilih metode elemen hingga dengan bantuan program metode elemen hingga, dan dimodelkan sebagai elemen *shell*. Proses analisis kuat tekan Baja *cold-formed* pada program metode elemen hingga dilakukan secara dua tahap, pertama adalah analisis *linear* yang disebut *Linear perturbation, Buckle* dimana akan menghasilkan *eigen Value* sesuai mode kegagalan paling kritis. selanjutnya *Eigen Value* akan digunakan pada tahap kedua, analisis *non linear* dengan metode *General, Static Riks*. Analisis kuat tekan batang baja *cold-formed* dilakukan menggunakan profil CNP 100x50x20 yang memiliki panjang bentang yang sama yaitu 2000 mm. Sebagai *Boundary Condition*, peletakan yang digunakan dikunci terhadap putaran torsi arah Z pada

kedua ujungnya, dikunci terhadap semua arah translasi pada kedua ujungnya kecuali arah translasi searah pembebanan di bagian sisi yang diberikan beban. Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan baja BJ 55 yang memiliki tegangan leleh (F_y) 410 Mpa dan tegangan putus 550 Mpa.

Dalam penelitian ini, digunakan *mesh global* berukuran 10mm dan sedangkan daerah sekitar lubang 5mm. Sebagai contoh, dicantumkan gambar 2 dan gambar 3 yaitu detail pembuatan *mesh* pada salah satu permodelan yang telah dibuat.



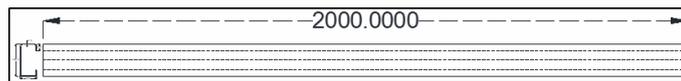
Gambar 2. Contoh pembuatan *mesh* pada saat permodelan.



Gambar 3. *Mesh* yang rapat di dekat lubang

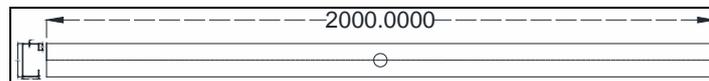
Permodelan yang dibuat adalah sebanyak 17 studi kasus yang dibagi ke dalam 5 jenis permodelan, sebagai berikut:

1. **Penampang asli**, 1 buah batang baja penampang asli tanpa lubang seperti yang tergambar pada gambar 4.



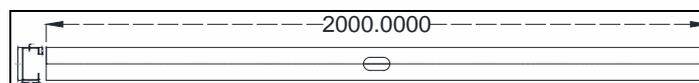
Gambar 4. Contoh bentuk penampang asli

2. **Model 1**, 4 buah batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang berbentuk lingkaran yang terbagi atas lubang berdiameter 10mm, 20mm, 30mm dan 40mm pada tengah bentang, seperti yang tergambar pada gambar 5.



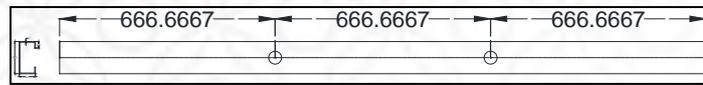
Gambar 5. Contoh bentuk permodelan 1

3. **Model 2**, 4 buah batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang berbentuk Oval yang terbagi atas lubang dengan tinggi x lebar 10x20mm, 20x40mm, 30x60mm dan 40x80mm pada tengah bentang, seperti yang tergambar pada gambar 6.



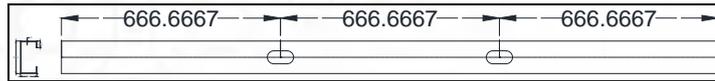
Gambar 6. Contoh bentuk permodelan 2

4. **Model 3**, 4 buah batang baja *cold-formed* dengan dua buah lubang berbentuk lingkaran yang terbagi atas lubang berdiameter 10mm, 20mm, 30mm dan 40mm pada 1/3 dan 2/3 panjang bentang, seperti yang tergambar pada gambar 7.



Gambar 7. Contoh bentuk permodelan 3

5. **Model 4**, 4 buah batang baja *cold-formed* dengan dua buah lubang berbentuk Oval yang terbagi atas lubang dengan tinggi x lebar 10x20mm, 20x40mm, 30x60mm dan 40x80mm pada 1/3 dan 2/3 panjang bentang, seperti yang tergambar pada gambar 8.



Gambar 8. Contoh bentuk permodelan 4

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis kuat tekan baja *cold-formed* dengan menggunakan perhitungan manual sesuai SNI 7971:2013. Pada tahap pertama dihitung kuat efektif menggunakan kelelahan batang baja *cold-formed* kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua dengan menggunakan tegangan tekuk kritis batang *baja cold-formed*. Sebagai batasan masalah, penelitian ini tidak membahas mengenai distribusi tegangan sisa pada penampang baja *cold-formed* terhadap hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pembuatan model di atas, dilakukan analisis dengan metode bilangan hingga dengan bantuan program metode elemen hingga, yang kemudian hasilnya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini:

1. Bentuk penampang asli

Tabel 1. Hasil analisis program metode elemen hingga penampang asli

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
Penampang Asli		82,4507

2. Model 1 (Batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang lingkaran pada tengah bentang)

Tabel 2. Hasil analisis program metode elemen hingga model 1

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
Bulat10		82,4645

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
Bulat20		81,6736
Bulat30		79,8223
Bulat40		76,2201

3. Model 2 (Batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang oval pada tengah bentang)

Tabel 3. Hasil analisis program metode elemen hingga model 2

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
Ovalio		82,6598
Oval20		79,4868

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
Oval30		78,9231
Oval40		74,9671

4. Model 3 (Batang baja cold-formed dengan dua buah lubang lingkaran pada 1/3 dan 2/3 bentang)

Tabel 4. Hasil analisis program metode elemen hingga model 3

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
2 Bulat10		82,787
2 Bulat20		81,322
2 Bulat30		79,472

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
2Bulat40		75,676

5. Model 4 (Batang baja *cold-formed* dengan dua buah lubang berbentuk oval pada 1/3 dan 2/3 bentang)

Tabel 5. Hasil analisis program metode elemen hingga model 4

Percobaan	Hasil simulasi program metode elemen hingga	Kuat Tekan (KN)
2Oval10		83,186
2Oval20		79,813
2Oval30		78,685
2Oval 40		73,549

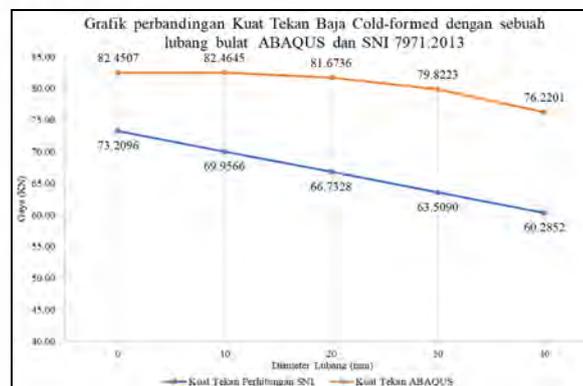
Dari percobaan permodelan yang didefinisikan, didapatkan juga nilai kuat tekan baja *cold-formed* berdasarkan perhitungan SNI 7971:2013. Karena keterbatasan rumus, hanya dilakukan analisis dengan menggunakan SNI

7971:2013 terhadap penampang asli dan model 1, sehingga besar kuat tekan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Kuat tekan baja *cold-formed* berdasarkan perhitungan SNI 7971:2013

No.	Nama Percobaan	Bentuk Lubang	Diameter Lubang (mm)	Kuat Tekan SNI 7971:2013 (KN)
1	ASLI	Penampang Asli	-	73,2096
2	Bulat10	Bulat	10	69,9566
3	Bulat20	Bulat	20	66,7328
4	Bulat30	Bulat	30	63,5090
5	Bulat40	Bulat	40	60,2852

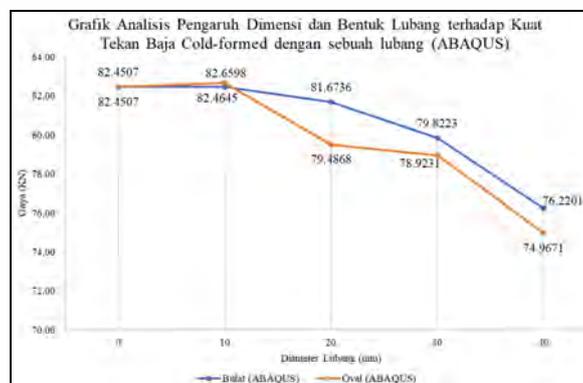
Berdasarkan hasil kuat tekan yang telah dilakukan untuk penampang asli dan model 1 (batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang berbentuk lingkaran) dengan menggunakan bantuan program metode elemen hingga dan SNI 7971:2013, dilakukan perbandingannya yang hasilnya telah disajikan di dalam grafik pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan kuat tekan *program metode elemen hingga* dan SNI 7971:2013

Berdasarkan hasil perbandingan di atas diketahui bahwa, nilai kuat tekan baja *cold-formed* yang di dapat menggunakan metode bilangan hingga dengan bantuan program metode elemen hingga selalu menghasilkan kuat tekan yang lebih besar, dibandingkan kuat tekan yang didapat menggunakan perhitungan SNI 7971:2013. Hal ini disebabkan karena program metode elemen hingga telah memperhitungkan analisis non linear akibat material bahan serta keruntuhan tekuk akibat geometrik penampang. Berbeda dengan program metode elemen hingga, SNI 7971: 2013 hanya memperhitungkan analisis linear akibat kelelahan material, sehingga hasil kuat tekannya akan relatif lebih kecil.

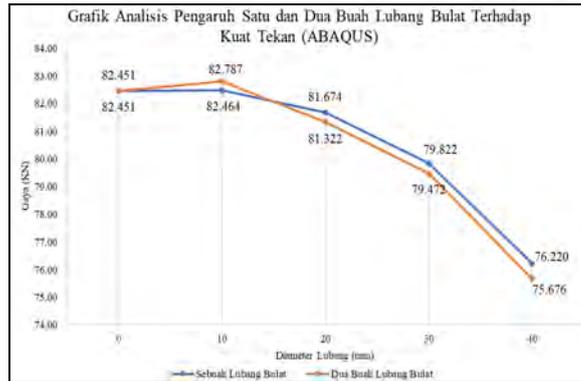
Berdasarkan hasil kuat tekan yang didapat dengan bantuan program metode elemen hingga, dilakukan analisis pengaruh dimensi dan bentuk lubang batang baja *cold-formed*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan model 1 (batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang bulat) dengan model 2 (batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang oval). Hasil analisis dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik analisis pengaruh dimensi dan bentuk lubang

Berdasarkan analisis di atas dapat dilihat bahwa akan adanya pengaruh dari dimensi dan bentuk lubang pada kuat tekan baja *cold-formed*. Berdasarkan hasil analisis bentuk lubang dapat diketahui bahwa lubang berbentuk oval akan memiliki kuat tekan yang relatif lebih rendah di dibandingkan lubang berbentuk bulat. Berdasarkan analisis di atas juga dapat diketahui pengaruh dimensi lubang terhadap kuat tekan baja *cold-formed*, dimana semakin besar lubang akan semakin kecil kuat tekan. Namun pada penelitian ini di dapatkan juga sebuah fenomena unik, dimana kuat tekan baja *cold-formed* akan bertambah kuat dari penampang aslinya tanpa lubang, apabila diberikan sebuah lubang kecil sebesar 10 cm.

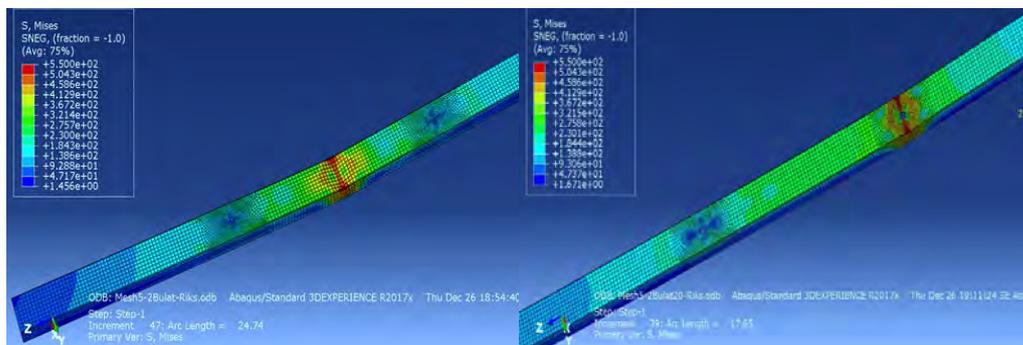
Berdasarkan kuat tekan yang telah didapatkan dengan bantuan program metode elemen hingga, juga dapat dilakukan analisis perbandingan model 1 (batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang bulat) dengan model 3 (batang baja *cold-formed* dengan dua buah lubang bulat).. Hasil analisisnya kemudian disajikan di dalam grafik pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik analisis pengaruh satu dan dua buah lubang bulat

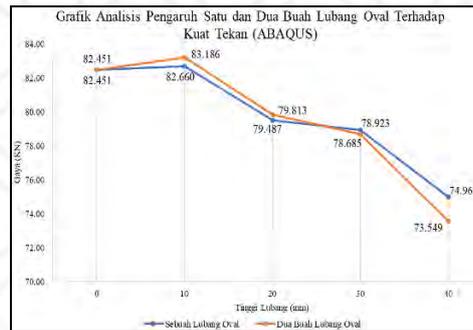
Dari analisis di atas dapat disimpulkan secara umum akan terjadi pengurangan kuat tekan baja *cold-formed* akibat adanya penambahan jumlah lubang yang awalnya satu buah lubang menjadi dua buah lubang. Pada analisis ini juga terlihat, fenomena meningkatnya kuat tekan baja *cold-formed* apabila diberikan dua buah lubang kecil (berdiameter 10mm), bahkan efeknya akan lebih besar dibandingkan hanya di berikan sebuah lubang dengan diameter yang sama.

Fenomena lainnya yang didapati adalah peristiwa distribusi tegangan tekan yang akan menyebabkan pergeseran lokasi terjadinya tekuk. Fenomena menyebabkan pergeseran daerah kritis batang (daerah paling lemah) yang pada awalnya berada pada tengah bentang bergeser ke arah daerah lemah lainnya yaitu daerah sekitar lubang. Fenomena dapat di buktikan pada percobaan 2bulat10 (batang baja *cold-formed* dengan 2 buah lubang bulat diameter 10mm) dan 2bulat20 (batang baja *cold-formed* dengan 2 buah lubang bulat diameter 20mm). Percobaan 2bulat10 pada gambar 12, peristiwa terjadinya tekuk tepat di tengah bentang. Sedangkan percobaan 2bulat20 pada gambar 12, peristiwa terjadinya tekuk berada di sekitar lubang.



Gambar 12. Lokasi kegagalan pada 2 lubang bulat 10mm (kiri) dan 2 lubang bulat 20mm (kanan)

Berdasarkan analisis dengan bantuan program metode elemen hingga, juga dilakukan analisis perbandingan model 2 (batang baja *cold-formed* dengan sebuah lubang oval) dengan model 4 (batang baja *cold-formed* dengan dua buah lubang oval). Pada model 2, sebuah lubang diletakkan tepat di tengah bentang batang, sedangkan pada model 4, dua buah lubang diletakkan pada di 1/3 dan 2/3 bentang. Hasil analisisnya kemudian disajikan dalam grafik pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik analisis pengaruh satu dan dua buah lubang bulat

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan apabila pemberian lubang tambahan tidak selamanya akan menghasilkan kuat tekan yang lebih kecil, namun ada faktor lainnya seperti bentuk dan dimensi penampang lubang yang harus di perhatikan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis FEM dengan bantuan program metode elemen hingga dan Teoritis SNI maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Nilai Kuat tekan baja *cold-formed* program metode elemen hingga selalu menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan perhitungan dengan SNI 7971:2013, Karena analisis dalam program metode elemen hingga telah menggunakan analisis non linear akibat material bahan serta keruntuhan tekuk penampang.
- Dimensi lubang pada batang baja *Cold-formed* berpengaruh terhadap kuat tekan, dimana semakin besar lubang, semakin rendah kekuatan tekan baja *Cold-formed*.
- Bentuk lubang pada batang baja *Cold-formed* berpengaruh terhadap kuat tekan, lubang berbentuk oval akan menghasilkan kekuatan tekan yang relatif lebih rendah dibandingkan lubang berbentuk bulat.
- Letak dan jumlah lubang pada batang baja *Cold-formed* berpengaruh terhadap kuat tekan. Secara umum semakin besar dimensi lubang semakin kecil kuat tekan baja *cold-formed*, namun terjadi fenomena dimana kuat tekan akan bertambah apabila diberikan lubang yang kecil seukuran 10mm. Pengaruh lokasi lubang dapat dilihat ketika ada dua buah lubang diletakkan di 1/3 dan 2/3 bentang batang, akan memiliki kuat tekan yang lebih kecil dibandingkan sebuah lubang pada dengan dimensi yang sama. Lokasi letak lubang juga menimbulkan perpindahan daerah kritis batang yang sebelumnya ada pada tengah bentang, menuju ke sekitar lubang di 1/3 dan 2/3 bentang, yang kemudian menjadi lokasi terjadinya peristiwa tekuk.

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan ditemukan beberapa masalah dan anomali baru yang belum dapat terpecahkan, oleh karena itu peneliti memberi saran untuk penelitian selanjutnya:

- Dilakukan studi mengenai pengaruh lokasi lubang pada baja *cold-formed* terhadap distribusi tegangan.
- Dilakukan studi menggunakan penampang yang lebih tipis sehingga efek akibat lubang dapat lebih terlihat
- Dilakukan penelitian mengenai lubang berdiameter 10 mm, mengapa menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan penampang utuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. *Struktur Baja Canai Dingin (SNI 7971:2013)* Jakarta: BSN, 2013.
- Bambach, M. R.. "Local Buckling And Post-Local Buckling Redistribution of Stress In Slender Plates and Sections." *Thin-Walled Structures*, 44. (2006): 1118-1128.
- Moen, Christopher D., dan B.W. Schafer. "Experiments on cold-formed steel columns with holes". *Thin-Walled Structures*, 46. (2008): 1164-1182.
- Pangaribuan, M.R., "Baja Ringan Sebagai Pengganti Kayu Dalam Pembuatan Rangka Atap Bangunan Rumah Masyarakat". *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2. 4(2014): 648-655
- Young, Ben. "Finite Element Analysis of Cold-formed Channel Columns." *Fifteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*. Missouri: Missouri University of Science and Technology, 2000. Missouri: Missouri University, 281-305.
- Yu, W.W., & R.A. LaBoube. *Cold-Formed Steel Design*. 4th Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.