

Analisis Perilaku *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) Akibat Beban Siklik dengan Metode Elemen Hingga

Moh Irfan Al Anshori^{1*}, Budi Suswanto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: anshoriirfan19@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	01 Desember 2023	<i>Concrete Filled Double Skin Steel Tubes (CFDSTs) is composite structures that utilize a double section of steel filled with concrete. CFDSTs are widely used in modern building construction because it has good structural performance due to the hollow part of the steel cross-section functions as reinforcement and formwork for concrete, while concrete itself serves to eliminate or delay local bending in the hollow part of the steel cross-section and increase the ductility of the cross-section significantly. CFDST has advantages compared to composite structures of fully filled steel tubes of concrete, namely increased cross-sectional modulus, increased stability, lighter weight, better-damping characteristics, and better cyclic performance. This study analyzed the composite structure of CFDSTs type Circular Hollow Section (CHS) and Square Hollow Section (SHS) with several variations. The analysis process is carried out by modeling with finite element methods using Abaqus CAE software with a series of cyclic tests on column structures. The analysis results show that the SHS model is superior to the CHS model in terms of shear capacity values, energy dissipation and ductility ability.</i>
Diperbaiki	06 Februari 2024	
Disetujui	07 Februari 2024	

Keywords: composite, CFDSTs, earthquake, cyclic load, ductility, abaqus

Kata kunci: komposit, CFDSTs, gempa, beban siklik, abaqus

Abstrak

Concrete Filled Double Skin Steel Tubes (CFDSTs) merupakan struktur komposit yang memanfaatkan penampang baja ganda yang diisi beton. CFDSTs banyak digunakan dalam konstruksi bangunan modern karena memiliki kinerja struktural yang baik dikarenakan bagian berongga penampang baja berfungsi sebagai tulangan dan bekisting untuk beton, sedangkan beton sendiri berfungsi untuk menghilangkan atau menunda tekuk lokal pada bagian berongga penampang baja serta meningkatkan daktilitas penampang secara signifikan. CFDST sendiri mempunyai keuntungan dibandingkan dengan struktur komposit tabung baja yang terisi penuh beton yaitu peningkatan modulus penampang, peningkatan stabilitas, bobot yang lebih ringan, karakteristik redaman yang lebih baik dan kinerja siklik yang lebih baik. Penelitian ini menganalisis struktur komposit CFDSTs tipe *Circular Hollow Section (CHS)* dan *Square Hollow Section (SHS)* dengan beberapa variasi. Proses analisis dilakukan dengan melakukan permodelan dengan *finite element method* menggunakan *software Abaqus CAE* dengan serangkaian test siklik pada struktur kolom. Hasil analisis yang di peroleh menunjukkan bahwa model SHS lebih unggul dari pada model CHS dalam segi nilai kapasitas geser, mendisipasi energi dan kemampuan daktilitasnya.

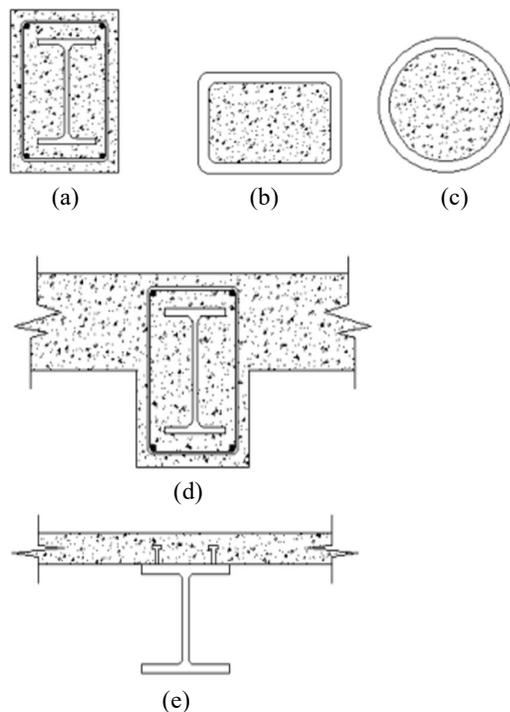
1. Pendahuluan

Sebagai salah satu negara dengan nilai frekuensi gempa yang tinggi maka pembangunan kembali struktur bangunan di Indonesia khususnya rumah tinggal sesuai keadaan semula pasca gempa membutuhkan waktu dan biaya cukup besar karena tingginya angka kerusakan. Sistem struktur komposit menjadi salah satu sistem yang dapat menjadi alternatif dan inovasi dalam pelaksanaan struktur bangunan rumah tinggal. Dari segi kecepatan dan kemudahan material komposit dapat diandalkan untuk mempercepat alur konstruksi. Dalam pengerjaan, diketahui struktur komposit menawarkan beberapa kemudahan diantaranya mereka tidak perlu menggunakan bekisting, maka dari itu jumlah tulangan bisa dikurangkan atau bisa dihilangkan, dan tidak diperlukan perkuatan [1].

Secara umum struktur komposit adalah berupa kolom baja terbungkus beton atau balok baja terbungkus beton (a/d), kolom baja berisi beton atau tiang pancang (b/c) dan balok baja yang menahan plat beton (e) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Sistem struktur komposit yang terdiri dari profil baja dan beton dengan karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik penting yang ada pada struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang ada pada struktur beton adalah mudah dibentuk, tahan terhadap api dan ekonomis [2]. *Concrete Filled Steel Tubes (CFSTs)* dan *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes (CFDSTs)* seperti pada **Gambar 2**

merupakan salah satu jenis struktur komposit yang digunakan dalam dunia konstruksi.

Concrete Filled Steel Tubes (CFSTs) adalah struktur komposit tabung baja yang terisi penuh beton sedangkan *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) adalah struktur komposit dengan penampang baja ganda diisi beton. Dimana CFSTs dan CFDSTs sudah banyak digunakan dalam konstruksi bangunan modern karena memiliki kinerja struktural yang baik dikarenakan bagian sisi berongga penampang baja berfungsi sebagai tulangan dan bekisting untuk beton, dan beton sendiri berfungsi untuk menghilangkan atau menunda tekuk lokal bagian pada berongga baja, serta meningkatkan daktilitas penampang secara signifikan.



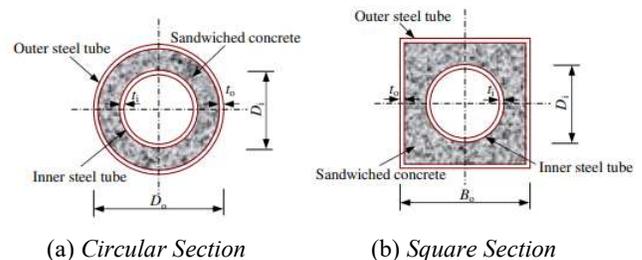
Gambar 1. Macam-macam struktur komposit [3]



Gambar 2. Contoh model – model concrete-filled tube (CFT)

dengan menggunakan Single dan double-skin tube

CFDSTs sendiri mempunyai keuntungan dibandingkan dengan CFSTs yaitu peningkatan modulus penampang yaitu peningkatan stabilitas, bobot yang lebih ringan, karakteristik redaman yang lebih baik dan kinerja siklik yang lebih baik [4]. Dengan demikian diharapkan *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) memiliki potensi untuk digunakan dalam struktur bangunan. Berikut beberapa contoh tipe struktur komposit Concrete Filled Double Skin Steel Tubes (CFDSTs) yaitu melingkar seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** (a), spesimen CFDSTs persegi seperti ditunjukkan pada **Gambar 3** (b).



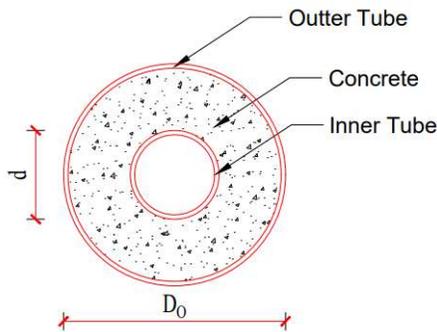
Gambar 2. *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs): (a) *Circular Section* dan (b) *Square Section* [5]

2. Metode

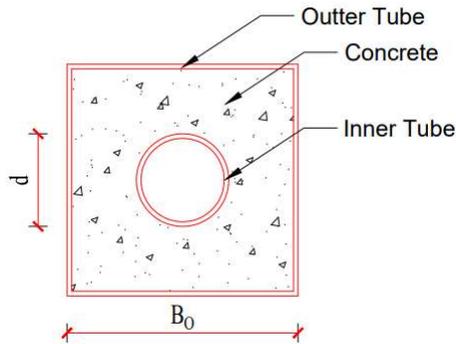
Studi ini akan menganalisis performa model struktur komposit *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) dengan modifikasi pada bentuk dan dimensi dari plat baja pada bagian *Outer* maupun *Inner* dengan kebutuhan luasan luasan plat baja yang sama. Dari modifikasi tersebut akan dianalisis nilai kapasitas geser, disipasi energi dan daktilitas.

Analisis menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* ABAQUS yaitu dengan pemberian beban siklik pada model. Beban siklik atau *Loading Protocol* yang digunakan untuk analisis pada program ABAQUS mengacu pada AISC 341-16. Analisis ini menggunakan model CFDSTs dengan tipe *Circular Hollow Section* (CHS) dengan *Outer* berbentuk lingkaran dan *Inner* berbentuk lingkaran yang ditunjukkan pada **Gambar 4** dengan tinggi model adalah 4meter sedangkan tipe *Square Hollow Section* (SHS) dengan *Outer* berbentuk persegi dan *Inner* berbentuk lingkaran yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dengan tinggi model adalah 4 meter. Untuk penampang model dilakukan kontrol sebelum melakukan running untuk mengetahui apakah material dari model SHS sudah memenuhi persyaratan yang tertera pada SNI 1729-2015 Pasal I. Hal-hal yang perlu dikontrol adalah kapasitas dari material beton dan baja yaitu kapasitas minimum beton f'_c sebesar 21 MPa, kapasitas maksimum beton f'_c sebesar 70 MPa dan kapasitas maksimum baja f_y

sbesar 525 MPa. Kapasitas material yang akan digunakan pada model yaitu kuat tekan material beton adalah 35 MPa dan kuat tekan material maha adalah 343 MPa, jadi memenuhi persyaratan SNI 1729-2015 Pasal I. Selain kapasitas material juga dilakukan kontrol terhadap luas minimum penampang profil baja dengan menghitung luas penampang baja dengan menggunakan persamaan 1, kemudian dihitung luas dari penampang beton dengan persamaan 2, dari kedua hasil luasan penampang tersebut akan diperoleh nilai persentase luas penampang material baja model dengan persamaan 3 dengan kontrol minimum luasan penampang baja adalah 4% sesuai yang disyaratkan pada SNI 1729-2015 Pasal I.



Gambar 4. Sketsa Gambar Circular Hollow Section (CHS) CFDSTs



Gambar 5. Sketsa Gambar Square Hollow Section (SHS) CFDSTs

$$A_s = (B_0^2 - (B_0 - 2t_o) \times (B_0 - 2t_o)) + \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times (d - 2t_o)^2\right) \tag{1}$$

$$A_c = (B_0 - 2t_o)^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times (d)^2 \tag{2}$$

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} = \frac{6391.5}{49750 + 6391.5} \times 100 \% \tag{3}$$

Preliminary design dimensi masing-masing model CFDSTs tipe SHS dan CHS ada pada Tabel 3 yang diperoleh dari hasil perhitungan kontrol penampang digunakan sebagai

penggambaran part pada software ABAQUS dapat dilakukan dengan langsung menggambar dengan memasukan masing-masing koordinat dari penampang atau dapat dengan import gambar dari software AUTOCAD, kemudian disatukan part-part yang telah dibuat menjadi satu model spesimen dengan modul Assembly. Geometri secara detail dapat dilihat secara 2D terdapat pada Gambar 4 dan Gambar 5 sedangkan permodelan 3D ABAQUS ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 yang sekaligus merupakan meshing untuk pendetailan atau keakuratan dalam analisis. Tipe elemen yang digunakan adalah Hexahedral dengan ukuran 50 mm.

Pendefinisian jenis material beton yang digunakan dalam model ini menggunakan beton biasa dengan mutu 35 Mpa didefinisikan dengan menggunakan konsep Concrete Damaged Plasticity (CDP) [6] yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan pada Tabel 2 menjelaskan parameter material baja yang akan digunakan dalam analisis pada software ABAQUS.

Tabel 1. Data Material Perilaku beton dalam ABAQUS

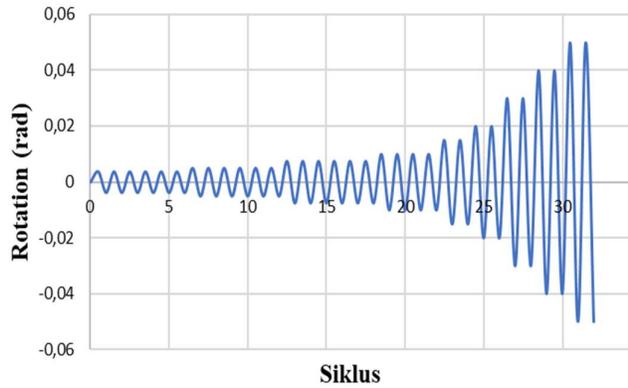
Parameter	Nilai
Berat jenis (ton/m ³)	2,3544 x 10 ⁻⁹
Modulus Young (MPa)	23944
Poisson Ratio	0,19
Eccintricity	0,1
fb/fco	1,16
K	0,6667
Derajat Keruntuhan	36
Visikositas	0

Tabel 2. Data Material Perilaku baja dalam ABAQUS

Parameter	Nilai
Berat jenis (ton/mm3)	7,70085 x 10 ⁻⁹
Modulus Elastisitas (MPa)	200000
Poisson Ratio	0,3
Fy (Mpa)	343
Fu (Mpa)	411,6

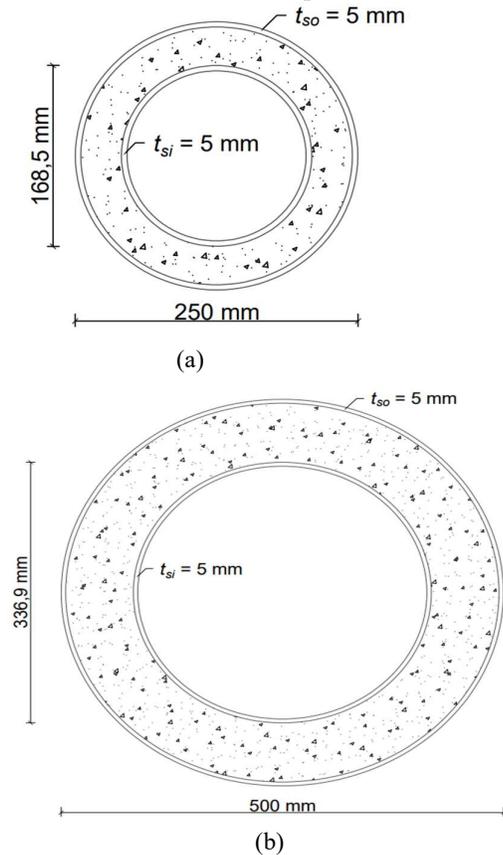
Step pembebanan yang dilakukan model diberi peletakan Boundary Condition (BC) pada ujung bawah kolom yang mendefinisikan tumpuan, dan ujung atas kolom yang mendefinisikan letak dari pemberian beban siklik. Untuk Boundary Condition (BC) dengan perlakuan Free Boundary untuk area plat ujung atas dan Fixed Boundary pada bagian plat ujung bawah ditunjukkan pada Gambar 7. Selanjutnya diberi nilai amplitudo sesuai dengan Loading Protocol yang mengacu pada AISC 341-16. Proses pembebanan diawali dengan memberi beban dorong sebesar 0,00375 rad yang dilakukan secara bertahap. Total beban siklik selama proses analisis adalah sebanyak 32 siklus, yang terdiri dari 32

tarikan dan 32 dorongan. Pada **Gambar 8** menunjukkan detail dari rincian nilai *Loading Protocol*.

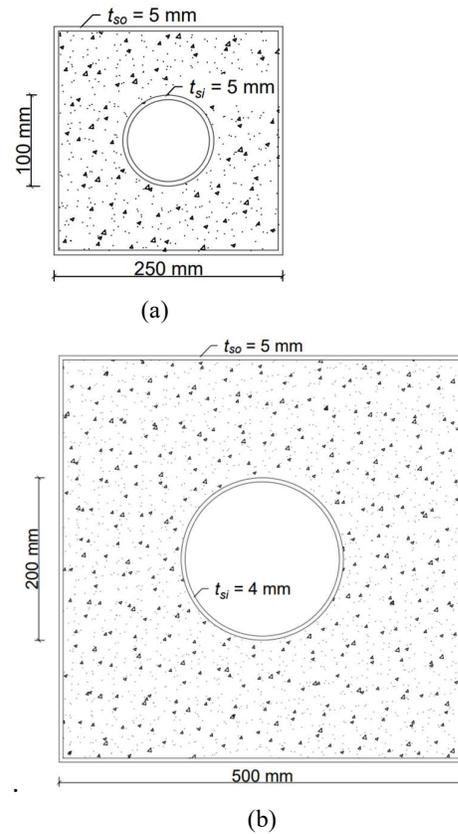


Gambar 8. *Loading Protocol* AISC 341-16

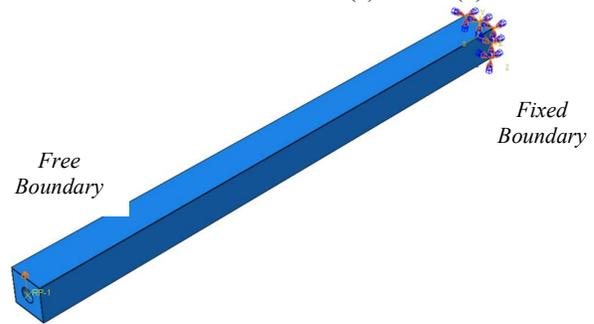
Evaluasi hasil analisis modifikasi pemodelan terdiri dari perbandingan respon terhadap kapasitas geser, kurva histeresis, disipasi energi dan daktilitas pada model. Selanjutnya dibandingkan performa masing-masing variasi model CFDSTs tipe SHS sehingga diperoleh hasil yang direkomendasikan berdasarkan parameter evaluasi.



Gambar 5. Detail 2D model CHS (a) CHS-1 dan (b) SHS-1



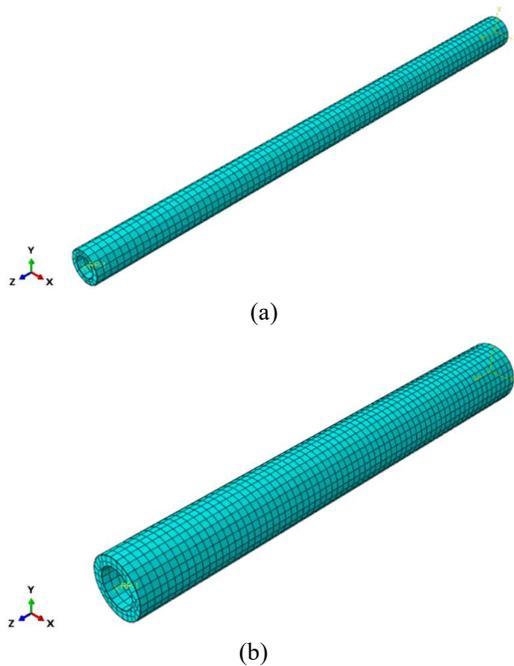
Gambar 6. Detail 2D model SHS (a) SHS-1 (b) SHS-2



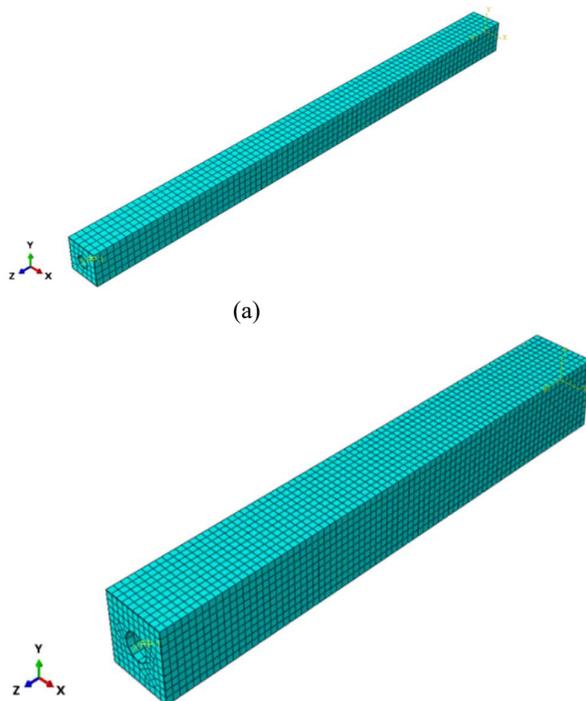
Gambar 7. Perletakan *Boundary Condition* model

Tabel 3. Dimensi model CFDSTs

No.	Nama Model	Outer tube dimensions D(B) × t _{so} (mm)	Inner tube dimensions d × t _{si} (mm)	Hollow Ratio χ	h (mm)
1	CHS-1	Φ250 × 5	Φ168.5 × 5	0,7	4000
2	CHS-2	Φ500 × 5	Φ100 × 5	0,7	4000
3	SHS-1	Φ-250 × 5	Φ100 × 5	0,4	4000
4	SHS-2	Φ-500 × 5	Φ200 × 5	0,4	4000



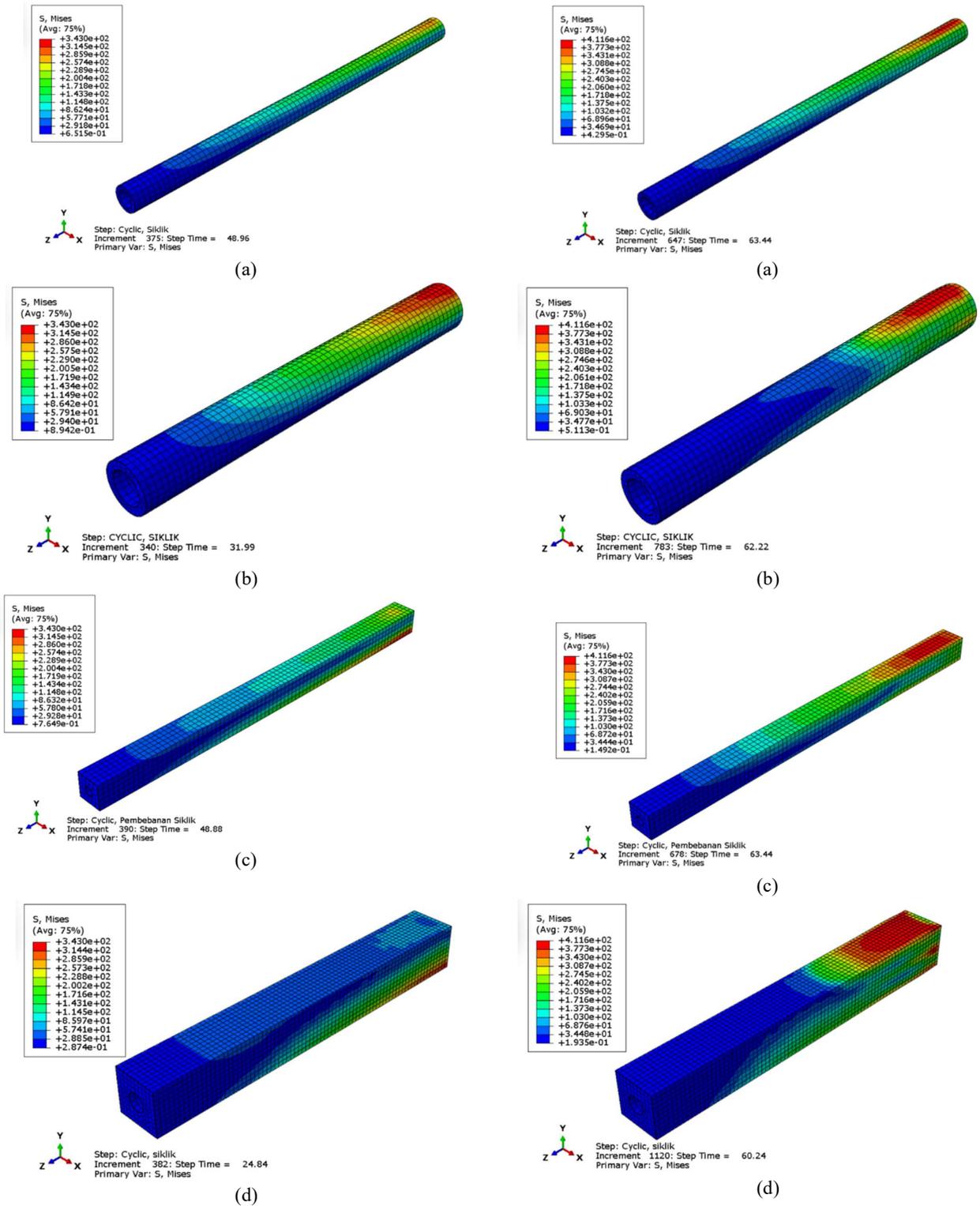
Gambar 7 Pemodelan ABAQUS dan *Meshing* model (a) CHS-1 dan (b) CHS-2



Gambar 8. Pemodelan ABAQUS dan *Meshing* model (a) SHS-1 dan (b) SHS-2

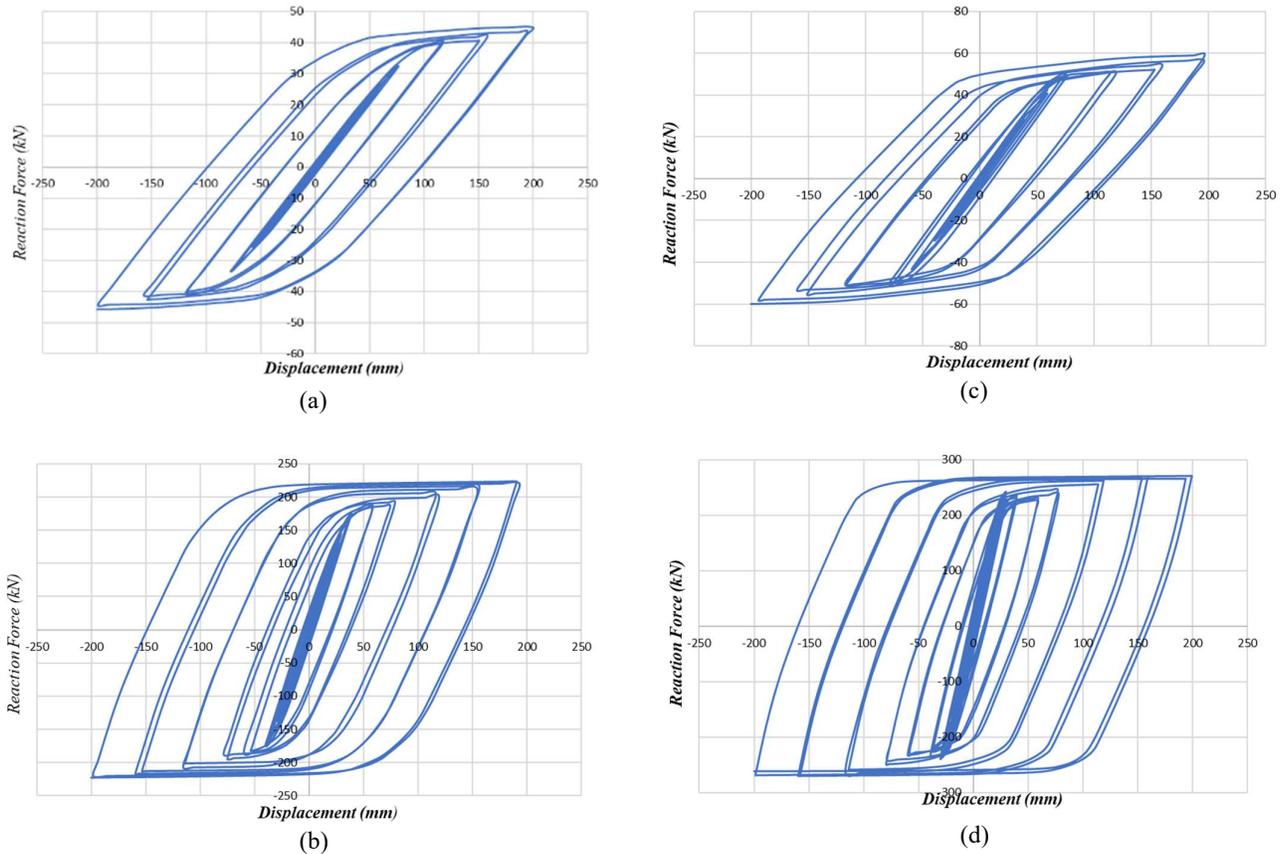
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil distribusi tegangan pada kolom model CFDSTs tipe SHS akibat beban lateral ditunjukkan pada **Gambar 9** yaitu tegangan ketika mencapai nilai leleh pertama (f_y) dan **Gambar 10** yaitu tegangan ketika mencapai nilai ultimate (f_u). Pada model CHS-1, elemen *Outer Steel* model telah mencapai tegangan leleh pertama (f_y) dengan nilai maksimum 343 MPa pada step ke 48,96 dengan nilai deformasi sebesar 74,02 mm atau setara dengan 0,01849 rad, dan menyerap gaya sebesar 26,4536 kN. Sedangkan pada model SHS-1, elemen *Outer Steel* model telah mencapai tegangan leleh pertama (f_y) dengan nilai maksimum 343 MPa pada step ke 48,88 dengan nilai deformasi sebesar 62,76 mm atau setara dengan 0,01568 rad, dan menyerap gaya sebesar 44,9126 kN. Model CHS-2, elemen *Outer Steel* model telah mencapai tegangan leleh pertama (f_y) pada step ke 31,99 dengan nilai deformasi sebesar 29,53 mm atau setara dengan 0,007379 rad, dan menyerap gaya sebesar 147,5262 kN. Sedangkan pada model SHS-2, elemen *Outer Steel* model telah mencapai tegangan leleh pertama (f_y) pada step ke 24,48 dengan nilai deformasi sebesar 22,07 mm atau setara dengan 0,0055 rad, dan menyerap gaya sebesar 189,9384 kN. Pada analisis ini diketahui bahwa elemen *Outer Steel* mengalami pelepasan dan mencapai kondisi plastis terlebih dahulu pada sisi ujung bawah kolom dan sisi bagian atas kolom masih dalam kondisi elastis terlihat pada **Gambar 9**. Sedangkan untuk model CFDST pada elemen *Outer Steel* model telah mencapai tegangan *ultimate* dengan nilai maksimum sebesar 411.6 MPa untuk model CHS-1 pada step ke 63,25 ketika mengalami deformasi sebesar 23,74 mm atau setara dengan 0,00593 rad, dan menyerap gaya sebesar 27,9939 kN. Sedangkan pada model SHS-1 terjadi pada step ke 63,44 ketika mengalami deformasi sebesar 22,42 mm atau setara dengan 0,00557 rad, dan menyerap gaya sebesar 46,4186 kN. Model CHS-2 terjadi pada step ke 62,22 ketika mengalami deformasi sebesar 110,3 mm atau setara dengan 0,02755 rad, dan menyerap gaya sebesar 130,0007 kN. Sedangkan pada Model SHS-2 terjadi pada step ke 60,24 ketika mengalami deformasi sebesar 72,21 mm atau setara dengan -0,01803 rad, dan menyerap gaya sebesar 218,885 kN. Diketahui bahwa dari keseluruhan model tegangan tertinggi yang terkonsentrasi pada bagian sisi ujung bawah kolom hal ini dapat mengindikasikan bahwa kolom mengalami *Buckling* pada daerah sendi plastis ditunjukkan pada **Gambar 10**. Hasil dari permodelan juga berupa kurva Histeresis yang diperoleh dengan mengkombinasikan nilai *Displacement* (U) pada sumbu x dan *Reaction Force* (RF) pada sumbu y. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11**. merupakan perbandingan perbandingan kurva histeresis model CFDSTs tipe CHS dan SHS.



Gambar 9. Tegangan pada model CFDSs ketika mencapai nilai leleh pertama (a) CHS-1, (b) CHS-2, (c) SHS-1 dan (d) SHS-2.

Gambar 10. Tegangan pada model CFDSs ketika mencapai nilai ultimate (a) CHS-1, (b) CHS-2, (c) SHS-1 dan (d) SHS-2.



Gambar 11. Perbandingan kurva Histeresis Model CFDSTs tipe (a) CHS, (b) CHS-2, (c) SHS-1 dan (d) SHS-2

Dari kesemua model nilai *Reaction Force* maksimum terjadi pada kondisi *displacement* 200 mm yang merupakan siklus maksimum pembebanan siklik terhadap model kecuali model tipe SHS-2 dengan nilai *Reaction Force* maksimum terjadi pada kondisi *displacement* 159,796 mm yang kemudian mengalami penurunan nilai *Reaction Force* hingga siklus terakhir. Kurva *backbone* yang ditunjukkan pada **Gambar 12** dan **Gambar 13** adalah perbedaan performa yang dimiliki oleh model CFDSTs untuk menggambarkan beban maksimum pada setiap tahap pembebanan diberikan. Dapat diketahui dari kesemua model CFDSTs bahwa model dengan tipe SHS dengan bagian *outter* berbentuk persegi memiliki performa nilai *Reaction Force* maksimum yang lebih tinggi dari pada model CFDSTs tipe CHS dengan bagian *outter* berbentuk lingkaran. Selisih perbandingan nilai *Reaction Force* maksimum model CHS-1 dengan SHS-1 adalah sebesar 24,169 % sedangkan selisih perbandingan nilai *Reaction Force* maksimum model CHS-2 dengan SHS-2 sebesar 17,63 % yang dapat kita lihat pada **tabel 4**.

Dengan dimensi model CHS-1 dan SHS-1 diperbesar dua kali lipat menjadi model CHS-2 dan SHS-2 pada penampang bagian *Outter* dan *inner* didapatkan kenaikan nilai *Reaction Force* maksimum model CHS meningkat sebesar 79,55% sedangkan pada model SHS nilai peningkatan lebih kecil yaitu sebesar 77,79%. Model CFDSTs tipe SHS memiliki kekakuan awal yang lebih baik dibandingkan dengan model CHS namun performa kenaikan nilai *Reaction Force* dari model CHS lebih stabil dari pada model SHS seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.

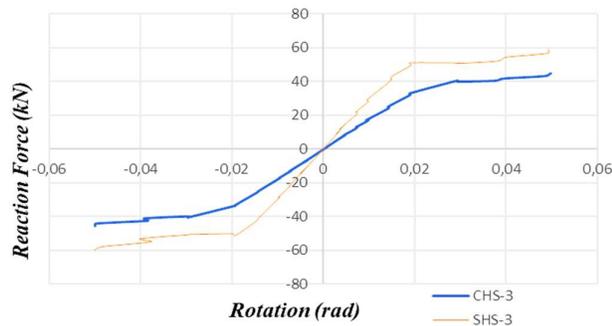
Energi disipasi diperoleh dengan menghitung luasan pada kurva histeresis. Dapat dilihat pada **Tabel 4** bahwa model Performa daktilitas pada model CFDSTs diperoleh dari hasil dari rasio perbandingan deformasi ketika model mencapai nilai *Reaction Force* maksimum dengan deformasi ketika kondisi awal mengalami pelelehan. Dapat dilihat pada **Tabel 5** bahwa model CFDSTs tipe SHS memiliki performa daktilitas lebih baik dari pada model tipe CHS. Perbandingan nilai daktilitas antara model tipe SHS-1 dengan CHS-1 adalah 15,20% sedangkan perbandingan nilai untuk daktilitas antara model tipe CHS-2 dengan CHS-2 adalah 6,453%. Dari

keseluruhan hasil analisis menunjukkan bahwa model CFDSTs tipe SHS memiliki performa yang lebih unggul dari pada

model CHS dalam segi nilai kapasitas geser, men-disipasi energi dan daktilitasnya.

Tabel 4. Nilai *Reaction Force* maksimum dan Disipasi Energi Model CFDSTs

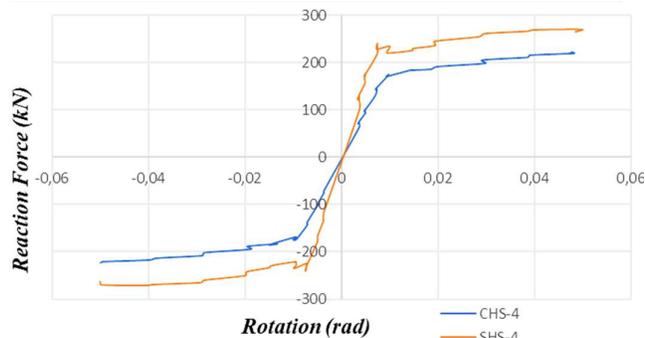
Model	Dimensi		<i>Reaction Force</i> Maksimum (kN)	Disipasi Energi (kNm)
	<i>Outter</i>	<i>Inner</i>		
CHS-1	$\Phi 250 \times 5$	$\Phi 168.5 \times 5$	45,5 844	16,3637
CHS-2	$\Phi 500 \times 5$	$\Phi 336.9 \times 5$	222,955	124,654
SHS-1	$\Phi -250 \times 5$	$\Phi 100 \times 5$	60,1135	24,1845
SHS-2	$\Phi -500 \times 5$	$\Phi 200 \times 5$	270,674	166,793



Gambar 12. Perbandingan kurva Backbone pemodelan CFDSTs tipe CHS-1 dan SHS-1

Tabel 5 Nilai daktilitas model CFDSTs

Spesimen	Δ saat leleh pertama (mm)	Δ saat mencapai RF maks (mm)	Daktilitas
CHS-1	73,969	200	2,704
CHS-2	62,726	200	3,188
SHS-1	29,516	200	6,776
SHS-2	22,061	159,796	7,243



Gambar 13. Perbandingan kurva Backbone pemodelan CFDSTs tipe CHS-2 dan SHS-2

4. Simpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan dalam penelitian dengan pemodelan ABAQUS ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) tipe *Square Hollow Section* (SHS) memiliki keunggulan performa lebih baik dalam menyerap *Reaction force* yaitu lebih besar 18,82 % dari tipe *Circular Hollow Section* (CHS).
2. Dari kesemua model nilai *Reaction Force* maksimum diperoleh pada siklus terakhir dalam kondisi *displacement* 200 mm atau 0,5 rad kecuali model SHS-2 dengan nilai *Reaction Force* maksimum 270,634 kN terjadi pada kondisi *displacement* 159,796 mm atau 0,03995 yang selanjutnya mengalami penurunan hingga siklus terakhir pada kondisi *displacement* 200 mm menjadi 262,036 kN .
3. Performa nilai disipasi energi dari kesemua model *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) berkaitan dengan nilai *Reaction Force* atau nilai kapasitas geser yang diperoleh dari hasil analisis. Dimana semakin besar nilai *Reaction Force* atau nilai kapasitas geser, maka energi disipasi yang diserap oleh struktur semakin besar, sehingga model CFDSTs tipe *Square Hollow Section* (SHS) mempunyai nilai disipasi energi lebih besar dibandingkan dengan model CFDSTs dengan tipe *Circular Hollow Section* (CHS), dengan selisih perbandingan rata-rata nilai disipasi energi masing-masing model adalah sebesar 26,16%.
4. Model *Concrete Filled Double Skin Steel Tubes* (CFDSTs) tipe *Square Hollow Section* (SHS) mempunyai nilai daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan model tipe *Circular Hollow Section* (CHS) dengan selisih rata-rata perbandingan performa daktilitas sebesar 9,13%.

Daftar Pustaka

- [1] M. Johansson and K. Gylltoft. "Mechanical Behavior of Circular Steel-Concrete Composite Stub Columns,". *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 8, August, pp. 1073-108. 2002.
- [2] K. D. Kim, "A Database for Composite Columns", *M.S. thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia*. 2005
- [3] SNI1729-2015, Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural" Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2015.
- [4] L. H. Han, et al. Concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) beam-columns subjected to cyclic bending. *J Constr Steel Res*, vol 28, May 2006.
- [5] L. H. Han, et al. "Concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) columns subjected to long-term sustained loading". *J Constr Steel Res*, vol. 49, August 2011.
- [6] P. Kmiciek, M. Kaminski. "Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration" *Wroclaw University of Technology, Wybrzeze Wyspianskiego 25, 50-370 Wroclaw, Poland*. 2011
- [7] J. M. Davies. "Design of Thin-Walled Beams for Distortional Buckling." *Proceedings of the Thirteenth International Specialty Conference on Cold Formed Steel Structures*, 141-154, St. Louis Missouri, 1996.
- [8] AISC341. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC. 2016.
- [9] Y. W. Huang et al.. Experimental study on seismic behavior of concrete-filled steel tube columns under pure torsion and compression-torsion cyclic load. *J Constr Steel Res*, vol. 79, March 2012.
- [10] Ju Chen, Jun Wang, Fang Xie, and Wei-Liang Jin, "Behavior of Thin Walled Dodecagonal Section Double Skin Concrete Filled Steel Tubes Under Bending". *J Constr Steel Res*, vol. 8. January 2015.
- [11] J. Bathe . Finite Element Procedures. *United States of America: Prentice Hall*. 2012.
- [12] MIT. Finite Element Method. Retrieved from www.mit.edu. 2012

Halaman ini sengaja dikosongkan