

**TESIS**

**KAJIAN PERILAKU BUKAAN OVAL BALOK BAJA KASTELEA  
TERHADAP BEBAN LATERAL SIKLIK**



**JEORGINO JOSE SARMENTO**

**No. Mhs : 175102700 /MTS**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

**2019**



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

---

PENGESAHAN TESIS

Nama : Jeorgino Jose Sarmento  
Nomor Mahasiswa : 175102700/PS/MTS  
Kosentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Kajian Perilaku Buka-an Oval Balok Baja Kastela  
Terhadap Beban Lateral Siklik

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda Tangan
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng.	22/7/2019	
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, PhD.	23/07/2019	



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Jeorgino Jose Sarmento  
Nomor Mahasiswa : 175102700/PS/MTS  
Kosentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Kajian Perilaku Buka-an Oval Balok Baja Kastela  
Terhadap Beban Lateral Siklik

Nama Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng. (Ketua)	22/7/2019	
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, PhD. (Anggota)	23/07/2019	
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng, (Anggota).	23/07/2019	

Ketua Program Studi  
  
Dr. Ir. Imam Basuki M.T  
PROGRAM PASCASARJANA

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

### **KAJIAN PERILAKU BUKAAN OVAL BALOK BAJA KASTELE TERHADAP BEBAN LATERAL SIKLIK**

Merupakan karya pendalaman akademik saya sendiri dan bukan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide atau pendapat berupa data hasil penelitian maupun kutipan-kutipan baik secara langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau pendapat orang lain dinyatakan secara tertulis dalam tesis ini merupakan hasil plagiasi maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada rektor Universitas Atmajaya Yogyakarta.

Yogyakarta,



Penulis

(Jeorgino Jose Sarmento)

## PERSEMBAHAN

Kupersembahkan tesis ini untuk orang tercinta dan tersayang atas kasihnya yang berlimpah

Teristimewa tuhan ku Yesus Kristus, Bunda Maria, ayah dan ibu, istri dan anak ku serta nenek ku tersayang yang paling saya kagumi Isabel Lourdes yang baru 9 bulan kembali ke pangkuan sang pencipta keluarga besar ku yang saya tak bisa sebut satu persatu yang tersayang, terkasih, dan terhormat.

Kupersembahkan tesis ini kepada kalian atas kasih sayang dan bimbingan selama ini sehingga saya dapat menyelesaikan tesis dengan baik. Banyak sekali hal yang saya ungkapkan, tetapi tidak dapat dituliskan satu persatu. semoga hasil dan perjuangan saya selama ini dapat berbuah hasil yang manis.

Satu lagi yang telah terlewat, cita-cita dan harapan besar demi masa depan selalu dalam doa, dengan penuh harapan... perjuangan makin sulit, beban makin berat, tanggung jawab makin banyak silih berganti, namun saya percaya tuhan pasti sanggup selalu menjaga dan membimbing saya.

## INTISARI

Perkembangan teknologi di Timor Leste dalam dunia konstruksi terus menerus mengalami peningkatan, khususnya bangunan yang menggunakan material baja. Baja banyak digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi maupun bangunan yang berbentuk lebar. Balok baja kastela merupakan salah satu item penting dalam pesatnya perkembangan industri pembangunan saat ini, sehingga baja kastela mulai banyak digunakan oleh para insinyur sebagai penopang struktur gedung maupun bentangan panjang, karena kastela mempunyai kualitas pengelasan atau ekonomisnya fabrikasi serta peningkatan peralatan secara otomatis. Balok baja kastela dengan bentuk lubang bukaan oval merupakan elemen struktur dengan daktilitas tinggi, yang mengalami beberapa siklus plastis akibat variasi pembebanan  $\Delta_y$  secara siklis yang mewakili beban gempa ekstrim. Pembebanan dibawah batas maksimum pada balok kastela dengan bukaan oval, untuk pembebanan meningkat  $1\Delta_y$ ,  $4\Delta_y$  semakin besar peningkatan beban siklik maka presentase penurunan energy (*reaction force*) meningkat, dan jumlah siklus plastis sebelum mengalami keruntuhan semakin berkurang, sedangkan pembebanan untuk  $8\Delta_y$  dan  $12\Delta_y$  mengalami penurunan energy yang besar karena dipengaruhi oleh terjadi bucling pada balok baja. Untuk tegangan triaksilitas (*triax*) dengan pepadahan  $1\Delta_y$ ,  $4\Delta_y$ ,  $8\Delta_y$ ,  $12\Delta_y$  relatif constant sedangkan *plastic strain equivalent* (PEEQ) terakumulasi selama pembebanan Daktilitas *fracture* diperkirakan terjadi pada 2593 detik.

**Kata kunci** :kajian perilaku bukaan oval balok kastela dengan pembebanan siklik dan mencari fracture pada bukaan balok kastela

## ABSTRACT

Technological developments in Timor Leste in the world of construction have continued to increase, especially buildings that use steel material. Steel is widely used for high-rise buildings and wide-spread buildings. Castelated steel beams are an important item in the rapid development of the development industry today, so castelated steel is widely used by engineers as a support for building structures and long stretches, because it has the quality of welding or economical fabrication and automatic equipment upgrades. Castelated steel beams with oval opening holes are high ductal structural elements, which experience several plastic cycles due to variations in cyclic loading representing extreme earthquake loads. The load is below the maximum limit on castellar beams with oval openings, for loading to increase  $1\Delta_y$ ,  $4\Delta_y$  the greater the increase in cyclic load, the percentage reduction in energy (reaction force) increases, and the number of plastic cycles before killing, while loading for  $8\Delta_y$  and  $12\Delta_y$  decreases large energy because it is influenced by the occurrence of bucling on steel beams For triaxility (triax) with displacement  $1\Delta_y$ ,  $4\Delta_y$ ,  $8\Delta_y$ ,  $12\Delta_y$  relatively constant whereas plastic starin equivalent (PEEQ) accumulates during loading Fracture reactivity is estimated to occur in 2593 seconds.

Keywords :study of the behavior of castellar oval openings with cyclic loading and search for fractures in castellar beam openings



## KATA HANTAR

Puji syukur dan terimakasih kepada Tuhan yang Maha Esa senantiasa melimpahkan rahmat-nya, sehingga penyusunan tesis dengan judul **KAJIAN PERILAKU BUKAAN OVAL BALOK BAJA KASTELA TERHADAP BEBAN LATERAL SIKLIK** ini dapat dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan kemasteran Strata-2 di jurusan Teknik Sipil konsentrasi Struktur di Universitas Atmajaya Yogyakarta (UAJY).

Dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas bantuan banyak pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu dengan ketulusan hati penyusun mengucapkan terimah kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Iman Basuki M.T, selaku ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Yogyakarta
2. Bapak Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng. selaku Dosen pembimbing 1 yang telah begitu besar serta memberikan begitu banyak bantuan, masukan-masukan dan dorongan dalam melakukan penelitian dan penyusunan hingga terselesainya tesisin
3. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., ph.D selaku Dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan sampai terselesainya tesis ini
4. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan sehingga penyususna maupun isi dari tesis ini menjadi lebih baik
5. Segenap dosen Magister Teknik Sipil Universitas Atmaja Yogyakarta yang telah benswürdia mendidik, mengajar, berbagai ilmu dengan penulis



6. Kepada Universitas Oriental Timor Lorosae (UNITAI) yang telah memberi kesempatan untuk melanjutkan Program Magister Teknik Sipil
7. Bapak dan mama selaku motivator utama yang selalu mendoakan ku terima kasih atas segala perhatian dan dukungan selama ini
8. Special kepada istri dan anakku Clevio Miguele Jose Sarmento yang selalu mendoakan dan memberi motivasi selama ini
9. Kak Aje, Ajina, Adelu, Adiventu, Domingos alias Sendiri dan adik noi, acoi, adina, ajeni, fredy, ova, dan adiiik ku special sendiri junior tersayang yang selalu memberi support.
10. Om Juli, Lindo, Naldo, Cardy, Rita, Abrao, Zita, Amanu, Agus, Dev, Ina, Ela, Yeni, yang selama ini memberikan motivasi dan dorongan
11. Keluarga Fresco Iliomar dijogja yang tidak saya sebutkan satu persatu
12. Kepada teman-teman Jurusan teknik Sipil, Ana Riky, Jef, Gil yang selama ini telah membantu secara moril maupun materil.

Penyusun menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyusun karya selanjutnya.

Akhir kata semoga tesis ini dapat memberi manfaat bagi semua yang memerlukannya.

Yogyakarta, Juli 2019

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
INTISARI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA HANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan masalah.....	4
1.4. Keaslian Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
1.6. Tujuan Penelitian .....	5

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	6
 <b>BAB III TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	12
3.1. Baja .....	12
3.1.1. Tegangan Multiaksial .....	17
3.1.2. Displacement (Lendutan).....	17
3.1.3. Daktalitas Balok.....	18
3.2. Balok Katela.....	18
3.3. Macam-Macam Balok Katela .....	20
3.4. Jenis-jenis Kegagalan Balok Kastela .....	29
3.5. Analisis Numerik Abaqus` .....	30
3.6. Komponen Utama Pada Windows Abaqus/CEA 6.14.....	31
3.7. Pembebanan Siklik.....	33
3.8. Disipasi Energi Damping Force .....	34
3.9. Plastisitas Baja .....	36
3.10. Plastisitas Elasto Isotropic.....	38
3.11. Potensi Tegangan Untuk Plastisitas Logam Anisotropic .....	42
3.12. Metode Elemen Hingga.....	45
 <b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	47
4.1. Metode Penelitian .....	47
4.2. Alat dan Bahan.....	47
4.3. Desain Benda Uji .....	48
4.4. Input Data Material .....	49
4.5. Diagram Alir Penelitian .....	51
4.6. Jadwal Penelitian .....	52

<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
5.1. Karakteristik Material .....	53
5.2. Analisis Balok Kastela Dengan Sofwer Abaqus.....	54
5.2.1. Part .....	54
5.2.2. Property .....	56
5.2.3. Assembly.....	59
5.2.4. interaction.....	61
5.2.5. Step.....	65
5.2.6. Load.....	68
5.2.7. Mesh.....	77
5.2.8. Penentuan $\Delta_y$ .....	79
5.3. Analisis Kinerja Balok kastela .....	85
5.3.1. Reaction Force vs Lateral Displacement.....	85
5.3.2. Sterss Triaxialiy vs Plastic Strain Equivalent .....	89
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>94</b>
6.1. Kesimpulan .....	94
6.2. Saran.....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>96</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>99</b>

## DAFTAR GAMBAR

3.1.	Kurva hubungan tegangan ( $f$ ) versus regangan ( $e$ ).....	13
3.2.	Kurva hubungan tegangan ( $f$ ) vs regangan yang diperbesar .....	14
3.3.	Terminologi desain balok baja kastela .....	19
3.4.	Balok baja kastela heksagonal.....	21
3.5.	Balok baja kastela circular .....	22
3.6.	Keseimbangan gaya pada bukaan.....	23
3.7.	Kasus tekuk torsi leteral .....	26
3.8.	Penampang balok setelah mengalami tekuk.....	27
3.9.	Komponen pada tampilan utama software Abaqus .....	33
3.10.	Siklus pembebanan berdasarkan control lendutan .....	34
3.11.	Observed hysteresis and envelope curve.....	35
3.12.	Beckbone curve dari pembebanan monotonic dan siklik.....	35
4.1.	Sketsa benda uji CB1.....	49
5.1.	Pemodelan balok pada tahap part.....	55
5.2.	Pemodelan balok IWF 170x100 pada tahap part.....	55
5.3.	Input spesifikasi material baja menggunakan create material .....	56
5.4.	Input penampang material menggunakan create section.....	57
5.5.	Penentuan jenis material balok menggunakan assign section .....	58
5.6.	Penentuan jenis material untuk tumpuan.....	58
5.7.	Proses pembuatan balok tumpuan dan oval.....	59
5.8.	Proses pembuatan bukaan pada balok .....	60
5.9.	Proses pembentukan balok kastela .....	60
5.10.	Proses surface antara balok dan tumpuan.....	61
5.11.	Proses sambungan antara balok ke tumpuan .....	62
5.12.	Set untuk beban titik dan beban garis .....	63
5.13.	Set untuk titik atas, titik bawah, dan titik tengah .....	64
5.14.	Pengaturan equivalent beban titik dan beban garis .....	65
5.15.	Pengaturan basic pada edit shape .....	66

5.16.	Pengaturan incrementation pada edit stape .....	66
5.17.	Pengaturan history output U dan RF .....	67
5.18.	Pengaturan history output S .....	68
5.19.	Proses create boundry condition untuk tumpuan jepit .....	69
5.20.	Proses membatasi arah gerak .....	70
5.21.	Proses create amplitude .....	76
5.22.	Proses penentuan perpindahan siklik .....	77
5.23.	Proses penentuan ukuran mesh.....	78
5.24.	Meshing balok kastela dengan plat tumpuan .....	78
5.25.	HasilBebanFix pada job manager.....	79
5.26.	Proses analisis abaqus pada monitor .....	80
5.27.	Proses history output dalam tahap visualization .....	81
5.28.	Proses pembentukan kurva hysteresis .....	82
5.29.	Data kurva hysteresis.....	83
5.30.	Kurva hysteresis arah X dan arah Y .....	83
5.31.	Penentuan kurva titik luluh.....	84
5.32.	Kurva hysteresis akibat pembebanan siklik $1\Delta_y$ .....	85
5.33.	Kurva hysteresis akibat pembebanan siklik $4\Delta_y$ .....	86
5.34.	Kurva hysteresis akibat pembebanan siklik $8\Delta_y$ .....	87
5.35.	Kurva hysteresis akibat pembebanan siklik $12\Delta_y$ .....	88
5.36.	Kurva triax vs PEEQ $1\Delta_y$ .....	89
5.37.	Kurva triax vs PEEQ $4\Delta_y$ .....	90
5.38.	Kurva triax vs PEEQ $8\Delta_y$ .....	90
5.39.	Kurva triax vs PEEQ $12\Delta_y$ .....	91
5.40.	Kurva prediksi daktilitas fracture .....	92
5.41.	Kurva prediksi daktilitas fracture $1\Delta_y$ .....	92

## DAFTAR TABEL

3.1.	Sifat-sifat mekanis baja .....	16
4.1.	Geometri benda uji .....	48
5.1.	Data perpindahan siklik.....	71





## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Grafik tabel 5.1 .....	99
LAMPIRAN 1. Grafik kurva displacement dari software Abaqus.....	99
LAMPIRAN 2. Grafik kurva force dari software Abaqus.....	100
LAMPIRAN 2. Grafik kurva hysteresis dari software Abaqus .....	100
LAMPIRAN 3. Grafik kurva strain dari software Abaqus.....	101
LAMPIRAN 3. Grafik kurva stress dari software Abaqus.....	101

