

TESIS - RC142501

STUDI PERILAKU PADA SAMBUNGAN RECTANGULAR CONCRETE FILLED TUBES (RCFT) DENGAN METODE FINITE ELEMENT

CINTANTYA BUDI CASITA NRP 3115 202 011

Dosen Pembimbing Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER JURUSAN TEKNIK SIPIL PROGRAM PASCASARJANA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017



TESIS - RC142501

STUDI PERILAKU PADA SAMBUNGAN RECTANGULAR CONCRETE FILLED TUBES (RCFT) DENGAN METODE FINITE ELEMENT

CINTANTYA BUDI CASITA NRP 3115 202 011

Dosen Pembimbing Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER JURUSAN TEKNIK SIPIL PROGRAM PASCASARJANA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh: Cintantya Budi Casita NRP. 3115 202 011

: 13 Januari 2017 Tanggal Ujian Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

M.

1. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D. NIP. 19730128 1998 021 002

Prof. Ir. Privo Suprobo, M.S., Ph.D. NIP, 19590911 1984 031 001

3. Harun Alrasyid, S.T., M.T., Ph.D. NIP. 19830808 2008 121 005

(Dosen Pembimbing)

(Dosen Penguji I)

(Dosen Penguji II)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. NIP. 19601202 1987 011 001

STUDI PERILAKU PADA SAMBUNGAN RECTANGULAR CONCRETE FILLED TUBES (RCFT) DENGAN METODE FINITE ELEMENT

Nama Mahasiswa	: Cintantya Budi Casita
NRP	: 3115202011
Jurusan	: Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing	: Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

Abstrak

Sambungan adalah elemen yang sangat penting dalam desain dan konstruksi bangunan tahan gempa. Kegagalan atau keruntuhan bangunan pasca gempa ditentukan oleh kualitas sambungan. Pemilihan sambungan yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin terjadinya sendi plastis pada daerah balok.

Studi ini membahas tentang perilaku dari dua tipe sambungan kolom RCFT dengan balok baja saat diberi beban siklik dengan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga ABAQUS 6.14. Pemodelan ini meliputi pemodelan sambungan RCFT dengan jenis sambungan las menggunakan *shear tab*. Terdapat 2 tipe sambungan: RR-1 dan RB-1, yang meliputi sambungan RCFT dengan dan tanpa RBS. Hasil yang diperoleh dari studi ini menunjukkan bahwa sambungan dengan menggunakan RBS memiliki performa yang lebih baik. Karena dengan adanya RBS, letak sendi plastis dapat direncanakan dan dapat dipastikan bahwa sendi plastis pertama terjadi lebih dulu dan dapat menjamin bahwa sendi plastis terbentuk di daerah RBS yang letaknya jauh dari daerah kolom, serta memiliki nilai daktilitas lebih besar dibandingkan tanpa RBS.

Dengan adanya studi ini diharapkan pemodelan sambungan-sambungan kolom CFT – balok baja yang memenuhi syarat baik kuat maupun daktail pada bangunan untuk daerah gempa kuat dapat diperoleh.

Kata Kunci : concrete filled tubes, cyclic load, finite element, reduced beam section, sambungan.

ANALYTICAL STUDY OF RECTANGULAR CONCRETE FILLED TUBES (RCFT) CONNECTIONS USING FINITE ELEMENT METHOD

Name	: Cintantya Budi Casita
NRP	: 3115202011
Department	: Civil Engineering – ITS
Supervisor	: Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

Abstract

The use of Concrete Filled Tubes (CFT) has many advantages than reinforced concrete column. Some of the advantages are: steel tube also serves as formwork for concrete core filled in steel tube, the compressive strength of steel tube on the axial force will increase. However, the use of concrete filled tube column is still limited due to lack of experience in the application and the complexity of the form of the joint in this composite column. Moreover, the joint in the CFT system must have strength which is deep enough to withstand earthquakes and meet acceptance criteria.

This research presents the result of two rectangular filled tube column-to-beam connections under cyclic loading using finite element analysis. Connections of all two models were using weld connection and shear tab attached to beam webs. In this study, 2 models were made: RR-1 and RB-2, which are RCFT connection with RBS and RCFT connection without RBS. This study is conducted to learn, the advantages of RCFT connection with RBS against RCFT connection without RBS. The analysis results observed that cyclic performance of the RBS moment connection was much superior to the connection without RBS. The highest regions of stress occur in vicinity of beam bottom flange near column face for connection without RBS. For connection with RBS, the highest regions of stress occur in reduced beam section of the beam.

Based on the description above, this study was considered necessary because it could be used as a reference and is a development from previous analytical and experimental researches.

Keywords : concrete filled tubes, connection, cyclic load, finite element, reduced beam section.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Thesis dengan judul "Studi Perilaku pada Sambungan *Rectangular Concrete Filled Tubes (RCFT)* dengan Metode *Finite Element*".

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan Thesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

- 1. Allah SWT, yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya.
- 2. Orang Tua dan Keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan dalam memperlancar kegiatan belajar sehingga Thesis ini dapat diselesaikan.
- Bapak Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Thesis ini.
- 4. Ibu Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang selalu memberikan arahan dalam masa perkuliahan dan tidak ada henti-hentinya memberikan semangat.
- Seluruh dosen pengajar beserta staff karyawan di Pascasarjana Teknik Sipil Struktur ITS, terima kasih atas ilmu-ilmu yang telah diberikan.
- 6. Abrima Pradipta Rizki yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi sehingga Thesis ini dapat diselesaikan.
- 7. Michael Ignatius, Himatul Farichah dan Avisha Gita sebagai teman yang selalu memberikan motivasi dalam menjalani masa perkuliahan.
- 8. Wilson Rafael, Evrianti Syntia, Indra Komara, Fahrudin Safi yang telah menjadi partner dalam pengerjaan Thesis ini.
- Wisnu Sambhara, Abrar Victoriawan, Danang Prayoga, Widya Ari yang telah meluangkan waktunya untuk menjadi teman diskusi dalam pengerjaan Thesis ini.

- 10. Teman-teman Pascasarjana Teknik Sipil Struktur ITS 2015 yang turut membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
- 11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberi dukungan untuk penulis selama perkuliahan dan pengerjaan Thesis ini, semoga jasa anda dibalas kebaikan oleh-Nya.

Penulis menyadari bahwa Thesis ini masih mempunyai banyak kekurangan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dalam perbaikan Thesis ini. Semoga Thesis ini bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAM	AN JUDULi
ABSTRA	Kii
DAFTAR	l ISIiii
DAFTAR	R TABELvii
DAFTAR	A GAMBARix
BAB I	PENDAHULUAN1
1.1.	Latar Belakang1
1.2.	Rumusan Masalah3
1.2.1.	Permasalahan Utama3
1.2.2.	Detail Permasalahan3
1.3.	Tujuan4
1.4.	Batasan Masalah4
1.5.	Manfaat4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA5
2.1.	Umum5
2.2.	Konsep Bangunan Tahan Gempa5
2.3.	Daktilitas5
2.4.	Kolom Baja Berintikan Beton (Concrete Filled Tube)6
2.4.1.	Macam Bentuk dari Kolom CFT7
2.5.	Reduced Beam Section (RBS)7
2.6.	Perilaku Sambungan antara Kolom WF – Balok RBS8
2.7.	Perilaku Sambungan antara Kolom CFT – Balok WF11
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN15
3.1.	Umum
3.2.	Bagan Alir Penyelesaian Thesis15
3.3.	Metodologi Pengerjaan Thesis16

3.3.1.	Studi Literatur	16
3.3.2.	Preliminary Design	17
3.3.2.1.	Dimensi Balok dan Kolom Rencana	17
3.3.3.	Kontrol Penampang dan Sambungan	17
3.3.3.1	Kontrol Struktur Primer	17
3.3.3.1.1	Kolom Komposit Terisi Beton	17
3.3.3.1.1.1	Batasan-batasan Perhitungan	17
3.3.3.2	Kuat Rencana	18
3.3.3.2.1	Kuat Rencana Beban Aksial	18
3.3.3.3	Kontrol Dimensi RBS	19
3.3.3.4	Kontrol Panel Zone	20
3.3.3.4.1	Gaya Geser Panel Zone (dari Kapasitas Balok)	20
3.3.3.4.2	Kekuatan Geser Panel Zone	20
3.3.3.5	Kontrol Sambungan	. 21
3.3.3.5.1	Syarat Sambungan Tahan Gempa	21
3.3.3.5.1.1	Menghitung M*pc	21
3.3.3.5.1.2	Menghitung M*pb	21
3.3.3.5.2	Sambungan Las	21
3.3.4	Pemodelan pada Masing-Masing Tipe Sambungan	22
3.3.4.1	Model-Model Sambungan	22
3.3.4.1.1	Sambungan Antara Kolom RCFT – Balok WF	22
3.3.4.1.2	Sambungan Antara Kolom RCFT – Balok RBS	23
3.3.5	Analisis Hasil Pemodelan Sambungan	35
3.3.6	Hasil Kesimpulan Penelitian	36
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1.	Umum	37
4.2.	Hasil Eksperimen (Jones dkk 2002)	37
4.2.1	Verifikasi Hasil Metode Finite Element dengan Hasil Eksperimen	39
4.2.2.1	Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model 2B	39

4.2.2.2	Verifikasi Model Sambungan 2B41					
4.3.	Analisa Perhitungan Sambungan RCFT42					
4.3.1	Penampang Kolom RCFT42					
4.3.1.1	Batasan-batasan Perhitungan					
4.3.1.2	Kuat Rencana Beban Aksial					
4.3.2	Penampang Balok RBS44					
4.3.2.1	Perhitungan Kapasitas					
4.3.3	Desain Panel Zone					
4.3.3.1	Gaya Geser Panel Zone (dari Kapasitas Balok)45					
4.3.3.2	Kekuatan Geser Panel Zone46					
4.3.3.3	Kontrol Panel Zone terhadap Kekuatan					
4.3.3.4	Konsep Strong Column Weak Beam46					
4.3.3.4.1	Menghitung M*pc47					
4.3.3.4.2	Menghitung M*pb47					
4.4.	Analisa Hasil Model Sambungan48					
4.4.1	Hasil Pemodelan Lanjutan Sambungan RCFT					
4.4.1.1	Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model RR-148					
4.4.1.2	Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model RB-149					
4.4.1.3	Verifikasi Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan SAP200051					
4.4.1.4	Analisis Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan Beban Gempa El-Centro menggunakan SAP200053					
4.4.1.5	Diagram Tegangan-Regangan pada Model RR-1 dan RB-155					
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN					
5.1.	Kesimpulan					
5.2.	Saran					
DAFTAR	DAFTAR PUSTAKA					
LAMPIRAN61						
BIODAT	A PENULIS					

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Material properties pada tiap specimen (Jones dkk, 2002)	8
Tabel 2.2	Detail sambungan pada tiap spesimen (Jones dkk, 2002)	9
Tabel 2.3	Detail sambungan pada tiap spesimen (Wang, 2007)	13
Tabel 3.1	Ketentuan Kapasitas Balok RBS (FEMA 350)	20
Tabel 3.2	Ukuran Minimum Las Sudut	21
Tabel 3.3	Rekapitulasi dari Masing-masing Tipe Sambungan	23
Tabel 3.4	Density Material	26
Tabel 3.5	Nilai Tegangan-Regangan Baja fy 250 MPa	27
Tabel 3.6	Plasticity Material Beton (Thomas Janzkowiak, 2005)	28
Tabel 3.7	Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tekan	29
Tabel 3.8	Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tarik	30
Tabel 3.9	Pembebanan Displacement	34
Tabel 3.10	Pembebanan Displacement (Lanjutan)	35
Tabel 4.1	Material Properties dari Spesimen Model	37
Tabel 4.2	Tes Spesimen	38
Tabel 4.3	Ketentuan Kapasitas Balok RBS (FEMA 350)	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Circular CFT (CCFT) dan Rectangular CFT (RCFT)7
Gambar 2.2	Radius Cut RBS dan Tapered Cut RBS7
Gambar 2.3	Geometri dari RBS tipe Radius Cut8
Gambar 2.4	Boundary Condition dari Spesimen Model (Jones dkk, 2002)9
Gambar 2.5	SAC Loading Protocol10
Gambar 2.6	Spesimen dari Tes Eksperimen Spesimen Model (Jones dkk, 2002)
Gambar 2.7	Detail Sambungan Tipe 1B Spesimen Model (Jones dkk, 2002)11
Gambar 2.8	Elevasi Sambungan (Wang, 2007)12
Gambar 2.9	Penampang CJ-21, CJ-22, CJ-33 (Wang, 2007)12
Gambar 2.10	Penampang CJ-13N, CJ-21N, CJ-22N, CJ-23N, CJ-33N (Wang, 2007)
Gambar 2.11	Sambungan Kolom RCFT menggunakan T-Stiffener dengan dan tanpa RBS (Shin, 2007)14
Gambar 3.1	Bagan Alir Metodologi Penelitian15
Gambar 3.2	Kolom Baja Berintikan Beton Penampang Persegi (RCFT)17
Gambar 3.3	Notasi pada Perhitungan Balok RBS20
Gambar 3.4	Detail Sambungan antara Kolom RCFT – Balok WF (RR-1)23
Gambar 3.5	Detail Sambungan antara Kolom RCFT – Balok RBS (RB-1)23
Gambar 3.6	Tampilan Muka Program Bantu Finite Element ABAQUS 6.1424
Gambar 3.7	Part Inti Beton25
Gambar 3.8	Part Hollow
Gambar 3.9	Profil WF25
Gambar 3.10	Hubungan Tegangan-Regangan Baja27
Gambar 3.11	Hubungan Tegangan-Regangan Beton akibat Beban Tekan28
Gambar 3.12	Hubungan Tegangan-Regangan Beton akibat Beban Tarik
Gambar 3.13	Section Manager
Gambar 3.14	Input Property pada Part
Gambar 3.15	Layout Sambungan Hasil Assembly
Gambar 3.16	Boundary Condition yang Digunakan
Gambar 3.17	Model Sambungan dengan Boundary Condition Beban Siklik33

Gambar 3.18	SAC Loading Protocol
Gambar 3.19	Grafik Pembebanan Displacement (mm)
Gambar 3.20	Mesh pada Model Sambungan35
Gambar 4.1	Detail Sambungan Tipe 1B Spesimen Model (Jones dkk, 2002)38
Gambar 4.2	Kurva Hubungan antara Story Drift Angle – Column Tip Load Tipe 2B oleh Jones dkk, 2002
Gambar 4.3	Hasil S Mises Step 1 (14.29 mm) pada Model 2B
Gambar 4.4	Hasil S Mises Step 37 (38.10 mm) pada Model 2B40
Gambar 4.5	Hasil S Mises Step 64 (-190.66 mm) pada Model 2B40
Gambar 4.6	Stress-Strain Diagram Hasil Pemodelan FEM41
Gambar 4.7	Kolom Baja Berintikan Beton Penampang Persegi (RCFT)42
Gambar 4.8	Notasi pada Perhitungan Balok RBS44
Gambar 4.9	Hasil S Mises Step 1 (13.13 mm) pada Model RR-148
Gambar 4.10	Hasil S Mises Step 25 (26.25 mm) pada Model RR-149
Gambar 4.11	Hasil S Mises Step 64 (-174.15 mm) pada Model RR-149
Gambar 4.12	Hasil S Mises Step 1 (13.13 mm) pada Model RB-149
Gambar 4.13	Hasil S Mises Step 13 (17.50 mm) pada Model RB-150
Gambar 4.14	Hasil S Mises Step 64 (-174.15 mm) pada Model RB-150
Gambar 4.15	Model Sambungan RR-1 dengan SAP2000 saat Terjadi Sendi Plastis Pertama dan Terakhir
Gambar 4.16	Model Sambungan RB-1 dengan SAP2000 saat Terjadi Sendi Plastis Pertama dan Terakhir51
Gambar 4.17	Grafik Base Shear vs Displacement Struktur RR-1 dan RB-152
Gambar 4.18	Time History Beban Gempa El-Centro53
Gambar 4.19	Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan Beban Gempa El- Centro menggunakan SAP2000
Gambar 4.20	Perpindahan Tiap Lantai pada RR-1 dan RB-1 Gempa El-Centro 54
Gambar 4.21	Diagram Tegangan-Regangan pada Model RR-1 akibat Beban Siklik
Gambar 4.22	Diagram Tegangan-Regangan pada Model RB-1 akibat Beban Siklik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi yang sering terjadi di Indonesia hampir selalu menelan korban jiwa yang diakibatkan oleh keruntuhan bangunan saat terjadi gempa. Runtuhnya bangunan saat terjadi gempa akan menimpa orang didalamnya sehingga dapat menimbulkan luka-luka bahkan kematian. Maka dari itu, diperlukan struktur bangunan tahan gempa, sehingga jumlah korban jiwa akibat adanya gempa dapat diminimalkan. Contohnya, kejadian gempa Northridge, California (1994) dan gempa Kobe, Jepang (1995) yang menunjukkan bahwa runtuhnya struktur-struktur baja saat itu disebabkan oleh kegagalan pada sambungan. Setelah terjadi gempa tersebut, sejumlah penelitian tentang desain sambungan yang optimal untuk daerah rawan gempa mulai bermunculan.

Meningkatnya kebutuhan bangunan tahan gempa mendorong timbulnya kebutuhan akan suatu rancangan struktur bangunan tahan gempa yang ekonomis, efektif, dan efisien tanpa mengurangi kekakuan antar komponen struktur bangunan.

Salah satunya adalah dengan menggunakan struktur komposit pada bangunan. Struktur komposit baja-beton telah banyak digunakan untuk konstruksi bangunan, jembatan, dan berbagai macam konstruksi lainnya. Penggunaan baja komposit memungkinkan pemanfaatan seluruh penampang dalam menerima beban, karena adanya interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal, sehingga didapat kinerja struktur yang lebih baik dan lebih efektif dalam meningkatkan kapasitas pembebanan dan kekakuan bangunan.

Ada dua tipe kolom komposit, yaitu: kolom baja berselubung beton dan kolom baja berintikan beton (Concrete Filled Tubes - CFT). Kolom CFT sebagai kolom komposit mengandalkan interaksi antara tabung dari baja yang daktail dengan kekakuan beton inti (Morino dkk. 2001). Kerja sama

ini akan meningkatkan kekuatan dari kolom karena kekuatan tekan beton akan meningkat oleh efek kekangan dari tabung baja dan tekuk lokal dari tabung baja akan berkurang karena adanya beton yang membantu menahannya. Penggunaan elemen struktur komposit seperti kolom CFT akan memberikan beberapa keuntungan, antara lain: (1) Kekuatan per satuan luas lebih besar dibanding kolom konvensional beton bertulang sehingga dimensi kolom bisa lebih kecil, (2) Tidak memerlukan bekisting lagi untuk pengecoran beton, (3) Kombinasi kekuatan dari dua material baja dan beton membuat kolom CFT cocok untuk bangunan tingkat tinggi (Gourley 2001). Namun, penggunaan struktur CFT ini masih terbatas karena kurangnya pengalaman pelaksanaan dan kerumitan pada sambungan. (Schneider, 2004)

Sambungan adalah elemen yang sangat penting dalam desain dan konstruksi bangunan tahan gempa. Kegagalan atau keruntuhan bangunan pasca gempa ditentukan oleh kualitas sambungan. Beban yang digunakan adalah beban gravitasi dan beban gempa bolak-balik. Diharapkan leleh pertama terjadi di sendi plastis pada balok, bukan terjadi di sendi plastis pada kolom, karena akan mengakibatkan kegagalan struktur. Pemilihan sambungan yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin terjadinya sendi plastis pada daerah balok. (Budiono, 2010)

Sambungan antar elemen-elemen struktur baja atau struktur komposit merupakan bagian penting dari struktur keseluruhan selain elemen itu sendiri. Sambungan berfungsi untuk mengalirkan beban-beban dari elemen struktur yang satu ke elemen struktur yang lain selain berfungsi untuk menyatukan komponenkomponen struktur. Penelitian sambungan-sambungan baja termasuk diantaranya sambungan kolom CFT sampai saat ini, antara lain: (1) Kimura and Matsui serta Masuda dkk. (2000) memeriksa kemampuan dari sambungan kolom CFT – balok WF dengan pelat pengaku vertikal, (2) Cheng and Chung (2001) memeriksa detail sambungan dan kekuatan geser di daerah panel dari sambungan kolom CFT – balok baja.

Dalam studi ini akan dibahas tentang perilaku dan kemampuan dari sambungan kolom CFT dengan balok baja. Kolom komposit baja berintikan

beton yang digunakan yaitu kolom Rectangular CFT (RCFT), sedangkan balok baja yang digunakan juga dua macam yaitu balok WF biasa dan balok RBS (Reduced Beam Section). Pemodelan ini meliputi pemodelan sambungan balok WF – kolom RCFT dan balok RBS – kolom RCFT dengan *shear tab*. Pengurangan sebagian penampang sayap balok melalui RBS bertujuan untuk memperkaku daerah sambungan balok – kolom komposit CFT dan memperlemah penampang balok WF pada daerah sendi plastis sehingga perilaku keruntuhan struktur bisa berperilaku lebih daktail. (Goudarzi dan Khoigani, 2006)

Dengan adanya studi ini diharapkan pemodelan sambungan-sambungan kolom CFT – balok baja yang memenuhi syarat baik kuat maupun daktail pada bangunan untuk daerah gempa kuat dapat diperoleh. Dalam pemodelan sambungan kolom CFT dengan balok baja pada studi ini akan digunakan *software* berbasis metode elemen hingga yaitu *software* ABAQUS.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Permasalahan Utama

Bagaimana merencanakan bentuk sambungan yang efektif dan efisien pada struktur RCFT?

1.2.2 Detail Permasalahan

- 1. Bagaimana melakukan kontrol penampang dan sambungan?
- 2. Bagaimana memodelkan masing-masing tipe sambungan dengan menggunakan *Software* ABAQUS 6.14?
- 3. Bagaimana perilaku (distribusi tegangan, daktilitas, diagram tegangan dan regangan) yang terjadi pada masing-masing tipe sambungan?
- 4. Bagaimana kesimpulan dari penelitian yang dilakukan?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari Thesis ini adalah :

Tujuan utama dari Thesis ini adalah dapat merencanakan bentuk sambungan yang efektif dan efisien pada struktur RCFT.

Tujuan secara detail dari pembahasan Thesis ini adalah :

- 1. Melakukan kontrol penampang dan sambungan.
- 2. Memodelkan masing-masing tipe sambungan dengan menggunakan *Software* yaitu ABAQUS 6.14.
- 3. Mendapatkan perilaku (distribusi tegangan, daktilitas, diagram tegangan dan regangan) yang terjadi pada masing-masing tipe sambungan.
- 4. Mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak melebar, diperlukan adanya batasan masalah. Adapun batasan tersebut meliputi :

- 1. Hanya dilakukan pemodelan pada bagian sambungan balok-kolom dengan bantuan software *FE* yaitu ABAQUS 6.14.
- 2. Jenis sambungan menggunakan sambungan las.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari hasil Thesis ini adalah dapat memberikan suatu model sambungan antar balok dan kolom pada struktur RCFT yang efektif dan efisien, serta dapat menjaga kualitas struktur bangunan tahan gempa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam perencanaan struktur tahan gempa disyaratkan dengan ketat bahwa sambungan harus direncanakan lebih kuat daripada komponen yang disambung, untuk menjamin bahwa selama gempa terjadi, pelelehan tidak terjadi pada bagian sambungan, tetapi dibagian yang memang telah direncanakan leleh pada struktur yang bersangkutan. Dalam SNI 03-1729-2002 dinyatakan bahwa sambungan pada struktur pemikul gempa harus mengakomodasi terjadinya penyerapan energi yang baik pada sendi plastis sesuai dengan kinerja struktur yang direncanakan. Kinerja ini dinyatakan dengan besaran sudut rotasi plastis yang terbentuk diantara sumbu balok dan sumbu kolom.

2.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Menurut Pedoman Teknis bangunan Tahan Gempa-Departemen Pekerjaan Umum (2006), taraf keamanan minimum untuk bangunan yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu yang memenuhi berikut ini:

- a. Bila terkena gempa kecil, bangunan tersebut tidak mengalami keerusakan sama sekali.
- b. Bila terkena gempa sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemenelemen non-struktural saja.

Bila terkena gempa besar, bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Dengan kata lain, bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan, tetapi kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki.

2.3 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk melakukan deformasi sehingga energi gempa dapat diserap melalui deformasi inelastik. (Yurisman dan Novrial, 2001)

Struktur pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi harus mengikuti konsep desain struktur tahan gempa. Menurut SNI 03-1726-2002, struktur tahan gempa tidak roboh pada saat terjadinya gempa kuat dan hanya mengalami kerusakan kecil pada saat terjadinya gempa sedang. Perilaku ini dapat tercapai bila komponen-komponen struktur memiliki kemampuan untuk menyerap dan memancarkan energi gempa melalui mekanisme terbentuknya sendi plastis. Oleh karena itu, komponen-komponen struktur harus memiliki daktilitas yang mampu mempertahankan kapasitasnya atau kekuatanyya setelah mengalami deformasi inelastik yang cukup besar sebelum mengalami keruntuhan. (Sudarsana, 2010)

2.4 Kolom Baja Berintikan Beton (*Concrete Filled Tube*)

Kolom CFT merupakan kolom dengan tabung baja yang diisi beton. Sistem kolom CFT memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan baja biasa atau sistem beton bertulang. Salah satu keunggulannya dari interaksi antara tabung baja dan beton adalah: tekuk lokal dari tabung baja tertunda oleh pengekangan beton, dan kekuatan struktur meningkat. (Morino dan Tsuda, 2003)

Selain alasan yang disebutkan sebelumnya, kolom CFT dipilih karena beberapa keuntungan sebagai berikut: (Morino dan Tsuda, 2003)

- 1. Tekuk lokal dari tabung baja dapat tertunda, karena adanya beton. Di sisi lain, kekuatan beton meningkat dan berkurangnya spalling pada beton karena adanya tabung baja. Susut dan rangkak pada beton juga lebih kecil jika dibandingkan beton bertulang.
- Rasio baja pada penampang CFT jauh lebih besar jika dibandingkan beton bertulang. Karena hal tersebut, dimensi kolom yang digunakan akan jauh lebih kecil, berat struktur akan lebih kecil sehingga dapat mengurangi beban pondasi.
- 3. Karena tabung baja juga berfungsi sebagai bekisting untuk beton, penggunaan kolom CFT lebih praktis dan dapat mengurangi sampah dari penggunaan bekisting.

4. Ditinjau dari segi biaya konstruksi, dan waktu pelaksanaan dan pengerjaannya di lapangan, penggunaan kolom CFT lebih efektif dan efisien.

2.4.1 Macam Bentuk dari Kolom CFT

Kolom CFT dapat dikategorikan menjadi dua kelompok, yaitu Rectangular CFT (RCFT) dan Circular CFT (CCFT). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut: (SNI 03-1729-2002)



Gambar 2.1 Circular CFT (CCFT) dan Rectangular CFT (RCFT) (SNI 03-1729-2002)

2.5 *Reduced Beam Section* (RBS)

Reduced Beam Section (RBS) merupakan modifikasi penampang balok dengan memberikan pengurangan luasan sayap sejarak tertentu dari tumpuan. Proses pengurangan ini dilakukan sedemikian rupa sehingga segala proses pelelehan dan sendi plastis terjadi pada bagian RBS ini. Selain itu, pengurangan luasan tersebut juga berperan dalam mengurangi momen pada kolom sekaligus mengontrol terjadinya deformasi inelastis pada kolom. (Goudarzi dan Khoigani, 2006)

Ada dua tipe RBS, yaitu *Radius Cut RBS* dan *Tapered Cut RBS*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Radius Cut RBS dan Tapered Cut RBS (Goudarzi dan Khoigani, 2006)

Geometri dari RBS tipe *Radius Cut* menurut *American Institute of Steel Construction* (AISC) 358-05 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Geometri dari RBS tipe Radius Cut (AISC 358-05)

Dengan parameter RBS sebagai berikut:

- Jarak dari muka kolom ke muka penampang balok yang mulai direduksi (a).
- 2. Panjang pengurangan flens balok (b).
- 3. Kedalaman pengurangan flens balok (c).

2.6 Perilaku Sambungan antara Kolom WF – Balok RBS

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan Perilaku Sambungan antara Kolom WF – Balok WF.

Jones dkk (2002) melakukan penelitian secara eksperimental dengan menggunakan 8 jenis sambungan yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Material properties pada tiap spesimen (Jones dkk, 2002)

Matarial	fy	fu
	MPa	MPa
W14x398 kolom	352	492
W36x150 balok	374	474

Spesimen	Setup Tes	Kolom	Sambungan badan balok	Baja atau komposit	Kekuatan panel zone
1B	UTA	W14 x 398	baut	baja	seimbang
1C	UTA	W14 x 398	baut	komposit	seimbang
2B	TAMU	W14 x 398	las	baja	seimbang
2C	TAMU	W14 x 398	las	komposit	seimbang
3B	UTA	W14 x 283	baut	baja	lemah
3C	UTA	W14 x 283	baut	komposit	lemah
4B	TAMU	W14 x 398 dengan <i>doubler plate</i> t: 19 mm	baut	baja	kuat
4C	TAMU	W14 x 398 dengan <i>doubler plate</i> t: 19 mm	baut	komposit	kuat

Tabel 2.2 Detail sambungan pada tiap spesimen (Jones dkk, 2002)

Boundary condition yang diterapkan pada model ini adalah perletakan sendi pada ujung kolom bagian bawah, dan perletakan yang ditahan kearah lateral pada ujung kolom bagian atas (Gambar 2.4). Untuk bebannya, digunakan beban siklik yang diambil dari *SAC loading protocol*, yaitu dengan diberi beban displacement diujung kedua balok tersebut dengan arah yang berbeda. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.



Gambar 2.4 Boundary Condition dari Spesimen Model (Jones dkk, 2002)



Gambar 2.5 SAC Loading Protocol

Berikut ini adalah susunan dari tes eksperimen spesimen model Jones dkk (2002) yang disesuaikan dengan *boundary condition*.



Gambar 2.6 Susunan dari Tes Eksperimen Spesimen Model (Jones dkk, 2002)

Gambar 2.7 menunjukkan detail sambungan tipe 1B spesimen Jones dkk (2002).



Gambar 2.7 Detail Sambungan Tipe 1B Spesimen Model (Jones dkk, 2002)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa spesimen yang menggunakan sambungan las sangat disarankan untuk bangunan di daerah rawan gempa, karena jika menggunakan sambungan baut, lubang-lubang untuk baut tersebut menimbulkan perlemahan yang dapat mengurangi kualitas sambungan.

Dalam sambungan, *panel zone* juga perlu ditinjau. Semakin tipis tebal badan dari profil WF, maka semakin lemah *panel zone*. Semakin lemah panel zone, maka performa sambungan tersebut akan kurang baik sehingga perlu diperhatikan leleh akibat geser pada bagian *panel zone*.

2.7 Perilaku Sambungan antara Kolom CFT – Balok RBS

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan perilaku sambungan antara kolom CFT – balok RBS

Wang dkk (2007) melakukan penelitian secara eksperimental menggunakan 5 jenis sambungan RBS-CFT dengan *external ring*, yang terdiri dari 3 spesimen tanpa RBS dan sisanya menggunakan RBS. Perilaku histerisis didapat dengan mengkombinasikan antara beban aksial dan beban siklik lateral.



Gambar 2.8 Elevasi Sambungan (Wang, 2007)



Gambar 2.9 Penampang CJ-21, CJ-22, CJ-33 (Wang, 2007)

Gambar 2.10 Penampang CJ-13N, CJ-21N, CJ-22N, CJ-23N, CJ-33N (Wang, 2007)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa energi disipasi pada sambungan dengan RBS meningkat secara signifikan jika dibandingkan dengan tanpa RBS, sehingga dapat disimpulkan bahwa sambungan dengan RBS dapat memberikan performa yang lebih baik pada daerah rawan gempa.

Specimen	Specimen size (mm)			Width of	N ₀	Axial load	Pue	Δy	Total energy
number	Specimer	en section Length		ring (mm)	(kN)	level n	(kN)	(mm)	dissipation (kNm)
CJ-21	Column	φ140 x 2.13	1050	40	40	0.05	35 / 8	14 57	13 70
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	40	40	0.05	55.40	14.57	15.70
CJ-22	Column	φ140 x 2.13	1050	40	265	0.3	27 67	10.52	12 25
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	40	203	0.5	37.07	10.55	15.55
CJ-33	Column	φ140 x 2.13	1050	20	520	0.6	25.04	7.60	22.52
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	20	330	0.0	55.94	7.09	23.32
CJ-13N	Column	φ140 x 2.13	1050	(0)	520	0.6	20.40	7.62	42.46
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	00	330	0.0	39.40	7.02	43.40
CJ-21N	Column	φ140 x 2.13	1050	40	40	0.05	25.06	10.02	12 72
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	40	40	0.05	55.00	10.92	12.72
CJ-22N	Column	φ140 x 2.13	1050	40	2665	0.2	29.02	12.00	25.55
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	40	2005	0.3	38.93	15.88	25.55
CJ-23N	Column	φ140 x 2.13	1050	40	520	0.6	28.20	0.16	21.01
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	40	530	0.6	38.30	9.10	51.91
CJ-33N	Column	φ140 x 2.13	1050	20	520	0.6	22.40	6.62	24.22
	Beam	150 x 70 x 3.53 x 3.53	1500	20	530	0.6	32.48	0.03	24.23

Tabel 2.3 Detail sambungan pada tiap spesimen (Wang, 2007)

Shin dkk (2007) melakukan analisa pada sambungan kolom RCFT dengan *T-Stiffener* dan kolom RCFT dengan *T-Stiffener* dan RBS. Shin dkk memberi *T-Stiffener* dengan tujuan memperkaku daerah sambungan. *T-Stiffener* terdiri dari elemen vertikal dan elemen horisontal. Parameter dari desain *T-Stiffener* yang diperlukan berupa panjang dari elemen horisontal pengaku (1) dan tinggi dari elemen vertikal pengaku (h).



Gambar 2.11 Sambungan Kolom RCFT menggunakan T-Stiffener dengan dan tanpa RBS (Shin, 2007)

Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara *T-Stiffener* dengan RBS sangat efektif dalam hal mengurangi kecenderungan retak pada ujung elemen horisontal. Dengan adanya RBS, sendi plastis dan local buckling tidak terjadi pada ujung *T-Stiffener*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Sebelum mengerjakan Thesis, maka perlu disusun langkah – langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman perancangan, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

3.2 Bagan Alir Penyelesaian Thesis

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan thesis ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

3.3 Metodologi Pengerjaan Thesis

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan adalah sebagai berikut :

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mendalami materi yang relevan dengan penelitian ini. Studi kepustakaan ini meliputi berbagai buku teks, jurnal ilmiah, dan peraturan Standar Nasional maupun Internasional. Studi literatur ini tidak hanya berhenti sampai pada tahap awal saja, tetapi terus berlangsung selama proses penelitian, sebagai tambahan dengan adanya perkembangan penelitian terakhir yang dilakukan oleh para peneliti lain di dalam maupun luar negeri.

3.3.2 Preliminary Design

3.3.2.1 Dimensi Balok dan Kolom Rencana

Penampang balok WF dan balok RBS yang digunakan adalah:

1. Profil balok WF

Digunakan profil balok WF 600.200.11.17

2. Profil balok RBS

Digunakan profil balok WF 600.200.11.17 dengan kedalaman pengurangan flens balok sebesar 50 mm

Penampang kolom CFT yang digunakan dalam perencanaan ada 2 bentuk, yaitu:

1. Kolom baja berintikan beton penampang persegi (RCFT).

Dalam perencanaan ini, data yang perlu direncanakan antara lain:

- Profil RCFT, dengan B = H = 500 mm, t = 12.5 mm
- Mutu dari steel tube = BJ 41, fu = 410 MPa, fy = 250 MPa
- Mutu beton (fc') = 30 MPa

3.3.3 Kontrol Penampang dan Sambungan

3.3.3.1 Kontrol Struktur Primer

Desain elemen struktur primer dikontrol berdasarkan SNI 03-1729-2015 agar dapat memikul gaya-gaya yang terjadi. Perencanaan elemen struktur primer meliputi:

3.3.3.1.1 Kolom Komposit Terisi Beton

3.3.3.1.1.1 Batasan-batasan Perhitungan

• Luas penampang baja \geq 1% luas penampang komposit total

As
$$\geq 1\%.A_g$$

- Mutu beton (f_c') yang digunakan berada diantara 21 MPa dan 70 MPa (21 MPa \leq f_c' \leq 70 MPa)
- Tegangan leleh profil dan tulangan baja tidak boleh melebihi 525 MPa $(f_y \leq 525 \text{ MPa})$

- Tebal minimum dinding penampang baja berongga:
 - Penampang persegi

$$t_{\max} = b \sqrt{\frac{f_y}{5E}}$$
(3.1)

- Penampang bundar

$$t_{\max} = \frac{Dxf_y}{0.31E}$$
(3.2)

3.3.3.2 Kuat Rencana

3.3.3.2.1 Kuat Rencana Beban Aksial

Kuat rencana kolom komposit yang menumpu beban aksial adalah Pno

a. Penampang Kompak

$$\mathbf{P}_{\rm no} = \mathbf{P}_{\rm p} \tag{3.3}$$

dimana:

$$\mathbf{P}_{\mathrm{p}} = \mathbf{f}_{\mathrm{y}}.\mathbf{A}_{\mathrm{s}} + \mathbf{C}_{2}.\mathbf{f}_{\mathrm{c}}' \left(A_{c} + A_{st} \frac{E_{s}}{E_{c}} \right)$$
(3.4)

 $C_2 = 0.85$ untuk penampang persegi

0.95 untuk penampang bundar

b. Penampang Non Kompak

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{\left(\lambda_r - \lambda_p\right)^2} \left(\lambda - \lambda_p\right)^2$$
(3.5)

dimana:

$$\lambda$$
, λ_p , λ_r = rasio kelangsingan dari Tabel 3.1

$$P_{p} = f_{y}.A_{s} + C_{2}.f_{c}'\left(A_{c} + A_{st}\frac{E_{s}}{E_{c}}\right)$$
(3.6)

$$\mathbf{P}_{\mathbf{y}} = \mathbf{f}_{\mathbf{y}}.\mathbf{A}_{\mathbf{s}} + 0.7\mathbf{f}_{\mathbf{c}}, \left(A_{c} + A_{st} \frac{E_{s}}{E_{c}}\right)$$
(3.7)

c. Penampang Langsing

$$P_{no} = f_{cr} A_s + 0.7 f_c' \left(A_c + A_{st} \frac{E_s}{E_c} \right)$$
(3.8)

dimana:

$$f_{cr} = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2}$$
, untuk penampang persegi diisi beton (3.9)

$$f_{cr} = \frac{0.72 f_y}{\left(\left(\frac{D}{t}\right) \frac{f_y}{E_s}\right)^{0.2}} , \text{ untuk penampang bundar diisi beton}$$
(3.10)

Kekakuan efektif penampang komposit, EI_{eff}, untuk semua penampang:

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$$
(3.11)

dengan, C_3 = koefisien untuk perhitungan kekakuan efektif

komponen struktur tekan komposit diisi beton

$$= 0.6 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \le 0.9$$
 (3.12)

Tabel 3.1 Batasan Rasio Lebar terhadap Ketebalan untuk Elemen Baja Tekan dalam Komponen Struktur Komposit yang Menahan Aksial Tekan

Deskripsi elemen	Rasio	$\lambda_{ m p}$ $\lambda_{ m r}$		Maksimum yang diijinkan
PSB Persegi	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$3\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
PSB Bundar	D/t	$\frac{0.15E}{f_y}$	$\frac{0.19E}{f_y}$	$\frac{0.31E}{f_y}$

3.3.3.3 Kontrol Dimensi RBS

Untuk menentukan kapasitas balok RBS, ketentuan mengenai panjang pengurangan maupun panjang zona RBS sudah ditentukan FEMA 350. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Ketentuan Kapasitas Balok RBS (FEMA 350)

FEMA 350		
$a = 0.50 - 0.75 \ b_{\rm f}$		
$b = 0.65 - 0.85 \ d_b$		
$c \le 0.25 \ b_f$		
s = a + b/2		



Gambar 3.3 Notasi pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS

3.3.3.4 Kontrol Panel Zone

Syarat:	$V_{ju} > \phi_v V_n$	(3.13)

3.3.3.4.1 Gaya Geser Panel Zone (dari Kapasitas Balok)

$$Z_{xRBS} = 2 x (((b - (2 x c)) x tf) x (0.5 x d - (0.5 x tf)) + ((((0.5 x d) - tf)^2) / 2 x tw))$$
(3.14)

$$M_{\rm p} \text{ balok RBS} = 1.1 \text{ x Ry x } Z_{\rm RBS} \text{ x fy}$$
(3.15)

$$Mu = 0.8\Sigma R_y M_p \tag{3.16}$$

$$V_{\rm col} = \frac{Mu}{\Sigma h} \tag{3.17}$$

$$T_{b} = C_{b} = \frac{Mu}{d - tf}$$
(3.18)

$$V_{ju} = T_{b, ka} + C_{b,ki} - V_{col}$$
 (3.19)

3.3.3.4.2 Kekuatan Geser Panel Zone

$$\phi_{\rm v} \, \mathbf{V}_{\rm n} = 0.6 x \phi_{\rm v} x f_{\rm y} x d_{\rm c} x t_{\rm p} x \left(1 + \frac{3 x b_{cf} x t_{cf}^{2}}{d_{\rm b} x d_{\rm c} x t_{\rm cw}} \right)$$
(3.20)

3.3.3.5 Kontrol Sambungan

3.3.3.5.1 Syarat Sambungan Tahan Gempa

Berdasarkan SNI-03-1729 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur baja untuk Bangunan Gedung, syarat konsep *Strong Column Weak Beam* adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Sigma M *_{pc}}{\Sigma M *_{pb}} > 1 \tag{3.21}$$

3.3.3.5.1.1 Menghitung M^*_{pc}

Zc = Zx = Zy = (0.5 x d x (2 x tw) x 0.5 x d) + (d - 2 x tw) x tw x 0.5 x (d - tw)(3.22)

$$\Sigma M *_{pc} = 2x \left[Zcx \left(f_y - \frac{N_{uc}}{Ag} \right) \right]$$
(3.23)

3.3.3.5.1.2 Menghitung M*pb

 $Z_{xRBS} = 2 x (((b - (2 x c)) x tf) x (0.5 x d - (0.5 x tf)) + ((((0.5 x d) - tf)^2) / 2x tw))$

$$\Sigma M *_{pb} = 1.1 x R_y x f_y x Z_{xRBS} + M_y$$
(3.25)

dimana:

Ry = 1.5 untuk mutu baja BJ 41 atau lebih lunak

= 1.3 untuk mutu baja BJ 50 atau lebih keras

3.3.3.5.2 Sambungan Las

Ukuran minimum las sudut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketbalan material dari bagian paling tipis, t (mm)	Tebal minimum las sudut, t _w (mm)
t <u>≤</u> 6	3
$< t \leq 13$	5
$13 < t \le 19$	6
19 < t	8
3.3.4 Pemodelan pada Masing-Masing Tipe Sambungan

Pemodelan pada masing-Masing tipe sambungan dilakukan dengan *software* ABAQUS 6.14. Pemodelan ini meliputi penggambaran struktur, pendefinisian material elemen struktur balok dan kolom dan pelat sambung, pendefinisian beban dan *boundary conditions*, proses melakukan interaksi antar elemen-elemen struktur hingga proses *meshing*, input beban yang bekerja serta menjalankan analisis pemodelan dan pembacaan hasil analisis pemodelan tersebut.

3.3.4.1 Model-Model Sambungan

Pada thesis ini, terdapat 2 tipe sambungan: RR-1 dan RB-1, yang meliputi sambungan RCFT dengan dan tanpa RBS. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

3.3.4.1.1 Sambungan antara Kolom RCFT – Balok WF (RR-1)

Detail konfigurasi sambungan untuk Kolom RCFT – Balok WF dapat dilihat pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Detail Sambungan antara Kolom RCFT – Balok WF (RR-1)

3.3.4.1.2 Sambungan antara Kolom RCFT – Balok RBS (RB-1)

Detail konfigurasi sambungan untuk Kolom RCFT – Balok RBS dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Detail Sambungan antara Kolom RCFT – Balok RBS (RB-1)

Nama	Ukuran model (mm)			fy	fu	fc'	Es
Model	Profil yang digunakan		Panjang	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
RR-1	Kolom	RCFT 500 x 500 x 20	3000	250	410	20	2 105
	Balok	WF 600 x 200 x 11 x 17	3500	250	410	30	2.105
RB-1	Kolom	RCFT 500 x 500 x 20	3000	250	410	20	2 105
	Balok	WF 600 x 200 x 11 x 17	3500	230	410	30	2.10

Tabel 3.3 Rekapitulasi dari Masing-masing Tipe Sambungan

Model pada program bantu finite element dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Abaqus/CAE 6.13-1 [Viewport: 1]		— 0 ×
File Model Viewport View Part	Shape Feature Iools Plug-ins Help N ?	_ @ X
) 🕈 🎓 着 着 🚍 🖆 🗋 🗄 🗄 🖄	୕ୣୄୄୣୖୖୖୖୖୖୖ ଽୖୄୢୗ୲ଽୡଽ୶୲ୄୖଽ୴ୄୢୖୖଢ଼ୄୖୖ୕ୖ୕୕ ୰ୢୖ୲ଽୖ ^୲ ଽୢୖ୲ଽୢୖଽୢୖ୵ୣୢଽୗୣ୵ୗୣୄଌୢୢୢୢୗୢୢୡୢୢୗୢୡୢୢୖ	
Model Results	Module Part Model-1 Part Part	
🤮 Model Database 🛛 🛊 🗈 🗞 🔮		
Model () Model ()	 ● 後、 ● 後、 ● 第 ● 第<	
Fields		
Hy Amplitudes		
<*		and the second s
		

Gambar 3.6 Tampilan Muka Program Bantu Finite Element ABAQUS 6.14

1. Modul Part

Model dan bentuk geometri dari semua komponen digambarkan pada modul part. Data geometri model dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Model geometri inti beton dan profil hollow dibuat pada modul part menggunakan Solid – Extrusion. Diambil elemen inti beton sebagai contoh.

- Name = Inti Beton
- Create Part
- *Modelling space* > 3D
- Type > Deformable
- Base feature, Shape > Solid, Type > Extrusion
- *Continue* > *Create Rectangle* (500,500)
- *Done* > *Depth*: 3000 > OK



Gambar 3.8 Part Hollow

Dilakukan hal yang sama untuk profil WF 600 x 200 x 11 x 17. Sehingga menjadi seperti gambar berikut:



Gambar 3.9 Profil WF

Setelah geometri dibuat pada modul part, selanjutnya adalah mendefinisikan material yang akan digunakan pada sub-bab berikutnya.

2. Modul *Property*

Material pada tiap komponen didefinisikan pada modul ini. Sifat dan karakteristik tiap material dimasukkan datanya ke dalam modul property ini. Pada pemodelan ini, parameter yang akan didefinisikan adalah sebagai berikut:

a. Density

Density merupakan berat jenis dari material yang dimodelkan. Material dalam model ini adalah beton, dan baja yang ditunjukkan pad Tabel 3.4.

Гabel	3.4	Dens	sity	Mate	rial
			· · J		

Flomon	D	ensity
Elemen	Kg/m ³	N/mm ³
Beton	2400	2.4 x 10 ⁻⁵
Baja	7850	7.85 x 10 ⁻⁵

b. Elastic

Nilai yang akan dimasukkan pada *property elastic* adalah nilai modulus elastisitas dan rasio *poisson*. Digunakan nilai fc' sebesar 30 MPa, sehingga nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.5.1.

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{fc'}$$
, dengan w_c= 2400 kg/m³ (3.26)

Sehingga nilai modulus elastisitas untuk beton dengan f_c '= 30 MPa adalah E_c = 27691.47 MPa. Untuk baja, digunakan modulus elastisitas sebesar Es= 2.10⁵ MPa. Nilai rasio *poisson* beton berkisar antara 0.15-0.20 dan pada pemodelan ini, diambil rasio *poisson* beton sebesar 0.2, sedangkan untuk baja sebesar 0.3.

c. Plastic

Pada tahap ini untuk material baja, diinput nilai tegangan-regangan pada modul *property plastic*. Nilai tegangan-regangan baja didapatkan melalui pendekatan analisis dengan perumusan Khanouki dkk, 2016:



Gambar 3.10 Hubungan Tegangan-Regangan Baja (Khanouki dkk, 2016)

$$\varepsilon_{y} = \frac{fy}{Es} \tag{3.27}$$

$$fs = \varepsilon_s . Es \tag{3.28}$$

Dengan persamaan diatas, dapat ditentukan nilai tegangan-regangan baja untuk diinput dalam program. Nilai tegangan-regangan baja yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Nilai Tegangan-Regangan Baja fy 250 MPa

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik
0	0	
250	0.00125	0
410	0.2	0.19875

d. Concrete Damaged Plasticity

Sifat plastis material beton pada pilihan *property* didefinisikan kedalam 3 kategori, yaitu *plasticity, compressive behavior, dan tensile behavior.*

- Plasticity

Data *plasticity* untuk material beton, terdiri dari beberapa nilai yang ditunjukkan pada tabel 3.6.

Dilatation Angel	Eccentricity	fb0/fc	К	Viscosity Parameter
38	1	1.12	0.666	0

Tabel 3.6 Plasticity Material Beton (Tomas Jankowiak, 2005)

- Compressive Behavior

Pada bagian ini, nilai tegangan dan regangan plastis beton akibat gaya tekan dimasukkan ke dalam input program. Nilai teganganregangan ini didapatkan dari hasil perhitungan analitis berdasarkan jurnal Khanouki dkk, 2016.



Gambar 3.11 Hubungan Tegangan-Regangan Beton akibat Beban Tekan (Khanouki dkk, 2016)

$$Ecm = 9.5(f'c+8)^{\frac{1}{3}}$$
 Ecm (GPa) dan f'c (MPa) (3.29)

1

$$n = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}, \text{ dengan } \varepsilon_{c1} = 0.0022$$
(3.30)

$$k = 1.1xEcmx\frac{\varepsilon_{c1}}{f'c}$$
(3.31)

$$fc = \left(\frac{kn - n^2}{1 + (k - 2)n}\right) f'c \tag{3.32}$$

Dengan persamaan diatas, dapat ditentukan nilai tegangan-regangan plastis beton akibat gaya tekan untuk diinput dalam program. Nilai

tegangan-regangan plastis beton akibat gaya tekan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik
0.000	0.0000	
9.255	0.0002	
16.288	0.0006	
21.524	0.0009	0.0003
25.284	0.0012	0.0006
27.820	0.0015	0.0009
29.326	0.0018	0.0012
30.000	0.0022	0.0016
29.848	0.0024	0.0018
29.092	0.0027	0.0021
27.779	0.0030	0.0024
25.978	0.0033	0.0027
24.536	0.0035	0.0029

Tabel 3.7 Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tekan

- Tensile Behavior

Pada bagian ini, nilai tegangan dan regangan plastis beton akibat gaya tarik dimasukkan ke dalam input program. Nilai teganganregangan ini didapatkan dari hasil perhitungan analitis berdasarkan jurnal Khanouki dkk, 2016.

Tegangan retak dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut: (Khanouki dkk, 2016)



Gambar 3.12 Hubungan Tegangan-Regangan Beton akibat Beban Tarik (Khanouki dkk, 2016)

$$f_t = 0.623\sqrt{f'c}$$
(3.33)

$$\varepsilon_{cr} = \frac{fr}{Ec} \tag{3.34}$$

Dengan persamaan diatas, dapat ditentukan nilai tegangan-regangan plastis beton akibat gaya tarik untuk diinput dalam program. Nilai tegangan-regangan plastis beton akibat gaya tarik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tarik

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik
0.000	0.000000	
3.412	0.000123	0.00000
2.877	0.000173	0.00005
2.817	0.000223	0.00010
2.766	0.000273	0.00015
2.721	0.000323	0.00020
2.680	0.000373	0.00025
2.643	0.000423	0.00030
2.610	0.000473	0.00035
2.578	0.000523	0.00040
2.549	0.000573	0.00045

e. Assign Section

Pada tahap ini, material yang didefinisikan ditempatkan pada *part* sesuai dengan rencana pemodelan. *Assign section* untuk part inti beton dan profil hollow adalah *Solid – Homogeneous*, sedangkan untuk profil WF dan RBS adalah *Shell – Homogeneous*. Diambil elemen Inti Beton sebagai contoh.

- Create section
- Name, Inti Beton
- Category > Solid, Type > Homogenous
- Continue
- Material > Beton
- OK

Name	Туре
Concrete	Solid, Homogeneous
Steel	Solid, Homogeneous
Weld Metal	Solid, Homogeneous

Gambar 3.13 Section Manager



Gambar 3.14 Input Property pada Part

Geometri pada *Part* telah dimasukkan properti material dan siap untuk dirangkai atau digabungkan menjadi satu kesatuan.

3. Modul Assembly

Part yang telah dibuat, digabungkan menjadi satu kesatuan pemodelan. Untuk pemodelan las, digunakan jenis *interaction* berupa *tie constraint*.



Gambar 3.15 Layout Sambungan Hasil Assembly

4. Modul Step

Modul *Step* digunakan untuk menentukan langkah yang dilalui selama proses simulasi. *Initial step* sebagai kondisi gaya perletakan. *Step-1* dan step selanjutnya adalah pemberian beban *displacement*. *Step* dibuat sebanyak beban *displacement* yang akan diberikan.

5. Modul Boundary Condition

Boundary condition yang diterapkan pada model ini adalah perletakan sendi pada ujung kolom bagian bawah, dan perletakan yang ditahan kearah lateral pada ujung kolom bagian atas (Gambar 3.16). Untuk bebannya, digunakan beban siklik yang diambil dari *SAC loading protocol*, yaitu dengan diberi beban displacement diujung kedua balok tersebut dengan arah yang berbeda. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.



Gambar 3.16 Boundary Condition yang Digunakan



Gambar 3.17 Model Sambungan dengan Boundary Condition dan Beban Siklik



Gambar 3.18 SAC Loading Protocol



Gambar 3.19 Grafik Pembebanan Displacement (mm)

Step	Drift Angle	Displacement (mm)	Step	Drift Angle	Displacement (mm)
1	0.00375	13.13	30	-0.0075	-26.25
2	-0.00375	-13.13	31	0.0075	26.25
3	0.00375	13.13	32	-0.0075	-26.25
4	-0.00375	-13.13	33	0.0075	26.25
5	0.00375	13.13	34	-0.0075	-26.25
6	-0.00375	-13.13	35	0.0075	26.25
7	0.00375	13.13	36	-0.0075	-26.25
8	-0.00375	-13.13	37	0.01	35.00
9	0.00375	13.13	38	-0.01	-35.00
10	-0.00375	-13.13	39	0.01	35.00
11	0.00375	13.13	40	-0.01	-35.00
12	-0.00375	-13.13	41	0.01	35.00
13	0.005	17.50	42	-0.01	-35.00
14	-0.005	-17.50	43	0.01	35.00
15	0.005	17.50	44	-0.01	-35.00
16	-0.005	-17.50	45	0.015	52.50
17	0.005	17.50	46	-0.015	-52.50
18	-0.005	-17.50	47	0.015	52.50
19	0.005	17.50	48	-0.015	-52.50
20	-0.005	-17.50	49	0.02	70.01
21	0.005	17.50	50	-0.02	-70.01
22	-0.005	-17.50	51	0.02	70.01
23	0.005	17.50	52	-0.02	-70.01
24	-0.005	-17.50	53	0.03	105.03
25	0.0075	26.25	54	-0.03	-105.03
26	-0.0075	-26.25	55	0.03	105.03
27	0.0075	26.25	56	-0.03	-105.03
28	-0.0075	-26.25	57	0.04	140.07
29	0.0075	26.25	58	-0.04	-140.07

Tabel 3.9 Pembebanan Displacement

Step	Drift Angle	Displacement (mm)	Step	Drift Angle	Displacement (mm)
59	0.04	140.07	62	-0.05	-175.15
60	-0.04	-140.07	63	0.05	175.15
61	0.05	175.15	64	-0.05	-175.15

 Tabel 3.10 Pembebanan Displacement (Lanjutan)

6. Modul Mesh

Pada model ini digunakan mesh dengan bentuk elemen *Hex* dengan ukuran sebesar 50 mm pada bagian *joint* balok-kolom, dan bagian lainnya sebesar 80 mm. *Mesh* pemodelan ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Mesh pada Model Sambungan

3.3.5 Analisis Hasil Pemodelan Sambungan

Setelah sambungan dimodelkan dengan menggunakan *software* ABAQUS 6.14, dilakukan proses running atau eksekusi proses pembebanan. Hasil eksekusi pembebanan tersebut akan dianalisis, baik perilaku kerusakan sambungan, tegangan, regangan, dan daktilitas dari model sambungan dan elemen struktur yang direncanakan. Analisis gaya dilakukan untuk mempersiapkan beban maksimum yang bekerja pada sambungan serta menetapkan batasan-batasan sesuai dengan peraturan terkait. Proses running dan analisis gaya pada model sambungan tersebut dilakukan dengan iterasi berulang untuk mendapatkan konfigurasi sambungan yang daktail.

3.3.6 Hasil Kesimpulan Penelitian

Berdasarkan analisa hasil pemodelan yang dilakukan pada masingmasing tipe sambungan menggunakan *software* ABAQUS 6.14, maka dapat ditarik kesimpulan ditinjau dari perilaku kerusakan sambungan, tegangan, regangan, dan daktilitas dari seluruh studi yang telah dilakukan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan disajikan distribusi tegangan dan kurva teganganregangan akibat beban siklik dengan menggunakan program bantu FE. Model sambungannya meliputi model sambungan RCFT dengan dan tanpa RBS. Hasil analisis dari kedua model tersebut akan dibandingkan, sehingga didapatkan model sambungan yang memenuhi syarat akibat beban siklik.

4.2 Hasil Eksperimen (Jones dkk 2002)

Hasil eksperimen dari Jones dkk ini menjadi acuan dalam pemodelan. Hasil eksperimen ini dianggap sebagai perilaku yang sebenarnya terjadi pada jenis sambungan 2B akibat beban siklik.

Spesifikasi dan ukuran dari sambungan diambil secara detail dari eksperimen tersebut. Spesimen yang digunakan diambil salah satu dari 8 spesimen yang digunakan pada penelitian Jones dkk 2002, yaitu spesimen 2B (Tabel 4.2). Profil kolom yang digunakan adalah W14x398 dan profil balok W36x150, dengan *material properties* yang berbeda-beda, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Gambar 4.1 menunjukkan detail sambungan tipe 1B spesimen Jones dkk (2002). Hasil dari eksperimen ini sangat berguna untuk memverifikasi atau mengoreksi hasil dari pemodelan yang dilakukan agar hasil pemodelan dapat dikontrol terhadap hasil eksperimen yang sudah ada.

Matarial	fy	fu
wrateria	MPa	MPa
W14x398 kolom	352	492
W36x150 balok	374	474

Tabel 4.1 Material Properties dari Spesimen Model

Spesimen	Setup Tes	Kolom	Sambungan badan balok	Baja atau komposit	Kekuatan panel zone
1B	UTA	W14 x 398	baut	baja	seimbang
1C	UTA	W14 x 398	baut	komposit	seimbang
2B	TAMU	W14 x 398	las	baja	seimbang
2C	TAMU	W14 x 398	las	komposit	seimbang
3B	UTA	W14 x 283	baut	baja	lemah
3C	UTA	W14 x 283	baut	komposit	lemah
4B	TAMU	W14 x 398 dengan <i>doubler plate</i> t: 19 mm	baut	baja	kuat
4C	TAMU	W14 x 398 dengan <i>doubler plate</i> t: 19 mm	baut	komposit	kuat

Tabel 4.2 Tes Spesimen

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Gambar 4.1 menunjukkan detail sambungan tipe 1B spesimen Jones dkk (2002).



Gambar 4.1 Detail Sambungan Tipe 1B Spesimen Model Jones dkk (2002)

Hasil eksperimen yang diambil tidak semuanya, hanya beberapa yang dianggap cukup mewakili beberapa parameter yang ingin dilihat pengaruhnya terhadap perilaku dari sambungan tersebut. Berikut ini adalah kurva histerisis dari hubungan antara *Beam Moment-Plastic Rotation* oleh Jones dkk dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kurva Hubungan antara Story Drift Angle-Column Tip Load Tipe 2B oleh Jones dkk (2002)

Hasil eksperimen dari Jones dkk tersebut didapatkan dari jurnal yang telah dipublikasikan pada *Journal of Structure Engineering* pada tahun 2002.

4.2.1 Verifikasi Hasil Metode Finite Element dengan Hasil Eksperimen

Sebelum studi parametrik dapat dilakukan maka perlu adanya pembuktian (verifikasi) hasil dari model *finite element* (ABAQUS). Untuk memvalidasi keakuratan hasil pemodelan dengan program bantu *finite element*, dilakukan perbandingan hasil kurva *Displacement-Forces* dari hasil pemodelan (2B), dan hasil eksperimen.

4.2.2.1 Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model 2B

Gambar dibawah ini menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi akibat beban siklik pada model sambungan 2B pada step 64.



Gambar 4.3 Hasil S Mises Step 1 (14.29 mm) pada Model Sambungan 2B



Gambar 4.4 Hasil S Mises Step 37 (38.10 mm) pada Model Sambungan 2B



Gambar 4.5 Hasil S Mises Step 64 (-190.66 mm) pada Model Sambungan 2B

Hasil dari pemodelan tersebut akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang digunakan sebagai acuan dalam kriteria desain sambungan. Hasil pemodelan dengan program bantu *finite element* merupakan sebuah pendekatan, sehingga hasilnya tidak sama persis dengan hasil penelitian atau eksperimen. Gambar 4.6 menunjukkan kurva *Stress-Strain* dari hasil eksperimen dengan program bantu *finite element*.



Gambar 4.6 Stress-Strain Diagram Hasil Pemodelan FEM (Abaqus)

4.2.2.2 Verifikasi Model Sambungan 2B

Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil dari eksperimental dari model sambungan 2B Jones dkk (2002) dengan program bantu *finite element* ABAQUS 6.14 dan SAP2000 untuk mendapatkan nilai momen dan gaya geser di daerah RBS.

Model sambungan 2B dimodelkan dalam portal. Setelah melakukan *running*, didapatkan nilai momen dan gaya geser di daerah RBS untuk menghitung nilai tegangan dan regangan di daerah RBS.

- Tegangan di daerah RBS

Momen (M) = 2456416212 N.mm Y = 455.5 mm $I_x = \frac{1}{12} x 152 x 911^3 - 2x \frac{1}{12} x 68 x 863^3 = 2292397727 mm^4$ $\sigma = \frac{MxY}{Ix} = \frac{2456416212 x 455.5}{2292397727} = 488.09 MPa$

Hasil pemodelan dengan program bantu *finite element* merupakan sebuah pendekatan, sehingga hasilnya tidak sama persis dengan hasil penelitian atau eksperimen.

Hasil dari analisis dengan *finite element* memberikan nilai tegangan dan regangan maksimum sama dengan nilai dari hasil eksperimen, tetapi

memberikan nilai disipasi energi yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbedaan hasil ini bisa disebabkan karena adanya ketidak sempurnaan geometri dan material yang digunakan dalam model. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan menggunakan program bantu *FE* dapat memprediksi perilaku sambungan dengan baik.

4.3 Analisa Perhitungan Sambungan RCFT

4.3.1 Penampang Kolom RCFT (*Rectangular Concrete Filled Tubes*)

Berikut ini adalah gambar dari profil Kolom RCFT:



Gambar 4.7 Kolom Baja Berintikan Beton Penampang Persegi (RCFT)

Dalam perencanaan ini,data yang perlu direncanakan antara lain:

- Profil RCFT, dengan B = H = 500 mm, t = 20 mm

- Mutu dari steel tube = BJ 41, fu = 410 MPa, fy = 250 MPa

- Mutu beton (fc') = 30 MPa

4.3.1.1 Batasan-batasan Perhitungan

• Luas penampang baja \geq 1% luas penampang komposit total

As $\geq 1\%.A_g$

```
38400 ≥ 1%.250000
```

 $38400 \text{ mm}^2 \ge 2500 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

• Mutu beton (fc') yang digunakan berada diantara 21 MPa dan 70 MPa

 $21 \text{ MPa} \le f_c' \le 70 \text{ MPa}$

 $21 \text{ MPa} \le 30 \text{ MPa} \le 70 \text{ MPa}$ (OK)

• Tegangan leleh profil dan tulangan baja tidak boleh melebihi 525 MPa

 $f_y \leq 525 \text{ MPa}$

 $250 \text{ MPa} \leq 525 \text{ MPa} (\text{OK})$

- Tebal minimum dinding penampang baja berongga:
 - Penampang persegi

$$t_{\min} = b \sqrt{\frac{f_y}{5E}}$$

= $500 \sqrt{\frac{250}{5.2.10^5}} = 7.905 \approx 8mm \le 20mm(\text{OK})$

4.3.1.2 Kuat Rencana Beban Aksial

- Menentukan tipe penampang

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{500}{2.20} = 12.5$$
$$\lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.26 \sqrt{\frac{2.10^5}{250}} = 63.93$$

Karena $\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Mencari nilai Pno

$$P_{no} = P_{p}$$

$$P_{p} = f_{y}A_{s} + C_{2}f_{c}'\left(A_{c} + A_{st}\frac{E_{s}}{E_{c}}\right)$$

$$P_{p} = 250.38400 + 0.85.30(211600 + 0)$$

$$= 14995800 \text{ N}$$

Jadi nilai Pno yang digunakan sebesar 14995800 N

- Beban aksial

 $A_{total} = 500 \; x \; 500 = 250000 \; mm^2$

$$\mathbf{P}_{\text{aksial}} = \frac{P_{no}}{A_{total}} = \frac{14995800}{250000} = 59.98 \approx 60N \,/\,mm^2$$

Diasumsi beban aksial yang diterima kolom sebesar 20% dari beban aksial, sehingga:

= 20% x
$$P_{aksial}$$

= 20% x 60 = 12 N/mm²

4.3.2 Penampang Balok RBS (Reduced Beam Section)

4.3.2.1 Perhitungan Kapasitas

Balok RBS direncanakan menggunakan profil WF 600.200.11.17 dengan data-data sebagai berikut:



Gambar 4.8 Notasi pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS

Untuk menentukan kapasitas balok RBS, ketentuan mengenai panjang pengurangan maupun panjang zona RBS sudah ditentukan FEMA 350. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Ketentuan Kapasitas Balok RBS (FEMA 350)

FEMA 350					
$a = 0.50 - 0.75 \ b_{\rm f}$					
$b = 0.65 - 0.85 \; d_b$					
$c \le 0.25 \ b_{\rm f}$					
s = a + b/2					

Dengan ketentuan seperti pada Tabel 4.1, maka:

 $a = 0.6 \text{ x } b_{f}$ = 0.6 x 200 = 120 mm $b = 0.8 \text{ x } d_{b}$ = 0.8 x 600

= 480 mm

$$c = 0.25 \text{ x b}_{f}$$

= 0.25 x 200
= 50 mm
 $s = a + b / 2$
= 120 + 480 / 2
= 360 mm

4.3.3 Desain Panel Zone

4.3.3.1 Gaya Geser Panel Zone (dari Kapasitas Balok)

Diketahui:

$$f_{u} = 4100 \text{ kg/cm}^{2}$$

$$f_{y} = 2500 \text{ kg/cm}^{2}$$

$$Ry = 1.5 \text{ (BJ41)}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 600.200.11.17 untuk balok dengan data-data sebagai berikut:

$A = 134.4 \text{ cm}^2$	$Ix = 77600 \text{ cm}^4$	$Sx = 2590 \text{ cm}^3$
W = 106 kg/m	$Iy = 2280 \text{ cm}^4$	$Sy = 228 \text{ cm}^3$
B = 200 mm	ix = 24 cm	$Zx = 2863 \text{ cm}^3$
d = 600 mm	iy = 4.12 cm	$Zy = 357 \text{ cm}^3$
tw = 11 mm	r = 22 mm	tf = 17 mm

 $Z_{xRBS} = Zx - 2 x c x tf x (d-tf) = 1871.9 cm^3$

$$\begin{split} M_{p} \text{ balok RBS} &= Z_{xRBS} \text{ x fy} \\ &= 1871.9 \text{ x } 2500 \\ &= 4679750 \text{ kgcm} = 46.797 \text{ tm} \\ Mu &= 0.8\Sigma R_{y} M_{p} \\ &= 0.8 \text{ x } 1 \text{ x } 1.5 \text{ x } 46.797 \\ &= 56.157 \text{ tm} \\ V_{col} &= \frac{Mu}{\Sigma h} \\ &= \frac{56.157}{2} \end{split}$$

= 28.08 ton

$$T_{b} = C_{b} = \frac{Mu}{d - tf}$$

$$= \frac{56.157}{0.6 - 0.017}$$

$$= 96.32 \text{ ton}$$

$$V_{ju} = T_{b, ka} + C_{b,ki} - V_{col}$$

$$= 96.32 + 0 - 28.08$$

$$= 68.25 \text{ ton}$$

4.3.3.2 Kekuatan Geser Panel Zone

Diketahui:

$t_w = 2 cm$	$d_c = 50 \text{ cm}$
$b_{cf} = 50 \text{ cm}$	$t_{cf}=2\ cm$
$d_{db} = 60 \text{ cm}$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$\varphi_v = 0.75$	

$$\phi_{\rm v} \, V_{\rm n} = 0.6 x \phi_{\rm v} x f_{\rm v} x d_{\rm c} x t_{\rm p} x \left(1 + \frac{3 x b_{cf} x t_{cf}^{2}}{d_{\rm b} x d_{\rm c} x t_{cw}} \right)$$
$$= 0.75 \, \text{x} \, 0.6 \, \text{x} \, 2500 \, \text{x} \, 50 \, \text{x} \, 2 \left[1 + \frac{3 \, \text{x} \, 50 \, \text{x} \, 2^{2}}{60 \, \text{x} \, 50 \, \text{x} \, 2} \right]$$
$$= 123750 \, \text{kg} = 123.75 \, \text{ton}$$

4.3.3.3 Kontrol Panel Zone terhadap Kekuatan

4.3.4 Konsep Strong Column Weak Beam

Berdasarkan SNI-03-1729 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur baja untuk Bangunan Gedung, syarat konsep *Strong Column Weak Beam* adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Sigma M *_{pc}}{\Sigma M *_{pb}} > 1$$

4.3.4.1 Menghitung M*_{pc}

Diketahui:

$$Zc = Zx = Zy = (0.5 \text{ x } d \text{ x } (2 \text{ x } tw) \text{ x } 0.5 \text{ x } d) + (d - 2 \text{ x } tw) \text{ x } tw \text{ x } 0.5 \text{ x } (d - tw)$$
$$= (0.5 \text{ x } 50 \text{ x } (2 \text{ x } 2) \text{ x } 0.5 \text{ x } 50) + (50 - 2 \text{ x } 2) \text{ x } 2 \text{ x } 0.5 \text{ x } (50 - 2)$$
$$= 4708 \text{ cm}^{3}$$

 $f_y \qquad = 2500 \; kg/cm^2$

Asumsi N_{uc} = 0 (diabaikan)

$$\Sigma M *_{pc} = 2x \left[Zcx \left(f_y - \frac{N_{uc}}{Ag} \right) \right]$$
$$= 2 \times 4708 \times 2500$$
$$= 23540000 \text{ kgcm}$$
$$= 235.4 \text{ tm}$$

4.3.4.2 Menghitung M*_{pb}

Diketahui:

 $Z_{xRBS} = Zx - 2 \ x \ c \ x \ tf \ x \ (d-tf) = 1871.9 \ cm^3$

 $f_y \ = 2500 \ kg/cm^2$

Ry = 1.5 (BJ41)

Asumsi $M_y = 0$ (diabaikan)

$$\Sigma M *_{pb} = 1.1 x R_y x f_y x Z_x + M_y$$

= 1.1 x 1.5 x 2500 x 1871.9
= 7721588 kgcm
= 77.216 tm

4.3.4.3 Kontrol Konsep Strong Column Weak Beam

$$\frac{\Sigma M *_{pc}}{\Sigma M *_{pb}} = \frac{235.4}{77.216} = 3.05 > 1(OK)$$

Persyaratan Konsep Strong Column Weak Beam terpenuhi.

4.4 Analisa Hasil Model Sambungan

Pada sub-bab ini akan disajikan hasil dari kurva tegangan-regangan pada masing-masing tipe sambungan RCFT dengan menggunakan program bantu FE. Hasil analisis tersebut akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang sudah ada. Dari hasil verifikasi ini akan diketahui tingkat akurasi hasil dari pemodelan dengan program bantu *finite element*.

4.4.1 Hasil Pemodelan Sambungan RCFT dengan Program Bantu *Finite Element*

Pemodelan dengan *software* bantu *finite element* (ABAQUS) dilakukan pada 2 model sambungan RCFT. Berikut ini adalah gambar dari tiap-tiap model sambungan RCFT dengan beban siklik yang diambil dari *SAC loading protocol*, yaitu dengan diberi beban displacement diujung kedua balok tersebut dengan arah yang berbeda. Berikut ini adalah kontur tegangan yang terjadi akibat beban siklik pada model RR-1 dan RB-1.

4.4.1.1 Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model RR-1

Gambar dibawah ini menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi akibat beban siklik pada model sambungan RR-1.



Gambar 4.9 Hasil S Mises Step 1 (13.13 mm) pada Model Sambungan RR-1



Gambar 4.10 Hasil S Mises Step 25 (26.25 mm) pada Model Sambungan RR-1



Gambar 4.11 Hasil S Mises 64 (-174.15 mm) pada Model Sambungan RR-1

Gambar 4.9-4.11 diatas, menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada model sambungan RR-1. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa model sambungan tanpa RBS (RR-1) mengalami leleh pertama di daerah ujung sayap pada balok pada step 25.

4.4.1.2 Distribusi Tegangan akibat Beban Siklik pada Model RB-1

Gambar dibawah ini menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi akibat beban siklik pada model sambungan RB-1.



Gambar 4.12 Hasil S Mises Step 1 (13.13 mm) pada Model Sambungan RB-1



Gambar 4.13 Hasil S Mises Step 13 (17.50 mm) pada Model Sambungan RB-1



Gambar 4.14 Hasil S Mises 64 (-174.15 mm) pada Model Sambungan RB-1

Gambar 4.12-4.14 diatas, menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada model sambungan RB-1. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa model sambungan dengan RBS (RB-1) mengalami leleh pertama di daerah RBS pada step 13.

Dari gambar distribusi tegangan model sambungan RR-1 dan RB-1 diatas, dapat disimpulkan bahwa model sambungan dengan RBS memiliki performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa RBS. Karena dengan adanya RBS, letak sendi plastis dapat direncanakan dan dapat dipastikan bahwa sendi plastis pertama terjadi lebih dulu (step 13) dibandingkan tanpa RBS (step 25) dan dapat menjamin bahwa sendi plastis terbentuk di daerah RBS yang letaknya jauh dari daerah kolom.

4.4.1.3 Verifikasi Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan SAP2000

Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil dari pemodelan sambungan RR-1 dan RB-1 dari program bantu *finite element* dengan program bantu SAP2000.

Kedua model tersebut dimodelkan dalam portal dan diberi beban *pushover* seperti pada gambar dibawah ini. Setelah melakukan *running*, didapatkan dua hal penting yaitu mekanisme terbentuknya sendi plastis sampai batas keruntuhan dan grafik *Base Shear vs Displacement*.



Gambar 4.15 Model Sambungan RR-1 dengan SAP2000 saat Terjadi Sendi Plastis Pertama dan Terakhir



Gambar 4.16 Model Sambungan RB-1 dengan SAP2000 saat Terjadi Sendi Plastis Pertama dan Terakhir

Gambar 4.15 menunjukkan posisi terjadinya sendi plastis pertama dan terakhir pada model sambungan RR-1. Sendi plastis pertama terbentuk saat memasuki step 8. Gambar 4.16 menunjukkan posisi terjadinya sendi plastis pertama dan terakhir pada model sambungan RB-1. Sendi plastis pertama terbentuk saat memasuki step 5.

Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa sambungan dengan RBS (RB-1) menjamin terjadinya sendi plastis lebih dulu di daerah RBS yang letaknya jauh dari daerah kolom.



Gambar 4.17 Grafik Base Shear vs Displacement Struktur RR-1 dan RB-1

Gambar 4.17 menunjukkan grafik *Base Shear vs Displacement* dari model sambungan RR-1 (kiri) dan RB-1 (kanan). Pada struktur RR-1, nilai simpangan pada saat leleh awal sebesar 29.56 mm, dan simpangan maksimum sebelum runtuh sebesar 119.586 mm. Pada struktur RB-1, nilai simpangan pada saat leleh awal sebesar 24.186 mm, dan simpangan maksimum sebelum runtuh sebesar 119.586 mm.

Dari gambar tersebut, didapat nilai disipasi energi pada struktur RR-1 sebesar 396.10⁶ N.mm, sedangkan pada struktur RB-1 didapat nilai disipasi energi sebesar 781. 10⁶ N.mm.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa struktur RR-1 hanya memiliki tahapan plastis yang singkat jika dibandingkan struktur RB-1. Pada grafik struktur RB-1 menunjukkan bahwa saat diberi beban *pushover*, struktur RB-1 memiliki kemampuan bertahan lebih lama saat kondisi plastis.

Dari nilai simpangan pada saat leleh awal dan simpangan maksimum sebelum runtuh, dapat dihitung nilai daktilitas struktur tersebut dengan rumus:

$$\mu = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{awal}}$$

Daktilitas struktur RR-1:

$$\mu_{RR-1} = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{awal}} = \frac{119.586}{27.68} = 4.32$$

Daktilitas struktur RB-1:

$$\mu_{RB-1} = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{awal}} = \frac{119.592}{24.186} = 4.95$$

Dari perhitungan diatas, didapat bahwa nilai daktilitas struktur RB-1 lebih besar jika dibandingkan struktur RR-1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur dengan menggunakan RBS lebih daktail jika dibandingkan struktur tanpa RBS.

4.4.1.4 Analisis Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan Beban Gempa El-Centro menggunakan SAP2000

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai perpindahan pada pemodelan sambungan RR-1 dan RB-1 dengan program bantu SAP2000. Gambar berikut menampilkan *time history* dari gempa El-Centro dan perpindahan yang ditimbulkan akibat gempa tersebut.



Gambar 4.18 Time History Beban Gempa El-Centro



Gambar 4.19 Model Sambungan RR-1 dan RB-1 dengan Beban Gempa El-Centro menggunakan SAP2000

Kedua model tersebut dimodelkan dalam portal dan diberi beban gempa El-Centro. Setelah melakukan *running*, didapatkan nilai perpindahan tiap lantai akibat beban gempa El-Centro tersebut seperti pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.20 Perpindahan Tiap Lantai pada RR-1 dan RB-1 Gempa El-Centro

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model sambungan RB-1 memiliki kemampuan untuk mengalami simpangan yang besar saat kondisi *pasca-elastik* jika dibandingkan dengan RR-1. Maka dari itu, struktur dengan menggunakan RBS lebih daktail jika dibandingkan struktur tanpa RBS.

4.4.1.5 Diagram Tegangan-Regangan pada Model RR-1 dan RB-1 akibat Beban Siklik

Daktilitas adalah kemampuan suatu penampang untuk mengembangkan deformasinya setelah mengalami leleh pertama kali hingga mengalami putus. Atau seberapa lama suatu elemen struktur bisa bertahan setelah mengalami leleh pertama kali atau sejak terbentuknya sendi plastis.

Berikut ini akan disajikan diagram tegangan-regangan pada model sambungan RR-1 dan RB-1.



Gambar 4.21 Diagram Tegangan-Regangan pada Model RR-1 akibat Beban Siklik.



Gambar 4.22 Diagram Tegangan-Regangan pada Model RB-1 akibat Beban Siklik.

Kedua diagram diatas menunjukkan bahwa struktur tersebut mengalami tahap elastis sebelum terjadi leleh. Luasan dari kurva tersebut meningkat secara berangsur-angsur.

Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 menunjukkan nilai tegangan dan regangan maksimum yang mampu dicapai oleh kedua model tersebut. Tegangan maksimum yang mampu dicapai model sambungan RR-1 sebesar 362.886 MPa pada regangan 0.0082, dan model sambungan RB-1 sebesar 419.968 MPa yang dicapai pada regangan 0.0125.

Dari kedua gambar tersebut, didapat nilai luasan dari diagram teganganregangan pada model sambungan RR-1 sebesar 9.41, sedangkan pada model sambungan RB-1 didapat nilai luasan sebesar 17.27.

Maka dapat disimpulkan bahwa model sambungan RB-1 memiliki kemampuan bertahan lebih lama saat kondisi plastis. Karena itu, RB-1 memiliki daktilitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan RR-1, sehingga lebih aman jika diterapkan pada wilayah gempa tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dengan adanya RBS (RB-1), letak sendi plastis dapat direncanakan dan dapat dipastikan bahwa leleh pertama sebesar fy= 250 MPa terjadi lebih dulu yaitu pada step 13 dibandingkan tanpa RBS (RR-1) yang mengalami leleh pada step 25. RBS dapat menjamin bahwa sendi plastis terbentuk di daerah RBS yang letaknya jauh dari daerah kolom,
- Kedua model tersebut dimodelkan dalam portal dan diberi beban *pushover* agar dapat diketahui nilai daktilitasnya. Didapat nilai daktilitas struktur RB-1 sebesar 2, sedangkan struktur RR-1 memiliki nilai daktilitas struktur sebesar 1.337. Kerena adanya RBS, model sambungan RB-1 lebih daktail dibandingkan dengan RR-1.
- 3. Dari hubungan tegangan dan regangan, tegangan maksimum yang mampu dicapai model sambungan RR-1 sebesar 362.886 MPa pada regangan 0.0082, dan model sambungan RB-1 sebesar 419.968 MPa yang dicapai pada regangan 0.0125. Sehingga model sambungan RB-1 memiliki kemampuan bertahan lebih lama saat kondisi plastis jika dibandingkan dengan RR-1.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

 Perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pengaruh dari bentuk sambungan RCFT dengan sambungan baut.
Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)", Bandung: BSN, 2012.
- Badan Standardisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2015)", Bandung: BSN, 2015.
- Cheng C. T.; Chung I. J., "Seismic Performance of Steel Beams to Concrete-Filled Steel Tubular Column Connections", *Journal of Constructional Research*, 59(3): 405-26, 2003.
- Elremaily A.; Azizinamini A., "Experimental Behavior of Steel Beam to CFT Column Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, 2001: 1099-1119, 2001.
- Jones, S. L.; and Engelhardt, M.D, "Experimental Evaluation of Cyclically Loaded Reduced Beam Section Moment Connection", *Journal of Structural Engineering*, 128(4): 441-451, 2002.
- Khanouki M. M. A.; Shariati M., "Investigation of Through Beam Connection to Concrete Filled Circular Steel Tube (CFST) Column", *Journal of Constructional Research*, 121: 144-162, 2016.
- Kimura J.; Matsui C., "Structural Performance of H-Shaped Steel Beam to Square Tube Steel Column Connection using Vertical Stiffeners", Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, AIJ 2000: 631-632, 2000.
- Park, R., dan Paulay, T. "Reinforced Concrete Structure". A Wiley-Interscience Publication, New York, 1975. N.Y. USA, 224 pp.
- Schneider S.P.; Alostaz Y. M., "Experimental Behavior Connections to Concrete Filled Steel Tubes", *Journal of Constructional Research*, 45(3): 321-52, 1998.
- Shin K.; Kim Y., "Seismic Behaviour of Composite Concrete Filled Tube Column-to-Beam Moment Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (2008) 118–127, 2007.
- Wang W.; Han L., "Experimental Behaviour of Steel Reduced Beam Section to Concrete Filled Circular Hollow Section Column Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (2008) 493–504, 2007.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Cintantya Budi Casita, dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 25 Oktober 1993, merupakan anak keempat dari enam bersaudara dari pasangan Suharjoko dan Reny Angrenani.

Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Semolowaru 1-261 Surabaya, SMPN 12 Surabaya, dan melanjutkan ke SMAN 16 Surabaya. Kemudian penulis penulis melanjutkan pendidikan sarjana jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya di

tahun 2011 dan terdaftar sebagai mahasiswa S1 Reguler. Selama kuliah S1, penulis menjuarai beberapa lomba yang diadakan oleh DIKTI, yaitu Juara 2 Kompetisi Jembatan Indonesia IX Tahun 2013 Kategori Jembatan Bentang Panjang, dan Juara 1 PIMNAS 27 Bidang Karsa Cipta.

Setelah lulus S1, penulis melanjutkan pendidikan magister jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya bidang studi Struktur pada tahun 2015. Penulis sempat bekerja di perusahaan kontraktor swasta selama satu tahun dengan posisi Quantity Surveyor.

E-mail: cintantyabc@gmail.com

LAMPIRAN

Diagram Tegangan-Regangan Baja fy 250 MPa

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\varepsilon_y = \frac{250}{2.10^5} = 0.00125$$
(3.27)

Tabel Nilai Tegangan-Regangan Baja fy 250 MPa

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik		
0	0			
250	0.00125	0		
410	0.2	0.19875		

Compressive Behavior f'c= 30 MPa

$$Ecm = 9.5(f'c+8)^{\frac{1}{3}} Ecm (GPa) dan f'c (MPa)$$
(3.29)

$$Ecm = 9.5(30+8)^{\frac{1}{3}} = 31.938GPa = 31938MPa$$
(3.31)

$$k = 1.1xEcmx\frac{\varepsilon_{c1}}{f'c}$$
(3.31)

$$k = 1.1x31938x\frac{0.0022}{30} = 2.57$$
(3.30)

$$n = \frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{c1}}, dengan \varepsilon_{c1} = 0.0022$$
(3.30)

$$n = \frac{\varepsilon_{c}}{0.002}$$
(3.32)

$$fc = \left(\frac{kn-n^{2}}{1+(k-2)n}\right)f'c$$
(3.32)

$$fc = \left(\frac{2.57n-n^{2}}{1+(2.57-2)n}\right)30$$

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik
0.000	0.0000	
9.255	0.0002	
16.288	0.0006	
21.524	0.0009	0.0003
25.284	0.0012	0.0006
27.820	0.0015	0.0009
29.326	0.0018	0.0012
30.000	0.0022	0.0016
29.848	0.0024	0.0018
29.092	0.0027	0.0021
27.779	0.0030	0.0024
25.978	0.0033	0.0027
24.536	0.0035	0.0029

Tabel Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tekan

Tensile Behavior f'c= 30 MPa

$$f_{t} = 0.623\sqrt{f'c}$$
(3.33)

$$f_{t} = 0.623\sqrt{30} = 3.412MPa$$

$$E_{c} = w_{c}^{1.5} 0.043\sqrt{fc'}, \text{ dengan } w_{c} = 2400 \text{ kg/m}^{3}$$
(3.26)

$$E_{c} = 2400^{1.5} 0.043\sqrt{30} = 27691.47MPa$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{fr}{Ec}$$
(3.34)

$$\varepsilon_{cr} = \frac{3.412}{27691.47} = 0.000123$$

Tegangan (MPa)	Regangan	Regangan Inelastik
0.000	0.000000	
3.412	0.000123	0.00000
2.877	0.000173	0.00005
2.817	0.000223	0.00010
2.766	0.000273	0.00015
2.721	0.000323	0.00020
2.680	0.000373	0.00025
2.643	0.000423	0.00030
2.610	0.000473	0.00035
2.578	0.000523	0.00040
2.549	0.000573	0.00045

Tabel Nilai Tegangan-Regangan Plastis Beton akibat Gaya Tarik

Menghitung besarnya beban siklik berupa displacement.

Panjang balok= 3500 mm



Dari gambar idealisasi pembebanan diatas, didapat nilai x dengan persamaan tan θ . Maka,

$$x = 3500 \tan \theta$$

Nilai x tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel Pembebanan Displacement	
-------------------------------	--

Step	Step Drift Angle Displacement		Step Drift Angle Displacen		
1	0.00275	(mm)	F	0.0077	(mm)
1	0.00375	13.13	30	-0.0075	-26.25
2	-0.00375	-13.13	31	0.0075	26.25
3	0.00375	13.13	32	-0.0075	-26.25
4	-0.00375	-13.13	33	0.0075	26.25
5	0.00375	13.13	34	-0.0075	-26.25
6	-0.00375	-13.13	35	0.0075	26.25
7	0.00375	13.13	36	-0.0075	-26.25
8	-0.00375	-13.13	37	0.01	35.00
9	0.00375	13.13	38	-0.01	-35.00
10	-0.00375	-13.13	39	0.01	35.00
11	0.00375	13.13	40	-0.01	-35.00
12	-0.00375	-13.13	41	0.01	35.00
13	0.005	17.50	42	-0.01	-35.00
14	-0.005	-17.50	43	0.01	35.00
15	0.005	17.50	44	-0.01	-35.00
16	-0.005	-17.50	45	0.015	52.50
17	0.005	17.50	46	-0.015	-52.50
18	-0.005	-17.50	47	0.015	52.50
19	0.005	17.50	48	-0.015	-52.50
20	-0.005	-17.50	49	0.02	70.01
21	0.005	17.50	50	-0.02	-70.01
22	-0.005	-17.50	51	0.02	70.01
23	0.005	17.50	52	-0.02	-70.01
24	-0.005	-17.50	53	0.03	105.03
25	0.0075	26.25	54	-0.03	-105.03
26	-0.0075	-26.25	55	0.03	105.03
27	0.0075	26.25	56	-0.03	-105.03
28	-0.0075	-26.25	57	0.04	140.07
20	0.0075	26.25	58	-0.04	-140.07

Step	Drift Angle	Displacement (mm)	Step	Drift Angle	Displacement (mm)
59	0.04	140.07	62	-0.05	-175.15
60	-0.04	-140.07	63	0.05	175.15
61	0.05	175.15	64	-0.05	-175.15

Tabel Pembebanan Displacement (Lanjutan)