



TESIS :

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN BALOK-KOLOM  
DENGAN *REDUCED BEAM SECTIONS* (RBS)  
MENGUNAKAN SOFTWARE ELEMEN HINGGA**

MAHASISWA :

NAMA : Daud Kristanto

NRP : 3112202005

DOSEN PEMBIMBING :

Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D

Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



TESIS :

STUDY BEHAVIOR OF BEAM-COLUMN  
CONNECTIONS WITH REDUCED BEAM SECTION  
(RBS) USING FINITE ELEMENT METHOD

MAHASISWA :

NAME : Daud Kristanto

NRP : 3112202005

SUPERVISOR :

Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D

Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.

MAGISTER PROGRAM  
SPESIFICATION STRUCTURE  
DEPARTEMEN CIVIL ENGINEERING  
FAKULTY CIVIL ENGINEERING AND PLANOLGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN BALOK-KOLOM DENGAN  
REDUCED BEAM SECTIONS (RBS) MENGGUNAKAN SOFTWARE  
ELEMEN HINGGA**

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**DAUD KRISTANTO**

**NRP. 3112202005**

Tanggal Ujian : 26 Juni 2015

Periode Wisuda : September 2015

Disetujui Oleh :

  
1. **Budi Suswanto, ST., MT., PhD**  
NIP. 197301281998021002

(Pembimbing)

  
1. **Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.**  
NIP. 197302081998021001

(Pembimbing)

  
2. **Data Iranata, ST., MT., PhD**  
NIP. 198004302005011002

(Penguji)

  
3. **Endah Wahyuni, ST., M.Sc., PhD**  
NIP. 197002011995122001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T**  
NIP. 19640405 199002 1 001

## ABSTRAK

Gempa di Northridge pada tahun 1994 dan gempa di Kobe pada tahun 1995 menyebabkan kerusakan pada sambungan sistem rangka pemikul momen untuk baja. Akibat kejadian tersebut maka dilakukan banyak penelitian mengenai desain sambungan balok – kolom. Sambungan untuk balok – kolom berdasarkan penyambungannya adalah sambungan baut, las, maupun keduanya.

*Reduced Beam Section* (RBS) memiliki tiga jenis varian potongan yaitu *RBS with straight reduced section*, *RBS with tapered cut reduced section*, *RBS with radius reduced section*. Hasil perhitungan gaya – gaya dalam dan tegangan lentur untuk varian RBS tersebut yang akan kita bandingkan antara satu dan yang lain.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter dan variabel yang digunakan pada pemodelan RBS radius cut agar hasil pemodelan mendekati hasil dari eksperimen (Lee et. al. 2004), serta membandingkan gaya – gaya dalam dan tegangan lentur varian RBS yang lain. Untuk menghitung gaya – gaya dalam dan tegangan lentur yang terjadi pada RBS maka akan digunakan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan bantuan *software* berbasis elemen hingga.

Profil yang digunakan dalam penelitian ini akan disamakan dengan yang telah dilakukan sebelumnya yaitu kolom WF 400 x 400 x 13 x 21 dan balok IWF 600 x 200 x 11 x 17. Untuk ukuran RBS tipe radius cut dengan dimensi  $a = 150$  mm,  $b = 450$  mm, and  $c = 40$  mm.

Rasio gaya geser pada pemodelan RBS-R yang merupakan hasil eksperimen memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.71 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.66 dimana yang mendekati adalah pemodelan menggunakan doubling 5 mm dengan nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.744 dengan persentase perbandingan sebesar 104.79% sedangkan untuk nilai  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.6598 dengan persentase perbandingan sebesar 99.97%.

Dari hasil perbandingan dengan RBS-R sebagai acuan dapat dilihat bahwa untuk mencapai nilai displacement yang sama RBS-T membutuhkan gaya-gaya dalam lebih besar dari RBS-R dengan persentase 0.29% lebih tinggi, sementara RBS-D menghasilkan gaya-gaya dalam dengan persentase 4.18% lebih rendah dibandingkan RBS-R sedangkan nilai tegangan paling kecil didapat pada RBS-D dengan tegangan lentur sebesar 350.926 MPa kemudian nilai tegangan kedua didapat pada RBS-T sebesar 352.891 MPa dan tegangan terbesar dari RBS-R sebesar 358.163 MPa.

Kata kunci : balok-kolom, *reduced beam section*, *finite element method*

## ABSTRACT

Northridge Earthquake at 1994 and Kobe earthquake at 1995 cause massive damage to beam-column connection design. As a result of the incident then some reseracher do a lot of research on the design of the beam-column connection. Some of beam - column connection are bolt connection, welding, or both

There is three kind variant of Reduced Beam Section (RBS) connection named RBS with straight reduced section, RBS with tapered cut reduced section, RBS with radius reduced section. The result of moment, shear, and bending stress for every RBS variant will be compared one after another.

This experiment purpose was to determine the parameters and variables used in RBS radius cut model so that the results of the model can approach the results of experiments (Lee et. Al. 2004), as well as comparing the moment, shear, and bending stress for other variants RBS. To calculate the moment, shear, and bending stress that occurs in RBS will be used finite element method (FEM) with the help of the finite element-based on software.

Profiles used in this study will be equated with that have been done before and the column using WF 400 x 400 x 13 x 21 and the beam using IWF 600 x 200 x 11 x 17. For the measure of RBS radius cut type using dimensions  $a = 150$  mm,  $b = 450$  mm, and  $c = 40$  mm.

The ratio of shear force on RBS-R model which is the result of the experiment has value  $V_{RBS}/V_y$  of 0.71 and  $V_{RBS}/V_p$  of 0.66 where the approaching value is the model using 5 mm with doubling and the value  $V_{RBS}/V_y$  by 0744 with the percentage ratio of 104.79%, while the value for  $V_{RBS}/V_p$  ratio of 0.6598 with the percentage of 99.97%.

From the comparison with the RBS-R as a reference can be seen that to achieve the same displacement RBS-T requires internal forces greater than the RBS-R with 0.29% higher percentage, while the RBS-D generate forces 4.18% lower percentage than the RBS-R while the smallest stress value obtained at RBS-D with bending stress of 350.926 MPa then the second stress value obtained at RBS-T amounted to 352 891 MPa and the greatest stress from the RBS-R amounted to 358 163 MPa.

Keyword : beam-column, *reduced beam section*, *finite element method*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya untuk Bapa, Yesus Kristus, dan Santo Paulus yang selalu membimbing dan melindungi penulis dalam menyelesaikan tesis dengan judul “**Studi Perilaku Sambungan Balok–Kolom Dengan *Reduced Beam Sections* (RBS) Menggunakan Software Elemen Hingga**”.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Struktur pada program studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini dengan penuh kerendahan hati saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS dan juga pembimbing saya yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan penjelasan kapan saja dan dimana saja untuk selesainya tesis ini.
2. Bapak Dr. techn. Pujo Aji, S.T.,M.T selaku sekretaris jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS dan juga pembimbing saya yang selalu menekankan mengenai penulisan, konsep, dan mindset yang pastinya sangat bernilai.
3. Ibu Endah Wahyuni S.T., M.T., Ph.D selaku Kaprodi Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, FTSP ITS dan juga penguji saya yang memberikan masukan berharga mengenai penulisan sebuah karya tulis.
4. Bapak Data Iranata S.T., M.T., Ph.D selaku penguji saya yang telah memberikan masukan yang berharga berupa mindset software yang saya gunakan.
5. Bapak Ir. Made Sukrawa, MSCE, PhD. bos dan dosen pembimbing saya saat program sarjana yang menyarankan untuk meneruskan studi.
6. Bapak ibuku Didi Utojo dan (alm) Dr. drh. Diah Kusumawati, SU yang memberikan support moral dan material selama saya menjalani studi pascasarjana bahkan sebelum menjalani studi pascasarjana, dan juga tesis ini saya persembahkan spesial untuk ibuku yang telah berpulang.
7. Simbah Ani Hartati yang selalu mendoakan untuk selesainya tesis ini.
8. Kakak saya dan suaminya Dita & Tinus yang memberikan dukungan tanpa henti dalam menyelesaikan tesis ini.
9. Terimakasih atas bantuan orang spesial Bernardin Cornealia Paramita yang memberikan dukungan dalam kondisi apapun.
10. Teman – teman sekelas saya Pak Sumaidi, Pak Abraham, Junaidi Abdulloh, Dafit, Citra Bahrin, Niar, Gati, Putra, Puput Wiyono, Ricky Wijoyo.
11. Manajemen BJJ pak Antonius Wijaya AWA, pak Suprihadi SPH, pak Suwarto SWT, pak AJT, pak Ling Fuk, pak Bambang BBS, bu Sari MMS yang telah memberikan saya kesempatan bekerja sambil menempuh pendidikan pascasarjana.
12. Rekan – rekan kerja Abdulloh QC, Reyza aming PE, Cahyo sogol PE, Iksan&Lukman DE, Whina DE atas supportnya.

13. Semua yang terlibat dalam pembuatan tesis ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Semoga Bapa, Putra, dan Roh Kudus senantiasa memberikan berkat dan anugrah yang berlimpah bagi beliau-beliau yang tersebut di atas. Sangat disadari dalam tesis ini terdapat banyak kekurangan oleh karena itu semua saran dan kritik penulis terima dengan lapang dada demi kesempurnaan penulisan tesis ini. Akhirnya harapan penulis semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 17 Juni 2015

Daud Kristanto

# DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>iv</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Gambar.....</b>	<b>ix</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xii</b>
<b>I    <b>Pendahuluan.....</b></b>	<b>13</b>
1.1 Latar Belakang.....	13
1.2 Perumusan Masalah.....	14
1.3 Tujuan.....	15
1.4 Batasan Masalah.....	15
1.5 Manfaat Penelitian.....	15
<b>II   <b>Tinjauan Pustaka.....</b></b>	<b>16</b>
2.1 Dasar Teori.....	16
2.2 Sambungan.....	17
2.2.1 Design of Steel Special Moment Frames (Adan et al. 2009).....	17
2.2.2 Cyclic Testing of Bolted Flange Plate Steel Moment Connections for Special Moment Frames (Lee et al. 2004).....	18
2.2.3 Steel non-orthogonal reduced beam section moment Connections — a case study (Ball 2011).....	18
2.3 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	20
2.3.1 Development of seismic guidelines for deep-column steel moment connections (Ricles et al. 2004).....	20

2.3.2	Performance based analysis of RBS steel frames (Alexa and Ladar 2010).....	21
2.3.3	Seismic Performance of Reduced Beam Section Steel Moment Connections : Effects of Panel Zone Strength and Beam Web Connection Method (Lee et. al. 2004).....	23
<b>III</b>	<b>Metodologi Penelitian.....</b>	<b>28</b>
3.1	Flowchart Metodologi Penelitian.....	28
3.2	Langkah – Langkah Penelitian.....	29
3.2.1	Studi Literatur.....	29
3.2.2	Data Material/Komponen.....	29
3.2.3	Data Variabel.....	29
3.2.4	Model Yang Akan Dianalisis.....	30
3.2.5	Verifikasi Awal.....	30
3.2.6	Pemodelan Lanjutan.....	30
3.2.7	Kontrol <i>Strong Column-Weak Beam</i> dan sambungan .....	32
3.2.7.1	Kontrol Dimensi RBS.....	32
3.2.7.2	Kontrol Momen Plastis.....	33
3.2.7.3	Kontrol Panel Zone.....	34
3.2.8	Sambungan.....	35
3.2.8.1	Sambungan Baut.....	35
3.2.8.2	Sambungan Las.....	37
3.2.9	Analisa Perbandingan.....	39
3.2.10	Kesimpulan.....	39
3.7	Hasil Yang Diharapkan.....	39

<b>IV</b>	<b>Pembahasan.....</b>	<b>40</b>
4.1	Geometri.....	40
4.2	Material Properties.....	41
4.2.1	Material Properties Balok IWF 600x200x11x17.....	41
4.2.2	Material Properties Kolom HWF 400x400x13x21.....	43
4.2.3	Material Properties Stiffener.....	44
4.3	Assembly Properties.....	45
4.4	Boundary Condition.....	45
4.5	Meshing.....	46
4.6	Verifikasi Hasil.....	48
4.6.1	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan Tanpa Penebalan Pelat di Daerah Panel Zone.....	53
4.6.2	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (11 mm) pada Kedua Sisi Panel Zone...	54
4.6.3	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (7 mm) pada Kedua Sisi Panel Zone.....	54
4.6.4	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (5 mm) pada Kedua Sisi Panel Zone.....	56
4.6.5	Kesimpulan.....	57
4.7	Pemodelan Lanjutan.....	58
4.7.1	Pemodelan RBS Dogbone Cut/RBS-D.....	60
4.7.2	Pemodelan RBS Tapered Cut/RBS-T.....	63
4.7.3	Kesimpulan.....	65
<b>V</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>67</b>
	<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jenis Sambungan balok – kolom.....	13
Gambar 2.1	RBS detail.....	16
Gambar 2.2	Mekanisme portal satu tingkat, juga disebut mekanisme tingkat lemah “ <i>weak story mechanism</i> ” .....	17
Gambar 2.3	Mekanisme perpindahan yang ideal “ <i>strong column weak beam</i> ” .....	17
Gambar 2.4	Spesimen pertama yang digunakan Lee.....	18
Gambar 2.5	(a) Spesimen 1 dan 2, (b) Spesimen 3 dan 4.....	19
Gambar 2.6	Kurva hubungan momen dan story drift.....	19
Gambar 2.7	Kurva hubungan momen dan story drift.....	20
Gambar 2.8	Pemodelan untuk kolom interior.....	21
Gambar 2.9	Mekanisme runtuh untuk 6 tingkat 2 bentang.....	22
Gambar 2.10	Mekanisme runtuh untuk 6 tingkat 3 bentang.....	22
Gambar 2.11	Story drift in percentage untuk frame dua bentang.....	23
Gambar 2.12	Story drift in percentage untuk frame tiga bentang.....	23
Gambar 2.13	Geometri RBS yang digunakan.....	25
Gambar 2.14	Seismic moment profil untuk desain RBS.....	25
Gambar 2.15	Perbandingan Momen pada muka kolom dan <i>story drift ratio</i> .....	26
Gambar 2.16	Perencanaan tes.....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3.2	Pemodelan yang akan digunakan.....	30
Gambar 3.3	Variabel Penampang Balok dan Kolom yang Akan Diuji.....	31
Gambar 3.4	RBS yang akan diuji.....	31
Gambar 3.5	Ukuran Las Sudut.....	38
Gambar 4.1	Geometri Balok.....	40

Gambar 4.2	Geometri Kolom.....	41
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan pada Balok.....	42
Gambar 4.4	Material Properties Balok.....	43
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan pada Kolom.....	44
Gambar 4.6	Material Properties Kolom.....	44
Gambar 4.7	Peletakan Sendi yang Dikerjakan pada Pemodelan.....	45
Gambar 4.8	Asumsi Peletakan dengan Pengekangan Displacement.....	46
Gambar 4.9	Grafik Pembebanan <i>Displacement</i> .....	46
Gambar 4.10	Hasil Meshing.....	48
Gambar 4.11	Dimensi Mesh.....	48
Gambar 4.12	Tegangan Geser Leleh.....	52
Gambar 4.13	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement.....	54
Gambar 4.14	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 11 mm Tiap Sisi Panel Zone.....	55
Gambar 4.15	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 7 mm Tiap Sisi Panel Zone.....	56
Gambar 4.16	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 5 mm Tiap Sisi Panel Zone.....	57
Gambar 4.17	Model tanpa RBS.....	59
Gambar 4.18	Kontur Tegangan S Mises.....	59
Gambar 4.19	Kontur Tegangan Lentur RBS-R.....	60
Gambar 4.20	Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-R dan Sambungan.....	60
Gambar 4.21	Kontur Tegangan Lentur RBS-D.....	61
Gambar 4.22	Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-D dan Sambungan.....	61
Gambar 4.23	Grafik Hubungan antara Momen pada RBS dan Displacement.....	62
Gambar 4.24	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement.....	62

Gambar 4.25	Kontur Tegangan Lentur RBS-T.....	63
Gambar 4.26	Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-T dan Sambungan.....	63
Gambar 4.27	Grafik Hubungan antara Momen pada RBS dan Displacement.....	64
Gambar 4.28	Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement.....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan tes eksperimen dan FEA.....	21
Tabel 2.2	Spesimen yang diuji.....	23
Tabel 2.3	Hasil uji kuat tarik material.....	24
Tabel 2.4	Efek kekuatan panel zone terhadap rotasi plastis dan perpindahan energi (Lee et. al. 2004).....	26
Tabel 3.1	Geometri RBS.....	32
Tabel 3.2	Nilai $R_y$ menurut FEMA 350 pasal 2.6.2.....	34
Tabel 3.3	Ukuran minimum las sudut.....	37
Tabel 4.1	Hasil Uji Kupon Tes pada Balok.....	42
Tabel 4.2	Hasil Uji Kupon Tes pada Kolom.....	43
Tabel 4.3	Pembebanan Displacement.....	47
Tabel 4.4	Hasil Perbandingan Eksperimen dan Pemodelan.....	57
Tabel 4.5	Dimensi RBS yang digunakan.....	59
Tabel 4.6	Hasil Perbandingan Gaya – Gaya Dalam pada Tiap Varian RBS.....	65
Tabel 4.7	Perbandingan Tegangan Lentur dan Berat Potongan RBS.....	66

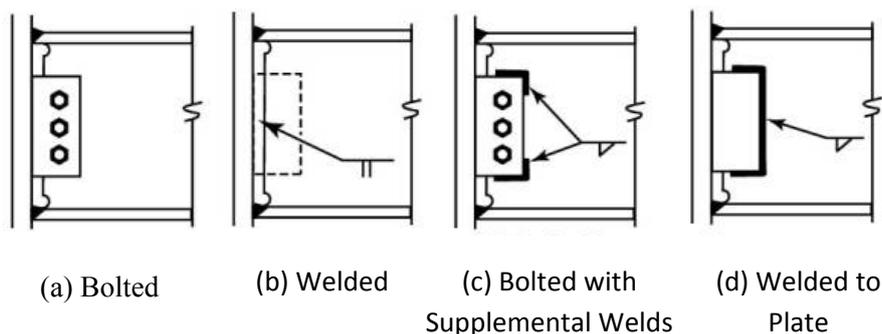
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam (*black steel*) karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul.

Gempa di Northridge pada tahun 1994 dan gempa di Kobe pada tahun 1995 menyebabkan kerusakan pada sambungan sistem rangka pemikul momen untuk baja. Akibat kejadian tersebut maka dilakukan banyak penelitian mengenai desain sambungan balok – kolom. Sambungan untuk balok – kolom berdasarkan penyambungannya adalah sambungan baut, las, maupun keduanya.



Gambar 1.1 Jenis Sambungan balok – kolom (Lee et. al. 2004)

Terkadang momen yang terjadi antara sambungan balok – kolom lebih besar dibandingkan momen yang terjadi pada balok. Akibat adanya momen berlebih yang terjadi pada sambungan balok - kolom maka berkembanglah teknologi *moment resisting frame*. *Moment resisting frame* tersebut dapat berupa *bracing* yang dipasang pada *frame*, ataupun mengurangi lebar dari flens atau yang biasa disebut *Reduced Beam Sections* (RBS). Untuk thesis ini, sambungan yang akan digunakan adalah sambungan baut dengan *moment resisting frame* jenis RBS.

Pada umumnya sambungan RBS berfungsi untuk mengurangi bagian plastis dari sambungan balok – kolom/muka kolom dengan cara menghilangkan/mengurangi lebar flens pada area sendi plastis, sehingga sendi plastis yang seharusnya terjadi pada muka kolom/sambungan akan di transfer menuju ke daerah flens yang telah dihilangkan/dikurangi

lebarnya (Imanpour,2009). Sambungan *Reduced Beam Sections* (RBS) juga menunjukkan hasil percobaan tingkat daktilitas yang cukup memuaskan pada beberapa percobaan (Chen 1996; Plumier 1997; Zekioglu et al. 1997 ; Engehardt et al. 1998 dalam Lee dan Kim 2007). Meskipun jenis sambungan RBS ini telah digunakan beberapa kali, masih ada beberapa desain yang membutuhkan penelitian lebih lanjut (contoh : jones et al. 2002; Gilton and Lee 2002; Chi and Lee 2002 dalam Lee dan Kim 2007). Hasil dari *inelastic static pushover analysis* menyatakan bahwa RBS berperilaku daktil tanpa mengalami kegagalan pada sambungan balok – kolom dengan kondisi kegagalan direncanakan pada sambungan balok – kolom jika tidak menggunakan RBS (Ki-Hoon Moon et al. 2009).

RBS memiliki tiga jenis varian potongan yaitu : *RBS with straight reduced section*, *RBS with tapered cut reduced section*, *RBS with radius reduced section* ([www.engineering.nottingham.ac.uk](http://www.engineering.nottingham.ac.uk)). Hasil perhitungan gaya – gaya dalamnya untuk varian RBS tersebut yang akan kita bandingkan antara satu dan yang lain.

Metode untuk menghitung RBS ada beberapa metode seperti analisa perhitungan secara numerik (dengan menggunakan peraturan – peraturan yang ada), metode integrasi, metode pemodelan elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Metode yang akan kita gunakan adalah FEM dengan bantuan *software* ABAQUS 6.10-1.

Penelitian ini juga dilakukan hanya pada bagian sambungan balok – kolom saja, bukan secara struktur utuh. Sambungan akan diberikan beban dan perletakan yang perilakunya mendekati struktur utuh tetapi diambil satu sambungan saja.

Penelitian tersebut dilakukan untuk membandingkan hasil perilaku dan gaya – gaya dalam pada sambungan balok – kolom dengan metode FEM baik tanpa RBS maupun dengan RBS yang bervariasi bentuk dan dimensinya, dari perbandingan tersebut kita akan mengetahui perbedaan gaya – gaya dalam yang terjadi pada setiap varian RBS.

Hasil dari penelitian tersebut akan sangat berguna bagi perencana yang akan menggunakan metode RBS tersebut. Hal ini disebabkan dengan tercapainya keoptimalan struktur dengan menggunakan varian RBS yang ada setelah dibandingkan dengan FEM. Hasil perhitungan optimalisasi tersebut juga dapat diaplikasikan pada struktur bangunan secara utuh dikarenakan pada percobaan dengan metode FEM dikerjakan beban seakan – akan struktur tersebut merupakan struktur bangunan utuh.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Parameter dan variabel apa saja yang diinputkan pada pemodelan RBS radius cut agar hasil pemodelan mendekati hasil dari eksperimen
2. Bagaimana cara memaksimalkan/mengoptimalkan varian RBS untuk analisa dengan pemodelan FEM.

### 1.3 Tujuan

1. Mengetahui parameter dan variabel yang digunakan pada pemodelan RBS radius cut agar hasil pemodelan mendekati hasil dari eksperimen (Lee et. al. 2004).
2. Mengetahui varian RBS berupa RBS *radius cut*, *dogbone cut*, *tapered cut* yang optimal dengan membandingkan gaya – gaya dalam dan tegangan yang terjadi.

### 1.4 Batasan Masalah

- 1 Tidak dilakukan pemodelan perancangan struktur secara utuh (portal/frame) melainkan hanya dilakukan pemodelan analisis pada bagian sambungan balok – kolom saja dengan bantuan *software* untuk perhitungan struktur dan analisis
- 2 Jenis sambungan hanya menggunakan sambungan las saja pada sambungan balok – kolom.

### 1.5 Manfaat Penelitian

- 1 Dapat merencanakan suatu kegagalan sendi plastis agar tidak terjadi pada sambungan balok - kolom melainkan pada bagian RBS balok
- 2 Dengan penelitian ini dapat melakukan suatu eksperimen simulasi seperti di laboratorium dengan berbagai benda uji secara berkali – kali tanpa mengeluarkan biaya yang besar

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

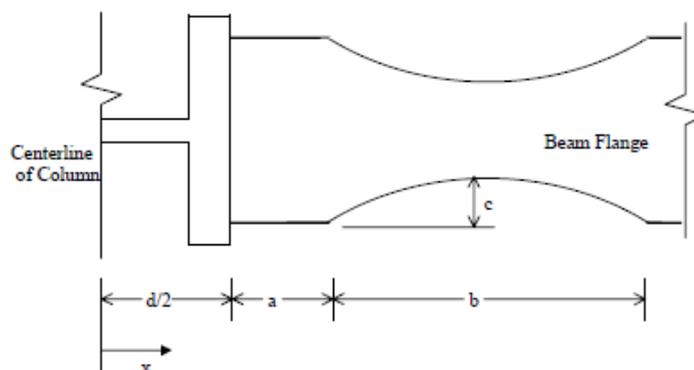
#### 2.1 Dasar Teori

Dalam merencanakan suatu struktur bangunan diperlukan pemilihan material yang sesuai. Jenis material yang telah dikenal dalam konstruksi saat ini dan telah digunakan sejak lama adalah material baja. Kelebihan material baja tersebut adalah : mempunyai kekuatan yang tinggi, keseragaman dan keawetan yang tinggi, sifat elastis, daktilitas baja cukup tinggi, kemudahan penyambungan antar elemen (Setiawan, 2008).

Gempa di Northridge pada tahun 1994 dan gempa di Kobe pada tahun 1995 menyebabkan kerusakan pada sambungan sistem rangka pemikul momen untuk baja. Akibat kejadian tersebut maka dilakukan banyak penelitian mengenai desain sambungan balok – kolom. Sambungan untuk balok – kolom berdasarkan penyambungannya adalah sambungan baut, las, maupun keduanya.

Sambungan RBS sendiri merupakan jenis sambungan yang telah diteliti selama beberapa tahun terakhir untuk mereduksi kegagalan yang terjadi pada sambungan balok – kolom dengan cara menambahkan cover plate maupun dengan memotong/mengurangi luasan flens pada balok di dekat sambungan balok – kolom (Jones, Fry, Engelhardt 2000).

RBS menurut Jones, Fry, dan Engelhardt dalam paper WCEE ke 12 tahun 2000 bahwa RBS ditujukan untuk melindungi sambungan las SMRF/SRPM (*Steel Moment Resisting Frame/Sistem Rangka Pemikul Momen*) dengan memindahkan sendi plastis pada balok untuk menjauh dari muka kolom. Pada umumnya, sambungan las SRPM di desain dengan konsep *strong column – weak beam*, yang berarti segala ketidak stabilan pada rangka/portal diakibatkan oleh sendi plastis yang terjadi di balok dengan momen maksimum yang terjadi pada bagian sambungan balok-kolom saat pembebanan lateral/horizontal, sendi plastis akan terbentuk pada muka kolom, dimana pada bagian tersebut membutuhkan kualitas las dengan kualitas regangan yang tinggi.



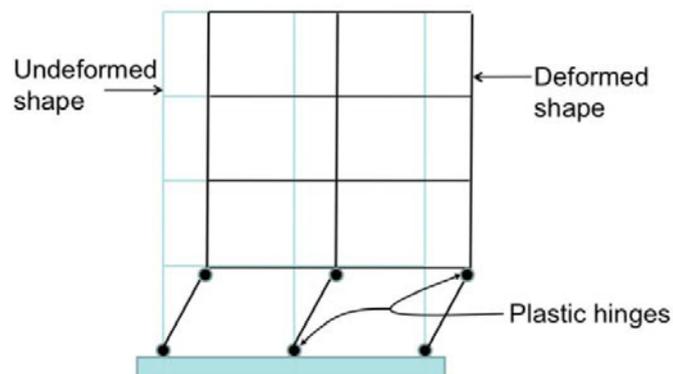
Gambar 2.1 RBS detail (Jones et al. 2000)

## 2.2 Sambungan

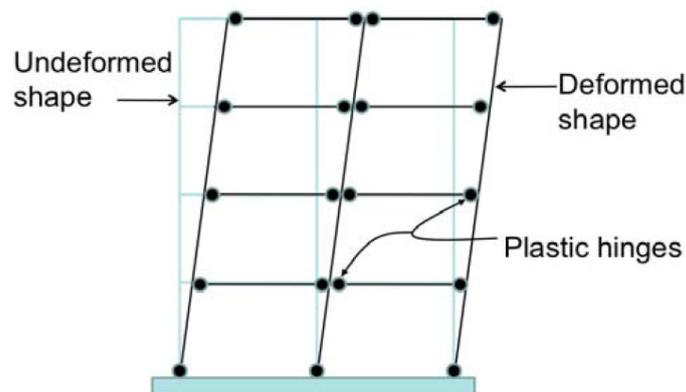
Struktur baja merupakan gabungan dari beberapa jenis profil dan pelat yang disatukan dengan penyambung. Hingga saat ini ada dua jenis sambungan yang kita kenal yaitu sambungan jenis las dan baut.

### 2.2.1 Seismic Design of Steel Special Moment Frames (Adan et al. 2009)

Adan menyebutkan bahwa untuk menghindari ketidak stabilan P-delta pada struktur bangunan bertingkat, diharapkan tercapainya perpindahan yang seragam pada tiap lantainya. Untuk mencapai hal tersebut, sangatlah penting untuk menghindari mekanisme perpindahan satu tingkat dimana respon inelastis didominasi oleh mekanisme sendi plastis pada bagian atas dan bawah kolom pada satu tingkat saja (Gambar 2.2). Saat mekanisme satu tingkat terbentuk, kebanyakan bagian inelastis dari perpindahan struktur akan terjadi pada tingkat tersebut, yang menghasilkan efek P-delta pada lokasi tersebut. Untuk menghindari hal ini, peraturan disain bangunan dimaksudkan untuk membuat mekanisme perpindahan yang didominasi oleh sendi plastis yang terjadi pada balok, untuk menghindari sendi plastis yang terjadi pada kolom. Konsep ini juga disebut sebagai “*strong column weak beam design*” (Gambar 2.3).



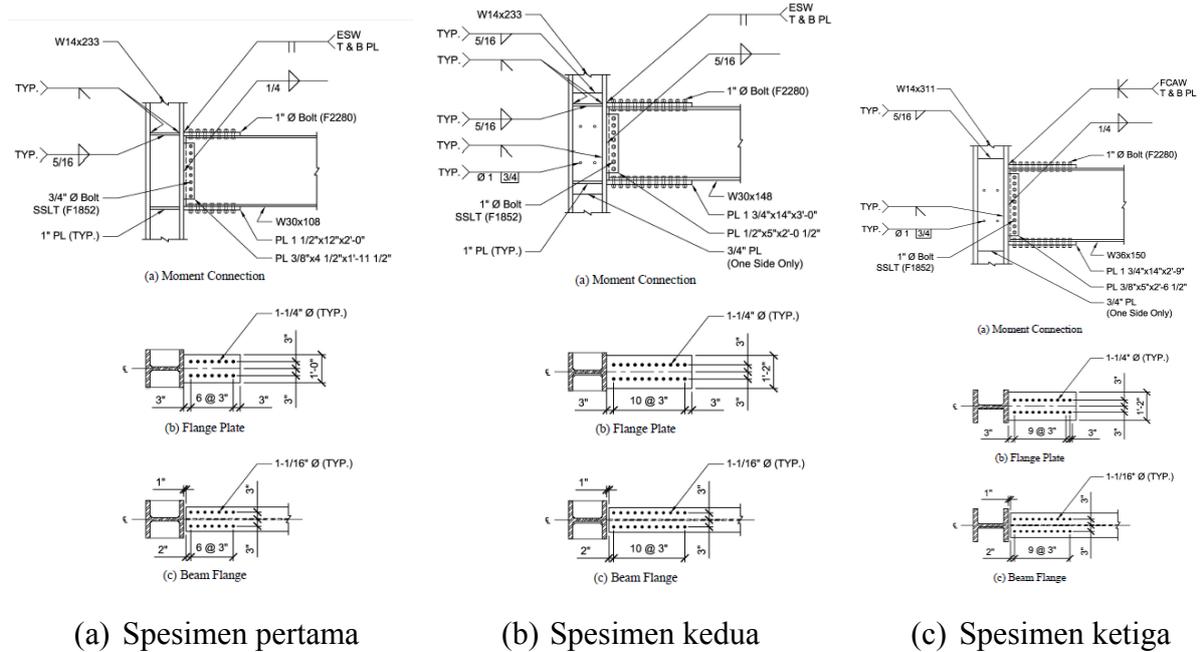
Gambar 2.2 Mekanisme portal satu tingkat, juga disebut mekanisme tingkat lemah “*weak story mechanism*” (Adan et al. 2009)



Gambar 2.3 Mekanisme perpindahan yang ideal “*strong column weak beam*” (Adan et al. 2009)

## 2.2.2 Cyclic Testing of Bolted Flange Plate Steel Moment Connections for Special Moment Frames (Lee et al. 2004)

Dalam penelitiannya, Lee mencoba untuk menggunakan sambungan baut pada bagian flens (Gambar 2.4) sebagai salah satu jenis sambungan untuk sistem rangka pemikul momen/steel moment resisting frame (SMRF). Dia melakukan variasi pada daerah panel zone.



Gambar 2.4 Tiga macam spesimen yang digunakan Lee (Lee et al. 2004)

Ketiga macam spesimen sudah memenuhi syarat dari AISC untuk sambungan balok – kolom. Spesimen mencapai sudut perpindahan sebesar 0,06 radian sebelum mengalami kegagalan, ketiga spesimen tersebut mengalami necking pada bagian beam flens pada bagian terluar dari susunan baut tersebut. Pada siklus pergerakan yang besar (5% - 6%) kolom mengalami puntir. Spesimen ini mengabaikan pelat lantai bangunan.

## 2.2.3 Steel non-orthogonal reduced beam section moment Connections — a case study (Ball 2011)

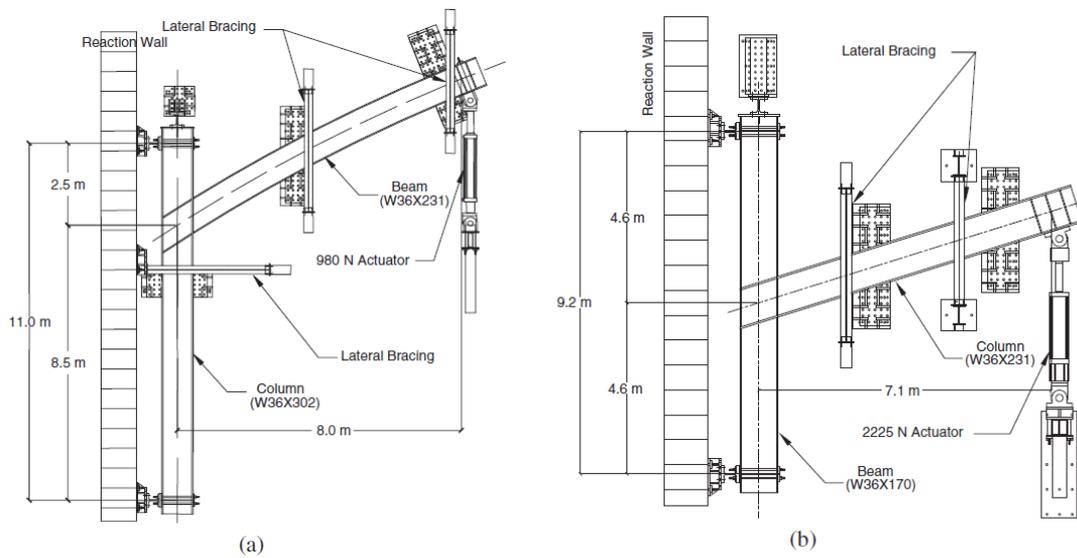
Dalam penelitiannya, Ball mencoba untuk mengukur kemampuan RBS pada sambungan non-orthogonal pada bangunan Los Angeles International Airports (Gambar 2.5) dengan 4 buah spesimen.

Total empat buah spesimen dengan skala penuh dilakukan uji laboratorium untuk mengevaluasi performa dari sambungan non-orthogonal pada struktur baja yang telah diaplikasikan pada struktur Los Angeles International Airports. Spesimen 1 dan 2 dilakukan simulasi untuk sambungan momen antara balok W36 x 231 terhadap kolom W36 x 302. Spesimen 3 dan 4 menggunakan balok W36 x 170 yang menempel pada ujung atas vertikal dari kolom W36 x 231. Sambungan momen RBS digunakan untuk semua spesimen.

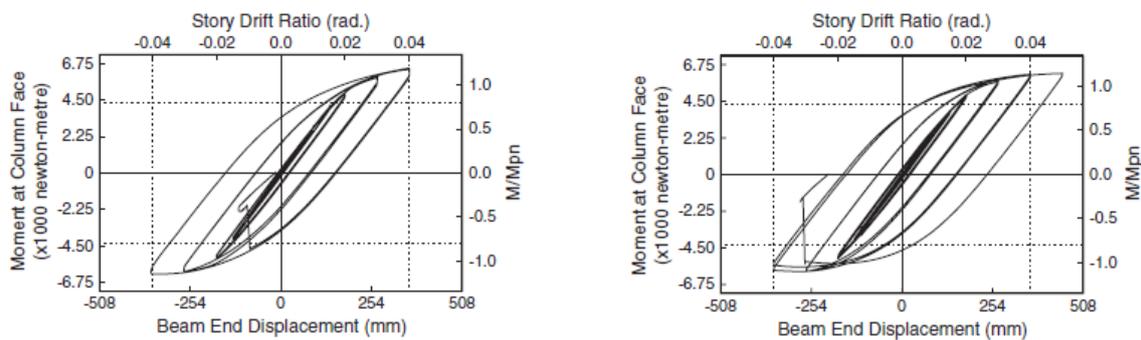
Untuk spesimen 1 dan 2, web balok mengalami tekuk lokal, dan LTB (Lateral Torsional Buckling) pada RBS akan dites. Flens atas balok menggunakan sambungan las dan mengalami retak pada drift 4% untuk spesimen 1 dan 5% untuk spesimen 2. Rekaman dari regangan mengindikasikan bahwa flens balok bagian atas dengan sambungan las mengalami regangan lebih tinggi dibandingkan sambungan pada flens bagian bawah.

Untuk spesimen 3 dan 4 menunjukkan bahwa energi disipasi dilepaskan ke sepanjang balok, kolom, dan panel zone dalam bentuk pelelehan/yield dan tekuk/buckling.

Kedua eksperimen tersebut mengalami LTB pada balok dan puntir pada kolom saat drift 4%. Hasil eksperimen tersebut merujuk pada potongan maksimum RBS pada ANSI/AISC 358 yang mengurangi lebar flens untuk menyediakan perilaku daktilitas yang lebih, dan harus betul – betul dipertimbangkan untuk posisi kolom dalam dan balok dengan ukuran besar.



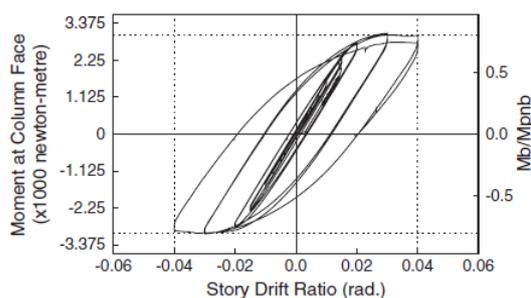
Gambar 2.5 (a) Spesimen 1 dan 2, (b) Spesimen 3 dan 4 (Ball 2011)



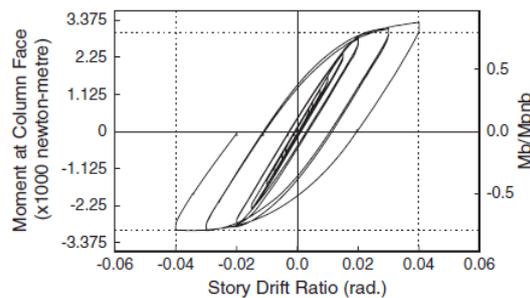
(a) Spesimen 1

(b) Spesimen 2

Gambar 2.6 Kurva hubungan momen dan story drift (Ball 2011)



(b) Spesimen 3



(b) Spesimen 4

Gambar 2.7 Kurva hubungan momen dan story drift (Ball 2011)

## 2.3 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

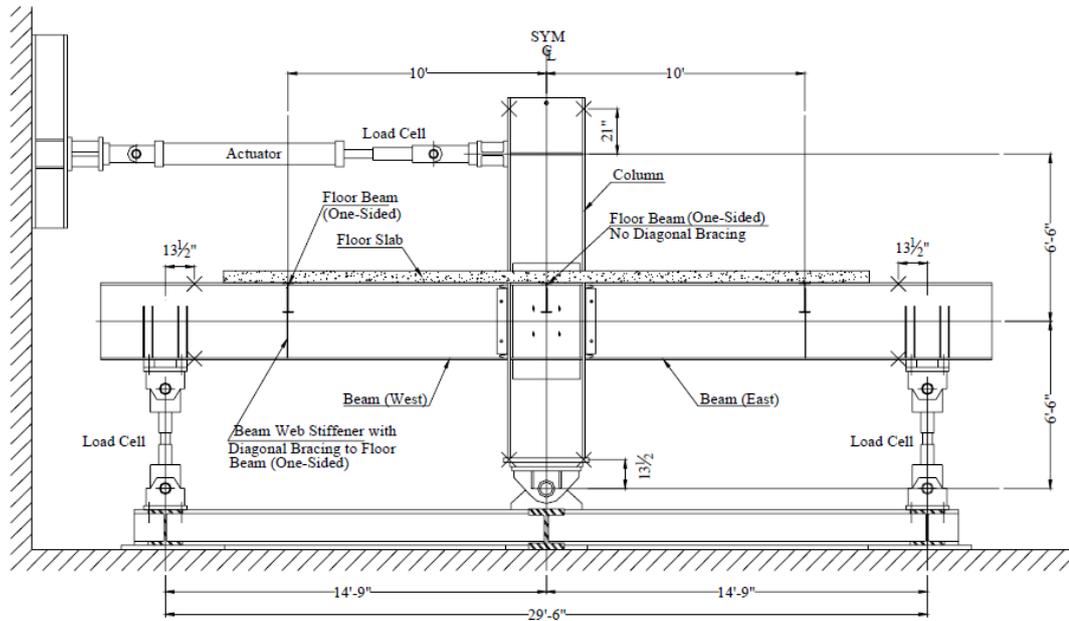
### 2.3.1 Development of seismic guidelines for deep-column steel moment connections (Ricles et al. 2004)

Dalam penelitiannya, Ricles mencoba untuk mencari tahu mengenai efek pelat lantai terhadap perilaku gempa pada sambungan momen bagian interior yaitu diantara dua buah WF. Penekanannya ada pada sambungan RBS karena kepopulerannya dan fakta bahwa banyak peneliti sebelumnya menganjurkan untuk melakukan investigasi lebih jauh terhadap perilaku gempa pada sambungan RBS ini.

Dalam percobaannya, Rickles memecahnya menjadi 3 bagian utama, yaitu :

1. Melakukan studi analisis dengan menggunakan FEM untuk evaluasi berbagai parameter pada perilaku sambungan. Software yang digunakan adalah ABAQUS.
2. Melakukan program percobaan dengan enam buah spesimen untuk mendapatkan efek dari parameter yang dicari pada performa sambungan dan mencari tahu seberapa jauh performa RBS terhadap gempa pada kolom dalam sesuai standar pada AISC
3. Menggunakan hasil dari analisis dan eksperimen untuk menilai kriteria desain yang ada dan membuat prosedur desain baru untuk sambungan momen pada kolom dalam jika dibutuhkan

Rickles menyebutkan bahwa hasil dari kedua metode baik itu FEM dan eksperimen mengindikasikan bahwa pada simpangan 4% untuk pergerakan pada bagian bawah balok dengan RBS disertai pelat lantai adalah kurang dari 20% dari lebar flens balok, dimana nilai tersebut digunakan pada prosedur desain saat ini untuk menentukan torsi yang terjadi pada kolom untuk sambungan RBS. Hasilnya, saat pelat lantai diikutkan dalam perencanaan sambungan RBS maka prosedur desain yang berlaku saat ini melebihi perkiraan untuk torsi pada kolom. Dengan dasar distribusi momen pada flens balok dari analisis dan eksperimen maka dibutuhkan prosedur yang baru dan terlampir dalam laporan Rickles tersebut.



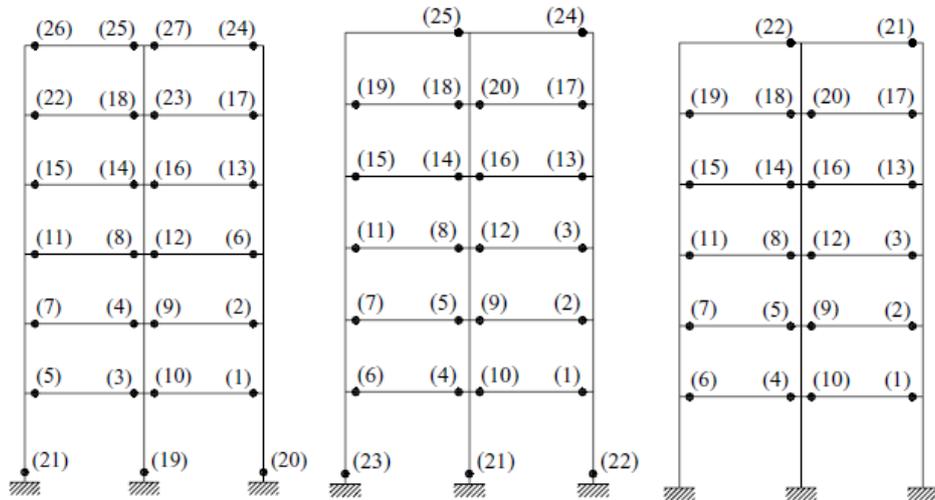
Gambar 2.8 Pemodelan untuk kolom interior (Rickles et. Al. 2004)

Tabel 2.1 Perbandingan tes eksperimen dan FEA (Rickles et al. 2004)

Specimen		Initial stiffness (k/in.)	Peak loading (kips)	Strength degradation at 4% story drift (% of peak loading)
SPEC-1	Test	232.7	411	16
	FEA	225.4	406	15
SPEC-2	Test	202.1	412	14
	FEA	194.2	399	11
SPEC-3	Test	212.1	407	8
	FEA	194.3	415	β
SPEC-4	Test	211.0	406	16
	FEA	208.6	423	16
SPEC-5	Test	136.0	258	4
	FEA	109.6	235	5
SPEC-6	Test	102.0	240	0
	FEA	98.3	228	0

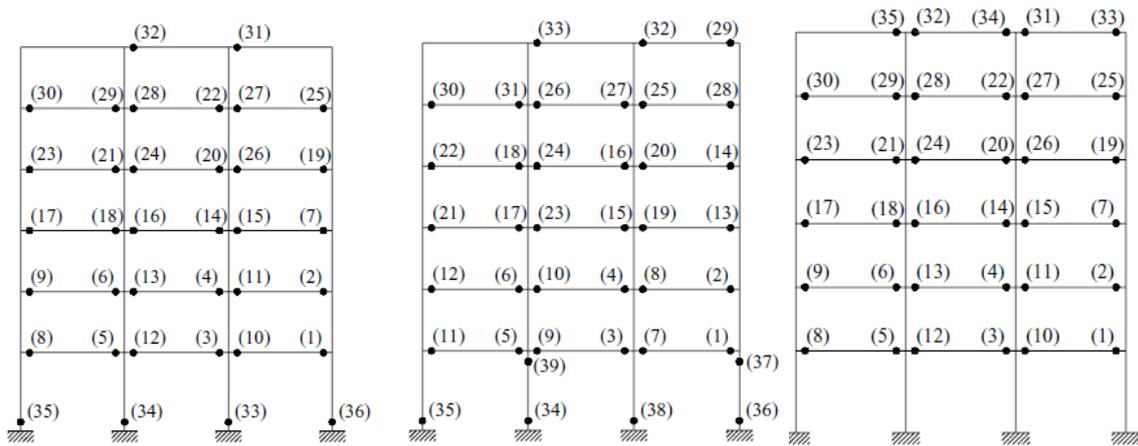
### 2.3.2 Performance based analysis of RBS steel frames (Alexa and Ladar 2010)

Dalam penelitiannya, Alexa mencoba untuk mengaplikasikan penggunaan RBS pada bangunan bertingkat. Model yang dia gunakan adalah bangunan 6 tingkat dengan dua bentangan dan tiga bentangan yang masing – masing dibebani gempa dengan kondisi normal tanpa RBS, dengan RBS 20%, dengan RBS 30%. Mereka menyimpulkan bahwa pengurangan 20 % pada balok tidak berkaitan dengan peningkatan mekanisme runtuh vs mekanisme runtuh pada portal biasa. Pengurangan yang lebih besar (30%) baru bisa mengarahkan kita pada mekanisme runtuh akibat gempa.



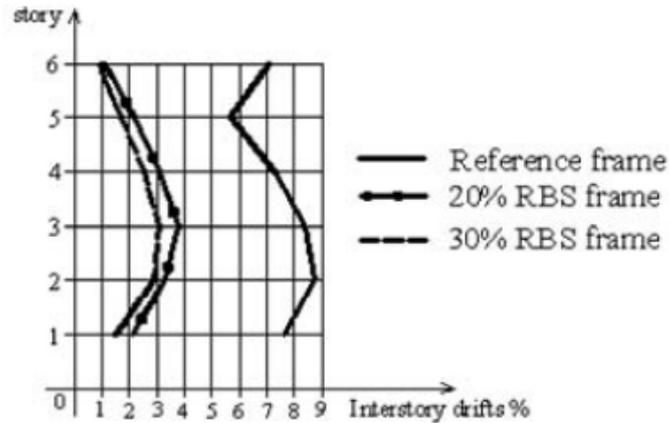
(c) Tanpa RBS      (b) Dengan RBS 20%      (a) Dengan RBS 30%

Gambar 2.9 Mekanisme runtuh untuk 6 tingkat 2 bentang (Alexa and Ladar 2010)

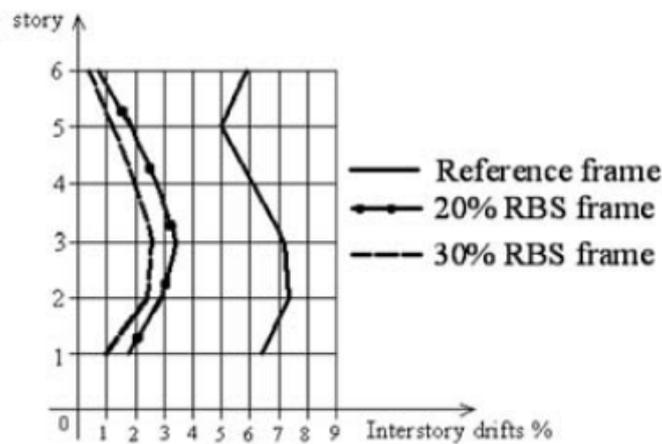


(a) Tanpa RBS      (b) Dengan RBS 20%      (c) Dengan RBS 30%

Gambar 2.10 Mekanisme runtuh untuk 6 tingkat 3 bentang (Alexa and Ladar 2010)



Gambar 2.11 Story drift in percentage untuk frame dua bentang (Alexa and Ladar 2010)



Gambar 2.12 Story drift in percentage untuk frame tiga bentang (Alexa and Ladar 2010)

### 2.3.3 Seismic Performance of Reduced Beam Section Steel Moment Connections : Effects of Panel Zone Strength and Beam Web Connection Method (Lee et. al. 2004)

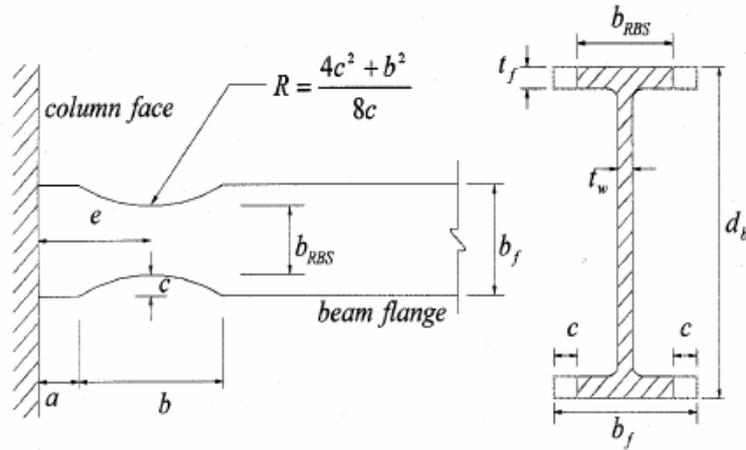
Dalam penelitiannya, Lee membandingkan perilaku daktilitas pada RBS antara sambungan baut dan las. Variabel kunci yang digunakan adalah panel zone (PZ). Spesimen yang digunakan ada 8 macam seperti pada tabel 2.2. Pengetesan pada material dilakukan juga uji tarik untuk bagian beam flens dan webnya untuk mengetahui kuat tarik aktual material sebelum diuji dalam kondisi terassembly dan akan ditampilkan pada tabel 2.3. Geometri pada RBS dapat dilihat pada gambar 2.15.

Tabel 2.2 Spesimen yang diuji (Lee et. al. 2004)

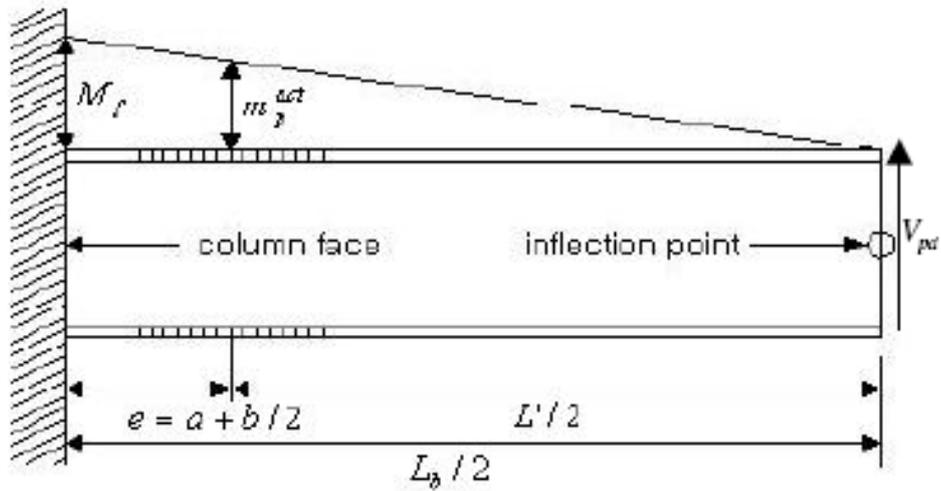
Specimen	Beam and column	Panel zone strength	Beam web connection method	a (mm)	b (mm)	c (mm)	Flange reduction (%)
Set No. 1							
DB700-SW	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Strong (10 mm doubler plate, SM490)	Welded	175	525	55	37
DB700-MW	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Medium	Welded	175	525	55	37
DB700-SB	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Strong (10 mm doubler plate, SM490)	Bolted	175	525	55	37
DB700-MB	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Medium	Bolted	175	525	55	37
Set No. 2							
DB600-MW1	H600X200X11X17 (SS400) H400X400X13X21 (SM490)	Medium	Welded	150	510	40	40
DB600-MW2	H600X200X11X17 (SS400) H400X400X13X21 (SM490)	Medium	Welded	150	390	40	40
DB600-SW1	H600X200X11X17 (SS400) H588X300X12X20 (SM490)	Strong	Welded	150	450	40	40
DB600-SW2	H606X201X12X20 (SS400) H588X300X12X20 (SM490)	Strong	Welded	150	450	40	40

Tabel 2.3 Hasil uji kuat tarik material (Lee et. al. 2004)

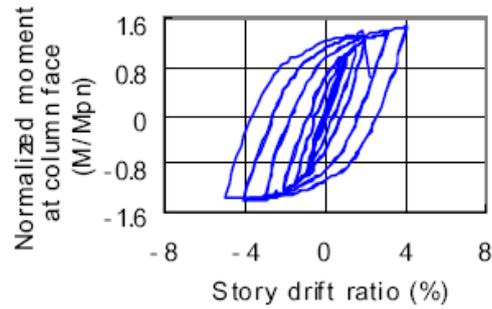
Member	Coupon	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Yield ratio (%)
Beam H700X300X13X24 (SS400)	Flange	304	455	67
	Web	364	480	76
Column H428X407X20X35 (SM490)	Flange	343	512	67
	Web	358	520	69
Beam H600X200X11X17 (SS400)	Flange	326	467	70
	Web	343	473	73
Column H400X400X13X21 (SM490)	Flange	358	525	68
	Web	374	531	74
Beam H606X201X12X20 (SS400)	Flange	295	447	66
	Web	333	471	71
Column H588X300X12X20 (SM490)	Flange	374	534	70
	Web	405	546	74



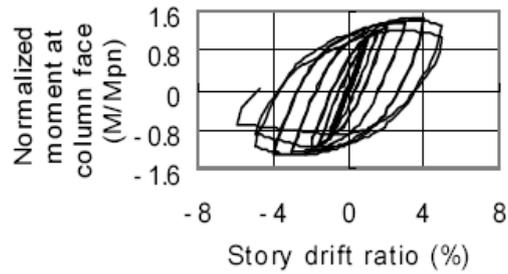
Gambar 2.13 Geometri RBS yang digunakan (Lee et. al. 2004)



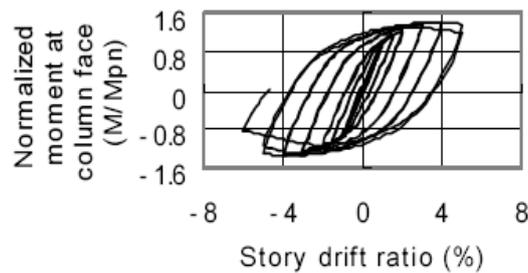
Gambar 2.14 Seismic moment profil untuk desain RBS (Lee et. al. 2004)



(a) DB700-MW



(b) DB600-MW1



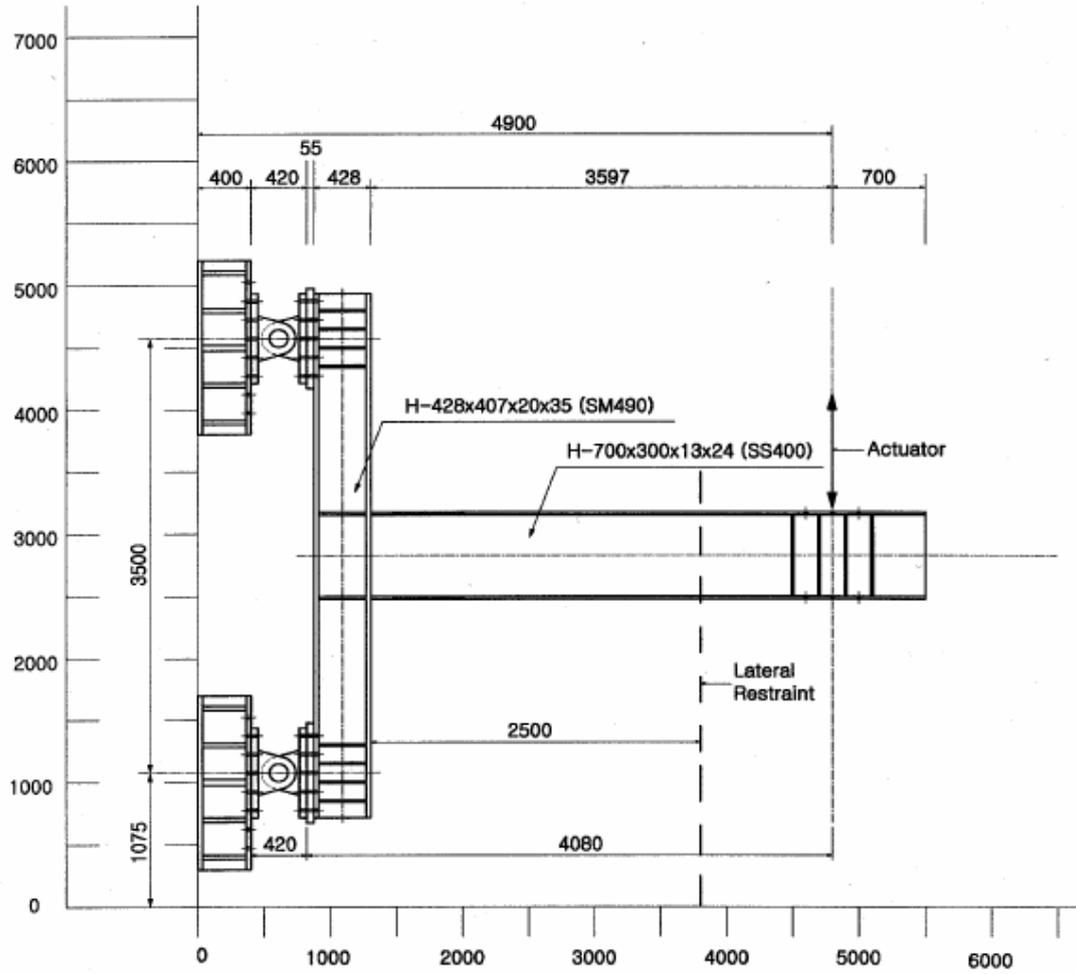
(c) DB600-MW2

Gambar 2.15 Perbandingan Momen pada muka kolom dan *story drift ratio* (Lee et. al. 2004)

Tabel 2.4 Efek kekuatan panel zone terhadap rotasi plastis dan perpindahan energi (Lee et. al. 2004)

Specimen	PZ strength relative to beam		Panel zone plastic rotation at 4% story drift ratio (rad)	Energy dissipation by panel zone up to 4% story drift cycle (%)
	$V_{RBS,p} / V_y$	$V_{RBS,p} / V_p$		
DB700-MW	1.08	0.87	0.012	43
DB600-MW1	0.97	0.83	0.008	32
DB600-MW2	0.95	0.82	0.009	30
DC2*	0.74	0.67	0.005	24
DB600-SW1	0.71	0.66	0.0002	5
DB600-SW2	0.68	0.63	Negligible	Negligible

\* From Chi and Uang (2002)



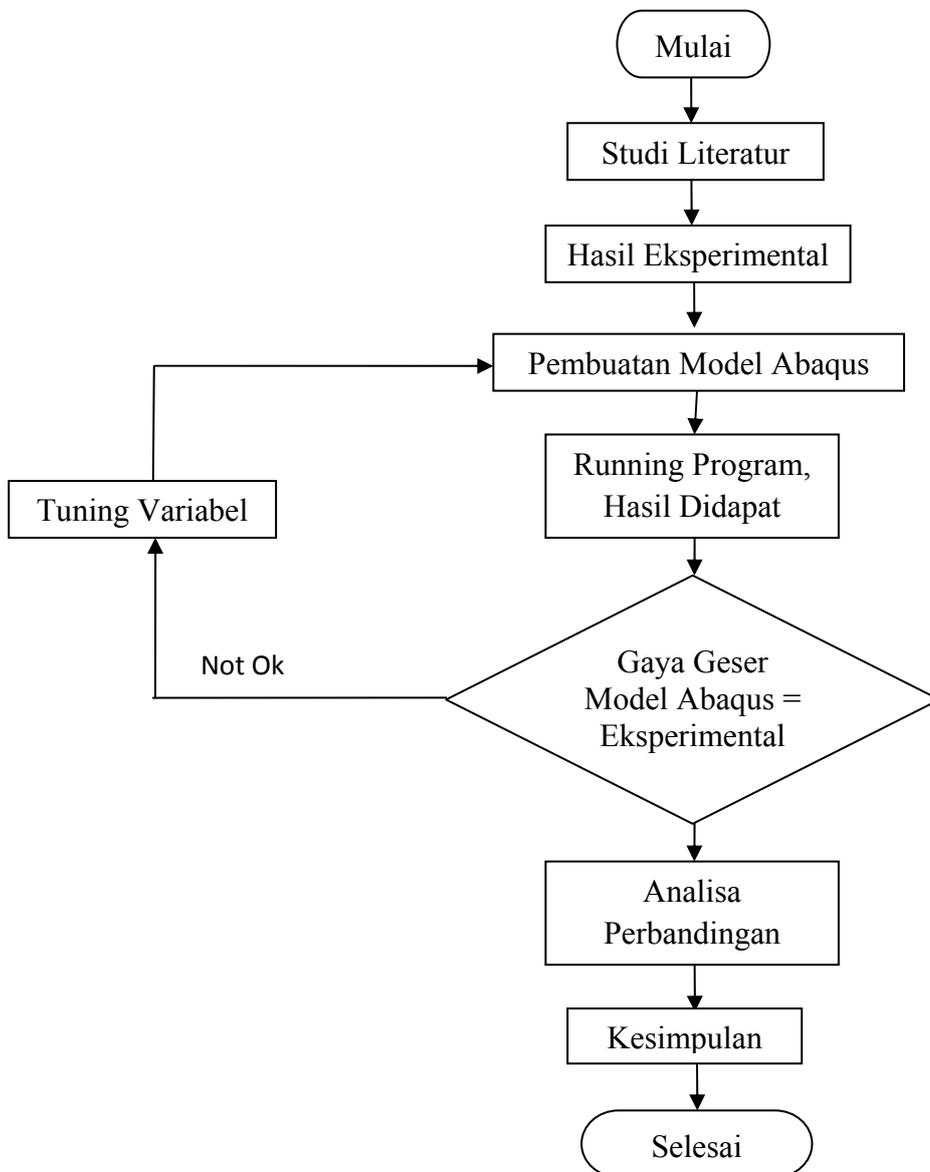
Gambar 2.16 Perencanaan Tes (Lee et. al. 2004)

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan maka diperlukan langkah – langkah dalam menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan dalam bab 1 dan berikut akan ditampilkan diagram alir untuk menyelesaikan masalah tersebut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Langkah – Langkah Penelitian

### 1.2.1 Studi literatur

Literatur yang digunakan dapat berupa jurnal, prosiding, standar nasional dan internasional. Peraturan yang digunakan adalah peraturan khusus untuk sambungan “*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*” dari AISC 2010, “*Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*” dari FEMA 350, SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.

Penelitian ini akan mengadopsi dari hasil eksperimental mengenai RBS radius cut yang dilakukan Lee et. al. 2004 dimana pada penelitiannya Lee mengontrol energi disipasi dan rotasi plastis yang terjadi pada panel zone saat diberikan beban *cyclic* dengan *story drift ratio* 4% dan menggunakan 8 spesimen. Pada penelitian lainnya, Alexa and Ladar 2010 membandingkan performa struktur tanpa RBS, dengan 20% RBS, dan 30% RBS. Rickes et. al. 2004 melakukan penelitian yang hampir sama dengan Lee sementara faktor pembedanya ada metode elemen hingga yang dipakai Rickles sebagai pembanding dari tiap spesimen yang dia buat. Penelitian ini sendiri ditujukan untuk mengetahui performa dari varian RBS yang lain dengan metode pemodelan elemen hingga yang diverifikasi terhadap eksperimental yang dilakukan Lee.

### 3.2.2 Data Material/komponen

Material yang digunakan dalam penelitian ini akan kita ambil satu dari 8 spesimen yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh Lee et. al. 2004 yaitu spesimen nomor 1 pada set nomor 2 (lihat tabel 2.2) yaitu kolom WF 400 x 400 x 13 x 21 dengan mutu SM490 dan beam IWF 600 x 200 x 11 x 17 dengan mutu SS400. Kuat tarik yang digunakan menggunakan hasil dari spesimen tes kuat tarik yang dilakukan Lee et. al. 2004 (lihat tabel 2.3).

Stiffener yang kita gunakan ketebalannya akan kita tentukan sendiri yaitu setebal flens dari beam (17 mm) karena pada penelitiannya Lee tidak menyebutkan tebal dari stiffener yang dia gunakan. Pelat pengekang kolom akan kita ganti pula dengan peletakan jepit sejarak yang kita tentukan dengan cara mengukur skala pada gambar yang ada karena Lee juga tidak menyebutkan lebar pelat pengekang kolom tersebut.

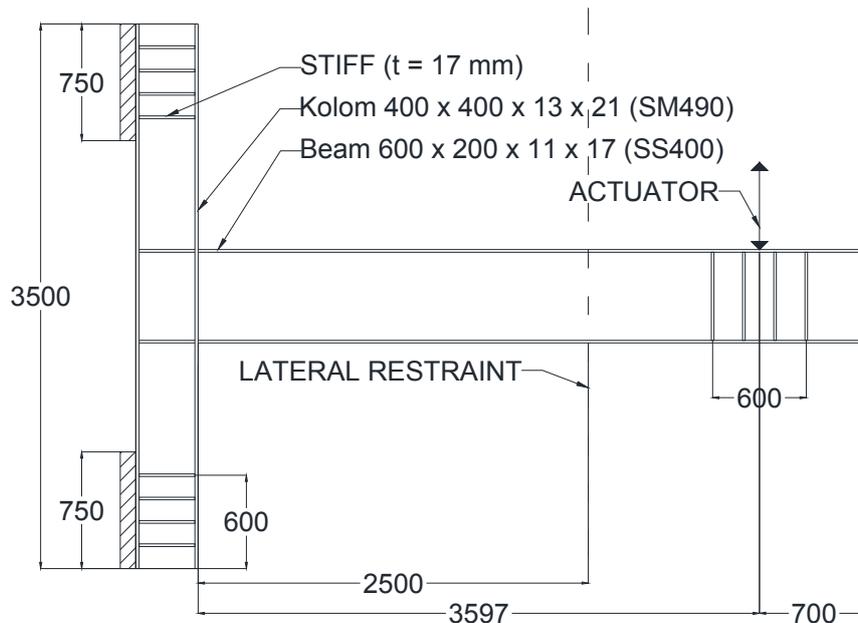
### 3.2.3 Data Variabel

Penelitian yang dilakukan Lee tidak mencantumkan jarak antar stiffener baik itu jarak stiffener pada daerah terjepit di kolom/perletakan maupun jarak stiffener pada beam yang menerima beban *cyclic* tersebut, jadi kita tentukan sendiri jarak antar stiffennernya dengan cara skala pada gambar.

Siklus untuk pembebanan juga tidak ditampilkan oleh Lee, sehingga untuk siklus beban kita akan menentukannya terlebih dahulu.

### 3.2.4 Model Yang Akan Dianalisis

Model eksperimen digunakan juga akan mengikuti model yang dipakai oleh Lee et. al. 2004 (Gambar 2.17) dan akan diinputkan dalam pemodelan menggunakan ABAQUS 6.10 (gambar 3.2).



Gambar 3.2 Pemodelan yang akan digunakan

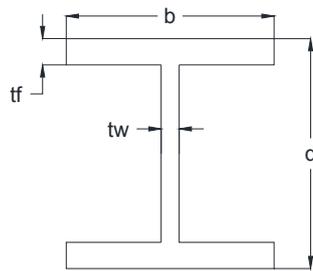
### 3.2.5 Verifikasi Awal

Model yang telah dibuat dengan komponen dan variabel yang telah ditentukan akan dibandingkan hasilnya dengan eksperimen dari jurnal yaitu berupa perbandingan gaya geser yang terjadi di tengah RBS ( $V_{RBS,P}$ ) dibandingkan dengan gaya geser leleh di panel zone ( $V_y$ ) dan persamaan krawinkler ( $V_p$ ). Jika hasil dari model masih belum memenuhi harapan dengan asumsi yang ada maka akan dilakukan tuning variabel terhadap model yang kita gunakan hingga tercapai hasil yang menyerupai eksperimen yang dilakukan oleh Lee.

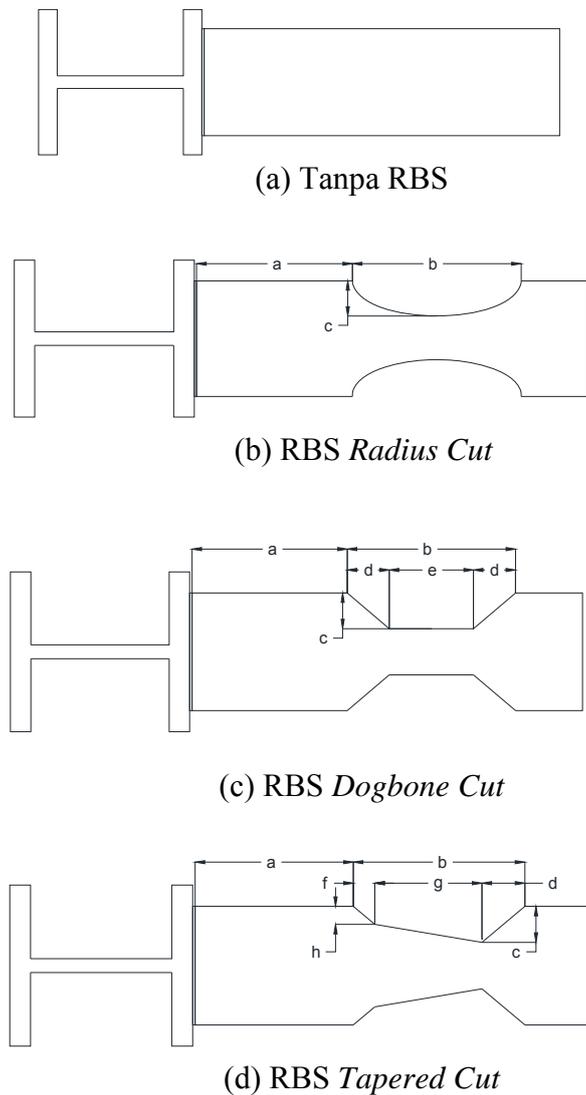
### 3.2.6 Pemodelan Lanjutan

Pemodelan lanjutan akan dibuat berdasarkan varian RBS yang ada selain RBS tipe radius cut yang telah diverifikasi hasil pemodelannya dengan eksperimen yang dilakukan Lee et. al. 2004. Hal ini pula yang menjadi pembeda terhadap penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Ada 3 tipe RBS yang ada yaitu Radius Cut/RBS-R (a), Dogbone/straight Cut/RBS-D (b), Tapered Cut/RBS-T (c) (gambar 3.3). Ketiga

tipe ini akan diuji dengan analisa perhitungan secara langsung untuk sambungan balok - kolom dan FEM untuk varian RBS.



Gambar 3.3 Variabel penampang balok dan kolom yang akan diuji



Gambar 3.4 RBS yang akan diuji

Tabel 3.1 Geometri RBS yang digunakan

Tipe	Ukuran (mm)							
	a	B <sub>RBS</sub>	c	D <sub>RBS</sub>	e	f	g	h
NRBS	-	-	-	-	-	-	-	-
RBS-R	v	v	v	-	-	-	-	-
RBS-D	v	v	v	v	v	-	-	-
RBS-T	v	v	v	v	-	v	v	v

Metode yang akan digunakan untuk analisa sambungan RBS akan merujuk pada salah satu metode yang digunakan Lee et. al. 2004 dengan memakai sambungan las pada balok kolom.

Metode analisa perhitungan langsung untuk RBS juga merujuk pada AISC “Prequalified Connections For Special And Intermediate Steel Moment Frames For Seismic Applications” 2010.

Beban yang digunakan sebagai actuator adalah beban dari Mu (momen ultimit) pada RBS, dan balok yang akan dikerjakan pada ujung balok dengan nilai sebesar P yang didapat dari Mu RBS dan balok.

### 3.2.7 Kontrol strong column – weak beam dan sambungan

#### 3.2.7.1 Kontrol dimensi RBS

Kontrol yang pertama kali dilakukan adalah kontrol persyaratan dimensi RBS yang merujuk pada FEMA 350 pasal 3.5.5.

Syarat dimensi RBS (Gambar 3.3) :

1. Tentukan panjang dan lokasi dari RBS terhadap
  - a.  $a \approx (0.5 \text{ sampai } 0.75) b_f$  (3.1)
  - b.  $b \approx (0.65 \text{ sampai } 0.85) d_b$  (3.2)
2. Tentukan panjang flens terpotong
  - a.  $c = 0.2 \times b_f$  (3.3)
3. Tentukan radius RBS
  - a.  $\text{radius} = \frac{4c^2 + b^2}{8c}$
4. Dimensi lain yang diperlukan
  - a.  $d = 0.25 \times b = 0.25 \times 390 = 97.5 \text{ mm}$
  - b.  $e = 0.5 \times b = 0.5 \times 390 = 195 \text{ mm}$
  - c.  $f = 0.125 \times b = 0.125 \times 390 = 48.75 \text{ mm}$
  - d.  $g = 0.75 \times b = 0.625 \times 390 = 243.75 \text{ mm}$
  - e.  $h = 0.5 \times c = 0.5 \times 40 = 20 \text{ mm}$

### 3.2.7.2 Kontrol momen plastis

Setelah syarat dimensi RBS terpenuhi maka kita menentukan  $Z_{xRBS}$  dan  $M_{pRBS}$  dengan dimensi profil balok yang telah ditentukan (Gambar 3.3).

$$Z_{xRBS} = 2 \times [ \{ (b - (2 \times f)) \times tf \} \times \{ 1/2d - (tf/2) \} + \{ (((1/2d) - tf)^2) / 2 \times tw \} ] \quad (3.4)$$

$$M_{pRBS} = Z_{xRBS} \times F_y \quad (3.5)$$

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.6

Perbandingan momen koom terhadap momen balok  
Hubungan berikut ini harus dipenuhi pada sambungan balok-kolom :

$$\frac{\Sigma M_{pb}}{\Sigma M_{pc}} > 1 \quad (3.6)$$

Keterangan :

$\Sigma M_{pc}$  adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan diatas sambungan pada pertemuan antara as kolom dan as balok.  $\Sigma M_{pc}$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal kolom, termasuk voue bila ada, di atas dan di bawah sambungan pda as balok dengan reduksi akibat gaya aksial tekan kolom. Diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pc} = \Sigma Z_c (f_{yc} - N_{uc}/A_g)$ . Bila as balok-balok yang bertemu di sambngan tidak membentuk satu titik maka titik tengahnya dapat digunakan dalam perhitungan.

$\Sigma M_{pb}$  adalah jumlah momen-momen balok pada pertemuan as balok dan as kolom.  $\Sigma M_{pb}$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal balok di daerah sendi plastis pada as kolom. Diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$ , dengan  $M_y$  adalah momen tambahan akibat amplifikasi gaya geser dari lokasi sendi plastis ke as kolom. Sebagai alternatif, diperkenankan untuk menentukan  $\Sigma M_{pb}$  dari hasil pengujian atau dengan analisis rasional berdasarkan pengujian. Bila sambungan dibuat menggunakan penampang balok yang direduksi maka diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$ , dengan  $Z$  adalah modulus plastis minimum pada penampang balok yang direduksi

$A_g$	adalah luas penampang bruto kolom	(mm <sup>2</sup> )
$f_{yc}$	adalah tegangan leleh penampang kolom	(MPa)
$N_{uc}$	adalah gaya aksial tekan terfaktor pada kolom	(N)
$Z_c$	adalah modulus plastis penampang kolom	(mm <sup>3</sup> )

Asumsi  $N_{uc} = 0$  (diabaikan)  
 $M_y = 0$  (diabaikan)

$$\Sigma M_{pc} = \Sigma Z_c (f_{yc} - \frac{N_{uc}}{A_g}) \quad (3.7)$$

$$\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_{pRBS} - M_y) \quad (3.8)$$

Menentukan  $R_y$

Tabel 3.2 Nilai  $R_y$  menurut FEMA 350 pasal 2.6.2

Material Spesification	$R_y$
ASTM A36	1.5
ASTM A572 Gr. 42	1.3
Other Spesification	1.1

$R_y$  adalah koefisien untuk material balok atau girder yang didapat dari AISC 1997

### 3.2.7.3 Kontrol panel zone

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3

Daerah panel pada sambungan balok ke kolom (badan kolom sebidang dengan badan kolom)

Kuat geser : gaya geser terfaktor  $V_u$  pada daerah panel ditentukan berdasarkan momen lentur balok sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Namun  $V_u$  tidak perlu melebihi gaya geser yang ditetapkan berdasarkan  $0.8 \Sigma R_y M_p$  dari balok-balok yang merangka pada sayap kolom disambungan. Kuat geser rencana  $\phi_v V_n$  panel ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Bila } N_u \leq 0.75N_y, \phi_v V_n = 0.6 \phi_v f_y d_c t_p \left[ 1 + \frac{3b_w f_w t_w^3}{d_p d_c t_p} \right] \quad (3.9)$$

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3.2

Tebal daerah panel : ketebalan masing-masing pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, ditetapkan menurut persamaan berikut :

$$t \geq (d_z + w_z) / 90 \quad (3.10)$$

Keterangan :

$t$  adalah tebal pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, mm

$d_z$  adalah tinggi daerah panel di antara pelat terusan, mm

$w_z$  adalah lebar daerah panel di antara kedua sayap kolom, mm

Sebagai alternatif, apabila tekuk lokal pada pelat badan penampang kolom dan pelat pengganda dicegah menggunakan las sumbat maka tebal total daerah panel harus memenuhi persamaan diatas

### 3.2.8 Sambungan

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pedukung, dan alat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

#### 3.2.8.1 Sambungan baut

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang tahanan rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian – bagian yang disambungkan.

Sambungan tipe friksi adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya – gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang itimbulkan antara bdang bidang kontak.

Sambungan yang akan digunakan adalah sambungan kaku, maka perlu diperhatikan :

- 1 Pertemuan  
Komponen struktur yang menyalurkan gaya – gaya pada sambungan, sumbu netralnya harus direncanakan untuk bertemu pada suatu titik. Bila terdapat eksentrisitas pada sambungan, komponen struktur dan sambungannya harus dapat memikul momen yang diakibatkannya.
- 2 Pemilihan alat pengencang  
Bila sambungan memiku kejut, getaran, atau tidak boleh slip, maka harus digunakan sambungan tipe friksi dengan baut mutu tinggi atau las.

Jenis baut yang akan digunakan adalah A325.

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor,  $R_u$  harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.11)$$

Keterangan :

$\phi$  : adalah faktor tahanan

$R_n$  : adalah tahanan nominal baut

Tahanan geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut :

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_u^b A_b \quad (3.12)$$

Keterangan :

- $r_1 = 0.5$  : untuk baut tanpa ulir pada bidang geser
- $r_2 = 0.4$  : untuk baut dengan ulir pada bidang geser
- $\phi_f = 0.75$  : adalah faktor tahanan untuk fraktur
- $f_u^b$  : adalah kuat tarik baut
- $A_b$  : adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Tahanan geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah tahanan masing – masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

Tahanan tarik rencana satu baut dihitung sebagai berikut :

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f f_u^b A_b \quad (3.13)$$

Keterangan :

- $\phi_f = 0.75$  : adalah faktor tahanan untuk fraktur
- $f_u^b$  : adalah kuat tarik baut
- $A_b$  : adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Baut yang memikul gaya geser terfaktor,  $V_u$ , dan gaya tarik terfaktor,  $T_u$ , secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut ini :

$$f_{uv} = \frac{V_u}{nA_b} \leq r_1 \phi_f f_u^b m \quad (3.14)$$

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f f_t A_b \geq \frac{T_u}{n} \quad (3.15)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 f_{uv} \leq f_2 \quad (3.16)$$

Keterangan :

- $\phi_f = 0.75$  : adalah faktor tahanan untuk fraktur
- $n$  : adalah jumlah baut
- $m$  : adalah jumlah bidang geser

untuk baut mutu tinggi :

$$f_1 = 807 \text{ MPa}, f_2 = 621 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1.9 \text{ untuk baut dengan ulir pada bidang geser}$$

$$r_2 = 1.5 \text{ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser}$$

untuk baut mutu normal :

$$f_1 = 410 \text{ MPa}, f_2 = 310 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1.9$$

Tahanan tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.4 \phi_f d_b t_p f_u \quad (3.17)$$

Tahanan tumpu yang didapat dari perhitungan diatas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut slot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.0 \phi_f d_b t_p f_u \quad (3.18)$$

Keterangan :

- $\phi_f = 0.75$  : adalah faktor tahanan untuk fraktur
- $d_b$  : adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir
- $T_p$  : adalah tebal plat
- $f_u$  : adalah kuat tarik yang terendah dari baut atau plat

Pelemahan baut

$$a = \frac{\sum T}{bf_y} \quad (3.19)$$

Momen rencana yang dapat dipikul sambungan :

$$Mn = \frac{f_y a^2 b}{2} + \sum T_n d \quad (3.20)$$

Keterangan :

b = lebar balok

### 3.2.8.2 Sambungan las

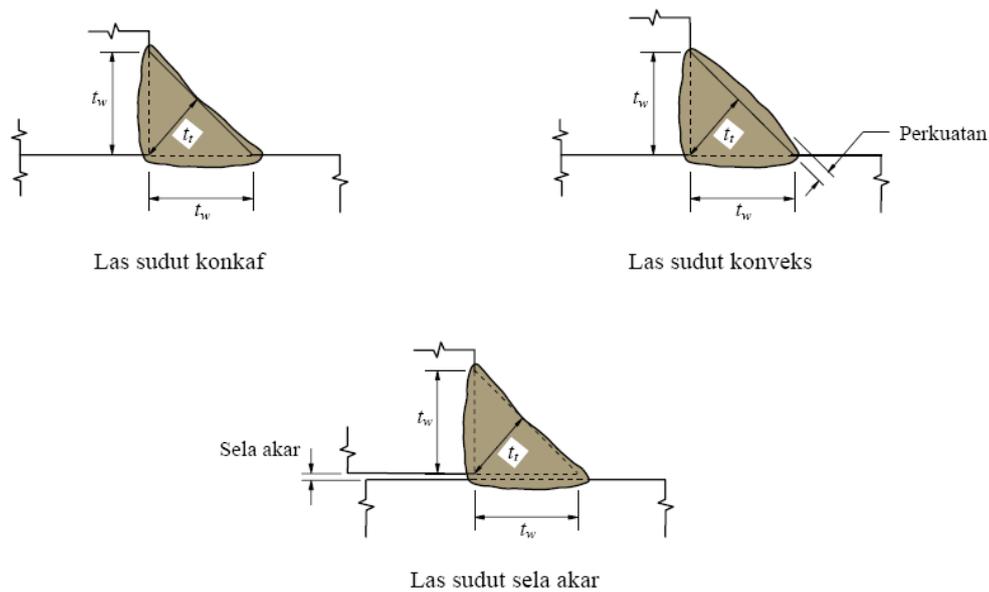
Jenis las yang sering dijumpai antara lain las tumpul, las sudut, las baji dan pasak. Dalam penelitian ini, jenis las akan digunakan adalah las sudut.

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang  $t_{w1}$  dan  $t_{w2}$ , dari sisi yang terletak di sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (Gambar 3.4). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah  $t_w$ , bila terdapat sela akar, ukuran  $t_w$  diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar.

Ukuran minimum las sudut selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, ditetapkan sesuai Tabel 3.2 kecuali bila ukuran las tidak boleh melebihi tebal bagian yang tertipis dalam sambungan.

Tabel 3.3 Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, $t_w$ (mm)
$t \leq 7$	3
$7 \leq t \leq 10$	4
$10 \leq t \leq 15$	5
$t > 15$	6



Gambar 3.5 Ukuran las sudut

Ukuran maksimum las sepanjang tepi komponen yang disambung adalah :

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6.4 mm, diambil setebal komponen
- Untuk komponen dengan tebal 6.4 mm atau lebih, diambil 1.6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las tertentu.

Tebal rencana las,  $t_t$ , suatu las sudah ditunjukkan (Gambar 3.4).

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh. Panjang efektif las sudut paling tidak harus 4 kali ukuran las; jika kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0.25 dikali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan plat yang bertumpuk (lap). Tiap segmen las sudut yang tidak menerus (selang-seling) harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm dan 4 kali ukuran normal las.

Las sudut memikul gaya terfaktor per satuan panjang las,  $R_u$ , harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan,

$$\phi_f R_{nw} = 0.75 t_t (0.6 f_{uw}) \text{ (las)}$$

$$\phi_f R_{nw} = 0.75 t_t (0.6 f_u) \text{ (bahan dasar)}$$

Keterangan :

$\phi_f = 0.75$  : adalah faktor tahanan untuk fraktur

$f_{uw}$  : adalah kuat tarik logam las (MPa)

$f_u$  : adalah kuat tarik logam dasar (MPa)

$t_t$  : adalah tebal rencana las (mm)

### 3.2.9 Analisa Perbandingan

Data yang ada akan dikontrol dulu pada sambungan balok-kolom agar memenuhi syarat *strong column-weak beam*, setelah persyaratan memenuhi maka data spesifikasi yang ada akan diolah menggunakan metode pemodelan FEM dengan memakai bantuan *software* ABAQUS 6.10-1 dengan hasil verifikasi awal sebagai acuan. Hasil perbandingan antara ketiga RBS tersebut nantinya akan diambil gaya – gaya dalam dan tegangan lentur yang terjadi.

### 3.2.10 Kesimpulan

Merupakan hasil perbandingan gaya – gaya dalam dan tegangan lentur antar varian RBS terhadap kolom eksterior dan kolom interior dengan menggunakan metode pemodelan FEM.

## 3.3 Hasil Yang Diharapkan

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mengukur perbandingan hasil gaya – gaya dalam antara varian RBS yang berbeda dengan metode FEM dan juga pengaruhnya terhadap sambungan.

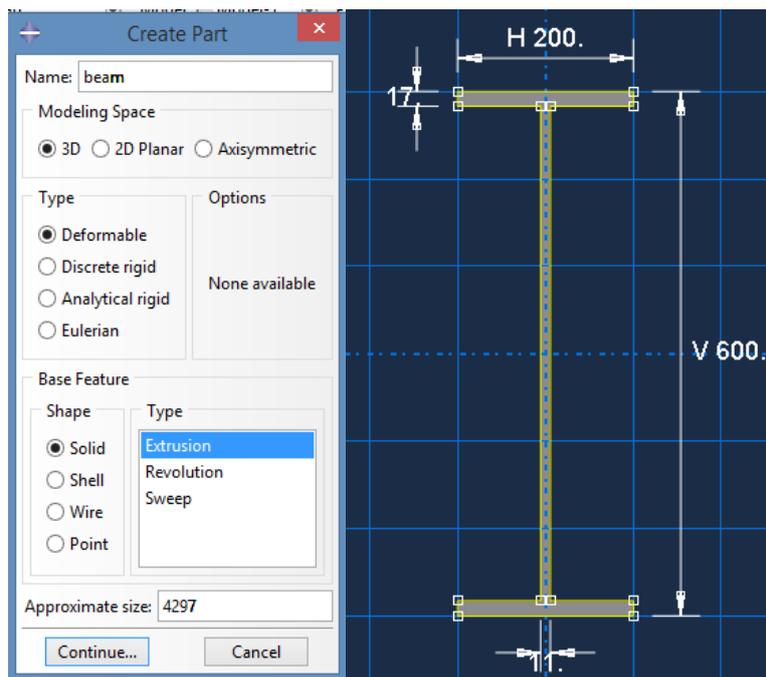
# BAB IV

## PEMBAHASAN

### 4.1 Geometri

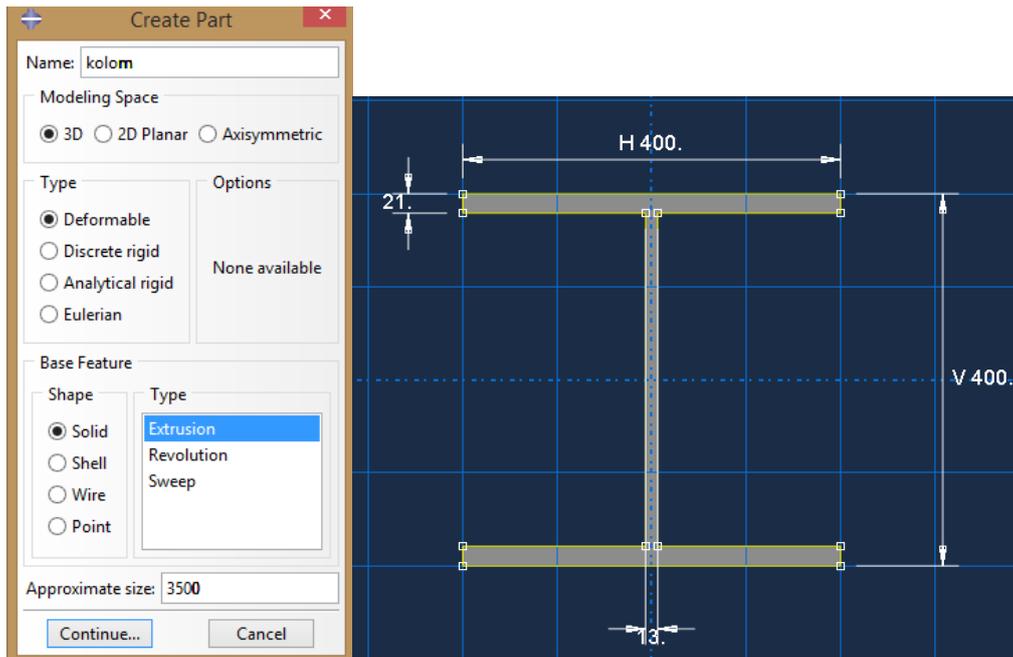
Geometri yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan geometri yang sama seperti Gambar 3.2 yaitu geometri yang digunakan pada eksperimen. Gambar 4.1 adalah geometri balok menggunakan profil IWF 600x200x11x17 dengan panjang 4297 mm seperti yang digunakan pada eksperimen. Gambar 4.2 adalah geometri kolom menggunakan profil HWF 400x400x13x21 dengan panjang 3500 mm seperti yang digunakan pada eksperimen.

Pada eksperimen juga ada stiffener tetapi dimensi stiffener tidak disebutkan geometrinya maka stiffener akan didesain sendiri berdasarkan skala pada Gambar 2.16. Ada dua macam dimensi stiffener yaitu stiffener pada balok dan stiffener untuk kolom dengan tebal yang sama yaitu 17 mm. Tebal stiffener diambil 17 mm karena disesuaikan dengan tebal flens balok.



Gambar 4.1 Geometri Balok

Dimensi RBS radius cut akan disesuaikan dengan eksperimen yang telah dilakukan dengan dimensi panjang RBS = 450 mm, dan lebar RBS = 40 mm.



Gambar 4.2 Geometri Kolom

Verifikasi hasil abaqus dengan eksperimen ini dengan dua metode, yaitu dengan pemodelan pada abaqus tanpa penebalan di daerah panel zone, dengan penebalan di daerah panel zone.

## 4.2 Material Properties

Tabel 2.3 menampilkan hasil uji kuat tarik material dari kupon tes untuk tiap profil yang akan digunakan dalam eksperimen. Hasil dari kupon tes untuk tegangan leleh dan tegangan ultimit dari profil yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu IWF 600x200x11x17 dan HWF 400x400x13x21 diambil dari kupon tes flens dan web masing – masing profil.

### 4.2.1 Material properties balok IWF 600x200x11x17

Berat jenis baja yang digunakan sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3 = 0.00007697 \text{ N/mm}^3$ . Modulus elastisitas (E) yang digunakan sebesar 200000 MPa. Poisson ratio yang digunakan sebesar 0.3.

Hasil kupon tes balok IWF 600x200x11x17 dengan mutu baja SS400 dengan kuat leleh ( $f_y$ ) pada flens sebesar 326 MPa, dan pada web sebesar 343 MPa. Kuat tarik ( $f_u$ ) pada flens sebesar 467 MPa, dan pada web sebesar 473 MPa.

Data grafik tegangan-regangan yang akan dipakai akan diambil dari data lain yang hasil pengujiannya mendekati karena data pengujian kupon tes pada eksperimen tidak lengkap. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan akan dikonversikan menjadi grafik tegangan-regangan pada Gambar 4.3. dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Uji Kupon Tes pada Balok

Ukuran benda uji (mm)	Luas penampang (mm)	kuat leleh (fy)			kuat tarik (fu)			Regangan putus (%)
		kg	kg/mm2	N/mm2	kg	kg/mm2	N/mm2	
9.40 x 37.50	325.5	12600	35.74	350.66	16500	46.81	459.19	21.50

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times \text{Elongation} \quad (4.2)$$

Keterangan :

$\sigma$  = tegangan (MPa)

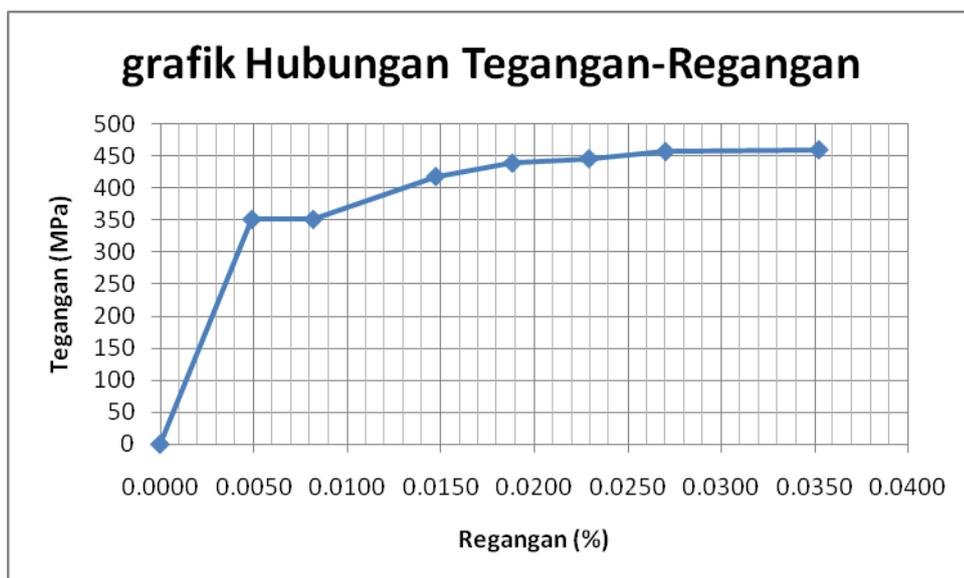
$\epsilon$  = regangan (%)

$f_y$  = kuat leleh (MPa)

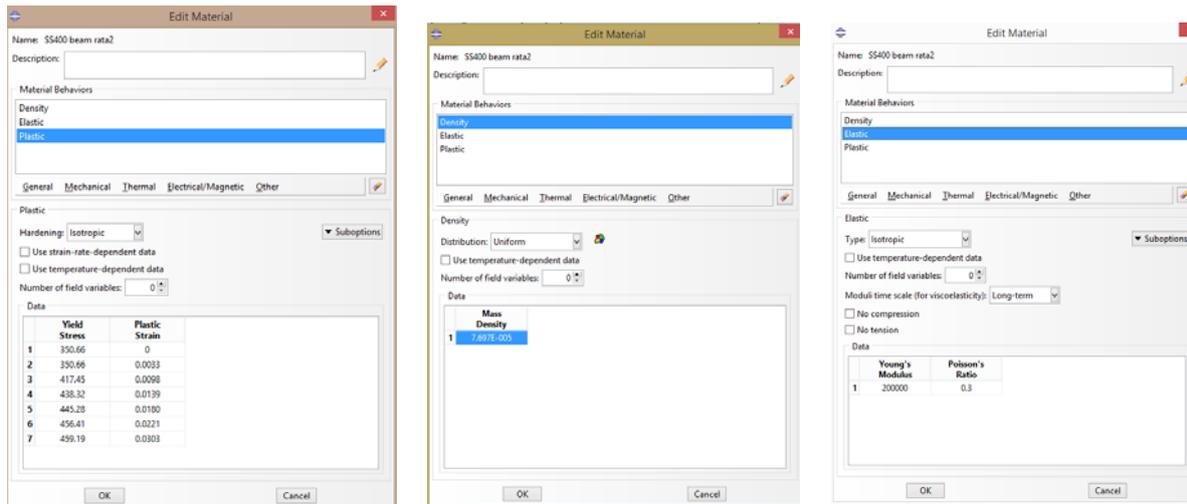
E = modulus elastisitas baja (MPa)

Elongation = pemanjangan material (%)

*Strain hardening* dari grafik tegangan-regangan pada Gambar 4.3 akan dipakai untuk *plastic strain* pada menu material properties di abaqus Gambar 4.4a. Selain itu data lain yang akan diinput adalah berat jenis baja Gambar 4.4b, poisson ratio, dan modulus elastisitas baja Gambar 4.4c.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan pada Balok (data diperoleh dari hasil uji tarik material di lab. beton ITS)



(a) Plastic Strain

(b) Berat Jenis

(c) Elastic Strain

Gambar 4.4 Material Properties Balok

#### 4.2.2 Material properties kolom HWF 400x400x13x21

Berat jenis baja yang digunakan sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3 = 0.00007697 \text{ N/mm}^3$ . Modulus elastisitas (E) yang digunakan sebesar 200000 MPa. Poisson ratio yang digunakan sebesar 0.3.

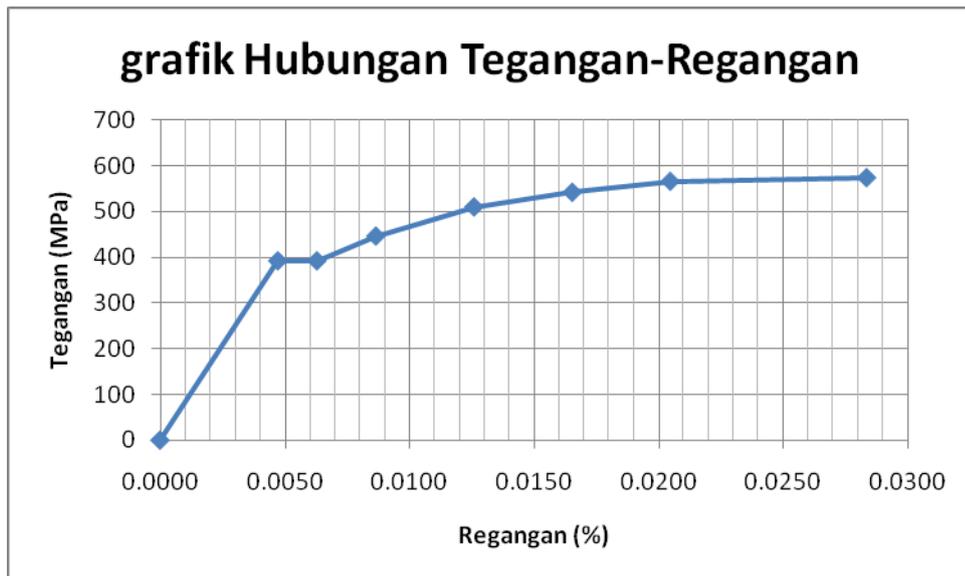
Hasil kupon tes kolom HWF 400x400x13x21 dengan mutu baja SM490 dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) pada flens sebesar 358 MPa, dan pada web sebesar 374 MPa. Kuat tarik ( $f_u$ ) pada flens sebesar 525 MPa, dan pada web sebesar 531 MPa.

Data grafik tegangan-regangan yang akan dipakai akan diambil dari data lain yang hasil pengujiannya mendekati karena data pengujian kupon tes pada eksperimen tidak lengkap. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan akan dikonversikan menjadi grafik tegangan-regangan pada Gambar 4.5. dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2.

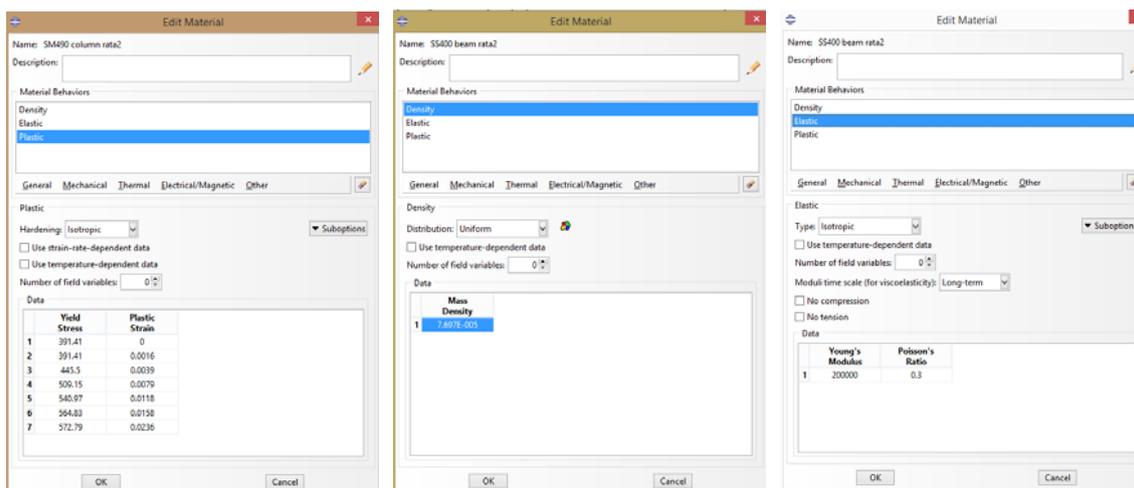
Tabel 4.2 Hasil Uji Kupon Tes pada Kolom

Ukuran benda uji (mm)	Luas penampang (mm)	kuat leleh ( $f_y$ )			kuat tarik ( $f_u$ )			Regangan putus (%)
		kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
7.61 x 40.51	308.28	12300	39.9	391.41	18000	58.39	572.79	16.50

*Strain hardening* dari grafik tegangan-regangan pada Gambar 4.5 akan dipakai untuk *plastic strain* pada menu material properties di abaqus Gambar 4.6a. Selain itu data lain yang akan diinput adalah berat jenis baja Gambar 4.6b, poisson ratio, dan modulus elastisitas baja Gambar 4.6c.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan pada Kolom (data diperoleh dari hasil uji tarik material di lab. beton ITS)



(a) Plastic Strain

(b) Berat Jenis

(c) Elastic Strain

Gambar 4.6 Material Properties Kolom

#### 4.2.3 Material properties stiffener

Berat jenis baja yang digunakan sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3 = 0.00007697 \text{ N/mm}^3$ . Modulus elastisitas (E) yang digunakan sebesar 200000 MPa. Poisson ratio yang digunakan sebesar 0.3.

Material properties stiffener untuk kolom akan disamakan dengan material properties kolom, sedangkan pada stiffener untuk balok akan disamakan dengan material properties balok.

### 4.3 Assembly Properties

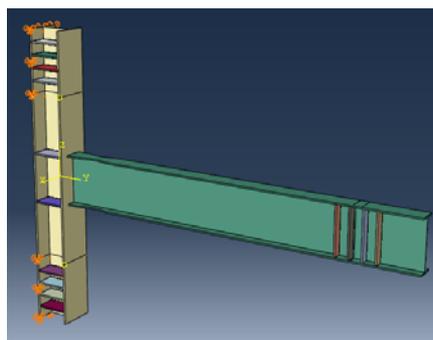
Metode perakitan/assembly ini akan disamakan dengan eksperimen, tetapi ada beberapa ukuran dimensi yang akan ditentukan dengan skala pada Gambar 2.16 karena pengukuran *part* yang akan di rakit tidak semuanya ditampilkan pada hasil eksperimen. Gambar 3.2 pada bab 3 merupakan metode perakitan benda uji.

Perakitan balok diposisikan pada bagian tengah kolom. Hal ini sesuai dengan model eksperimen yang telah dilakukan. Pengekangan dilakukan pada sisi luar flens kolom bagian atas dan bawah sepanjang 750 mm. Ukuran pengekangan ini dilakukan metode skala dari Gambar 2.16 demikian halnya pada jarak antar stiffener baik stiffener untuk kolom maupun balok juga menggunakan metode skala sehingga jarak antar stiffener sebesar 150 mm dari as ke as dan dari as ke tepi kolom.

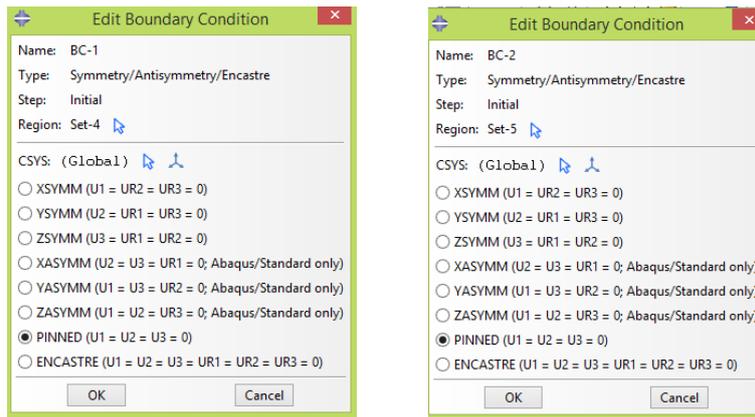
Setelah proses perakitan selesai maka akan dilanjutkan dengan pengekangan/*constraints* agar semua part dapat bekerja sebagai satu kesatuan struktur. Tipe pengekangan yang digunakan adalah tipe *tie* dengan memilih bagian permukaan antara dua buah *part* yang akan disambung. Metode ini digunakan pada seluruh *part*. Pengekangan yang dilakukan adalah permukaan/*surface* antara balok-kolom, stiffener kolom-kolom, stiffener balok-balok.

### 4.4 Boundary Condition

*Boundary condition* pada pemodelan ini akan digunakan sebagai jenis peletakan dan juga sebagai beban *displacement* seperti yang dilakukan di eksperimen. Peletakan yang akan digunakan adalah peletakan sendi yang akan dikerjakan pada permukaan/*surface* luar flens kolom dengan jarak 750 mm dari tepi kolom lihat Gambar 4.7 dan input akan ditampilkan pada Gambar 4.8. Karena peletakan yang dikerjakan adalah peletakan sendi maka pengekangan dilakukan pada seluruh arah sumbu *displacement*.



Gambar 4.7 Peletakan Sendi yang Dikerjakan pada Pemodelan

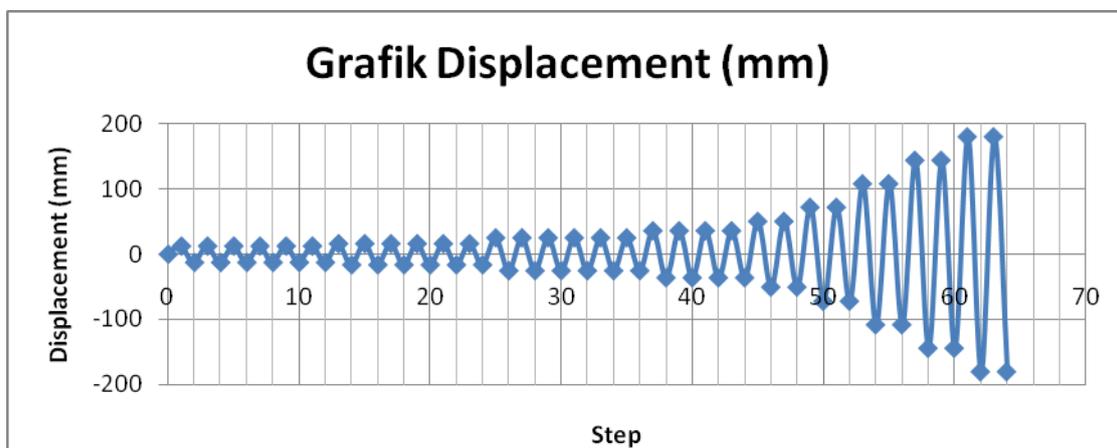


(a) Peletakan Kolom Atas

(b) Peletakan Kolom Bawah

Gambar 4.8 Asumsi Peletakan dengan Pengekangan Displacement

*Boundary condition* sebagai beban dikerjakan sebagai beban *displacement* sesuai dengan tabel 4.3 dan Gambar 4.9. Pada tabel tersebut ditampilkan pembebanan *displacement* dengan nilai negatif yaitu *displacement* kearah berlawanan sumbu Z global dan sebaliknya. Beban *displacement* tersebut dikerjakan pada jarak 3597 mm dari muka kolom dengan lebar area yang dikerjakan sebagai beban actuator sebesar 100 mm. Beban displacement yang digunakan dalam pemodelan akan disamakan dengan eksperimen yaitu menggunakan beban 4.3.



Gambar 4.9 Grafik Pembebanan *Displacement*

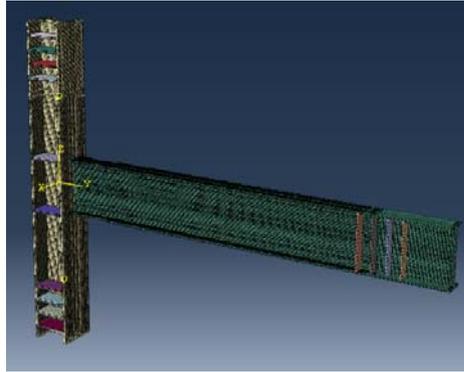
#### 4.5 Meshing

Meshing yang digunakan menggunakan metode *mesh on instance* yaitu meshing yang baru dilakukan saat perakitan/*assembly* bukan meshing yang dilakukan saat pembuatan *part*. *Part* yang menggunakan metode *mesh on instance* ini adalah kolom, balok, stiffener kolom, stiffener balok seperti pada Gambar 4.10. Dimensi *meshing* yang dilakukan sebesar 25x25 mm lihat Gambar 4.11.

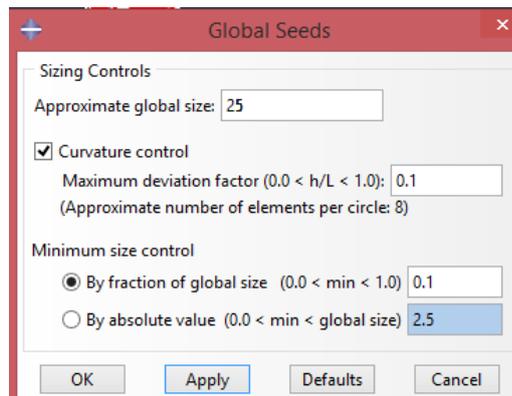
Tabel 4.3 Pembebanan Displacement

drift (%)	Displacement (mm)	step
0	0	0
0.0035	12.5895	1
-0.0035	-12.5895	2
0.0035	12.5895	3
-0.0035	-12.5895	4
0.0035	12.5895	5
-0.0035	-12.5895	6
0.0035	12.5895	7
-0.0035	-12.5895	8
0.0035	12.5895	9
-0.0035	-12.5895	10
0.0035	12.5895	11
-0.0035	-12.5895	12
0.0045	16.1865	13
-0.0045	-16.1865	14
0.0045	16.1865	15
-0.0045	-16.1865	16
0.0045	16.1865	17
-0.0045	-16.1865	18
0.0045	16.1865	19
-0.0045	-16.1865	20
0.0045	16.1865	21
-0.0045	-16.1865	22
0.0045	16.1865	23
-0.0045	-16.1865	24
0.007	25.179	25
-0.007	-25.179	26
0.007	25.179	27
-0.007	-25.179	28
0.007	25.179	29
-0.007	-25.179	30
0.007	25.179	31
-0.007	-25.179	32

drift (%)	Displacement (mm)	step
0.007	25.179	33
-0.007	-25.179	34
0.007	25.179	35
-0.007	-25.179	36
0.01	35.97	37
-0.01	-35.97	38
0.01	35.97	39
-0.01	-35.97	40
0.01	35.97	41
-0.01	-35.97	42
0.01	35.97	43
-0.01	-35.97	44
0.014	50.358	45
-0.014	-50.358	46
0.014	50.358	47
-0.014	-50.358	48
0.02	71.94	49
-0.02	-71.94	50
0.02	71.94	51
-0.02	-71.94	52
0.03	107.91	53
-0.03	-107.91	54
0.03	107.91	55
-0.03	-107.91	56
0.04	143.88	57
-0.04	-143.88	58
0.04	143.88	59
-0.04	-143.88	60
0.05	179.85	61
-0.05	-179.85	62
0.05	179.85	63
-0.05	-179.85	64



Gambar 4.10 Hasil Meshing



Gambar 4.11 Dimensi Mesh

#### 4.6 Verifikasi Hasil

Syarat utama agar hasil abaqus bisa diverifikasi dengan eksperimen adalah kegagalan akibat gaya geser terjadi pada balok bukan di panel zone.

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.6

Perbandingan momen kolom terhadap momen balok

Hubungan berikut ini harus dipenuhi pada sambungan balok-kolom :

$$\frac{\Sigma M_{pc}}{\Sigma M_{pb}} > 1 \quad (4.3)$$

Keterangan :

$\Sigma M_{pc}$  adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan di atas sambungan pada pertemuan antara as kolom dan as balok.  $\Sigma M_{pc}$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal kolom, termasuk voute bila ada, di atas dan di bawah sambungan pada as balok dengan reduksi akibat gaya aksial tekan kolom. Diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pc} = \Sigma Z_c (f_{yc} - N_{uc}/A_g)$ . Bila as balok-balok yang bertemu di sambungan tidak membentuk satu titik maka titik tengahnya dapat digunakan dalam perhitungan.

$\Sigma M_{pb}$  adalah jumlah momen-momen balok pada pertemuan as balok dan as kolom.  $\Sigma M_{pb}$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal balok di daerah sendi plastis pada as kolom. Diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$ , dengan  $M_y$  adalah momen tambahan akibat amplifikasi gaya geser dari lokasi sendi plastis ke as kolom. Sebagai alternatif, diperkenankan untuk menentukan  $\Sigma M_{pb}$  dari hasil pengujian sesuai dengan persyaratan pada butir 15.7.2.1 atau dengan analisis rasional berdasarkan pengujian. Bila sambungan dibuat menggunakan penampang balok yang direduksi maka diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$ , dengan  $Z$  adalah modulus plastis minimum pada penampang balok yang direduksi

$A_g$	adalah luas penampang bruto kolom	(mm <sup>2</sup> )
$f_{yc}$	adalah tegangan leleh penampang kolom	(MPa)
$N_{uc}$	adalah gaya aksial tekan terfaktor pada kolom	(N)
$Z_c$	adalah modulus plastis penampang kolom	(mm <sup>3</sup> )

Hitung  $Z_c$  pada kolom

Dimensi kolom (400 x 400 x 13 x 21)

$$b \text{ (lebar)} = 400 \quad \text{mm}$$

$$d \text{ (tinggi)} = 400 \quad \text{mm}$$

$$t_f \text{ (tebal flens)} = 21 \quad \text{mm}$$

$$t_w \text{ (tebal web)} = 13 \quad \text{mm}$$

$$\text{mutu baja} = \text{SM490}$$

$$f_y = 391.41 \text{ Mpa} = 3839.7321 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} Z_c &= b \times t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \times t_w (d - 2 \times t_f)^2 \\ &= 400 \times 21 (400 - 21) + \frac{1}{4} \times 13 (400 - 2 \times 21)^2 \\ &= 3183600 + 1011933 = 4195533 \text{ mm}^3 = 4195.533 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi } N_{uc} = 0 \text{ (diabaikan)}$$

$$\Sigma M_{pc} = \Sigma Z_c (f_{yc} - \frac{N_{uc}}{A_g})$$

$$= 2 \times (4195.533 \times 3839.7321) = 32219445.47 \text{ kg.cm} = 322.19445 \text{ t.m}$$

Dimensi balok (600 x 200 x 11 x 17)

b (lebar) = 200 mm

d (tinggi) = 600 mm

tf (tebal flens) = 17 mm

tw (tebal web) = 11 mm

mutu baja = SS400

$f_y = 350.66 \text{ Mpa} = 3439.9746 \text{ kg/cm}^2$

$$\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_{pRBS} - M_y)$$

$R_y = 1.5$  untuk SS400

$M_y = 0$  (diabaikan)

$$\begin{aligned} Z_{xRBS} &= 2 \times [\{(b - (2 \times c)) \times tf\} \times \{1/2d - (tf/2)\} + \{(((1/2d) - tf)^2) / 2 \times tw\}] \\ &= 2 \times [\{(200 - (2 \times 40)) \times 17\} \times \{300 - (17/2)\} + \\ &\quad \{(((300 - 17)^2) / 2) \times 11\}] \\ &= 2 \times (2040 \times 266 + 440489.5) \\ &= 1966259 \text{ mm}^3 = 1966.259 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{pRBS} = Z_{xRBS} \times F_y$$

$$= 1966259 \times 350.66 = 689488380.9 \text{ N.mm} = 689.488 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{pb} = 1 \times (1.1 \times 1.5 \times 689.488 - 0) = 1137.655829 \text{ kN.m} = 115.968 \text{ t.m}$$

Syarat *strong column – weak beam*

Untuk kolom eksterior

$$\frac{\Sigma M_{pb}}{\Sigma M_{pc}} = \frac{1137.655829}{115.968} = 2.778 > 1$$

Ok

Hitung gaya geser pada panel zone (untuk  $N_u < 0.75 N_y$ )

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3

Daerah panel pada sambungan balok ke kolom (badan kolom sebidang dengan badan kolom)

Kuat geser : gaya geser terfaktor  $V_u$  pada daerah panel ditentukan berdasarkan momen lentur baloksesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Namun  $V_u$  tidak perlu melebihi gaya geser yang ditetapkan berdasarkan  $0.8 \sum R_y M_p$  dari balok-balok yang merangka pada sayap kolom disambungan. Kuat geser rencana  $\phi_v V_n$  panel ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Bila } N_u \leq 0.75 N_y, \phi_v V_n = 0.6 \phi_v f_y d_c t_p \left[ 1 + \frac{8b_{cf} \times t_{cf}^3}{d_b d_c t_p} \right] \quad (4.4)$$

Untuk kolom eksterior

$$\begin{aligned} M_u &= 0.8 \sum R_y M_{pRBS} = 0.8 \times 1 \times 1.5 \times 689.488 \\ &= 606.75 \text{ kN.m} = 61.85 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$V_{col} = \frac{0.8 \times \sum R_y M_p}{\sum h} = \frac{61.85}{3.5} = 17.67 \text{ t}$$

$$T_b = C_b = \frac{0.8 \times \sum R_y M_p}{d - t_f} = \frac{17.67}{0.6 - 0.017} = 30.311 \text{ t}$$

$$V_{ju} = T_b - V_{col} = 30.311 - 17.67 = 12.641 \text{ t}$$

Data kolom dan balok :

$$t_p = t_{cw} = 13 \text{ mm} \quad d_c = 400 \text{ mm}$$

$$b_{cf} = 400 \text{ mm} \quad t_{cf} = 21 \text{ mm}$$

$$d_b = 600 \text{ mm} \quad f_{yc} = 391.41 \text{ Mpa}$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$\phi_v V_n = 0.6 \times 0.75 \times 391.41 \times 400 \times 13 \left[ 1 + \frac{8 \times 400 \times 21^3}{600 \times 400 \times 13} \right]$$

$$= 1071250.029 \text{ N} = 109.20 \text{ t}$$

Kontrol panel zone terhadap kekuatan dan tebalnya

$$V_{ju} \leq \phi_v V_n \quad 12.641 \text{ t} < 109.20 \text{ t} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3.2

Tebal daerah panel : ketebalan masing-masing pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, ditetapkan menurut persamaan berikut :

$$t \geq (d_z + w_z) / 90$$

Keterangan :

t adalah tebal pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, mm

d<sub>z</sub> adalah tinggi daerah panel di antara pelat terusan, mm

w<sub>z</sub> adalah lebar daerah panel di antara kedua sayap kolom, mm

Sebagai alternatif, apabila tekuk lokal pada pelat badan penampang kolom dan pelat pengganda dicegah menggunakan las sumbat maka tebal total daerah panel harus memenuhi persamaan diatas

$$d_z = 600 - 2 \times 17 = 566 \text{ mm}$$

$$w_z = 400 - 2 \times 21 = 358 \text{ mm}$$

$$t = 21 \text{ mm} > \frac{566 + 358}{90} = 10.2667 \text{ mm}$$

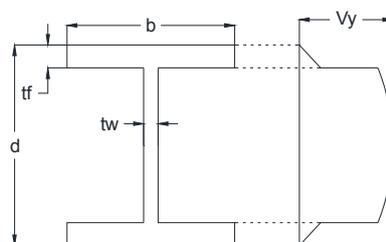
OK!!

Kapasitas Geser Leleh menurut Setiawan,2008

Gambar 4.12 menunjukkan tegangan geser leleh (V<sub>y</sub>) yang akan digunakan sebagai pembanding antara hasil eksperimen dengan hasil pemodelan.

$$\tau_y = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y x d_c x t_p = 0.6 f_y x d_c x t_p \quad (4.6)$$

$$V_y = 0.6 f_{y,n} x d_{n,n} x t_p = 0.6 \times 391.41 \times 400 \times 13 = 994314.943 \text{ N}$$



Gambar 4.12 Tegangan Geser Leleh

#### 4.6.1 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan Tanpa Penebalan Pelat di Daerah Panel Zone

Output dari hasil eksperimen berupa nilai  $V_{RBS}/V_y$  dan  $V_{RBS}/V_p$  maka hasil yang dicari dalam pemodelan adalah nilai tersebut. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka diperlukan persamaan 4.7, 4.8, dan 4.6. Persamaan 4.7 merupakan persamaan Krawinkler yang dipakai untuk pembandingan persamaan 4.6. Persamaan 4.7 digunakan juga karena pembebanan yang dilakukan menggunakan pembebanan Steel-SAC (Clark et. al., 1997).

$$V_{RBS,p} = \left( \frac{M_{RBS}}{d_p} \right) \times \left( \frac{l_p + d_p}{l_p - a_p} \right) \times \left( 1 - \frac{d_p}{h_p} \right) \quad (4.7)$$

$$V_p = (0.6 f_{yv} \times d_p \times t_p) \left[ 1 + \frac{3 \times h_p \times f_{yv} \times d_p^2}{d_p \times d_p \times t_p} \right] \quad (4.8)$$

Keterangan :

$V_{RBS}$  gaya geser yang terjadi pada daerah RBS (Roeder, 2002)

$M_{RBS}$  momen lentur yang terjadi pada daerah RBS

$V_p$  adalah Krawinkler formula untuk pembebanan Steel-SAC (Clark et. al., 1997)

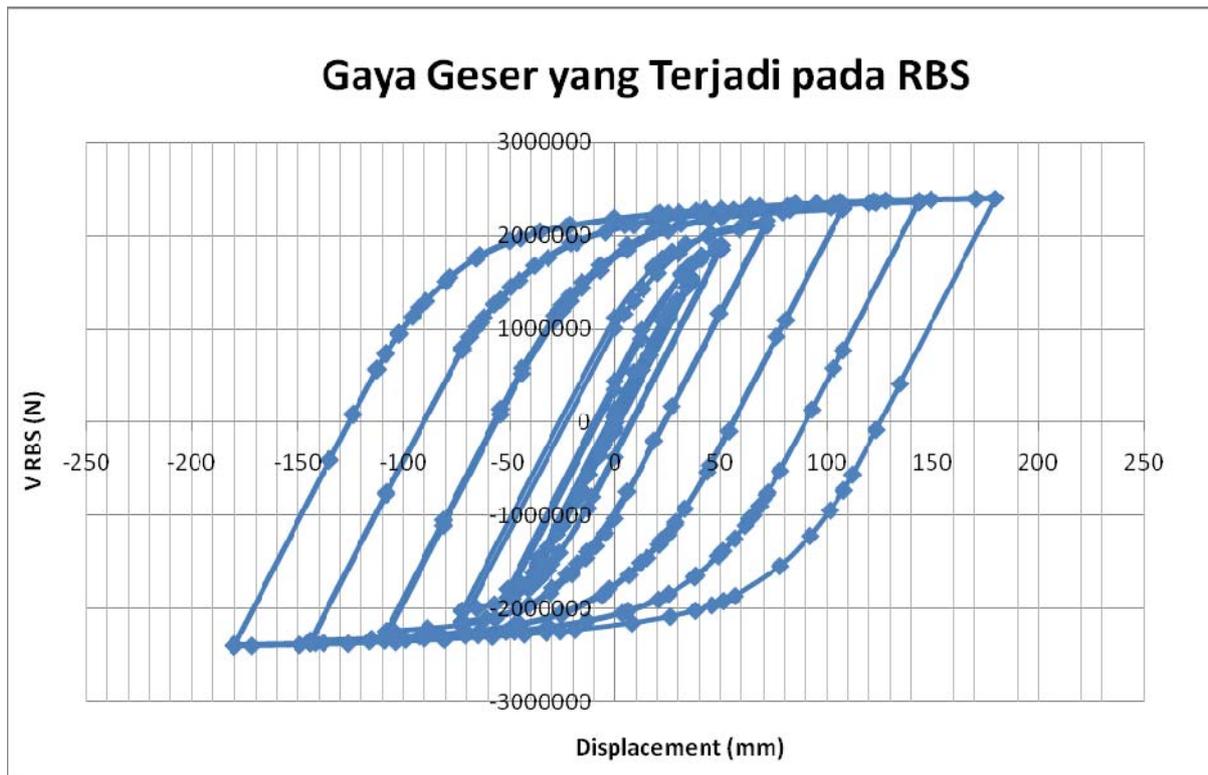
Untuk mendapatkan data  $V_{RBS}$  dari abaqus, diperlukan data  $M_{RBS}$  yaitu momen yang terjadi di segmen tengah RBS, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya (P) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9. Gaya tersebut akan dikalikan dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm, dan dengan persamaan 4.7 maka nilai  $V_{RBS}$  didapat dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.13. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1348507 N.

$$V_p = (0.6 \times 391.41 \times 400 \times 13) \left[ 1 + \frac{3 \times 400 \times 17^2}{600 \times 400 \times 13} \right] = 1216843.992 \text{ N}$$

Dari persamaan 4.6, 4.7, 4.8 maka didapat nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 1.2496 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 1.1082. Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.66 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.71 maka perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pemodelan sebesar 176% untuk  $V_{RBS}/V_y$  dan sebesar 167.91% untuk  $V_{RBS}/V_p$ .

#### 4.6.2 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (11 mm) pada Kedua Sisi Panel Zone

Output dari hasil eksperimen berupa nilai  $V_{RBS}/V_y$  dan  $V_{RBS}/V_p$  maka hasil yang dicari dalam pemodelan adalah nilai tersebut. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka diperlukan persamaan 4.7, 4.8, dan 4.6. Persamaan 4.7 merupakan persamaan Krawinkler yang dipakai untuk pembandingan persamaan 4.6. Persamaan 4.7 digunakan juga karena pembebanan yang dilakukan menggunakan pembebanan Steel-SAC (Clark et. al., 1997).



Gambar 4.13 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement

Untuk mendapatkan data  $V_{RBS}$  dari abaqus, diperlukan data  $M_{RBS}$  yaitu momen yang terjadi di segmen tengah RBS, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya (P) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9. Gaya tersebut akan dikalikan dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm, dan dengan persamaan 4.7 maka nilai  $V_{RBS}$  didapat dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.14. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1432162 N.

$$V_p = (0.6 \times 391.41 \times 400 \times 35) \left[ 1 + \frac{3 \times 400 \times 17^2}{600 \times 400 \times 35} \right] = 3276118 \text{ N}$$

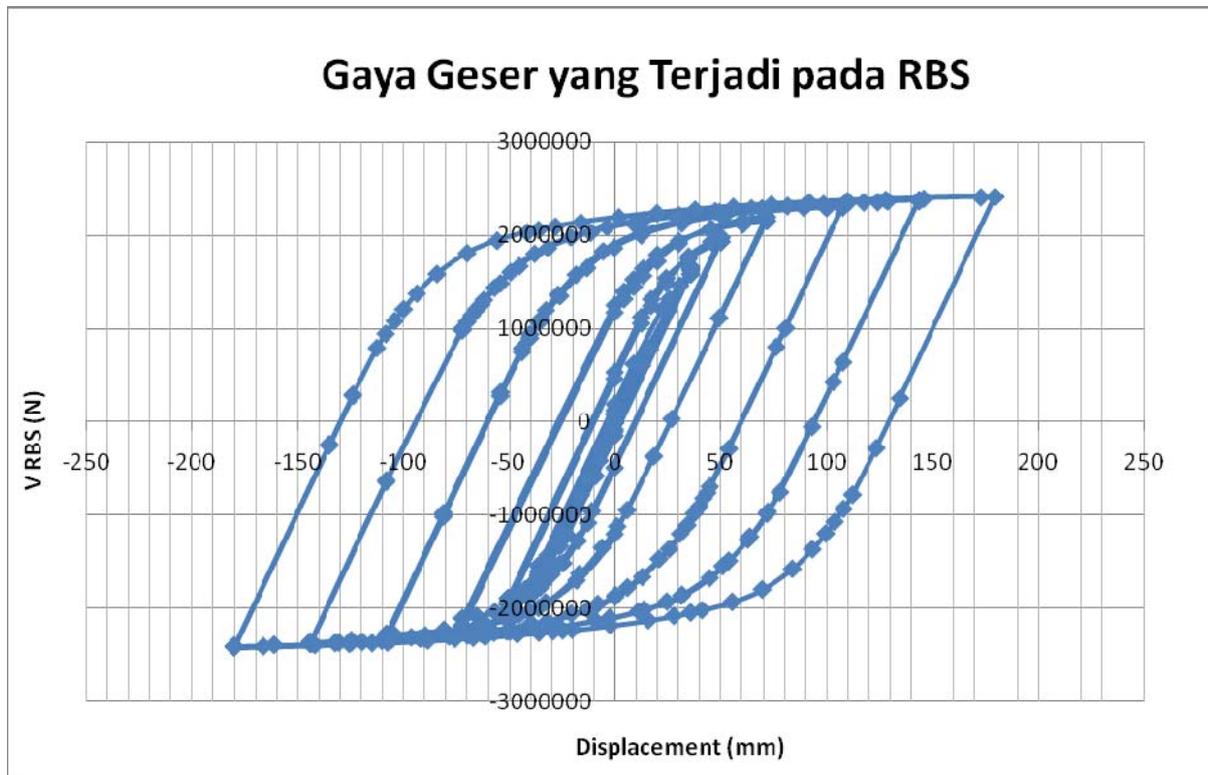
$$V_y = 0.6 f_{yc} x d_c x t_p = 0.6 \times 391.41 \times 400 \times 35 = 2905480 \text{ N}$$

Dari persamaan 4.6, 4.7, 4.8 maka didapat nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.4929 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.4372. Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.66 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.71 maka perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pemodelan sebesar 69.42% untuk  $V_{RBS}/V_y$  dan sebesar 66.235% untuk  $V_{RBS}/V_p$ .

#### 4.6.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (7mm) pada Kedua Sisi Panel Zone

Output dari hasil eksperimen berupa nilai  $V_{RBS}/V_y$  dan  $V_{RBS}/V_p$  maka hasil yang dicari dalam pemodelan adalah nilai tersebut. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka

diperlukan persamaan 4.7, 4.8, dan 4.6. Persamaan 4.7 merupakan persamaan Krawinkler yang dipakai untuk perbandingan persamaan 4.6. Persamaan 4.7 digunakan juga karena pembebanan yang dilakukan menggunakan pembebanan Steel-SAC (Clark et. al., 1997).



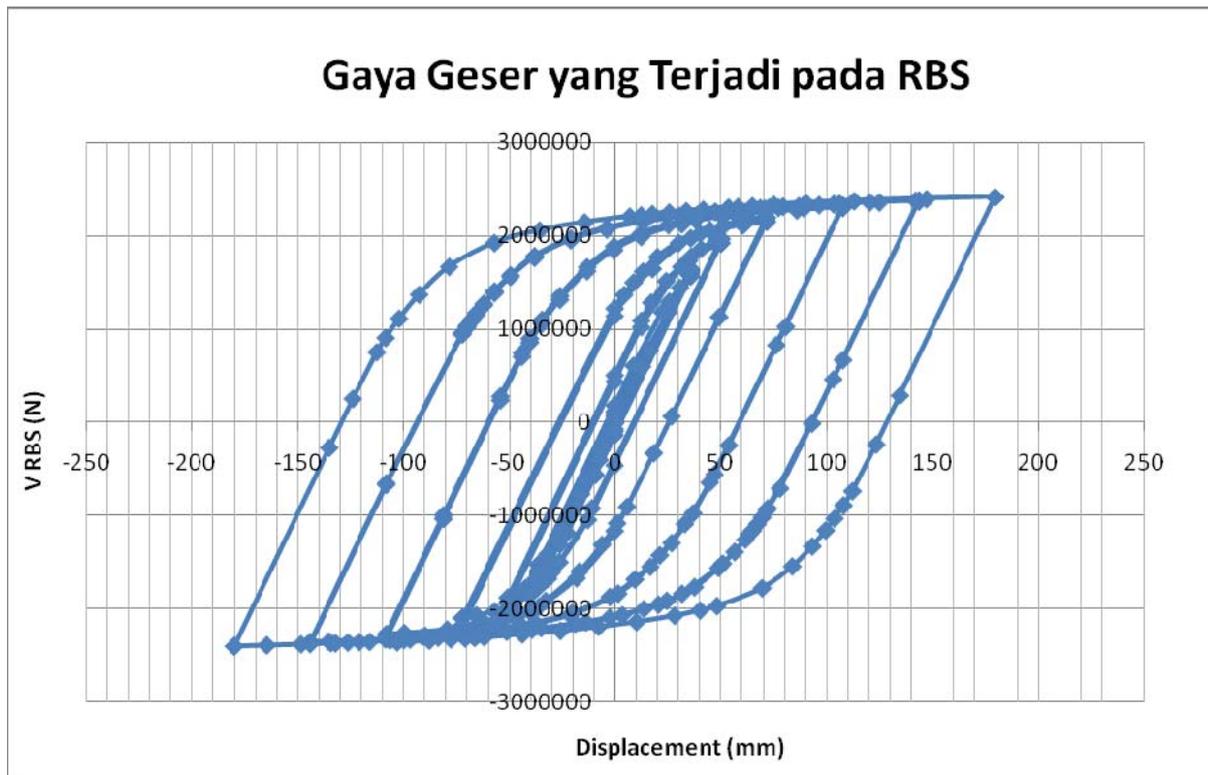
Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 11 mm Tiap Sisi Panel Zone

Untuk mendapatkan data  $V_{RBS}$  dari abaqus, diperlukan data  $M_{RBS}$  yaitu momen yang terjadi di segmen tengah RBS, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya ( $P$ ) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9. Gaya tersebut akan dikalikan dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm, dan dengan persamaan 4.7 maka nilai  $V_{RBS}$  didapat dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.15. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1447675 N.

$$V_p = (0.6 \times 391.41 \times 400 \times 27) \left[ 1 + \frac{3 \times 400 \times 17^2}{600 \times 400 \times 27} \right] = 2527291 \text{ N}$$

$$V_y = 0.6 f_{yc} x d_c x t_p = 0.6 \times 391.41 \times 400 \times 27 = 2241370.74 \text{ N}$$

Dari persamaan 4.6, 4.7, 4.8 maka didapat nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.6459 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.5728. Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.66 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.71 maka perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pemodelan sebesar 90.97% untuk  $V_{RBS}/V_y$  dan sebesar 86.79% untuk  $V_{RBS}/V_p$ .



Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 7 mm Tiap Sisi Panel Zone

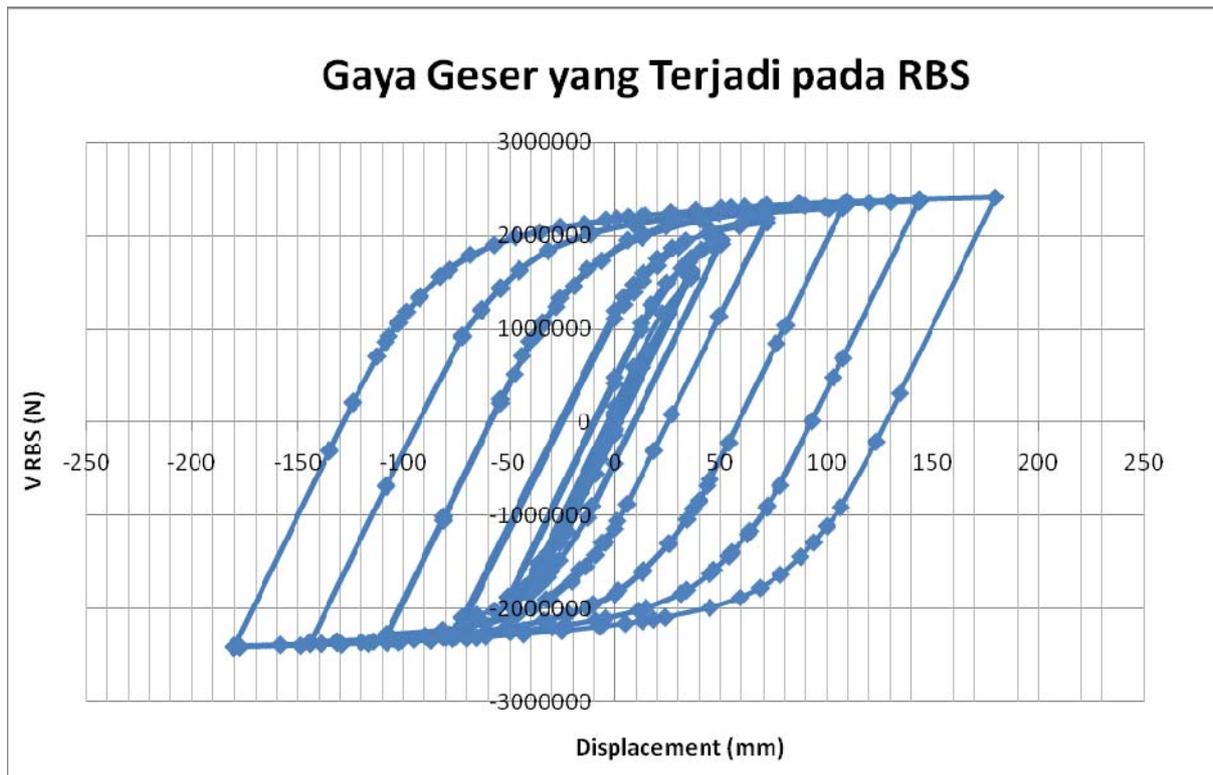
#### 4.6.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Pemodelan menggunakan Penebalan Pelat (5 mm) pada Kedua Sisi Panel Zone

Output dari hasil eksperimen berupa nilai  $V_{RBS}/V_y$  dan  $V_{RBS}/V_p$  maka hasil yang dicari dalam pemodelan adalah nilai tersebut. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka diperlukan persamaan 4.7, 4.8, dan 4.6. Persamaan 4.7 merupakan persamaan Krawinkler yang dipakai untuk perbandingan persamaan 4.6. Persamaan 4.7 digunakan juga karena pembebanan yang dilakukan menggunakan pembebanan Steel-SAC (Clark et. al., 1997).

Untuk mendapatkan data  $V_{RBS}$  dari abaqus, diperlukan data  $M_{RBS}$  yaitu momen yang terjadi di segmen tengah RBS, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya (P) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9. Gaya tersebut akan dikalikan dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm, dan dengan persamaan 4.7 maka nilai  $V_{RBS}$  didapat dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.16. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1420566 N.

$$V_p = (0.6 \times 391.41 \times 400 \times 23) \left[ 1 + \frac{3 \times 400 \times 17^3}{600 \times 400 \times 23} \right] = 2152877.834 \text{ N}$$

$$V_y = 0.6 f_{yc} x d_c x t_p = 0.6 \times 391.41 \times 400 \times 23 = 1909315 \text{ N}$$



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement dengan Doubling 5 mm Tiap Sisi Panel Zone

Dari persamaan 4.6, 4.7, 4.8 maka didapat nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.744 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.6598. Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.66 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.71 maka perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pemodelan sebesar 104.79% untuk  $V_{RBS}/V_y$  dan sebesar 99.98% untuk  $V_{RBS}/V_p$ .

#### 4.6.5 Kesimpulan

Rekap perbandingan hasil perhitungan antara eksperimen dengan model abaqus dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Eksperimen dan Pemodelan

Percobaan	Tebal panel zone (mm)	$V_{RBS}/V_y$			$V_{RBS}/V_p$		
		Eksperimen	Pemodelan	Perbandingan (%)	Eksperimen	Pemodelan	Perbandingan (%)
Tanpa doubling	13	0.71	1.2496	176.00	0.66	1.1082	167.91
Doubling 11 mm	35		0.493	69.44		0.44	66.24
Doubling 7 mm	27		0.6459	90.97		0.5728	86.79
Doubling 5 mm	23		0.744	104.79		0.6598	99.97

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil pemodelan yang paling mendekati eksperimen adalah model RBS dengan penebalan pada panel zone sebesar 5 mm pada tiap sisinya. Perbandingan tersebut juga menunjukkan bahwa penambahan doubling mempengaruhi gaya geser yang diterima balok RBS akan menurun seiring dengan bertambahnya penebalan pada

panel zone, maka untuk model pembanding dengan RBS lainnya akan menggunakan model RBS dengan doubling 5 mm pada kedua sisi panel zone.

#### 4.7 Pemodelan Lanjutan

Tujuan utama dari percobaan ini adalah membandingkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiap varian RBS dengan metode FEM, maka akan dibuat pemodelan dengan tipe RBS lainnya yaitu RBS dogbone cut/RBS-D dan RBS tapered cut/RBS-T yang akan dibandingkan dengan hasil pemodelan RBS radius cut/RBS-R.

Berdasarkan FEMA-350 tentang *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings* Pasal 3.5.5.1

Syarat RBS

1. Tentukan panjang dan lokasi dari RBS terhadap
  - a.  $a \approx (0.5 \text{ sampai } 0.75) b_f$
  - b.  $b \approx (0.65 \text{ sampai } 0.85) d_b$
2. Tentukan panjang flens terpotong
  - a.  $c = 0.2 \times b_f$
3. Tentukan radius RBS
  - a.  $\text{radius} = \frac{4c^2 + b^2}{8c}$

Menentukan dimensi RBS

Menurut eksperimen Lee et. al. (2004) dimensi RBS-Radius cut/RBS-R telah ditentukan dengan dimensi  $a = 150 \text{ mm}$ ,  $b = 450 \text{ mm}$ , and  $c = 40 \text{ mm}$ , sedangkan untuk tipe RBS lainnya akan ditentukan dengan metode berikut dan hasilnya akan ditampilkan dalam Tabel 4.5 dan Gambar 3.3.

- |   |   |   |                         |
|---|---|---|-------------------------|
| 1 | $a \approx (0.5 \text{ sampai } 0.75) b_f$  | $= 0.75 \times 200$                           | $= 150 \text{ mm}$      |
| 2 | $b \approx (0.65 \text{ sampai } 0.85) d_b$ | $= 0.75 \times 600$                           | $= 450 \text{ mm}$      |
| 3 | $c = 0.2 \times b_f$                        | $= 0.2 \times 200$                            | $= 40 \text{ mm}$       |
| 4 | $\text{radius} = \frac{4c^2 + b^2}{8c}$     | $= \frac{4 \times 40^2 + 450^2}{8 \times 40}$ | $= 652.8125 \text{ mm}$ |
| 5 | $d = 0.25 \times b$                         | $= 0.25 \times 450$                           | $= 112.5 \text{ mm}$    |
| 6 | $e = 0.5 \times b$                          | $= 0.5 \times 450$                            | $= 225 \text{ mm}$      |
| 7 | $f = 0.125 \times b$                        | $= 0.125 \times 450$                          | $= 56.25 \text{ mm}$    |
| 8 | $g = 0.75 \times b$                         | $= 0.625 \times 450$                          | $= 281.25 \text{ mm}$   |
| 9 | $h = 0.5 \times c$                          | $= 0.5 \times 40$                             | $= 20 \text{ mm}$       |

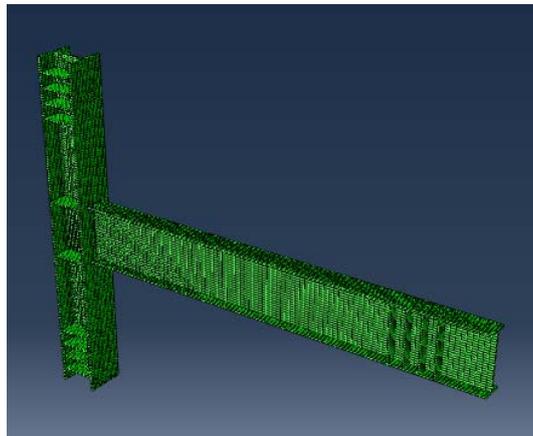
Tabel 4.5 Dimensi RBS yang digunakan

Tipe	Ukuran (mm)							
	a	$B_{RBS}$	c	$D_{RBS}$	e	f	g	h
NRBS	0	0	0	0	0	0	0	0
RBS-R	150	450	40	0	0	0	0	0
RBS-D	150	450	40	112.5	225	0	0	0
RBS-T	150	450	40	112.5	0	56.25	281.25	20

### Validasi RBS

Syarat dari penggunaan RBS adalah kegagalan terjadi pada daerah sambungan, maka akan dikontrol dengan pemodelan tanpa RBS sebagai verifikasi kegagalan terjadi pada sambungan.

Pemodelan yang akan digunakan adalah pemodelan dengan menggunakan penebalan pada panel zone tetapi tidak menggunakan RBS seperti yang ditampilkan Gambar 4.17 dan dari pemodelan dengan menggunakan beban siklik tampak pada Gambar 4.18 bahwa kegagalan terjadi mulai dari step 37 dengan nilai tegangan von mises sebesar 351.44 MPa melampaui kapasitas tegangan balok 350.66 MPa. Tegangan von mises dipakai karena merupakan kombinasi tegangan geser dan lentur.



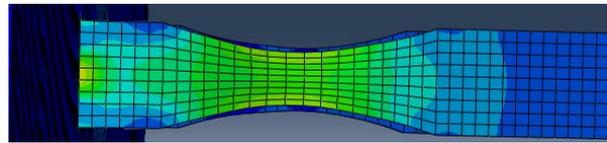
Gambar 4.17 Model Tanpa RBS



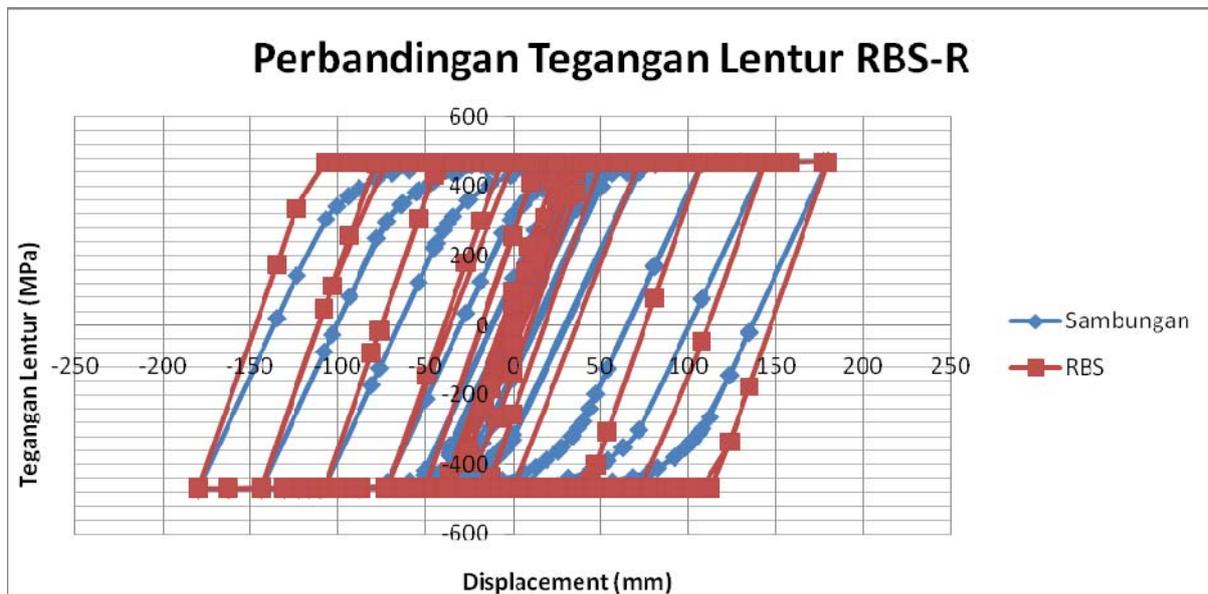
Gambar 4.18 Kontur Tegangan S Mises

Validasi berikutnya adalah validasi kegagalan tegangan lentur pada RBS-R terjadi lebih dulu daripada kegagalan tegangan lentur pada peletakan dapat dilihat kontur

tegangannya pada Gambar 4.19 dan perbandingan tegangan lentur pada daerah sambungan dan pada daerah RBS dapat dilihat pada Gambar 4.20. Kegagalan lentur pada sambungan dimulai pada step 40 dengan tegangan lentur sebesar 354.523 MPa, sementara kegagalan pada RBS-R dimulai pada step 25 dengan tegangan lentur sebesar 358.1634 MPa.



Gambar 4.19 Kontur Tegangan Lentur RBS-R

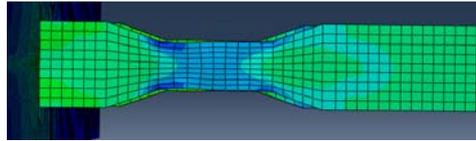


Gambar 4.20 Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-R dan Sambungan

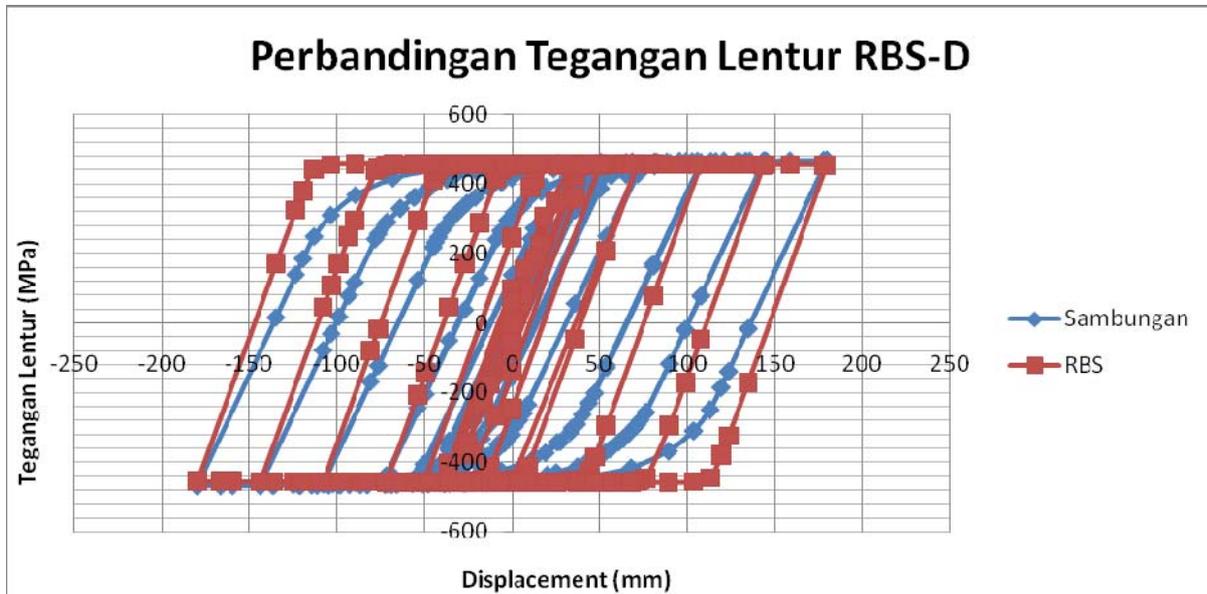
#### 4.7.1 Pemodelan RBS Dogbone Cut/RBS-D

Geometri pemodelan untuk RBS-D akan disamakan dengan RBS-R yaitu menggunakan pemodelan dengan doubling plat 5 mm. Pemodelan dengan doubling plat 5 mm ini dipakai karena hasil perbandingan  $V_{RBS}/V_p$  dan  $V_{RBS}/V_y$  yang memiliki hasil paling mendekati dengan hasil eksperimen, selanjutnya model tersebut akan dijadikan acuan untuk membandingkan gaya geser dan momen yang terjadi pada daerah RBS.

Syarat penggunaan RBS adalah kegagalan akibat tegangan lentur terjadi pada RBS lebih dulu dibandingkan sambungan. Gambar 4.21 menunjukkan kontur tegangan lentur yang terjadi, dapat dilihat berdasarkan kontur tegangan bahwa kegagalan terjadi lebih dulu di RBS, sementara perbandingan tegangan lentur pada daerah sambungan dan pada daerah RBS dapat dilihat pada Gambar 4.22. Kegagalan lentur pada sambungan dimulai pada step 41 dengan tegangan lentur sebesar 354.4876 MPa, sementara kegagalan pada RBS-D dimulai pada step 36 dengan tegangan lentur sebesar 350.926 MPa.



Gambar 4.21 Kontur Tegangan Lentur RBS-D

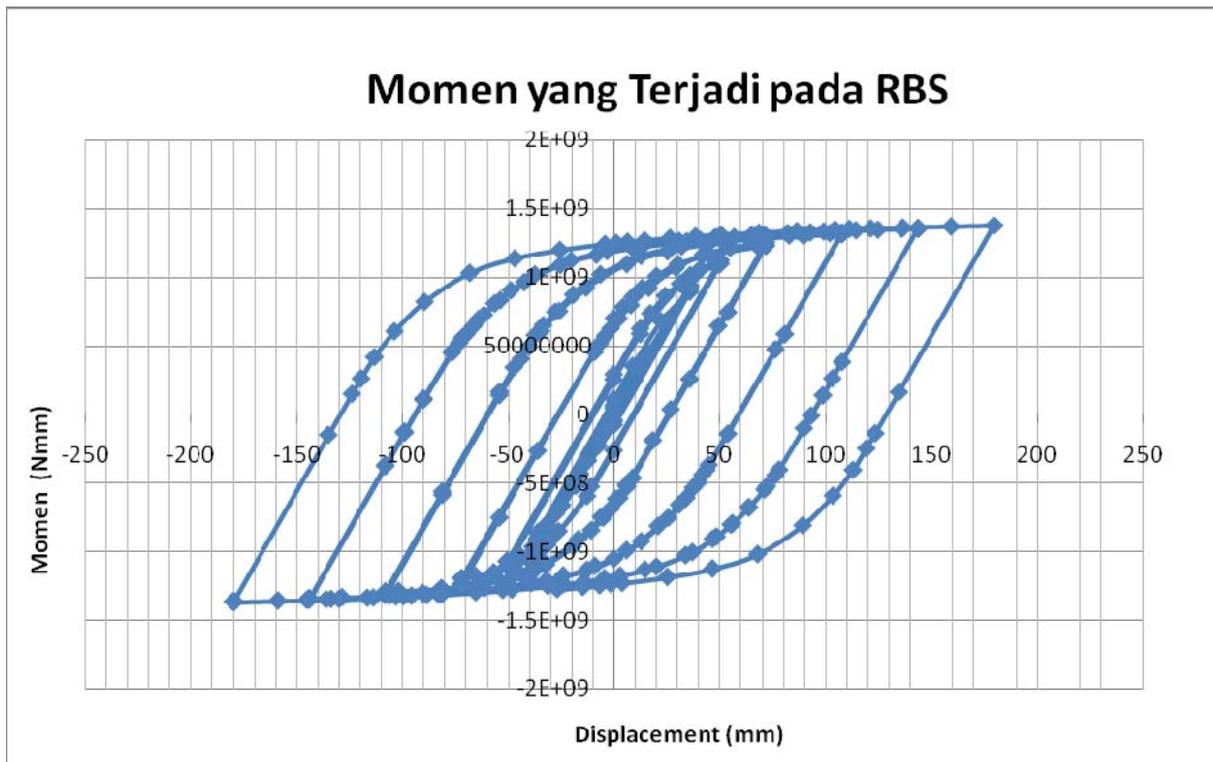


Gambar 4.22 Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-D dan Sambungan

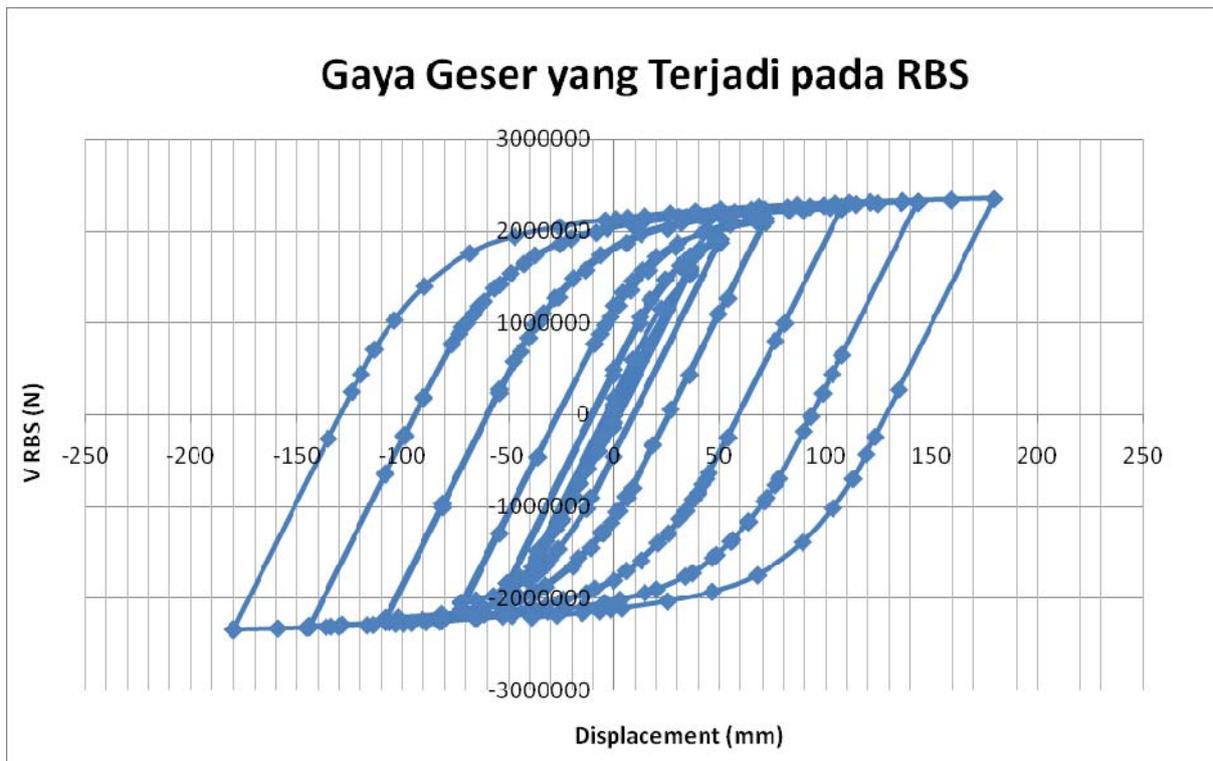
Data yang akan dibandingkan adalah  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$ . Hasil pemodelan dengan RBS-R didapat nilai  $M_{RBS}$  sebesar 829228023.6 Nmm dan nilai  $V_{RBS}$  sebesar 1420566 N. Metode yang sama dalam mencari nilai  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$  pada pemodelan RBS-R akan digunakan dalam menentukan nilai dari  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$  pada pemodelan RBS-D, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya ( $P$ ) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9.

$M_{RBS}$  akan didapat dengan mengalikan nilai dari gaya ( $P$ ) tersebut dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm dan nilai  $M_{RBS}$  akan ditampilkan pada grafik hubungan antara momen yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.23. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $M_{RBS}$  yaitu sebesar 794546558 Nmm.

Nilai  $V_{RBS}$  dari persamaan 4.7 bisa didapatkan dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.24. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1361152.1 N.



Gambar 4.23 Grafik Hubungan antara Momen pada RBS dan Displacement

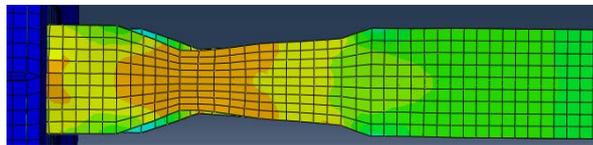


Gambar 4.24 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement

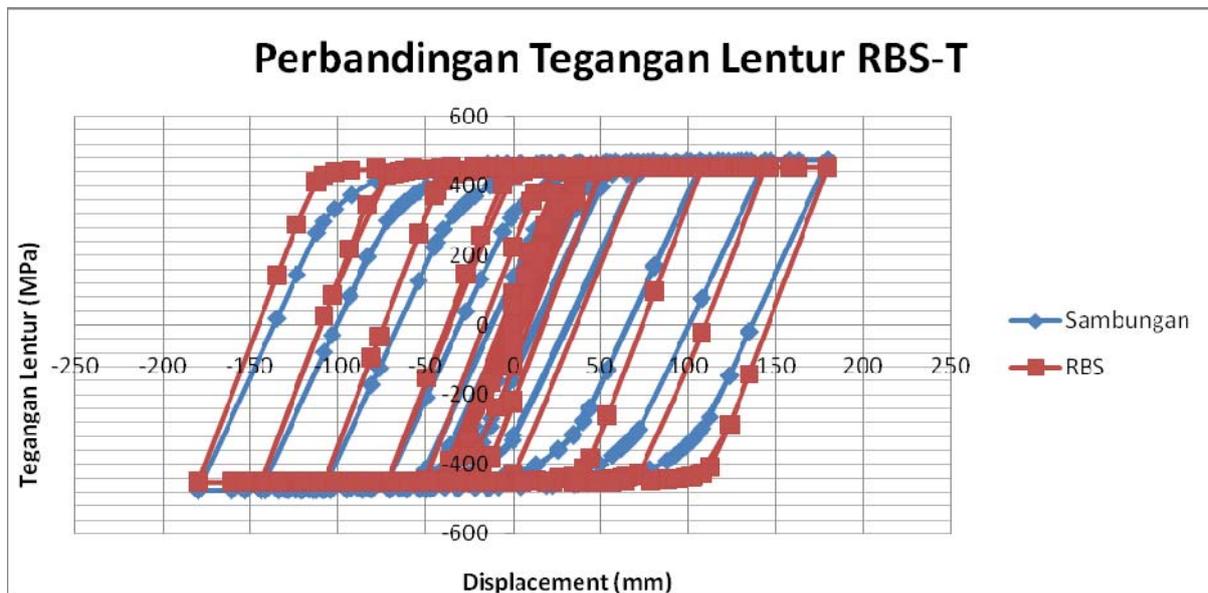
#### 4.7.2 Pemodelan RBS Tapered Cut/RBS-T

Geometri pemodelan untuk RBS-T akan disamakan dengan RBS-R yaitu menggunakan pemodelan dengan doubling plat 5 mm. Pemodelan dengan doubling plat 5 mm ini dipakai karena hasil perbandingan  $V_{RBS}/V_p$  dan  $V_{RBS}/V_y$  yang memiliki hasil paling mendekati dengan hasil eksperimen, selanjutnya model tersebut akan dijadikan acuan untuk membandingkan gaya geser dan momen yang terjadi pada daerah RBS.

Syarat penggunaan RBS adalah kegagalan akibat tegangan lentur terjadi pada RBS lebih dulu dibandingkan sambungan. Gambar 4.25 menunjukkan kontur tegangan lentur yang terjadi, dapat dilihat berdasarkan kontur tegangan bahwa kegagalan terjadi lebih dulu di RBS, sementara perbandingan tegangan lentur pada daerah sambungan dan pada daerah RBS dapat dilihat pada Gambar 4.26. Kegagalan lentur pada sambungan dimulai pada step 40 dengan tegangan lentur sebesar 355.972 MPa, sementara kegagalan pada RBS-T dimulai pada step 36 dengan tegangan lentur sebesar 352.8913 MPa.



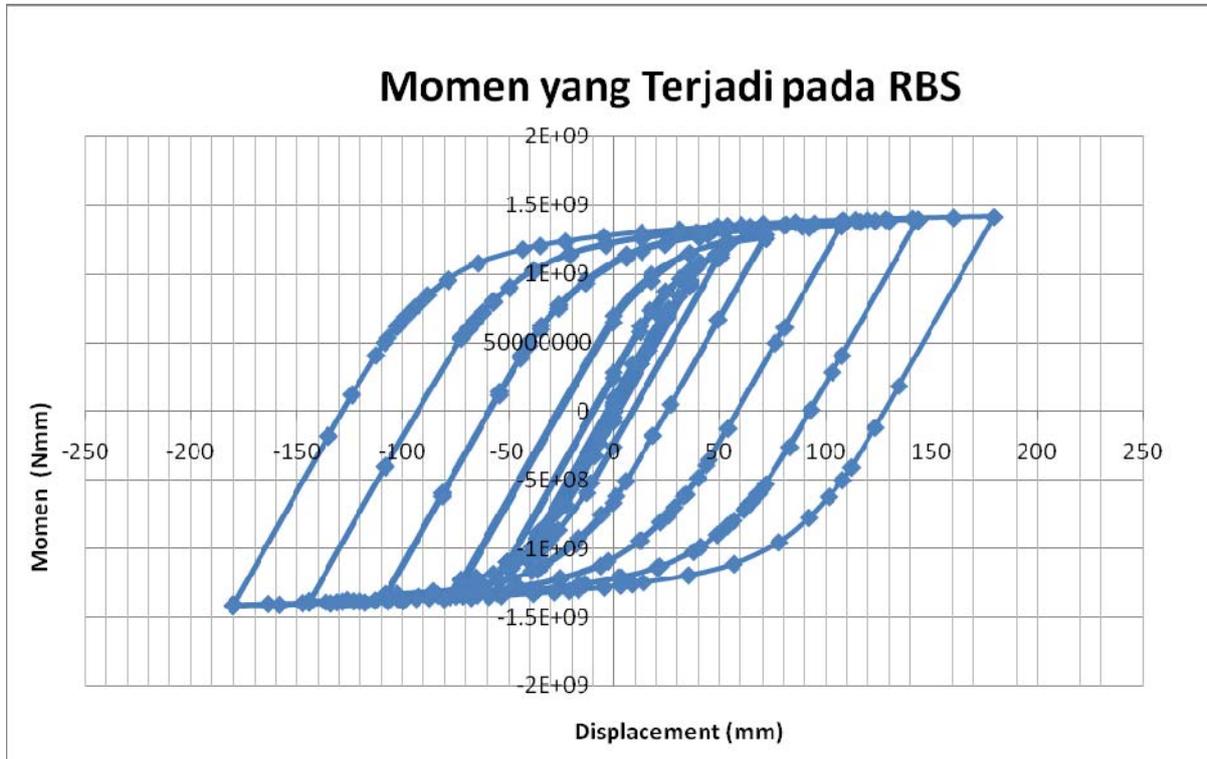
Gambar 4.25 Kontur Tegangan Lentur RBS-T



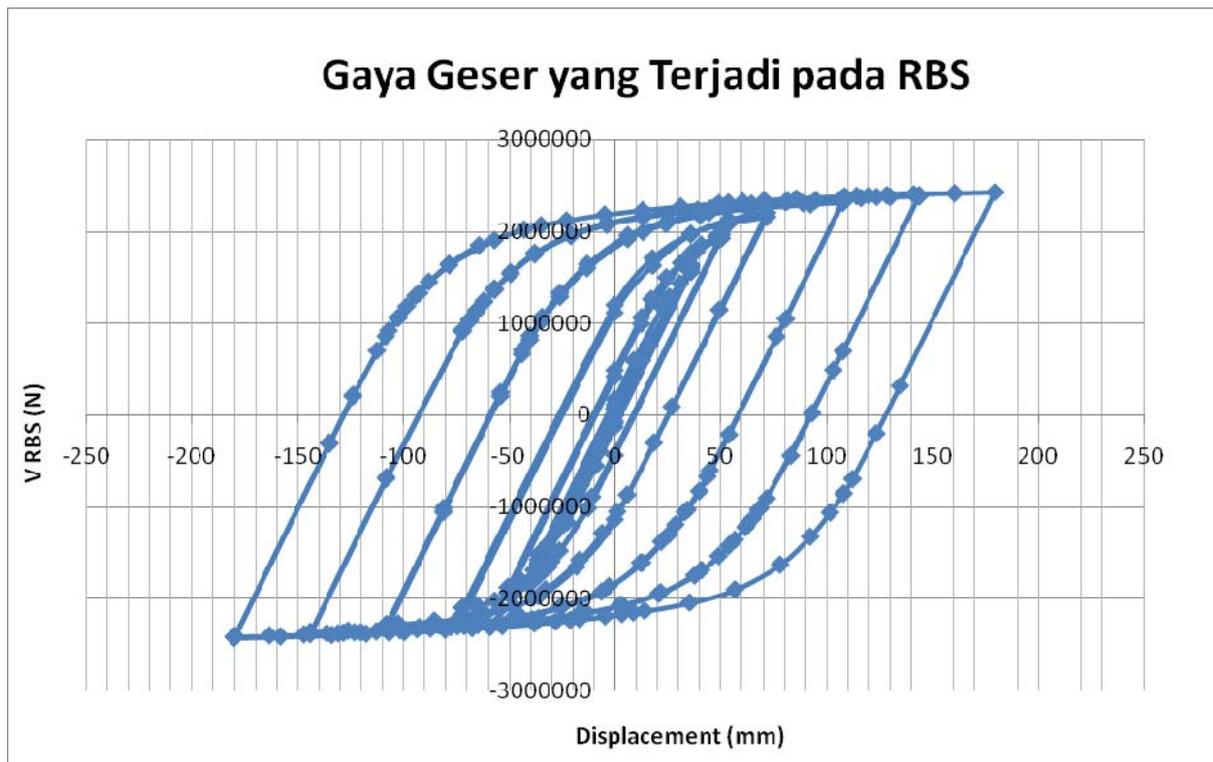
Gambar 4.26 Perbandingan Tegangan Lentur di RBS-T dan Sambungan

Data yang akan dibandingkan adalah  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$ . Hasil pemodelan dengan RBS-R didapat nilai  $M_{RBS}$  sebesar 829228023.6 Nmm dan nilai  $V_{RBS}$  sebesar 1420566 N. Metode yang sama dalam mencari nilai  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$  pada pemodelan RBS-R akan digunakan dalam menentukan nilai dari  $M_{RBS}$  dan  $V_{RBS}$  pada pemodelan RBS-D, maka data yang diambil dari Abaqus adalah besarnya gaya ( $P$ ) yang menyebabkan displacement yang ada pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9.

$M_{RBS}$  akan didapat dengan mengalikan nilai dari gaya (P) tersebut dengan jarak antara bagian balok yang dibebani ke tengah RBS dengan jarak  $3597 - 375 = 3222$  mm dan nilai  $M_{RBS}$  akan ditampilkan pada grafik hubungan antara momen yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.27. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $M_{RBS}$  yaitu sebesar 831617507 Nmm.



Gambar 4.27 Grafik Hubungan antara Momen pada RBS dan Displacement



Gambar 4.28 Grafik Hubungan antara Gaya Geser pada RBS dan Displacement

Nilai  $V_{RBS}$  dari persamaan 4.7 bisa didapatkan dan akan ditampilkan pada grafik hubungan antara gaya geser yang terjadi di tengah RBS dan displacement dalam mm dapat dilihat pada Gambar 4.28. Kemudian dari hasil  $V_{RBS}$  akibat pembebanan siklik tersebut, akan diambil nilai rata – rata dari  $V_{RBS}$  yaitu sebesar 1424659 N.

### 4.7.3 Kesimpulan

Hasil perbandingan gaya – gaya dalam pada RBS dapat dilihat pada Tabel 4.6. Dari hasil tabel tersebut dapat dilihat bahwa RBS-T membutuhkan momen dan gaya geser sedikit lebih besar dari RBS-R dengan besaran 0.29% lebih tinggi untuk mencapai nilai displacement yang sama, sementara RBS-D membutuhkan nilai momen dan gaya geser 4.18% lebih rendah dibandingkan RBS-R.

Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Gaya – Gaya Dalam pada Tiap Varian RBS

Jenis RBS	$M_{RBS}$	$V_{RBS}$	$M_{RBS}$	$V_{RBS}$
	Nmm	N	(%)	(%)
Radius Cut	829228024	1420566	100	100
Dogbone Cut	794546558	1361152	95.82	95.82
Tapered Cut	831617507	1424659	100.29	100.29

Hasil perbandingan tegangan pada RBS dapat dilihat pada tabel 4.7. Tampak bahwa semua jenis RBS mengalami kegagalan pada nilai displacement yang sama hanya berbeda pada step sikliknya. Efisiensi pada RBS didapatkan jika kegagalan terjadi pada daerah RBS

dengan tegangan lentur yang masih rendah, maka tegangan lentur terendah didapat pada RBS-D dengan nilai 350.926 MPa dan kegagalan masih terjadi pada RBS yang berarti kapasitas lentur pada RBS-D masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan kedua varian RBS lainnya.

Pada Tabel 4.7 juga tampak bahwa volume RBS terpotong lebih banyak pada RBS-D. Potongan tersebut jika dijual di pasaran pada umumnya bernilai Rp. 43237.80 untuk tiap sambungan, sementara berat balok diperkirakan sekitar 30% dari berat struktur. Jika diaplikasikan pada struktur gudang pada umumnya dengan tonase material 25 kg/m<sup>2</sup> dan luas lahan 40x10m maka kebutuhan material sebesar 10 ton dan berat kebutuhan baloknya saja 3 ton. Berat profil pada percobaan tersebut adalah 106 kg/m x 4.297 m = 455.482 kg maka berat potongan RBS-D bernilai 1.41%. Dari berat balok 3 ton dikalikan berat potongan RBS 1.41% maka berat potongan RBS sebesar 42.3 kg dan nilai penghematan sebesar Rp. 43,237.80 x 42.3 kg = Rp. 1,828,959.00.

Tabel 4.7 Perbandingan Tegangan Lentur dan Berat Potongan RBS

Tipe	Step	Displacement (mm)	Tegangan Lentur (Mpa)	Luas bidang RBS (mm <sup>2</sup> )	Berat potongan (kg)	Harga Scrap Rp. 6000.00/kg
RBS-R	25	25.179	358.163	12075.5129	6.446	38675.45
RBS-D	36	25.179	350.926	13500	7.206	43237.80
RBS-T	36	25.179	352.891	11250.5186	6.006	36033.16

# **BAB V**

## **KESIMPULAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Rasio gaya geser pada pemodelan RBS-R yang merupakan hasil eksperimen memiliki nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.71 dan  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.66 dimana yang mendekati adalah pemodelan menggunakan doubling 5 mm dengan nilai  $V_{RBS}/V_y$  sebesar 0.744 dengan persentase perbandingan sebesar 104.79% sedangkan untuk nilai  $V_{RBS}/V_p$  sebesar 0.6598 dengan persentase perbandingan sebesar 99.97%.
2. Dari hasil perbandingan dengan RBS-R sebagai acuan dapat dilihat bahwa untuk mencapai nilai displacement yang sama RBS-T membutuhkan gaya-gaya dalam lebih besar dari RBS-R dengan persentase 0.29% lebih tinggi, sementara RBS-D menghasilkan gaya-gaya dalam dengan persentase 4.18% lebih rendah dibandingkan RBS-R sedangkan nilai tegangan paling kecil didapat pada RBS-D dengan tegangan lentur sebesar 350.926 MPa kemudian nilai tegangan kedua didapat pada RBS-T sebesar 352.891 MPa dan tegangan terbesar dari RBS-R sebesar 358.163 MPa.

### **5.2 SARAN**

Saran untuk penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan membandingkan geometri salah satu varian RBS menurut FEMA 350 pasal 3.5.5.

## DAFTAR PUSTAKA

A. Chan, J. Paulino, M. Quiroz, J. Valdovinos, (2011), "Seismic Evaluation & Design : Special Moment-Resisting Fram Structure", San Fransisco State University, Canada College and NASA Sponsored Collaboration

AISC, (2010), "Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601-1802

Atsushi Sato, James Newell, and Chia-Ming Lee, (2007), "Cyclic Testing of Bolted Flange Plate Steel Moment Connections for Special Moment Frames", Department of Structural Engineering University of California, San Diego La Jolla, California

Cheol-Ho Lee, Sang-Wo Jeon, Jin-Ho Kim, and Chia-Ming Lee, (2014), "Seismic Performance of Reduced Beam Section Steel Moment Connections : Effects of Panel Zone Strength and Beam Web Connection Method", 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 3449

imanpour, ali Seismic Design Procedure and Detailing of New Reduced Beam Section Moment Connection with Corrugated Web in Beam Plastic Hinge Zone

James M. Ricles, Xiaofeng Zhang, Le-Wu Lu, John Fisher, (2004), "Development Of Seismic Guidelines For Deep-Column Steel Moment Connections", ATLSS is a National Center for Engineering Research on Advanced Technology for Large Structural Systems

P. Alexa and I. Ladar, (2010), "Performance based analysis of RBS steel frames", Technical University of Cluj – Napoca, Romania

Ronald O. Hamburger, Helmut Krawinkler, James O. Malley, and Scott M. Adan, (2009), "Seismic Design of Steel Special Moment Frames: A Guide for Practicing Engineers", National Institute of Standards and Technology

SAC Joint Venture, (2000), "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings", Federal Emergency Management Agency

Scott L Jones, Gary T Fry, And Michael D. Engelhardt, (2000), "Reduced Beam Section Welded Steel Moment Frames", 12 WCEE 2000 no. 1671

Scott M. ADAN and Lawrence D. REAVELEY , (2004), "The Reduced Beam Section Moment Connection Without Continuity Plates", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 1504

Setiawan, Agus (2008), “Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD”, penerbit Erlangga

Shakya, Anuj Man, (2007), “P-Delta Effects On Steel Moment Frames With Reduced Beam Section Connection”, Southern Illinois University Carbondale, Theses and Dissertations

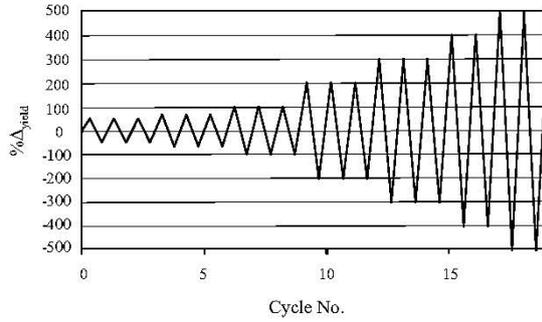
Steven C. Ball, (2011), “Steel non-orthogonal reduced beam section moment connections—a case study”, John A. Martin & Associates, Inc., Los Angeles, CA, USA

Victor Gioncu and Morris Mosoarca, (2012), “Ductility Aspects of Steel Beam”, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 55, No. 1

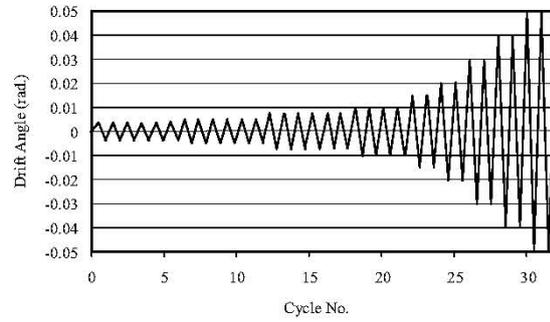
Yousef Ashrafi, Behzad Rafezy and W. Paul Howson Evaluation of the Performance of Reduced Beam Section (RBS) Connections in Steel Moment Frames Subjected to Cyclic Loading Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol II WCE 2009, July 1 - 3, 2009, London, U.K.

Krawinkler, H., Gupta, A., Medina, R., and Ruco, N. “Loading histories for seismic performance testing of SMRF components and assemblies.” *Report No. SAC/BD-00/10*. SAC Joint Venture, Sacramento, Calif., 2000.

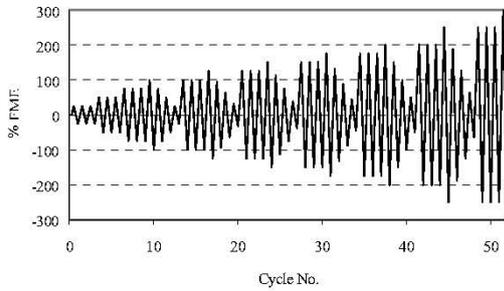
# LAMPIRAN



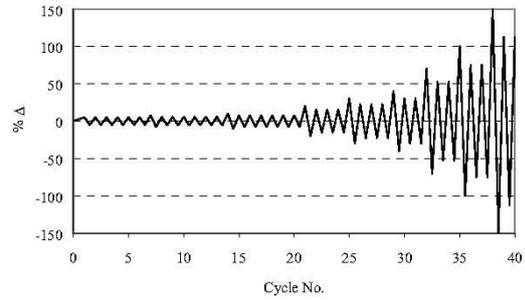
(a) Steel - ATC-24 (ATC-24, 1992)



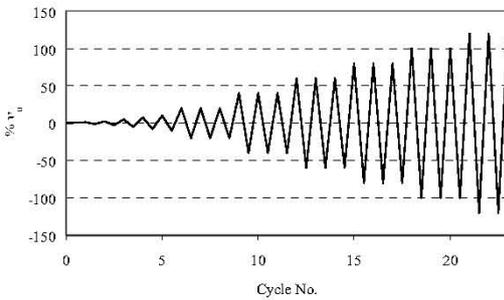
(b) Steel - SAC (Clark et al., 1997)



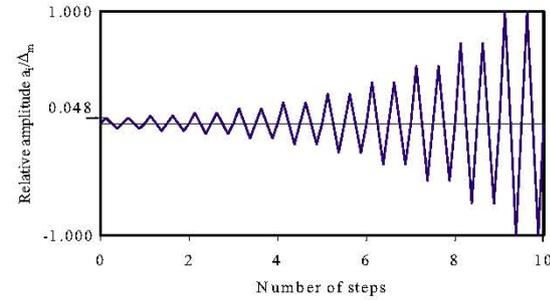
(c) Wood/Masonry - SPD (Porter, 1987)



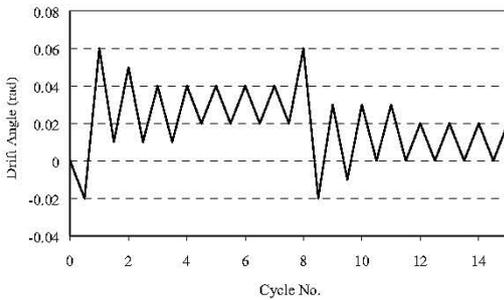
(d) Wood - CUREE (Krawinkler et al., 2000-b)



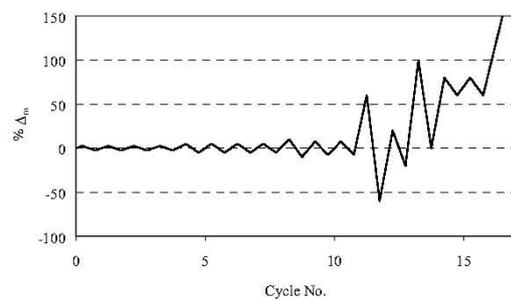
(e) Wood - ISO (ISO, 1998)



(f) FEMA 461 (FEMA, 2007)



(g) Steel - SAC Near-Fault (Kraw. et al., 2000-a)



(h) Wood - CUREE Near Fault (Kraw. et al., 2000-b)

**Figure 1. Various loading protocols (several figures courtesy C.M. Uang).**

(for example, Jones et al. 2002; Gilton and Uang 2002; Chi and Uang 2002). The primary objective of this experimental study was to investigate the effects of beam web connection type and panel zone strength on the seismic performance of RBS connections

## TESTING PROGRAM

### Design of Test Specimens

A total of eight full-scale test specimens were designed and grouped as Set No. 1 and Set No. 2 (Table 1). Typical geometry and seismic moment profile for the design of the radius-cut RBS are shown in Figs. 1 and 2. The grade of steel for the beams was SS400 with a specified minimum yield strength of 235 Mpa

**TABLE 1 Test specimens**

Specimen	Beam and column	Panel zone strength	Beam web connection method	<i>a</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	<i>c</i> (mm)	Flange reduction (%)
Set No. 1							
DB700-SW	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Strong (10 mm doubler plate, SM490)	Welded	175	525	55	37
DB700-MW	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Medium	Welded	175	525	55	37
DB700-SB	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Strong (10 mm doubler plate, SM490)	Bolted	175	525	55	37
DB700-MB	H700X300X13X24 (SS400) H428X407X20X35 (SM490)	Medium	Bolted	175	525	55	37
Set No. 2							
DB600-MW1	H600X200X11X17 (SS400) H400X400X13X21 (SM490)	Medium	Welded	150	510	40	40
DB600-MW2	H600X200X11X17 (SS400) H400X400X13X21 (SM490)	Medium	Welded	150	390	40	40
DB600-SW1	H600X200X11X17 (SS400) H588X300X12X20 (SM490)	Strong	Welded	150	450	40	40
DB600-SW2	H606X201X12X20 (SS400) H588X300X12X20 (SM490)	Strong	Welded	150	450	40	40

(34 ksi); SM490 steel was used for the columns and the specified minimum yield strength was 324 Mpa (47 ksi). The tensile coupon test results are summarized in Table 2. The RBS design followed the

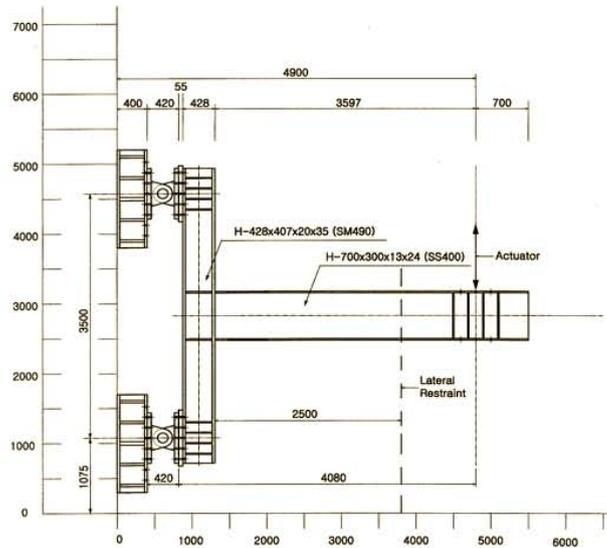


Fig. 4 Test setup

### TEST RESULT AND DISCUSSION

The cyclic responses of the specimens in Set No. 1 are presented in Fig. 5. The ordinate is expressed in terms of the normalized moment at the column face; the normalization was based on the nominal plastic moment of the original (unreduced) beam section. Both strong and medium panel zone specimens with a welded web connection developed satisfactory levels of ductility required for special moment frames.

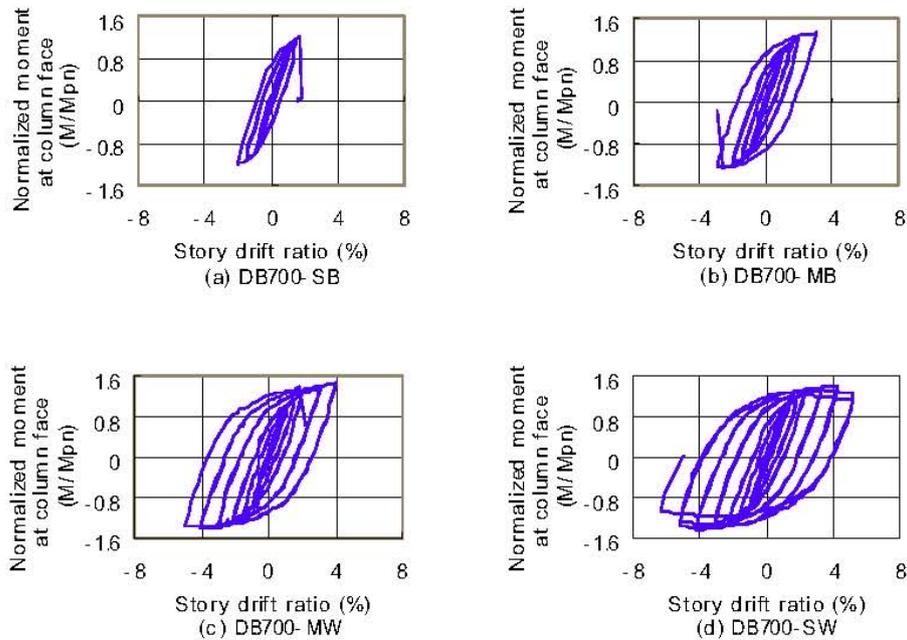


Fig. 5 Normalized moment versus story drift ratio relationship (Set No.1)

$$V_{RBS,P} = \left( \frac{M_{RBS,P}}{d_b} \right) \times \left( \frac{L_b/2 + d_c/2}{L_b/2 - e} \right) \times \left( 1 - \frac{d_b}{H_c} \right) \quad (6)$$

where  $M_{RBS,P}$  = actual plastic moment at the RBS center based on the measured yield stress,  $H_c$  = column height, and refer to Fig. 2 for some remaining symbols. In Table 3, specimen DB700-SW was excluded because the tensile coupon test results for the doubler plates were not available. To augment the database, one test result from Chi and Uang (2002) was included. Since available test results show that the panel zone can easily develop a plastic rotation of 0.01 rad. without causing distress to the beam flange groove welds, and Table 3 shows that the panel zone at this deformation level would dissipate about 30% to 40% of the total energy, for a balanced design it is suggested that either of the following criterion be satisfied in design:

**Table 3. Effects of panel zone strength on plastic rotation and energy dissipation**

Specimen	PZ strength relative to beam		Panel zone plastic rotation at 4% story drift ratio (rad)	Energy dissipation by panel zone up to 4% story drift cycle (%)
	$V_{RBS,P}/V_y$	$V_{RBS,P}/V_p$		
DB700-MW	1.08	0.87	0.012	43
DB600-MW1	0.97	0.83	0.008	32
DB600-MW2	0.95	0.82	0.009	30
DC2*	0.74	0.67	0.005	24
DB600-SW1	0.71	0.66	0.0002	5
DB600-SW2	0.68	0.63	Negligible	Negligible

\* From Chi and Uang (2002)

$$0.90 \leq \frac{V_{RBS,P}}{V_y} \leq 1.1 \quad (7)$$

or,

$$0.70 \leq \frac{V_{RBS,P}}{V_p} \leq 0.90 \quad (8)$$

This recommended range attempts to achieve the following:

- (1) to minimize the use of expensive doubler plates, which often require welding near the k area of the column,
- (2) to reduce the amount of beam buckling amplitude (i.e., beam torsion), and
- (3) to encourage the panel zone to provide about 0.01 rad. plastic rotation, which corresponds to about 30% to 40% of the total energy dissipation in the connection region.

## CONCLUSIONS

The results of this study are summarized as follows.

- (1) Both strong and medium panel zone specimens with welded web connection exhibited satisfactory levels of connection ductility required of special moment-resisting frames. Specimens with a bolted web connection performed poorly due to premature brittle fracture of the beam flange at the weld access hole. If fracture within the beam flange groove weld in a bolted web connection was avoided by using quality



## LABORATORIUM BETON DAN BAHAN BANGUNAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111  
TELP. 5931223, 5994251-55 PES. 1147, 5947284  
FAX. (031) 5927650

### HASIL PEMERIKSAAN TARIK BAJA H-BEAM

No. 083 TBP 05 / LB3 / II / '13.

Dikirim oleh : PT. WASKITA KARYA Divisi VII  
Tanggal : 30 Januari 2013  
Untuk Pekerjaan : GEDUNG BPJN XI MANADO  
Sample uji : Baja H - Beam 300 x 300

No.	Ukuran Benda Uji mm	Luas Penampang mm <sup>2</sup>	Kuat Leleh (fy)			Kuat Tarik (fs)			Regangan Putus (%)	Ket.
			kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1	9,40 x 37,50	352.50	12450	35.32	346.48	16500	46.81	459.19	21.50	
2	9,40 x 37,50	352.50	12600	35.74	350.66	16500	46.81	459.19	21.50	
3	9,40 x 37,50	352.50	12700	36.03	353.44	16500	46.81	459.19	22.00	

Catatan :

Pengelasan menurut : SNI 07 - 0371 - 1989

Alat yang dipakai :

Universal Testing Machine, Kapasitas 200 tf

Type : RAT 200 Nomer seri : 20380

Merk : TORSEE, Buatan Japan.





## LABORATORIUM BETON DAN BAHAN BANGUNAN

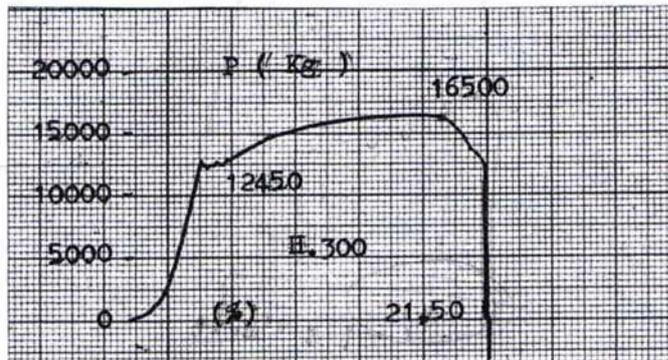
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111  
TELP. 5931223, 5994251-55 PES. 1147, 5947284  
FAX. (031) 5927650

### GRAFIK TARIK BAJA H-BEAM

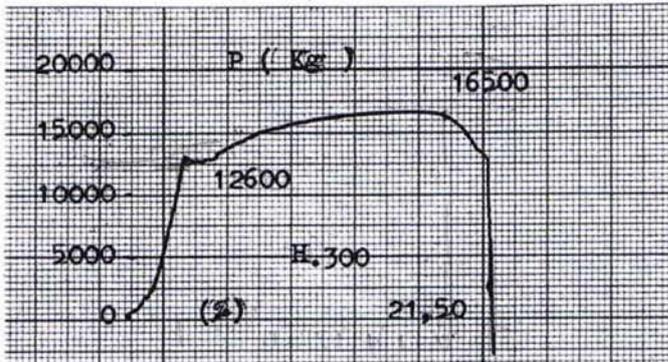
No. 083 TBP 05 / LB3 / II / '13.

Dikirim oleh : PT. WASKITA KARYA Divisi VII  
Untuk Pekerjaan : GEDUNG BPJN XI MANADO  
Sample uji : Baja H - Beam 300 x 300

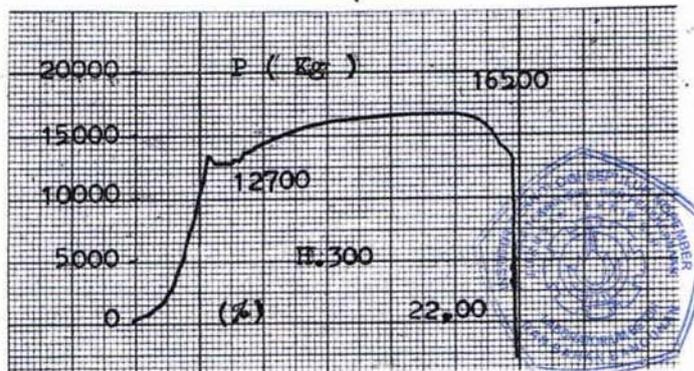
1)



2)



3)





## LABORATORIUM BETON DAN BAHAN BANGUNAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLOLO SURABAYA 60111  
TELP. 5931223, 5994251-55 PES. 1147, 5947284  
FAX. (031) 5927650

### HASIL PEMERIKSAAN TARIK BAJA SIKU

No.079 TBP 05 / LB3 / II / '13.

Dikirim oleh : PT. RONA SARANA  
Tanggal : 14 Pebruari 2013  
Untuk Pekerjaan : BANDARA JUANDA  
Sample uji : Baja Siku 80 x 80

No.	Ukuran Benda Uji mm	Luas Penampang mm <sup>2</sup>	Kuat Leleh (fy)			Kuat Tarik (fs)			Regangan Putus (%)	Ket.
			kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg	kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1	7,61 x 40,51	308.28	12000	38.93	381.86	18000	58.39	572.79	16.00	
2	7,61 x 40,51	308.28	12300	39.90	391.41	18000	58.39	572.79	16.50	
3	7,61 x 40,51	308.28	12500	40.55		18100	58.71	575.97	16.50	

Catatan :  
Pengetesan menurut : SNI 07 - 0371 - 1989  
Alat yang dipakai :  
Universal Testing Machine, Kapasitas 200 tf  
Type : RAT 200 Nomer seri : 20380  
Merk : TORSEE, Buatan Japan.





## LABORATORIUM BETON DAN BAHAN BANGUNAN

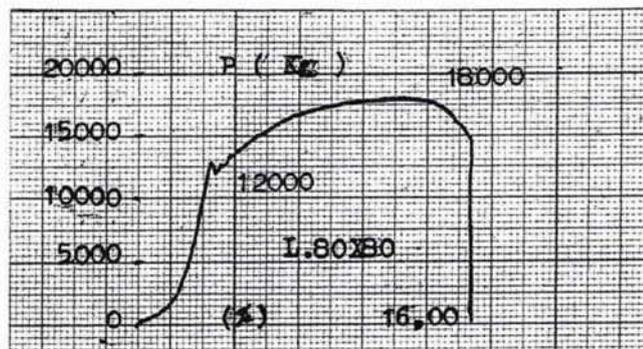
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLOLO SURABAYA 60111  
TELP. 5931223, 5994251-55 PES. 1147, 5947284  
FAX. (031) 5927650

### GRAFIK TARIK BAJA SIKU


No.079 TBP 05 / LB3 / II / '13.

Dikirim oleh : PT. RONA SARANA  
Untuk Pekerjaan : BANDARA JUANDA  
Sample uji : Baja Siku 80 x 80


1)



2)



3)



## **BIODATA PENULIS**



### **Daud Kristanto**

Berjenis kelamin laki-laki lahir di Surabaya pada tanggal 18 November 1987. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK Santa Maria Surabaya (1993-1999), SMPK Santa Maria Surabaya (1999-2002), dan SMA Negeri 21 Surabaya (2002-2005). Setelah lulus dari SMA pada tahun 2005, penulis mengikuti SPMB Nasional dan diterima di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Udayana, Bali Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2011.

Sambil meneruskan studinya penulis juga sempat bekerja di sebuah perusahaan konsultan perencana di Denpasar, Bali pada tahun 2010 dan pindah ke perusahaan fabrikasi baja di Surabaya pada tahun 2012. Penulis meneruskan studi kejenjang Pascasarjana atau Program Magister Struktur Institut Teknologi Sepuluh Nopember sambil bekerja di perusahaan fabrikasi baja. Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya ini penulis adalah Mahasiswa Program Pascasarjana (MT) dengan bidang studi struktur.

Email & facebook : [daud\\_kristanto@yahoo.co.id](mailto:daud_kristanto@yahoo.co.id)