

SKRIPSI

**ANALISIS PERILAKU INELASTIK PORTAL
TERBREIS TAHAN TEKUK DENGAN MODEL
NUMERIKAL TERMODIFIKASI**



JUSTIN WIJAYA

NPM : 2015410075

PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor:227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2019**

SKRIPSI

**ANALISIS PERILAKU INELASTIK PORTAL
TERBREIS TAHAN TEKUK DENGAN MODEL
NUMERIKAL TERMODIFIKASI**



JUSTIN WIJAYA

NPM : 2015410075

BANDUNG, 21 JUNI 2019

PEMBIMBING:

Helmy Hermawan Tjahjanto,

Ph.D.

KO-PEMBIMBING:

Wivia Octarena Nugroho, S.T.,

M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)**

BANDUNG

JUNI 2019

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama lengkap : Justin Wijaya

NPM : 2015410075

dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Analisis Perilaku Inelastik Portal Terbreis Tahan Tekuk Dengan Model Numerikal Termodifikasi* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku

Bandung, 21 Juni 2019



Justin Wijaya

2015410075

ANALISIS PERILAKU INELASTIK PORTAL TERBREIS TAHAN TEKUK DENGAN MODEL NUMERIKAL TERMODIFIKASI

Justin Wijaya

NPM: 2015410075

Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2019**

ABSTRAK

Breis tahan tekuk merupakan elemen penahan gaya gempa dengan karakteristik histeris yang stabil ketika mengalami pembebanan aksial siklik. Metode desain konvensional mengasumsikan kapasitas aksial breis ditentukan dengan kelelahan pada inti baja baik tekan dan tarik. Namun studi dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan fenomena kegagalan tekuk pada bagian sambungan sehingga kapasitas tekan tidak lagi ditentukan oleh kelelahan pada inti baja. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi perilaku struktur dengan dan tanpa modifikasi numerik. Selain itu, studi parameter juga dilakukan pada parameter yang sensitif dengan kapasitas tekan breis. Model struktur merupakan portal bidang 4 lantai dan 3 bentang. Desain kapasitas dilakukan untuk memastikan kegagalan struktur terletak pada breis. Analisis *static pushover* dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur. Hasil studi parameter menunjukkan bahwa deformasi awal breis akibat ketidaksempurnaan breis merupakan aspek penting dalam perhitungan kapasitas tekan breis. Celah antara beton mortar dan inti baja merupakan parameter dominan dalam penentuan ketidaksempurnaan breis. Hasil evaluasi struktur menunjukkan bila nilai celah antara beton mortar dan inti baja menggunakan nilai minimum, kapasitas aksial tekan breis ditentukan oleh kelelahan inti baja. Berdasarkan hasil *pushover*, diketahui bahwa penurunan kapasitas aksial dari breis tahan tekuk akan mengakibatkan penurunan kapasitas struktur secara global. Saat struktur masih dalam kondisi elastis, penurunan kapasitas sebesar 62,25 % terjadi pada struktur dengan modifikasi numerik dibandingkan dengan struktur tanpa modifikasi numerik. Pada saat kapasitas struktur sudah mencapai maksimum, terjadi penurunan 21,6 % pada aspek gaya geser dasar dan 7,02 % pada aspek perpindahan.

Kata Kunci: Breis tahan tekuk, kegagalan tekuk pada sambungan, penurunan kapasitas tekan

INELASTIC BEHAVIOR ANALYSIS OF BUCKLING-RESTRAINED BRACED FRAMES WITH MODIFIED NUMERICAL MODEL

Justin Wijaya

NPM: 2015410075

Advisor: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Number: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNE 2019**

ABSTRACT

Buckling-restrained braces (BRB) is an earthquake force resisting element with stable hysterical characteristics when subjected to cyclic axial loads. Conventional design methods assume that the axial capacity of BRB is determined by yielding of the steel core both in compression and tension. However, studies in the past few years have shown the phenomenon of buckling modes failure in the connection zone so that compressive axial capacity is no longer determined by yielding of the steel core. This research is conducted to evaluate the behavior of structures with and without numerical modifications. Parameter studies are also carried out on sensitive parameters which related to the compressive axial capacity. The structure model is a 2D frames with 4 floors and 3 spans. Capacity design is done to ensure the failure of the structure lies in the braces. Static pushover analysis is performed to determine the behavior of the structure. The results of the parameter study show that initial brace deformation due to brace imperfections is an important aspect in calculating brace compressive capacity. The debonding gap is the dominant parameter in determining brace imperfections. The results of structural evaluation show that if the debonding gap uses a minimum value, the compressive axial capacity is determined by yielding of the steel core. Based on pushover results, it is known that a decrease in axial capacity of buckling-restrained braces will result in a decrease in structural capacity globally. When the structure is still in elastic condition, a decrease in capacity of 62.25% occurs in structure with numerical modification compared to structure without numerical modification. When the structure capacity has reached its maximum, there is a decrease of 21.6% in the aspect of the base shear force and 7.02% in the aspect of displacement.

Keywords: Buckling-restrained braces (BRB), buckling modes failure in the connection zone, decreased in compression capacity

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat dibuat dan diselesaikan sebagaimana mestinya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 di Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan serta bimbingan dari banyak pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dengan tepat waktu. Untuk itu, rasa terima kasih disampaikan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing hingga penyusunan skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.
2. Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing hingga penyusunan skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan.
4. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan.
5. Dosen-dosen yang telah memberi banyak ilmu selama kuliah.
6. Papa, mama, dan adik yang telah memberikan banyak doa, motivasi, serta dukungan.
7. Teman-teman seperjuangan skripsi; Ayrananda Allen Hertanto, Galdo Wirabakti, dan Wandy Prayogo.
8. Teman-teman Teknik Sipil Unpar 2015 yang telah memberikan banyak kenangan baik suka maupun duka.
9. Grup Cremona yang telah memberikan banyak kenangan baik suka maupun duka.
10. Berbagai pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tak ada gading yang tak retak. Perlu disadari bahwa penulisan skripsi ini masih bersifat sederhana dan jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang membangun sungguh diperlukan agar skripsi ini bisa menjadi lebih baik lagi. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapapun yang membacanya.

Bandung, 21 Juni 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Justin', with a long horizontal line extending to the right.

Justin Wijaya
(2015410075)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GRAFIK.....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Rumusan Masalah.....	1-4
1.3 Tujuan Penulisan	1-4
1.4 Metode Penelitian	1-5
1.5 Pembatasan Masalah	1-5
1.6 Diagram Alir Penelitian	1-7
1.7 Sistematika Penulisan	1-8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	2-1
2.1 Sistem Penahan Gaya Lateral.....	2-1
2.2 Sistem Rangka Baja Terbreis Tahan Tekuk	2-2
2.3 Desain Struktur dengan Sistem Rangka Baja Terbreis Tahan Tekuk Tahan Gempa.....	2-3
2.4 Penentuan Dimensi Pelat Buhul untuk Breis Tahan Tekuk Tahan Gempa	2-5

2.5	Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung	2-8
2.6	Metode Analisis terhadap Beban Gempa	2-10
2.7	Model Numerik Breis Tahan Tekuk Takeuchi	2-21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		3-1
3.1	Umum.....	3-1
3.2	Pemodelan Struktur.....	3-5
3.3	Desain Kapasitas.....	3-17
3.4	Desain Pelat Buhul.....	3-20
3.5	Desain Sambungan Pelat Buhul Dengan Breis.....	3-21
3.6	Analisis <i>Static Pushover</i>	3-21
3.7	Model Numerik Takeuchi	3-22
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1	Studi Parameter Model Numerik Takeuchi.....	4-1
4.2	Analisis <i>Static Pushover</i> Pada Struktur Tanpa Modifikasi Numerik...	4-6
4.3	Evaluasi Desain Struktur Dengan Modifikasi Numerik.....	4-18
4.4	Analisis <i>Static Pushover</i> Pada Struktur Dengan Modifikasi Numerik Akibat Ketidakstabilan Breis.....	4-19
4.5	Perbandingan Hasil Analisis <i>Static Pushover</i> Struktur Tanpa Modifikasi Numerik dan Dengan Modifikasi Numerik.....	4-27
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN.....		5-1
5.1	Simpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-3
DAFTAR PUSTAKA		xxvii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	: Dimensi vertikal pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
A_{sc}	: Luas penampang inti baja breis tahan tekuk
A_g	: Luas <i>gross</i> penampang
A_{gt}	: Luas <i>gross</i> bagian yang tertarik
A_{gv}	: Luas <i>gross</i> bagian yang tergeser
A_{nt}	: Luas <i>netto</i> bagian yang tertarik
A_{nv}	: Luas <i>netto</i> bagian yang tergeser
B	: (1) Dimensi vertikal dan hirzontal siku ganda; (2) Dimensi horizontal pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
BRBF	: <i>Buckling Restrained Braced Frames</i>
C	: Jarak horizontal dari titik kerja gaya aksial breis ke flens kolom (lihat Gambar 2.3)
C_b	: Koefisien tekuk torsi lateral untuk bidang momen tidak seragam dengan kedua ujung terkekang
C_d	: Faktor pembesaran defleksi
C_{MAX}	: Gaya aksial tekan maksimum pada breis tahan tekuk
C_s	: Koefisien respons seismik
C_{v1}	: Koefisien kekuatan geser web
C_w	: Konstanta pilin
C_1	: Dimensi vertikal dari titik pertemuan antara garis tengah kolom dan balok ke titik pertemuan garis pengekang pada flens kolom dan garis tengah kolom
C_2	: Dimensi vertikal dari titik pertemuan antara garis tengah kolom dan balok ke titik pertemuan garis pengekang pada flens balok dan garis tengah kolom
D	: Jarak vertikal dari titik kerja gaya aksial breis ke flens balok (lihat Gambar 2.3)
DL	: Beban mati
D_n	: Dimensi tegak lurus breis tahan tekuk ujung <i>restrainer</i> (lihat Gambar 2.17)

E	: (1) Modulus elastisitas; (2) Beban gempa
EI_B	: Kekakuan lentur <i>restrainer</i>
F_a	: Faktor amplifikasi periode pendek
F_b	: Gaya geser dasar analisis <i>static pushover</i>
F_i	: (1) Distribusi gaya geser dasar pada lantai struktur; (2) Gaya geser lantai ke- i
F_{nt}	: Kuat tarik nominal baut
F_{nv}	: Kuat geser nominal baut
F_{ue}	: Tegangan tarik ekspektasi
F_v	: Faktor amplifikasi periode 1 detik
F_{ye}	: Tegangan leleh ekspektasi
G	: Modulus geser
HSS	: <i>Hollow Structural Section</i>
I	: Momen inersia
I_e	: Faktor keutamaan gempa
J	: Konstanta torsi
K_e	: Kekakuan lateral efektif struktur
K_{Rb}	: Kekakuan rotasi balok
K_{Rg}	: Kekakuan rotasi pelat buhul
K_x, K_y, K_z	: Faktor panjang efektif
L_b	: (1) Panjang tidak terkekang lateral; (2) Panjang breis pada pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_{bc}	: Panjang sambungan baut pada pelat buhul (lihat Gambar 2.4)
L_c	: Panjang bagian sambungan breis tahan tekuk
L_{gph}	: Tebal sendi pada pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_{in}	: Panjang tertanam ujung <i>restrainer</i>
L_R	: Panjang bagian <i>restrainer</i> breis tahan tekuk
L_{ysc}	: Panjang inti baja breis tahan tekuk
LL	: Beban hidup
L_p	: Batas panjang tidak tertumpu lateral untuk keadaan batas leleh
L_r	: (1) Beban hidup atap; (2) Batas panjang tidak tertumpu lateral untuk keadaan batas tekuk torsi lateral inelastik

L_0	: Panjang total breis tahan tekuk
L_1	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_2	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_3	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_4	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_5	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
L_6	: Dimensi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
M_p	: Momen plastis
M_p^r	: Kapasitas transfer momen ujung <i>restrainer</i>
M_{pa}	: Kapasitas momen balok akibat interaksi
M_{pg}	: Kapasitas momen tegak lurus pelat buhul
M_n	: Kapasitas momen elemen struktur
M_u	: Momen ultimit
M_0^r	: Momen yang timbul akibat deformasi tegak lurus (<i>out of plane drift</i>) breis tahan tekuk
N_{cr}^B	: Kapasitas tekuk elastis global breis tahan tekuk yang memperhitungkan kekakuan lentur sambungan dan kekakuan lentur pelat buhul dan elemen struktur yang berdekatan
N_{cr}^r	: Kapasitas tekuk sambungan
N_{lim}	: Kapasitas aksial tekan breis tahan tekuk dihitung dengan persamaan Takeuchi. Besarnya adalah yang terkecil antara N_{lim1} dan N_{lim2} .
N_{lim1}	: Kapasitas aksial tekan breis tahan tekuk dihitung dengan persamaan Takeuchi dengan mengasumsikan perletakan breis adalah pegas elastis (<i>elastic spring</i>)
N_{lim2}	: Kapasitas aksial tekan breis tahan tekuk dihitung dengan persamaan Takeuchi dengan mengasumsikan perletakan breis adalah sendi plastis
P_{bx}	: Gaya aksial maksimum pada breis tahan tekuk. Nilainya adalah yang terbesar antara P_{tarik} dan P_{tekan} .
P_D	: Gaya aksial pada kolom akibat beban mati
P_E	: Gaya aksial pada kolom akibat beban gempa
P_L	: Gaya aksial pada kolom akibat beban hidup

P_n	: Kapasitas aksial elemen struktur
P_u	: (1) Gaya aksial ultimit; (2) Gaya aksial pada balok akibat gaya aksial breis lantai ke-i
P_{tarik}	: Gaya aksial tarik pada breis tahan tekuk
P_{tekan}	: Gaya aksial tekan pada breis tahan tekuk
P_{ysc}	: Kapasitas aksial inti baja
Q_E	: Pengaruh gempa horizontal
R	: (1) Koefisien modifikasi respons; (2) Beban hujan;
R_y	: Rasio antara tegangan leleh ekspektasi (F_{ye}) dan tegangan leleh minimum (f_y)
S	: Modulus elastis penampang
SRBKB	: Sistem rangka breis konsentris biasa
SRBKK	: Sistem rangka breis konsentris khusus
SRPMB	: Sistem rangka pemikul momen biasa
SRPMM	: Sistem rangka pemikul momen menengah
SRPMK	: Sistem rangka pemikul momen khusus
S_{DS}	: Percepatan desain pada periode pendek
S_{D1}	: Percepatan desain pada periode 1 detik
S_s	: Percepatan batuan dasar pada periode pendek
S_1	: Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
SDL	: Beban mati tambahan
SW	: Berat sendiri
T	: Periode fundamental struktur
T_{MAX}	: Gaya aksial tarik maksimum pada breis tahan tekuk
T_S	: Parameter periode respons spektra
T_0	: Parameter periode respons spektra
U	: (1) <i>Shear lag factor</i> ; (2) Konstanta yang dihitung untuk mengidentifikasi garis pengekang pertama
U_{bs}	: Koefisien reduksi dalam perhitungan geser blok
V_d	: Gaya geser dasar maksimum struktur hasil analisis <i>static pushover</i>
V_s	: Gaya geser dasar
V_{pa}	: Gaya geser akibat M_{pa}

V_n	: Kapasitas geser elemen struktur
V_u	: Gaya geser ultimit
V_y	: Gaya geser dasar leleh efektif struktur hasil analisis <i>static pushover</i>
W	: (1) Lebar pelat buhul pada bagian ujung breis; (2) Berat seismik efektif; (3) Beban angin
WF	: <i>Wide Flange</i>
W1	: Lebar pelat buhul dengan sudut α_1 pada ujung breis
W2	: Lebar pelat buhul dengan sudut α_2 pada ujung breis
W_{prl}	: Lebar garis pengekang pelat buhul total = $W_{P1} + W_{P2}$
W_{P1}	: Lebar garis pengekang pelat buhul dengan sudut α_1
W_{P2}	: Lebar garis pengekang pelat buhul dengan sudut α_2
$W_{whitmore}$: Lebar pelat buhul pada ujung breis dicari dengan metode <i>Whitmore</i>
Z	: Modulus plastis penampang
a	: Jarak dari tepi bagian sambungan breis ke tepi pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
a_r	: Ketidaksempurnaan awal breis tahan tekuk
a_t	: Ketidaksempurnaan maksimum sepanjang <i>restrainer</i>
b	: (1) Lebar penampang; (2) Lebar bagian sambungan breis pada pelat buhul (lihat Gambar 2.3)
d_b	: Diameter baut
d_h	: Diameter lubang baut
e	: Eksentrisitas gaya aksial breis tahan tekuk akibat deformasi tegak lurus
f_c'	: Tegangan tekan beton pada saat beton berumur 28 hari
f_d	: Faktor skala desain
f_u	: Tegangan putus tarik minimum baja
f_y	: Tegangan leleh tarik minimum baja
h	: Tinggi penampang
i_c	: Radius girasi bagian sambungan breis tahan tekuk
k_v	: Koefisien tekuk geser web
l_e	: Jarak ujung baut
n	: Jumlah baut

r	: Radius girasi penampang
s	: Spasi baut
s_r	: Celah antara beton mortar dengan inti baja
t	: Tebal pelat buhul
t_f	: Tebal flens
t_w	: Tebal web
α_1	: Sudut tepi pelat buhul ke sumbu breis (lihat Gambar 2.3)
α_2	: Sudut tepi pelat buhul ke sumbu breis (lihat Gambar 2.3)
Δ_a	: Simpangan antar lantai izin
Δ_{bm}	: Simpangan antar lantai desain akibat gaya aksial breis
Δ_{bx}	: Simpangan antar lantai akibat gaya aksial breis
Δ_d	: Deformasi titik kontrol maksimum
Δ_y	: Deformasi titik kontrol saat tercapai gaya geser dasar leleh efektif
δ_t	: Target perpindahan titik kontrol sesuai dengan ASCE/SEI 41 - 13
δ_x	: Simpangan antar lantai
γ	: Berat jenis
γ_{baja}	: Berat jenis baja
γ_{beton}	: Berat jenis beton
$\gamma_J EI_B$: Kekakuan lentur bagian sambungan breis tahan tekuk
ϵ_{BRC}	: Regangan breis rata-rata
ξ_{KRg}	: Normalisasi kekakuan rotasi pada ujung luar bagian sambungan
$\xi_1 L_0$: Panjang sambungan bawah breis tahan tekuk relatif terhadap panjang total breis tahan tekuk
$\xi_2 L_0$: Panjang sambungan atas breis tahan tekuk relatif terhadap panjang total breis tahan tekuk
$(1-\xi_1-\xi_2) L_0$: Panjang <i>restrainer</i> breis tahan tekuk relatif terhadap panjang total breis tahan tekuk
θ	: Sudut antara garis kerja gaya aksial breis dan sumbu horizontal balok (lihat Gambar 2.3)
Ω_0	: Faktor kuat lebih sistem
ρ	: Faktor redundansi
ν	: Rasio Poisson

- ν_p : Rasio Poisson plastis baja (= 0,5)
- ψ : Sudut breis terhadap garis vertikal
- ϕ : Faktor ketahanan
- ω : Faktor kuat lebih untuk breis tahan tekuk yang mengalami tarik
- $\omega\beta$: Faktor kuat lebih untuk breis tahan tekuk yang mengalami tekan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kurva Hysteresis SRBKK	1-2
Gambar 1. 2 Kurva Hysteresis Breis Tahan Tekuk.....	1-2
Gambar 1. 3 Tekuk Global Pada Breis Tahan Tekuk.....	1-3
Gambar 1. 4 Tekuk Lokal Dalam Bidang (a) dan Keluar Bidang (b) Pada Breis Tahan Tekuk.....	1-4
Gambar 1. 5 Konfigurasi Breis <i>Chevron</i>	1-6
Gambar 2. 1 Konfigurasi Sisten Rangka Bresing Konsentrik	2-2
Gambar 2. 2 Bagian-Bagian Breis Tahan Tekuk	2-3
Gambar 2. 3 (a) Pertemuan Garis Pengekang Pelat Buhul (<i>First Reentrant Corner</i>) Pada Balok; dan (b) Pertemuan Garis Pengekang Pelat Buhul Pada Kolom.....	2-6
Gambar 2. 4 (a) Lebar Efektif <i>Whitmore</i> Untuk Sambungan Dengan Las; dan (b) Lebar Efektif <i>Whitmore</i> Untuk Sambungan Dengan Baut.....	2-7
Gambar 2. 5 Model Analisis Statik Ekuivalen	2-12
Gambar 2. 6 Ilustrasi Respon Kolom Sederhana	2-13
Gambar 2. 7 Contoh Grafik <i>Pseudo Spectral Accelerations</i> (PSA).....	2-14
Gambar 2. 8 Perilaku Sendi Plastis Pada Elemen Struktur	2-16
Gambar 2. 9 Kurva Hubungan Gaya dan Deformasi (<i>Force-Deformation</i>) Elemen Struktur.....	2-16
Gambar 2. 10 Penyederhanaan Kurva Hubungan Gaya dan Deformasi (<i>Force-Deformation</i>) Elemen Struktur.....	2-17
Gambar 2. 11 Kurva Hubungan Gaya dan Deformasi (<i>Force-Deformation</i>) Elemen Struktur Breis Tahan Tekuk	2-18
Gambar 2. 12 Model dan Kurva Hasil Analisis <i>Static Pushover</i>	2-19

Gambar 2. 13 Distribusi Gaya untuk Analisis <i>Static Pushover</i>	2-20
Gambar 2. 14 Kurva Hubungan Antara Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Titik Kontrol	2-21
Gambar 2. 15 Konsep Stabilitas Breis Tahan Tekuk	2-22
Gambar 2. 16 Konfigurasi Pengekang.....	2-22
Gambar 2. 17 Tipe-Tipe Ujung <i>Restrainer</i>	2-23
Gambar 2. 18 Moda Kegagalan Takeuchi	2-24
Gambar 2. 19 Asumsi Dimensi Breis Untuk Konfigurasi Chevron.....	2-25
Gambar 2. 20 Ketidaktepatan Pada Breis (a_r)	2-25
Gambar 3. 1 Ilustrasi Tinjauan Portal Terbreis Tahan Tekuk	3-1
Gambar 3. 2 Model 3D Struktur	3-2
Gambar 3. 3 Denah Lantai Tipikal Struktur 3D.....	3-3
Gambar 3. 4 Bagian-Bagian Breis Tahan Tekuk	3-7
Gambar 3. 5 Batang Tekan Dengan Perletakan Kedua Ujung Sendi.....	3-23
Gambar 3. 6 (a) Ujung Perletakan Adalah Pegas Elastis (b) Ujung Perletakan Adalah Sendi Plastis	3-24
Gambar 3. 7 Kasus $L_{in}/D_n=0$	3-26
Gambar 3. 8 Kasus $L_{in}/D_n\approx 1$	3-27
Gambar 3. 9 Kasus $L_{in}/D_n\approx 2$	3-28
Gambar 3. 10 Ketidaktepatan Maksimum Sepanjang <i>Restrainer</i> (a_t)	3-29
Gambar 3. 11 Eksentrisitas Gaya (e).....	3-30
Gambar 3. 12 Celah Antara Beton Mortar Dengan Inti Baja (s_r).....	3-31
Gambar 4. 1 Asumsi Sendi Plastis yang Mungkin Muncul.....	4-7
Gambar 4. 2 Kurva Hubungan Momen dan Rotasi Untuk Sendi Plastis Balok .	4-8

Gambar 4. 3 Kurva Hubungan Gaya Aksial dan Perpindahan Untuk Sendi Plastis Breis Tahan Tekuk.....	4-8
Gambar 4. 4 Kurva Hubungan Momen dan Rotasi Untuk Sendi Plastis Kolom	4-9
Gambar 4. 5 Indikasi Warna Sendi Plastis	4-9
Gambar 4. 6 Persebaran Sendi Plastis Saat Kapasitas Maksimum Struktur Tercapai.....	4-10
Gambar 4. 7 Sendi Plastis D14H4.....	4-11
Gambar 4. 8 Sendi Plastis D16H4.....	4-11
Gambar 4. 9 Sendi Plastis D18H4.....	4-12
Gambar 4. 10 Kuva Kapasitas dan <i>Target Displacement</i>	4-14
Gambar 4. 11 Ketidakstabilan Breis Tahan Tekuk	4-19
Gambar 4. 12 Penurunan Skala (<i>Scale Down</i>).....	4-20
Gambar 4. 13 Persebaran Sendi Plastis Saat Kapasitas Maksimum Tercapai..	4-21
Gambar 4. 14 Sendi Plastis D14H4.....	4-22
Gambar 4. 15 Sendi Plastis D16H4.....	4-22
Gambar 4. 16 Sendi Plastis D18H4.....	4-23
Gambar 4. 17 Kurva Kapasitas dan Target Displacement.....	4-24

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Respon Spektra dan Parameter Sistem Struktur	3-10
Tabel 3. 2 Partisipasi Massa Ragam	3-12
Tabel 3. 3 Periode Getar Alami dan Frekuensi Struktur	3-13
Tabel 3. 4 Massa Struktur.....	3-14
Tabel 3. 5 Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Respons Spektrum.....	3-14
Tabel 3. 6 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Kasus Beban Gempa Arah X + <i>eccentricity</i>	3-16
Tabel 3. 7 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Kasus Beban Gempa Arah X - <i>eccentricity</i>	3-16
Tabel 3. 8 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Kasus Beban Gempa Arah Y + <i>eccentricity</i>	3-16
Tabel 3. 9 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Kasus Beban Gempa Arah Y - <i>eccentricity</i>	3-16
Tabel 3. 10 <i>Adjusted Brace Strength</i> dan Gaya Aksial Pada Balok	3-18
Tabel 3. 11 <i>Adjusted Brace Strength</i> dan Gaya Aksial Pada Balok	3-19
Tabel 4. 1 Korelasi Nilai s_r dan a_r	4-4
Tabel 4. 2 Proses Terbentuknya Sendi Plastis	4-13
Tabel 4. 3 Proses Terbentuknya Sendi Plastis	4-24

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3. 1 Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Izin	3-17
Grafik 4. 1 Hubungan Tebal Pelat Buhul Dengan Kapasitas Aksial Tekan Breis Tahan Tekuk.....	4-1
Grafik 4. 2 Hubungan Celah Antara Mortar Beton dan Inti Baja (s_r) Dengan Kapasitas Aksial Tekan Breis Tahan Tekuk	4-5
Grafik 4. 3 Simpangan Lantai	4-16
Grafik 4. 4 Simpangan Antar Lantai.....	4-16
Grafik 4. 5 Gaya Geser Lantai.....	4-17
Grafik 4. 6 Simpangan Lantai	4-25
Grafik 4. 7 Simpangan Antar Lantai.....	4-25
Grafik 4. 8 Gaya Geser Lantai.....	4-26
Grafik 4. 9 Kurva Kapasitas dan Target Displacement	4-28
Grafik 4. 10 Simpangan Lantai	4-28
Grafik 4. 11 Simpangan Antar Lantai.....	4-29
Grafik 4. 12 Gaya Geser Lantai.....	4-29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Profil Baja IWF	L1-1
Lampiran 2 Tabel Profil Baja HSS	L2-1
Lampiran 3 Tabel Profil Baja Siku Ganda	L3-1
Lampiran 4 Profil Breis Tahan Tekuk.....	L4-1
Lampiran 5 Perhitungan Pembebanan.....	L5-1
Lampiran 6 Analisis Statik Ekuivalen dan Faktor Skala Desain	L6-1
Lampiran 7 Desain Kapasitas	L7-1
Lampiran 8 Rigid Zone Balok Induk dan Kolom	L8-1
Lampiran 9 Analisis Statik Non Linear.....	L9-1
Lampiran 10 Modifikasi Numerik Takeuchi	L10-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

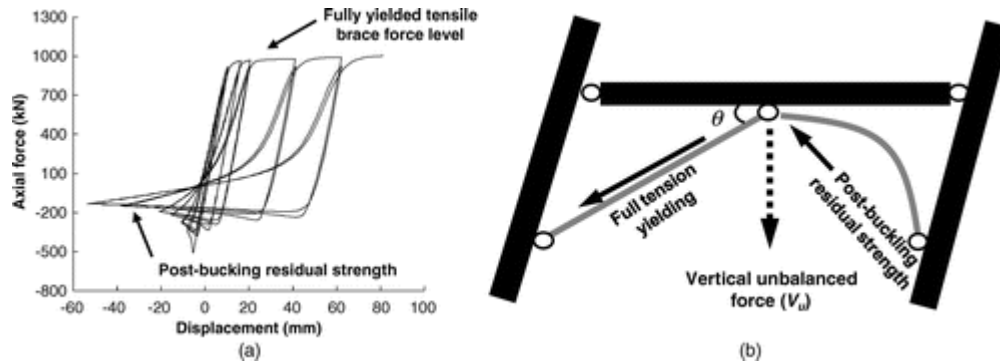
Seiring berjalannya waktu, masalah kegempaan di Indonesia menjadi semakin serius. Hal ini disebabkan karena Indonesia berada didalam lintasan cincin api pasifik atau “*Ring of Fire*”. Ditambah lagi Indonesia berada diatas tiga pertemuan tiga lempeng benua, yaitu Indo-Australia pada bagian selatan, Eurasia pada bagian utara, dan Pasifik pada bagian timur. Oleh karena itu, desain struktur tahan gempa menjadi salah satu tuntutan serius dalam perencanaan suatu bangunan.

Baja struktural merupakan material yang terkenal dengan daktilitasnya yang tinggi atau kemampuannya untuk berdeformasi yang besar sebelum putus ketika tegangan tarik yang diberikan sudah melewati tegangan lelehnya. Mutu dan kualitas baja juga terjamin karena baja merupakan produk pabrik yang memiliki mutu terstandar. Kemampuan berdeformasi yang besar membuat baja menjadi pilihan untuk desain struktur dengan beban siklik, seperti beban gempa. Selain itu, konstruksi dengan menggunakan struktur baja juga cepat. Oleh karena itu, baja digunakan sebagai material utama dalam penelitian ini.

Salah satu filosofi desain struktur tahan gempa adalah mengurangi kerusakan pada bangunan dengan cara mendisipasi energi, yaitu dengan membiarkan struktur berdeformasi pada batas yang ditentukan dengan tujuan mendisipasi energi sebanyak mungkin agar kerusakan dapat diminimalisir. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan contoh dari penerapan filosofi tersebut. Namun SRPMK memiliki kekurangan, salah satunya adalah deformasi yang terlalu besar untuk struktur tinggi.

Untuk mengatasi kekurangan SRPMK, maka dikembangkan sistem struktur baru, yaitu bresing. Tipe bresing yang paling umum dijumpai adalah Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus (SRBKK). Namun, SRBKK memiliki kekurangan yaitu mudah gagal tekuk. Hal ini dapat dilihat dari kurva hysteresisnya, dimana kapasitas tekan SRBKK kecil, tidak mengimbangi kapasitas tariknya. Oleh karena itu, dikembangkan tipe bresing baru, yaitu breis

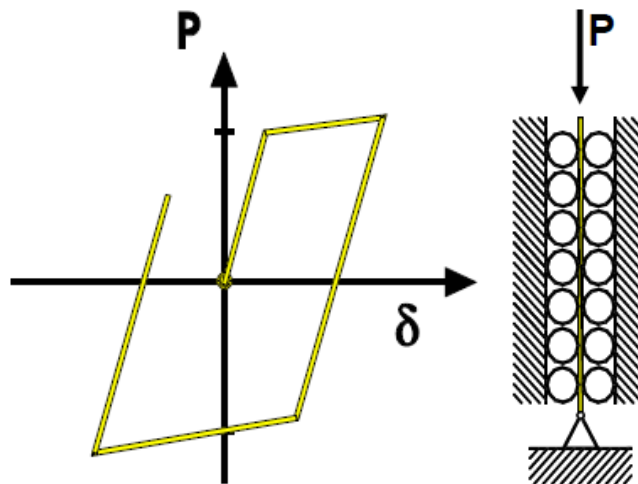
tahan tekuk. Sistem struktur dengan breis tahan tekuk merupakan kelas khusus dari SRBKK. (AISC 341-16, 2016)



Gambar 1. 1 Kurva Hysteresis SRBKK

(sumber: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0000377>)

Daktilitas dan disipasi energi dari struktur dengan breis tahan tekuk lebih besar dari SRBKK, karena jika dilihat dari kurva hysteresisnya, breis tahan tekuk memiliki kapasitas tekan yang sama dengan kapasitas tariknya. Hal ini bisa dicapai karena terjadi pemisahan antara aspek penahan tegangan aksial dan aspek penahan tekuk lentur pada kekuatan tekannya. Dimana tegangan aksial ditahan oleh inti pelat bajanya dan tekuk lentur ditahan oleh selimutnya (*casing*).

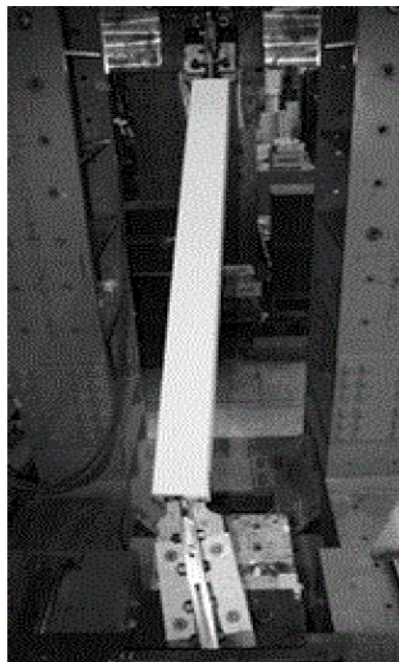


Gambar 1. 2 Kurva Hysteresis Breis Tahan Tekuk

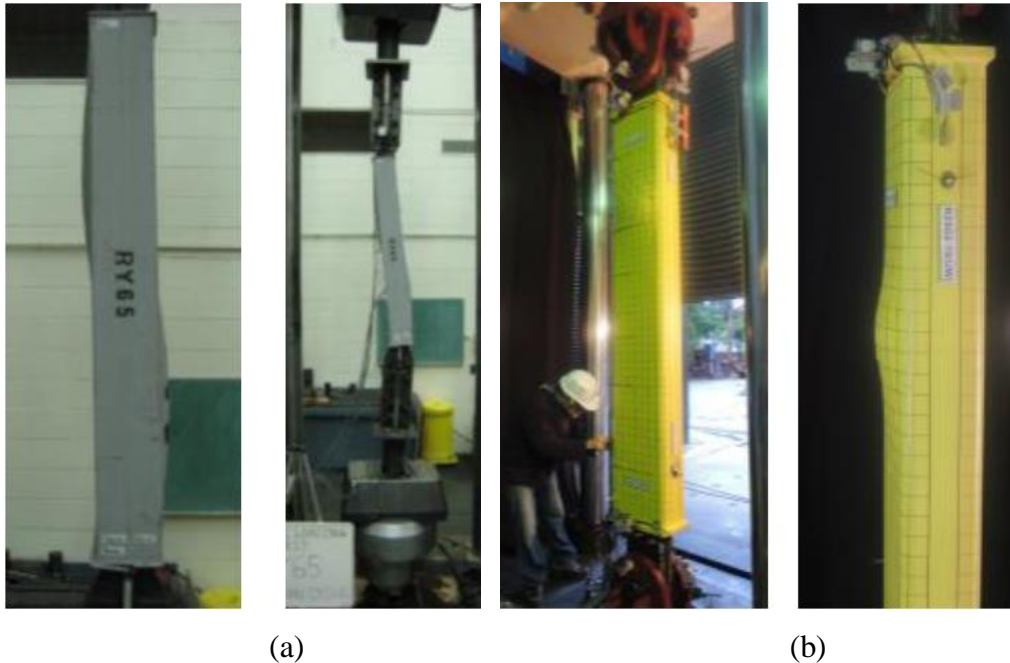
(sumber: Lopez dan Sabelli, 2004)

Dari kurva hysteresisnya, diketahui bahwa inti baja breis tahan tekuk memiliki peran penting dalam proses disipasi energi. Karena itu, breis tahan tekuk akan dituntut untuk mengalami deformasi inelastik yang besar tidak hanya ketika gempa besar terjadi, juga untuk gempa susulan yang menyertainya. Untuk mendapatkan performa breis tahan tekuk sesuai dengan yang diharapkan, maka desain dari sambungan pelat buhul pada breis tahan tekuk juga memegang peranan penting.

Umumnya, pelat buhul dimodelkan sebagai tumpuan ideal (jepit atau sendi), akan tetapi, pada kenyataannya pelat buhul cenderung akan berdeformasi ketika menerima gaya. Timbulnya deformasi menyebabkan penurunan kekakuan pada sambungan. Gambar 1.3 merupakan hasil penelitian yang menunjukkan adanya kegagalan breis tahan tekuk akibat tekuk global yang dipicu oleh sendi plastis yang terjadi pada bagian ujung *restrainer* breis tahan tekuk sebelum kegagalan leleh tarik atau tekan pada inti baja breis tahan tekuk terjadi (Takeuchi dkk, 2013). Dapat juga dilihat pada Gambar 1.4, bahwa tekuk lokal dalam bidang dan tekuk lokal keluar bidang pada breis tahan tekuk terjadi sebelum inti baja breis tahan tekuk mengalami kegagalan leleh tekan atau tarik. (Takeuchi dkk, 2018)



Gambar 1. 3 Tekuk Global Pada Breis Tahan Tekuk
(sumber: Takeuchi dkk, 2013)



Gambar 1. 4 Tekuk Lokal Dalam Bidang (a) dan Keluar Bidang (b) Pada Breis Tahan Tekuk

(sumber: Takeuchi dkk, 2018)

Dari studi yang telah dilakukan tersebut, menunjukkan bahwa kegagalan leleh pada inti breis tahan tekuk bukan merupakan satu-satunya keadaan batas (*limit states*) yang harus diperhitungkan. Sehingga, penelitian berjudul "*Analisis Perilaku Inelastik Portal Terbreis Tahan Tekuk Dengan Model Numerikal Termodifikasi*" dilakukan untuk mengetahui pengaruh instabilitas sambungan dengan perilaku inelastik portal bidang terbreis tahan tekuk.

1.2 Rumusan Masalah

Metode desain konvensional mengasumsikan kapasitas tekan breis tahan tekuk terjadi saat inti baja mengalami kelelahan. Namun instabilitas sambungan akan mengurangi kapasitas tekan breis tahan tekuk dan kinerja struktur secara keseluruhan.

1.3 Tujuan Penulisan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Menganalisis dan mengevaluasi perilaku inelastik portal terbreis tahan tekuk dengan model numerikal termodifikasi.

2. Evaluasi pengaruh dari stabilitas sambungan terhadap kapasitas tekan breis tahan tekuk.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

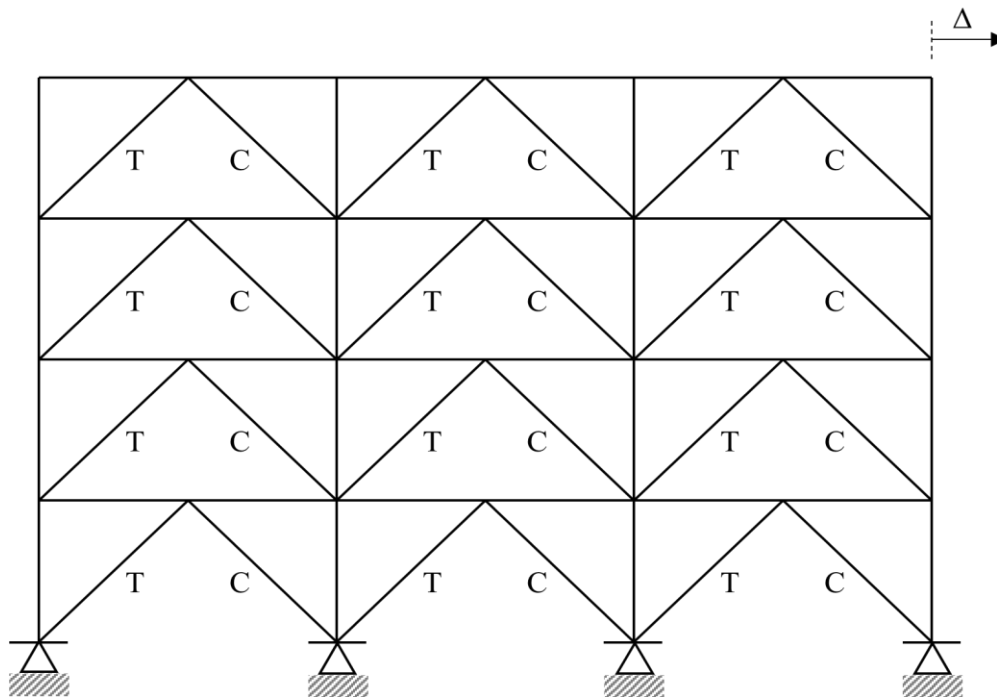
1. Studi pustaka;
2. Analisis model numerikal breis tahan tekuk; dan
3. Studi parametrik struktur portal terbreis tahan tekuk dengan program ETABS.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan agar penelitian menjadi lebih fokus. Berikut merupakan pembatasan masalah dalam penelitian ini:

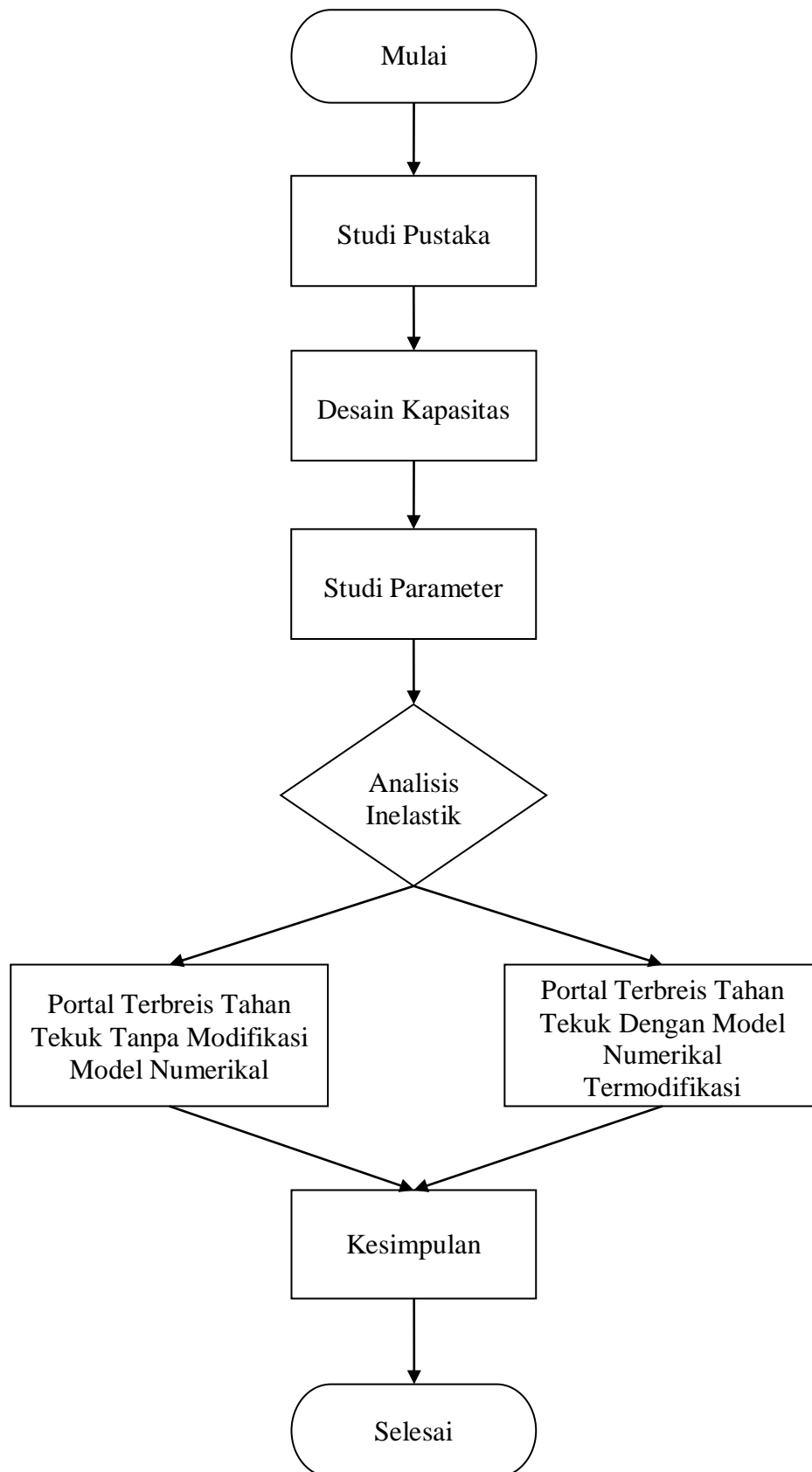
1. Analisis kapasitas tekan breis tahan tekuk akan dilakukan dengan model tekuk global yang dipublikasikan oleh Takeuchi;
2. Pemodelan struktur akan dilakukan secara 3D, namun saat melakukan statik non-linear pengaruh tegak lurus nya akan dimatikan, sehingga tinjauan penelitian tetap portal bidang. Karena arah tinjauan adalah arah X sumbu global, maka pada ETABS, derajat kebebasan yang dinyalakan adalah UX, UZ, dan RY;
3. Konfigurasi breis yang digunakan adalah *chevron* (lihat Gambar 1.5). Variasi struktur yang dilakukan adalah model inelastik dari breis tahan tekuk yaitu dengan dan tanpa modifikasi model numerikal;
4. Sambungan breis tahan tekuk menggunakan pelat buhul dan tidak menggunakan pengaku tambahan;
5. Kegagalan sambungan pelat buhul tidak dimodelkan;
6. Sambungan balok-kolom menggunakan sambungan tipe geser (*simple connection*), serta sambungan balok-kolom dan pondasi diasumsikan kuat dan tidak dihitung;
7. Untuk memastikan struktur menerima beban gempa yang besar, sehingga perilakunya dapat dipelajari, saat analisis beban gempa diambil beberapa asumsi, yaitu:

- a. Struktur berfungsi sebagai apartemen dan
 - b. Struktur berdiri diatas tanah sedang (SD) dengan $S_s = 1,45$ dan $S_1 = 0,45$;
8. Diasumsikan tidak ada deformasi keluar bidang gambar;
 9. Tumpuan semua ujung kolom dimodelkan sebagai sendi;
 10. Mutu baja yang digunakan adalah BJ37 dengan tegangan ultimit (f_u) 370 MPa dan tegangan leleh (f_y) 240 MPa;
 11. Profil baja yang digunakan adalah profil JIS; dan
 12. Desain struktur portal terbreis tahan tekuk mengacu pada:
 - a. SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - b. SNI 1727:2013, Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
 - c. ASCE/SEI 41-13, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*
 - d. AISC 341-16, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*.
 - e. AISC 360-16, *Specification for Structural Steel Buildings*.



Gambar 1. 5 Konvigurasi Breis *Chevron*

1.6 Diagram Alir Penelitian



1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini, dijelaskan latar belakang dilakukannya penelitian berjudul "*Analisis Perilaku Inelastik Portal Terbreis Tahan Tekuk Dengan Model Numerikal Termodifikasi*". Selain itu juga dipaparkan rumusan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, pembatasan masalah, dan diagram alir penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, terdapat kerangka teoritis yang berisikan uraian tentang kondisi umum dari objek penelitian dan teori-teori dari berbagai referensi yang memiliki hubungan dengan masalah yang akan dibahas.

BAB 3 PEMODELAN DAN ANALISIS STRUKTUR

Pada bab ini dijelaskan tentang pemodelan struktur, desain kapasitas untuk struktur dengan sistem rangka baja terbreis tahan tekuk, dan analisis statik nonlinear.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil analisis inelastik *static pushover* yang dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur. Selanjutnya pada bab ini juga akan dibahas tentang hasil studi parameter yang dilakukan, dan perbandingan antara struktur yang memperhitungkan modifikasi numerik dan struktur yang tidak memperhitungkan modifikasi numerik.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.