

**SKRIPSI**

**EVALUASI PENERAPAN *FUSE PLATE* PADA BREIS  
BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**DEVIN HERIJANTO**  
**NPM : 6102001015**

**PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**  
**KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

**SKRIPSI**

**EVALUASI PENERAPAN *FUSE PLATE* PADA BREIS  
BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**DEVIN HERIJANTO**  
**NPM : 6102001015**

**PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**  
**KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

**SKRIPSI**

**EVALUASI PENERAPAN *FUSE PLATE* PADA BREIS  
BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**DEVIN HERIJANTO  
NPM : 6102001015**

**BANDUNG, 23 JULI 2024**

**PEMBIMBING:**

**KO-PEMBIMBING:**

**Helmy Hermawan Tjahjanto,  
Ph.D.**

**Wivia Octarena Nugroho, S.T.,  
M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
BANDUNG  
JULI 2024**

# SKRIPSI

## EVALUASI PENERAPAN *FUSE PLATE* PADA BREIS BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA



**DEVIN HERIJANTO**  
**NPM : 6102001015**

**PEMBIMBING:** Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

**KO-**

**PEMBIMBING:** Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**PENGUJI 1:** Dr. Paulus Karta Wijaya

**PENGUJI 2:** Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Devin Herijanto  
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 16 Juli 2002  
NPM : 6102001015  
Judul skripsi : **Evaluasi Penerapan Fuse Plate Pada Breis Baja Dengan Metode Elemen Hingga**

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 23 Juli 2024



Devin Herijanto

# EVALUASI PENERAPAN *FUSE PLATE* PADA BREIS BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Devin Herijanto  
NPM: 6102001015

Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.  
Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
BANDUNG  
JULI 2024

## ABSTRAK

Struktur gedung yang didesain secara khusus untuk menahan gaya seismik menggunakan sistem daerah plastis (*fuse*) pada elemen struktur tertentu yang berfungsi untuk mendisipasi energi berlebih akibat pembebanan seismik. Pada struktur baja, daerah plastis pada elemen struktur dimungkinkan untuk digantikan dengan pelat penyambung baja (*fuse plate*) yang bersifat *replaceable*. Penelitian terdahulu telah membuktikan penggunaan *fuse plate* efektif untuk diterapkan pada struktur rangka pemikul momen khusus (Lin, et al. 2020). Penggunaan *fuse plate* berpotensi untuk diterapkan pada sistem struktur serupa yaitu struktur rangka breis konsentris khusus. Penelitian ini dilakukan dengan cara meninjau perilaku lokal elemen breis yang dilengkapi dengan konfigurasi *fuse plate* sesuai rekomendasi Lin, et al. 2020 berdasarkan analisis statik *non-linear* dengan pembebanan monotonik tarik dan tekan. Variasi tebal dan lebar *fuse plate* digunakan dalam analisis breis tarik sedangkan variasi panjang dan tebal *fuse plate* digunakan dalam analisis breis tekan. Pada breis yang mengalami tarik, kemampuan disipasi energi *fuse plate* ditentukan berdasarkan tebal dan lebar *fuse plate* yang menghasilkan rasio kekuatan tertentu. Hasil penelitian menunjukkan *fuse plate* dengan rasio kekuatan breis terhadap *fuse plate* sebesar 1.6 efektif untuk diterapkan pada breis yang mengalami tarik dikarenakan kelelahan yang terjadi terpusat pada *fuse plate* tanpa disertai dengan kelelahan signifikan pada breis. Pada breis yang mengalami tekan, kemampuan disipasi energi *fuse plate* ditentukan oleh rasio panjang/tebal *fuse plate* yang berpengaruh terhadap daktilitas breis sedangkan rasio kekuatan hanya ditentukan oleh tebal *fuse plate*. Hasil penelitian menunjukkan *fuse plate* dengan rasio panjang/tebal sebesar 21-22 efektif untuk diterapkan pada breis yang mengalami tekan dikarenakan sifat daktilitasnya yang tergolong baik. Rasio kekuatan breis terhadap *fuse plate* dapat digunakan sedekat mungkin dengan 1 dengan faktor panjang efektif *fuse plate* sebesar 0.3 tanpa menyebabkan kelelahan berlebih pada breis dengan catatan deformasi ketidak-sempurnaan breis akibat pembebanan tekan tidak melebihi 0.4 mm.

**Kata Kunci:** breis, *fuse plate*, SCBF, regangan plastis ekuivalen, faktor panjang efektif.

# EVALUATION OF THE APPLICATION OF FUSE PLATES ON STEEL BRACE USING THE FINITE ELEMENT METHOD

**Devin Herijanto**  
**NPM: 6102001015**

**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**  
**BACHELOR PROGRAM**  
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2024)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

## ABSTRACT

The building structures that are specifically designed to withstand seismic forces utilize a plastic region (fuse) system in certain structural elements, which functions to dissipate excess energy due to seismic loading. In steel structures, the plastic region in structural elements can be replaced with replaceable steel fuse plates. Previous research has demonstrated the effective application of fuse plates in special moment-resisting frame structures (Lin, et al. 2020). The use of fuse plates has the potential to be applied to similar structural systems, namely special concentrically braced frames. This study was conducted by examining the local behavior of bracing elements equipped with a fuse plate configuration recommended by Lin, et al. 2020, based on a non-linear static analysis with monotonic tensile and compressive loading. Variations in the thickness and width of the fuse plates were used in the tensile bracing analysis, while variations in the length and thickness of the fuse plates were used in the compressive bracing analysis. For tensile bracing, the energy dissipation capacity of the fuse plates was determined based on the thickness and width of the fuse plates that resulted in a certain strength ratio. The results of the study indicated that fuse plates with a bracing-to-fuse plate strength ratio of 1.6 were effective for tensile bracing because the yielding was concentrated on the fuse plates without significant yielding in the braces. For compressive bracing, the energy dissipation capacity of the fuse plates was determined by the length-to-thickness ratio of the fuse plates, which affected the ductility of the braces, while the strength ratio was determined solely by the thickness of the fuse plates. The study results showed that fuse plates with a length-to-thickness ratio of 21-22 were effective for compressive bracing due to their good ductility. The bracing-to-fuse plate strength ratio can be set as close to 1 as possible with a fuse plate effective length factor of 0.3 without causing excessive yielding in the braces, provided that the imperfection deformation of the braces due to compressive loading does not exceed 0.4 mm.

**Keywords:** brace, fuse plate, SCBF, equivalent plastic strain, effective length factor.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan penyertaan-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi berjudul “*Evaluasi Penerapan Fuse Plate Pada Breis Baja Dengan Metode Elemen Hingga*” ditujukan guna memenuhi syarat kelulusan pada program studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. dan Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan ko-pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis.
2. Seluruh dosen dari KBI Teknik Struktur dan KBI lainnya yang telah memberikan ilmu kepada penulis sehingga skripsi ini dapat dikerjakan.
3. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan dalam proses pengerjaan skripsi ini.
4. Anggota “Komisi IV DPR” Parulian, Evand, Russel, Geraldi, dan Alfon yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Alm. Jonathan Wijaya, S.T. yang telah memberikan saran dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini kepada penulis.
6. Aldi, Alex, Ayu, Ben, Vieri, Deia, Fahren, Fathia, Gabs, Izzan, Kirana, Raysha. Rivan, Vasco, Yudha, Alvin, Aria, Nuel selaku teman terdekat yang telah memberikan dukungan secara akademik maupun non-akademik kepada penulis.
7. Seluruh teman-teman Teknik Sipil angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan selama penulis menempuh perkuliahan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini karena keterbatasan ilmu dan pengalaman penulis. Oleh karena itu penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang dapat membangun penulis menjadi lebih baik lagi.

Bandung, 2 Juli 2024



Devin Herijanto

6102001015

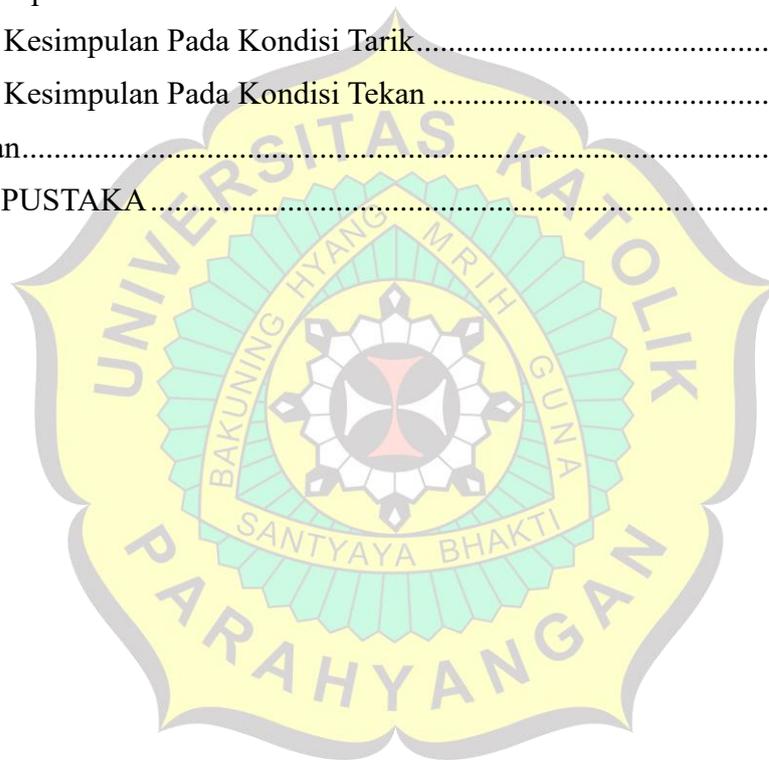


# DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Inti Permasalahan .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Pembatasan Masalah .....	6
1.5 Metode Penelitian.....	8
1.6 Sistematika Penulisan .....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	10
2.1 Material Baja.....	10
2.1.1 Kurva Tegangan Regangan Baja .....	10
2.1.2 Regangan Maksimum Baja .....	11
2.1.3 Tegangan Leleh Berdasarkan <i>Extension Under Load (EUL) Method</i> .....	11
2.1.4 Teori Kegagalan <i>Von Mises</i> .....	12
2.2 Kekuatan Struktur Baja Berdasarkan AISC 360-22.....	14
2.2.1 Kekuatan Tarik .....	14
2.2.2 Kekuatan Tekan.....	15
2.2.3 Kekuatan Sambungan.....	19
2.3 Rasio Kelangsingan Maksimum Pada Struktur <i>Highly Ductile</i> .....	20
2.4 <i>Special Concentrically Braced Frame (SCBF)</i> .....	22
2.4.1 Panjang Maximum <i>Protected Zone</i> .....	23
2.4.2 Beban Tarik Maksimum Breis <i>SCBF</i> .....	23
2.4.3 Momen Maksimum Breis <i>SCBF</i> yang Mengalami Tekan .....	24

2.4.4 Kekuatan Tekan Residual Pada Breis yang Mengalami Tekan.....	24
2.5 <i>Fuse Plate</i> .....	24
2.6 Metode Elemen Hingga (MEH).....	29
2.7 Penerapan Metode Elemen Hingga Pada Perangkat Lunak <i>Abaqus</i> .....	30
2.7.1 Jenis-Jenis Elemen .....	31
2.7.2 Material <i>Bi-Linear</i> .....	31
2.7.3 Kondisi Batas .....	32
2.7.4 Pembebanan .....	32
2.7.5 Analisis Statik <i>Non-Linear</i> .....	33
BAB III PEMODELAN DAN ANALISIS .....	34
3.1 Umum.....	34
3.2 Spesifikasi dan Mutu Material .....	34
3.3 Penentuan Dimensi Breis.....	35
3.3.1 Dimensi Profil WF 208 x 202 .....	35
3.3.2 Pengecekan Ketentuan Kekompakan Seismik Berdasarkan AISC 341-22.....	36
3.3.3 Panjang Breis .....	37
3.4 Desain <i>Fuse Plate</i> .....	37
3.4.1 Dimensi <i>Fuse Plate</i> .....	38
3.4.2 Pengecekan Kekuatan Tarik Berdasarkan AISC 360-22.....	40
3.4.3 Pengecekan Kekuatan Tekan Berdasarkan AISC 360-22 .....	41
3.4.4 Pengecekan Kekuatan Sambungan Berdasarkan AISC 360-22 .....	42
3.5 Penentuan Lebar Celah Antar Breis.....	43
3.6 Pemodelan Breis dan <i>Fuse Plate</i> Menggunakan Perangkat Lunak <i>Abaqus</i> .....	44
3.6.1 Pemodelan dan Penyusunan Elemen Breis dan <i>Fuse Plates</i> .....	44
3.6.2 Pemodelan Material .....	46
3.6.3 Penentuan <i>Mesh</i> dan Verifikasi Model.....	47
3.6.4 Penentuan Kondisi Batas dan Pembebanan .....	49
3.6.5 Penentuan Elemen Antar Muka ( <i>Interaction</i> ) .....	53
3.7 Variasi Model Pada Kondisi Tarik .....	55
3.8 Variasi Model Pada Kondisi Tekan .....	57
3.9 Pemodelan <i>Imperfection</i> Pada Kondisi Tekan .....	59
3.9.1 Analisis Tekuk <i>Linear</i> .....	60
3.9.2 Analisis Statik <i>Non-Linear</i> Berdasarkan Analisis Tekuk <i>Linear</i> .....	61

BAB IV HASIL ANALISIS.....	62
4.1 Perilaku Breis dan <i>Fuse Plate</i> Pada Kondisi Tarik .....	62
4.1.1 Perilaku Breis dan <i>Fuse Plate</i> dengan Variasi Tebal dan Lebar.....	64
4.2 Perilaku Breis dan <i>Fuse Plate</i> Pada Kondisi Tekan.....	71
4.2.1 Perilaku Breis dan <i>Fuse Plate</i> dengan Variasi Panjang .....	71
4.2.2 Perilaku Breis dan <i>Fuse Plate</i> dengan Variasi Tebal.....	76
4.2.3 Rekomendasi Faktor Panjang Efektif (K) <i>Fuse Plate</i> .....	82
4.3 Pengaruh <i>Imperfection</i> Terhadap Ragam Tekuk Breis dan <i>Fuse Plate</i> .....	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
5.1 Kesimpulan .....	90
5.1.1 Kesimpulan Pada Kondisi Tarik.....	90
5.1.2 Kesimpulan Pada Kondisi Tekan .....	91
5.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....	94



## DAFTAR NOTASI

$a$	: Lebar celah antar breis (mm)
$A_g$	: Luas kotor penampang ( $\text{cm}^2$ )
$A_{ge}$	: Luas penampang dengan pengaruh angka <i>poisson</i> ( $\text{mm}^2$ )
$b$	: Lebar penampang (mm)
$b_e$	: Jarak baut ke tepi tegak lurus gaya (mm)
$d$	: Tinggi penampang (mm)
$d_b$	: Diameter baut (mm)
$d_{head}$	: Diameter kepala baut (mm)
$d_{hole}$	: Diameter lubang baut (mm)
$E$	: Modulus elastisitas baja (MPa)
$f_{nv}$	: Tegangan geser nominal baut (MPa)
$f_u$	: Tegangan ultimit (MPa)
$f_y$	: Tegangan leleh (MPa)
$IP$	: <i>Imperfection</i> (mm)
$I_x$	: Momen inersia arah sumbu x ( $\text{cm}^4$ )
$I_y$	: Momen inersia arah sumbu y ( $\text{cm}^4$ )
$K$	: Faktor panjang efektif
$L_e$	: Jarak baut ke tepi searah gaya (mm)
$L_{fp}$	: Panjang <i>fuse plate</i> (mm)
$n_{baut}$	: Jumlah baut
$PEEQ$	: Regangan plastis ekuivalen
$P_n$	: Kekuatan tekan (kN)
$P_n \text{ Breis}$	: Kekuatan tekan breis (kN)
$P_n \text{ FP}$	: Kekuatan tekan <i>fuse plate</i> (kN)
$P_n \text{ max}$	: Kekuatan tekan maksimum (kN)
$P_n \text{ residual}$	: Kekuatan tekan residual (kN)
$R$	: Jari-jari penampang (mm)

$R_{n\_tumpu}$	: Kekuatan geser baut (kN)
$R_{nv}$	: Kekuatan geser baut (kN)
$R_y$	: Rasio momen lentur plastis aktual/izin
$s$	: Jarak baut searah gaya (mm)
$S_x$	: Modulus penampang elastis arah sumbu x ( $\text{cm}^3$ )
$S_y$	: Modulus penampang elastis arah sumbu y ( $\text{cm}^3$ )
$t$	: Tebal <i>fuse plate</i> (mm)
$t_f$	: Tebal sayap (mm)
$T_n \text{ Breis}$	: Kekuatan tarik breis (kN)
$T_n \text{ BS}$	: Kekuatan tarik geser blok (kN)
$T_n \text{ FP}$	: Kekuatan tarik <i>fuse plate</i> (kN)
$T_n \text{ fraktur}$	: Kekuatan tarik fraktur (kN)
$T_n \text{ leleh}$	: Kekuatan tarik leleh (kN)
$t_w$	: Tebal badan (mm)
$Z_x$	: Modulus penampang plastis arah sumbu x ( $\text{cm}^3$ )
$Z_y$	: Modulus penampang plastis arah sumbu y ( $\text{cm}^3$ )
$\Delta_{fp}$	: Deformasi aksial <i>fuse plate</i> (mm)
$\sigma_{fp}$	: Tegangan kritis <i>fuse plate</i> (MPa)
$\epsilon_{fp}$	: Regangan kritis <i>fuse plate</i>
$\lambda_f$	: Rasio kelangsingan <i>flens</i>
$\lambda_{hd,f}$	: Rasio kelangsingan maksimum <i>high ductile flens</i>
$\lambda_{hd,w}$	: Rasio kelangsingan maksimum <i>high ductile web</i>
$\lambda_w$	: Rasio kelangsingan <i>web</i>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Posisi <i>fuse</i> pada elemen breis (McCormick, J. 2017).....	2
<b>Gambar 1.2</b> Ilustrasi <i>fuse plate</i> pada elemen balok (Yan, et al. 2020) .....	3
<b>Gambar 1.3</b> Pengujian eksperimental <i>fuse plate</i> pada balok (Lin, et al. 2020).....	3
<b>Gambar 1.4</b> Konfigurasi <i>fuse plate</i> tipe Flate Plate (FP) (Lin, et al. 2020).....	4
<b>Gambar 1.5</b> Analisis numerik fuse plates pada balok (Yan, et al. 2020).....	4
<b>Gambar 1.6</b> Konfigurasi fuse plate tipe Flate Plate (FP) (Lin, et al. 2020).....	6
<b>Gambar 1.7</b> Sketsa sambungan breis dengan <i>fuse plate</i> tipe <i>Flat Plate</i> (FP) tampak atas.....	7
<b>Gambar 1.8</b> Sketsa sambungan breis dengan <i>fuse plate</i> tipe <i>Flat Plate</i> (FP) tampak samping .....	7
<b>Gambar 1.9</b> Sketsa sambungan breis dengan <i>fuse plate</i> tipe <i>Flat Plate</i> (FP) tampak depan .....	8
<b>Gambar 2.1</b> Kurva Tegangan Regangan Baja (Segui, W.T. 2017) .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Tegangan leleh berdasarkan <i>EUL method</i> (ASTM E8/E8M-13a. 2013) .....	12
<b>Gambar 2.3</b> Grafik teori kegagalan Von Mises (Charles, et al. 1996).....	13
<b>Gambar 2.4</b> Fuse pada <i>SCBF</i> (McCormick, J. 2017) .....	22
<b>Gambar 2.5</b> Protected Zone pada <i>SCBF</i> (Engelhardt, et al. 2019).....	23
<b>Gambar 2.6</b> Penerapan <i>fuse plate</i> pada balok (Lin, et al. 2020).....	25
<b>Gambar 2.7</b> Skema pengujian beban siklik pada <i>T joint</i> (Lin, et al. 2020) .....	26
<b>Gambar 2.8</b> Konfigurasi berbagai tipe <i>fuse plate</i> (Lin, et al. 2020) .....	27
<b>Gambar 2.9</b> Tekuk lokal pada sayap balok WF tanpa <i>fuse plate</i> (Lin, et al.2020) .....	28
<b>Gambar 2.10</b> Kegagalan tekuk <i>fuse plate</i> pada balok WF (Lin, et al. 2020).....	28
<b>Gambar 2.11</b> Distribusi regangan plastis pada <i>fuse plate</i> dan balok WF (Yan, et al. 2020).....	29
<b>Gambar 2.12</b> Ilustrasi solusi metode elemen hingga (Rahardjo, et al. 2023).....	30
<b>Gambar 2.13</b> Kurva material <i>bi-linear</i> (Saliba, et al. 2018).....	32
<b>Gambar 3.1</b> Skema profil WF (JFE Steel Corporation) .....	36
<b>Gambar 3.2</b> Desain prelim <i>fuse plate</i> .....	37
<b>Gambar 3.3</b> Gambar desain <i>fuse plate</i> .....	39
<b>Gambar 3.4</b> Penjelasan daerah sambungan dan daerah inti.....	40
<b>Gambar 3.5</b> Lebar celah antar breis.....	44
<b>Gambar 3.6</b> Model <i>fuse plate</i> .....	45
<b>Gambar 3.7</b> Model breis 2927.5 mm.....	45
<b>Gambar 3.8</b> Model breis dan <i>fuse plate</i> .....	46
<b>Gambar 3.9</b> Skema breis dan <i>fuse plate</i> (tampak atas).....	46
<b>Gambar 3.10</b> Kurva tegangan regangan material BJ37 .....	47
<b>Gambar 3.11</b> <i>Mesh</i> 40 mm untuk breis dan 5 mm untuk kepala baut .....	48

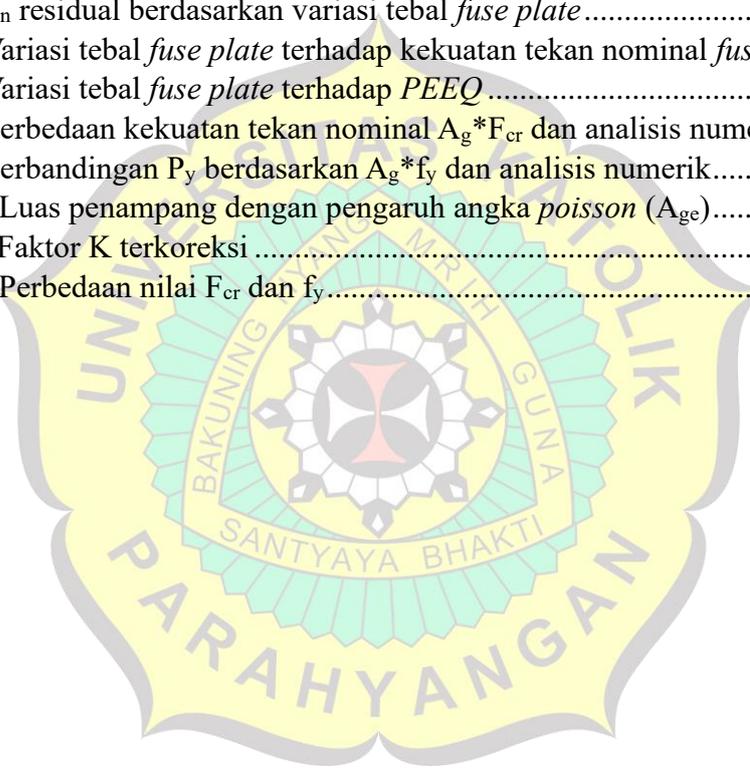
<b>Gambar 3.12</b> Mesh 20 mm untuk <i>fuse plate</i> dan 5 mm untuk kepala baut .....	49
<b>Gambar 3.13</b> Model breis dan <i>fuse plate</i> dengan <i>mesh</i> .....	49
<b>Gambar 3.14</b> Sendi pada setiap titik nodal penampang WF di ujung kiri breis ..	50
<b>Gambar 3.15</b> Sendi roll pada setiap titik nodal penampang WF di ujung kanan breis .....	50
<b>Gambar 3.16</b> <i>Tie-constraint</i> antara penampang WF dan pelat rigid.....	51
<b>Gambar 3.17</b> Sendi pada ujung kiri breis .....	52
<b>Gambar 3.18</b> Sendi roll pada ujung kanan breis.....	52
<b>Gambar 3.19</b> Perpindahan tarik pada seluruh titik nodal penampang .....	53
<b>Gambar 3.20</b> Perpindahan tekan pada titik nodal pusat berat penampang .....	53
<b>Gambar 3.21</b> Posisi <i>tie-constraint</i> pada model.....	54
<b>Gambar 3.22</b> Posisi <i>surface-to-surface contact</i> pada model .....	55
<b>Gambar 3.23</b> Variasi lebar <i>fuse plate</i> .....	57
<b>Gambar 3.24</b> Variasi panjang <i>fuse plate</i> .....	58
<b>Gambar 3.25</b> Beban gaya tekan sebesar 1000 kN .....	60
<b>Gambar 3.26</b> <i>Output command code</i> pada analisis tekuk <i>linear</i> .....	61
<b>Gambar 3.27</b> <i>Step command code</i> dengan faktor skala sebesar 0.4 .....	61
<b>Gambar 4.1</b> Kurva beban-perpindahan breis dengan <i>fuse plate</i> (rasio kekuatan = 1.79) .....	62
<b>Gambar 4.2</b> Regangan plastis ( <i>PEEQ</i> ) pertama pada breis pada kondisi tarik ...	63
<b>Gambar 4.3</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tarik.....	63
<b>Gambar 4.4</b> Regangan plastis maksimum pada breis pada kondisi tarik .....	64
<b>Gambar 4.5</b> Kurva beban-perpindahan dengan lebar <i>fuse plate</i> , $b = 130$ mm pada kondisi tarik.....	66
<b>Gambar 4.6</b> Kurva beban-perpindahan dengan tebal <i>fuse plate</i> , $t = 18$ mm pada kondisi tarik.....	66
<b>Gambar 4.7</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 2.3; tipe t14) .....	67
<b>Gambar 4.8</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 2.3; tipe b102) .....	68
<b>Gambar 4.9</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.24; tipe t26) .....	68
<b>Gambar 4.10</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.22; tipe b190) ...	69
<b>Gambar 4.11</b> Kurva beban-perpindahan dengan variasi tebal dan lebar .....	69
<b>Gambar 4.12</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.6; tipe t20) .....	70
<b>Gambar 4.13</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.6; tipe b146) .....	71
<b>Gambar 4.14</b> Kurva beban-perpindahan <i>fuse plate</i> dengan variasi panjang pada kondisi tekan .....	72
<b>Gambar 4.15</b> Pengaruh panjang <i>fuse plate</i> terhadap kekuatan tekan nominal <i>fuse plate</i> ( $P_n FP$ ) .....	73
<b>Gambar 4.16</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tekan (tipe L350).....	75
<b>Gambar 4.17</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tekan (tipe L400).....	75
<b>Gambar 4.18</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tekan (tipe L500).....	75
<b>Gambar 4.19</b> Kurva beban-perpindahan <i>fuse plate</i> dengan variasi tebal pada kondisi tekan .....	76

<b>Gambar 4.20</b> Pengaruh tebal <i>fuse plate</i> terhadap kekuatan tekan nominal fuse plate ( $P_n$ FP).....	78
<b>Gambar 4.21</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tekan (tipe t14).....	79
<b>Gambar 4.22</b> Distribusi regangan plastis pada kondisi tekan (tipe t16).....	80
<b>Gambar 4.23</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.18; tipe t14) .....	81
<b>Gambar 4.24</b> Regangan plastis maksimum pada breis (rasio 1.02; tipe t16) .....	81
<b>Gambar 4.25</b> Ragam tekuk pada mode 1 .....	86
<b>Gambar 4.26</b> Ragam tekuk dengan <i>imperfection</i> 0.4 mm .....	86
<b>Gambar 4.27</b> Ragam tekuk dengan <i>imperfection</i> 0.5 mm .....	87
<b>Gambar 4.28</b> Ragam tekuk dengan <i>imperfection</i> 2 mm .....	88
<b>Gambar 4.29</b> Kurva beban-perpindahan <i>fuse plate</i> t16 dengan variasi <i>imperfection</i> .....	88



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Variasi tebal <i>fuse plate</i> .....	55
<b>Tabel 3.2</b> Variasi lebar <i>fuse plate</i> .....	56
<b>Tabel 3.3</b> Variasi panjang <i>fuse plate</i> .....	57
<b>Tabel 3.4</b> Variasi tebal <i>fuse plate</i> .....	59
<b>Tabel 4.1</b> Variasi <i>fuse plate</i> dengan ketebalan berbeda .....	64
<b>Tabel 4.2</b> Variasi <i>fuse plate</i> dengan jari-jari berbeda.....	65
<b>Tabel 4.3</b> $P_n$ residual berdasarkan variasi panjang <i>fuse plate</i> .....	73
<b>Tabel 4.4</b> Variasi panjang <i>fuse plate</i> terhadap kekuatan tekan nominal <i>fuse plate</i> .....	74
<b>Tabel 4.5</b> $P_n$ residual berdasarkan variasi tebal <i>fuse plate</i> .....	77
<b>Tabel 4.6</b> Variasi tebal <i>fuse plate</i> terhadap kekuatan tekan nominal <i>fuse plate</i> ....	78
<b>Tabel 4.7</b> Variasi tebal <i>fuse plate</i> terhadap <i>PEEQ</i> .....	80
<b>Tabel 4.8</b> Perbedaan kekuatan tekan nominal $A_g * F_{cr}$ dan analisis numerik .....	83
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan $P_y$ berdasarkan $A_g * f_y$ dan analisis numerik.....	83
<b>Tabel 4.10</b> Luas penampang dengan pengaruh angka <i>poisson</i> ( $A_{ge}$ ).....	84
<b>Tabel 4.11</b> Faktor K terkoreksi .....	84
<b>Tabel 4.12</b> Perbedaan nilai $F_{cr}$ dan $f_y$ .....	85



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN DESAIN <i>FUSE PLATE</i> .....	96
LAMPIRAN 2 PENENTUAN UKURAN <i>MESH</i> DAN VERIFIKASI MODEL.....	105
LAMPIRAN 3 CONTOH PERHITUNGAN KEKUATAN TEKAN NOMINAL <i>FUSE PLATE</i> (TIPE L350).....	108
LAMPIRAN 4 CONTOH PERHITUNGAN KEKUATAN TEKAN NOMINAL <i>FUSE PLATE</i> DENGAN FAKTOR K TERKOREKSI (TIPE L350).....	110



# BAB I

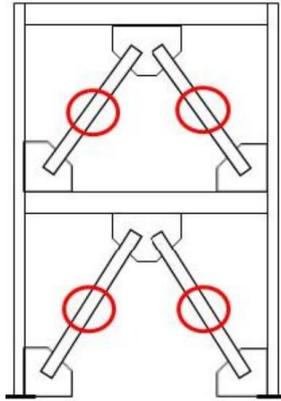
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada ilmu rekayasa teknik struktur modern, berbagai macam bangunan dengan kategori resiko tinggi harus didesain untuk dapat menahan beban seismik. Prinsip dari suatu bangunan tahan gempa adalah nilai daktilitasnya yang tinggi sehingga energi akibat dari beban gempa dapat terdisipasi dan kegagalan pada struktur utama dapat terminimalisasi. Daktilitas sendiri merupakan keadaan ketika suatu material telah memasuki kondisi plastis (melewati batas leleh), material tetap dapat berdeformasi tanpa disertai dengan peningkatan tegangan sebelum material tersebut mencapai batas runtuhnya.

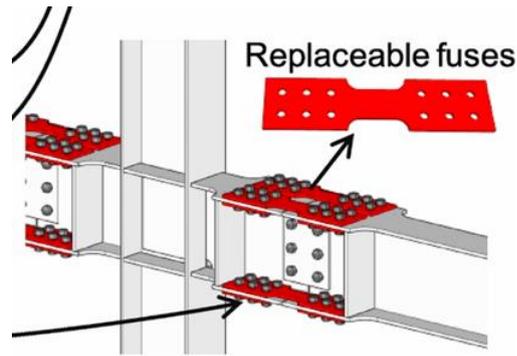
Komponen-komponen struktur yang didesain sebagai komponen dengan daktilitas tinggi dinamakan *fuse*. *Fuse* selalu didesain dengan kekuatan desain yang lebih lemah dibanding dengan elemen struktur lainnya sehingga menghasilkan batas leleh yang lebih rendah yang akan membuat daktilitas struktur meningkat. Pada struktur baja, komponen struktur yang berperan sebagai *fuse* dibedakan berdasarkan sistem strukturnya, pada struktur rangka baja pemikul momen, elemen balok berperan sebagai *fuse*, pada struktur rangka baja dengan breis konsentris, elemen breis berperan sebagai *fuse* (**Gambar 1.1**), pada struktur rangka baja dengan breis eksentris, *link* breis berperan sebagai *fuse*.

Dari ketiga sistem struktur di atas, semuanya memiliki kesamaan yaitu kelelahan yang terjadi terletak pada elemen struktural baik itu balok, breis, atau *link* breis. Akibatnya, pada saat elemen struktur melewati batas lelehnya akibat adanya beban seismik, perbaikan pada komponen struktur perlu dilakukan dengan cara mengganti seluruh elemen struktur yang mengalami leleh.



**Gambar 1.1** Posisi *fuse* pada elemen breis (McCormick, J. 2017)

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, berbagai inovasi pada sistem *fuse* pada bangunan tahan gempa telah ditemukan, salah satunya inovasi yang disebut dengan *fuse plate*. *Fuse plate* merupakan suatu pelat penyambung pada struktur baja pemikul gaya seismik yang berfungsi sebagai *fuse* dari suatu bangunan tahan gempa (**Gambar 1.2**). Elemen struktural yang didesain sebagai komponen yang daktail akan dipotong menjadi 2 bagian dan akan disambung kembali dengan pelat penyambung *fuse plate*. Keuntungan dari penggunaan *fuse plate* adalah kelelahan material akan terjadi pada *fuse plate*, bukan pada elemen struktural seperti balok dan breis. Akibatnya, pada saat dilakukan perbaikan kerusakan struktur akibat beban seismik, perbaikan hanya perlu dilakukan dengan cara mengganti *fuse plate* yang mengalami leleh dan tidak perlu mengganti satu elemen struktural utuh karena kelelahan yang terjadi terletak pada *fuse plate*, bukan pada elemen struktural utama. Hal ini juga membuat *fuse plate* seringkali disebut sebagai *replaceable fuse* (**Gambar 1.2**).

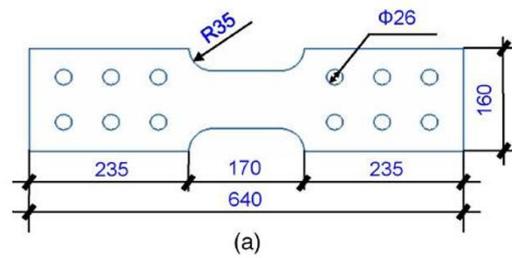


**Gambar 1.2** Ilustrasi *fuse plate* pada elemen balok (Yan, et al. 2020)

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, terdapat beberapa penelitian yang membahas mengenai penerapan *fuse plate*, di antaranya pada penelitian mengenai perilaku *fuse plate* pada rangka momen baja balok kolom akibat dari pembebanan seismik berdasarkan uji eksperimental (**Gambar 1.3**), Lin, et al. (2020). Pada pengujian tersebut, berbagai tipe *fuse plate* digunakan dan dari hasil uji, hasil menunjukkan bahwa penggunaan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) (**Gambar 1.4**) merupakan tipe *fuse plate* yang paling efektif karena kerusakan akibat pembebanan seismik terkonsentrasi pada *fuse plate*, bukan pada komponen balok dan sambungan balok kolom. *Fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) juga efisien untuk digunakan karena fabrikasinya yang mudah dan sederhana.

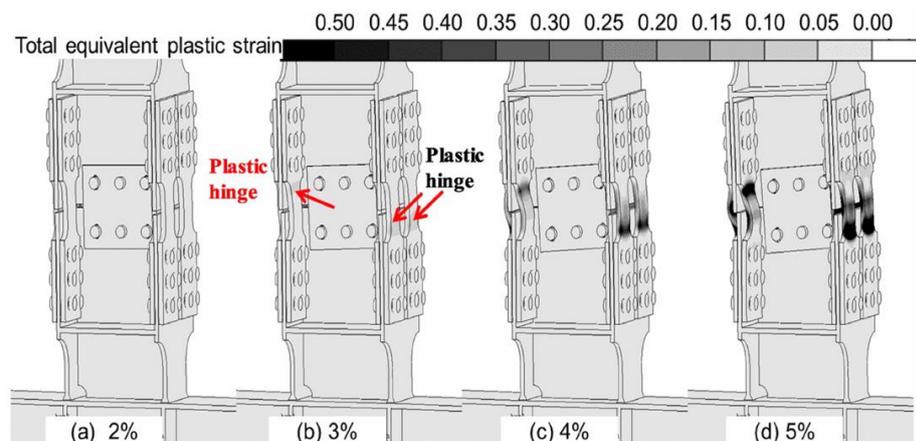


**Gambar 1.3** Pengujian eksperimental *fuse plate* pada balok (Lin, et al. 2020)



**Gambar 1.4** Konfigurasi *fuse plate* tipe Flate Plate (FP) (Lin, et al. 2020)

Penerapan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) juga diperkuat kembali dengan penelitian berdasarkan analisis numerik elemen hingga mengenai perilaku *fuse plate* pada struktur rangka baja balok kolom, Yan, et al. (2020). Penelitian tersebut mengkonfirmasi kembali bahwa *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) terbukti efektif dalam menyerap beban seismik yang ditandai dengan besarnya distribusi regangan plastis yang terpusat pada *fuse plate* dan hampir tidak ada pada komponen balok (Gambar 1.5).



**Fig. 9.** Distribution of the total equivalent plastic strain in HF-18.

**Gambar 1.5** Analisis numerik *fuse plates* pada balok (Yan, et al. 2020)

*Fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) yang diteliti pada kedua penelitian di atas menerapkan konsep kelelahan aksial pada *fuse plates*. Hal ini memunculkan asumsi bahwa konsep desain *fuse plate* pada kedua penelitian di atas dapat diterapkan pada

komponen struktur pendisipasi energi gempa serupa yang bekerja melalui mekanisme aksial yaitu komponen struktur breis pada sistem struktur *SCBF*.

Perbedaan antara penerapan *fuse plate* pada elemen balok dan elemen breis adalah pada elemen balok, balok mengalami momen yang menyebabkan *fuse plate* mengalami salah satu antara gaya tarik atau tekan pada serat balok bagian atas dan bawah sedangkan pada elemen breis, semua komponen *fuse plate* mengalami gaya tarik pada saat breis menerima beban tarik dan semua komponen *fuse plate* mengalami tekan pada saat breis menerima beban tekan. Hal ini membuat penerapan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) pada breis bangunan tahan gempa perlu ditinjau kembali dikarenakan terdapat perbedaan distribusi beban tarik/tekan antara *fuse plate* yang dipasang pada balok dan *fuse plates* yang dipasang pada breis walaupun keduanya sama-sama menerapkan konsep kelelahan aksial pada *fuse plate*.

## 1.2 Inti Permasalahan

Penerapan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) telah terbukti efektif dan efisien pada elemen struktur balok dikarenakan pendisipasian energinya yang baik sehingga membuat *fuse plate* berfungsi sebagai komponen yang *replaceable*. *Fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) berpotensi untuk diterapkan pada elemen struktur serupa yang menerapkan konsep leleh aksial pada *fuse plate* yaitu breis. Oleh karena itu diperlukan kajian untuk mengevaluasi penerapan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) pada elemen struktur breis yang mengalami gaya tarik dan tekan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

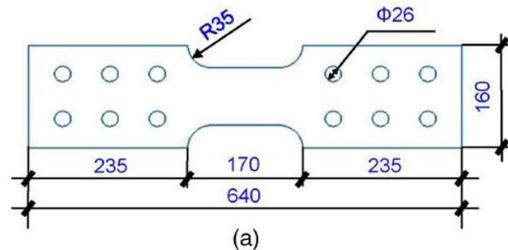
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan penggunaan *fuse plates* tipe *Flat Plate* (FP) pada breis.
2. Melakukan evaluasi perilaku non-linier *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) pada breis menggunakan metode elemen hingga dengan berbagai variasi tebal dan lebar pada kondisi tarik dan variasi panjang dan tebal pada kondisi tekan.
3. Menyampaikan rekomendasi desain *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) pada breis.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

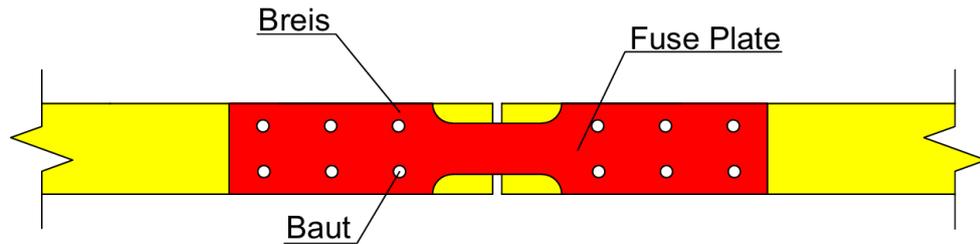
1. Konsep desain *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) (**Gambar 1.6**) yang digunakan sesuai rekomendasi Lin, et al. (2020).



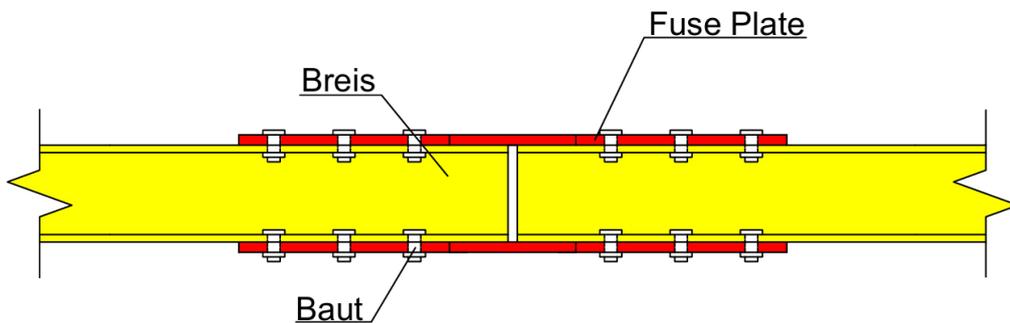
**Gambar 1.6** Konfigurasi fuse plate tipe Flat Plate (FP) (Lin, et al. 2020)

2. Peninjauan hanya difokuskan pada 1 elemen breis sehingga pemodelan breis akan didefinisikan sebagai 1 elemen batang WF yang akan diberikan beban tarik/tekan.
3. *Fuse plate* hanya dipasangkan pada sayap breis, badan breis tidak diberi pelat penyambung.
4. Breis menggunakan profil WF 208 x 202 yang mengacu pada standar JIS G 3192 dan memenuhi ketentuan kekompakan seismik sesuai AISC 341-22 Tabel D1.1a.
5. Panjang breis diambil sebesar 5855 mm mengacu pada contoh desain struktur SCBF pada *IBC Structural/Seismic Design Manual* (2006).
6. Dimensi penampang *fuse plate* ditentukan sedemikian rupa agar kekuatan tarik dan tekan *fuse plate* memiliki nilai yang lebih kecil namun sedekat mungkin dengan nilai kekuatan tarik dan tekan breis.
7. Pada breis tarik, variasi model dilakukan pada tebal dan lebar *fuse plate*.
8. Pada breis tekan, variasi model dilakukan pada panjang dan tebal *fuse plate*.
9. Material baja yang digunakan untuk breis profil WF dan *fuse plate* menggunakan BJ37.
10. Pemodelan material menggunakan material *bi-linear*.

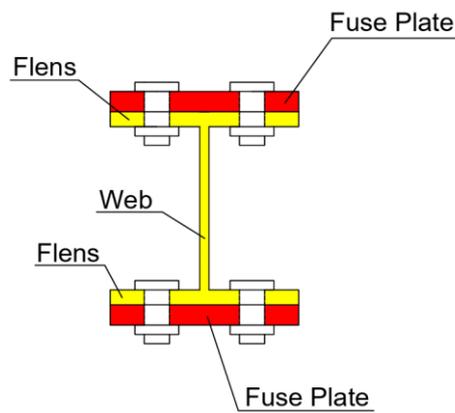
11. Mutu baut menggunakan A325M-X.
12. Sambungan antara breis profil WF dan *fuse plates* menggunakan sambungan baut yang diasumsikan tidak mengalami selip.
13. Pemodelan dan analisis komponen struktur breis yang mengalami gaya tarik dan tekan dimodelkan menggunakan perangkat lunak elemen hingga *ABAQUS* seperti pada **Gambar 1.7**, **Gambar 1.8**, dan **Gambar 1.9**.



**Gambar 1.7** Sketsa sambungan breis dengan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP)  
tampak atas



**Gambar 1.8** Sketsa sambungan breis dengan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP)  
tampak samping



**Gambar 1.9** Sketsa sambungan breis dengan *fuse plate* tipe *Flat Plate* (FP) tampak depan

14. Breis profil WF dan *fuse plate* dimodelkan menggunakan elemen *shell*.
15. Sambungan baut dimodelkan menggunakan elemen antar muka *tie constraint*.
16. Beban yang diberikan berupa beban monotonik tarik/tekan.

### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur  
Studi dengan mempelajari berbagai jurnal yang meneliti penerapan *fuse plates* dan mempelajari teori teori dasar mengenai perilaku material baja akibat dari pembebanan seismik.
2. Studi Numerik  
Studi dilakukan dengan cara memodelkan dan menganalisis sambungan *fuse plate* pada breis dengan perangkat lunak *ABAQUS*.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut :

BAB I            PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar-dasar teori yang dijadikan acuan untuk desain dan pemodelan *fuse plate* pada breis.

BAB III PEMODELAN DAN ANALISIS

Berisi desain dan pemodelan *fuse plate* pada breis dan berbagai variasi model *fuse plate* yang digunakan.

BAB IV HASIL ANALISIS

Berisi hasil analisis dan pembahasan mengenai pengaruh parameter yang digunakan dalam variasi model *fuse plate* terhadap kemampuan disipasi energi *fuse plate* pada fase inelastis

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis penerapan *fuse plate* pada breis *SCBF*.