

TESIS

**STUDI NUMERIK PERBANDINGAN PELETAKAN  
*BUCKLING-RESTRAINED BRACES* TERHADAP  
PERILAKU DINAMIK GEMPA PADA STRUKTUR  
BETON BERTULANG**



Mario Andro Hipay

235119697

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2025



**FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

---

**PERSETUJUAN TESIS**

Nama : Mario Andro Hipay

Nomor Mahasiswa : 235119697

Konsentrasi : Struktur

Judul Tesis : Studi Numerik Perbandingan Peletakan *Buckling-Restrained Braces* terhadap Perilaku Dinamik Gempa pada Struktur Beton Bertulang

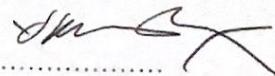
**Dosen Pembimbing**

**Tanggal**

**Tanda tangan**

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.

19/01/2026





**FAKULTAS TEKNIK**  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

**PENGESAHAN TESIS**

Nama : Mario Andro Hipay  
Nomor Mahasiswa : 235119697  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Studi Numerik Perbandingan Peletakan *Buckling-Restrained Braces* terhadap Perilaku Dinamik Gempa pada Struktur Beton Bertulang

Dosen Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.

15/01/2026

Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng

15/01/2026

Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D

15/01/2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mario Andro Hipay

NPM : 235119697

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Tempat/Tanggal Lahir : Pontianak, 12 September 2002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : **“Studi Numerik Perbandingan Peletakan *Buckling-Restrained Braces* terhadap Perilaku Dinamik Gempa pada Struktur Beton Bertulang”** adalah benar-benar karya asli saya. Seluruh sumber yang menjadi rujukan dalam tesis ini telah saya cantumkan sesuai dengan kaidah akademik yang berlaku. Apabila terdapat kesalahan di dalamnya sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya dan saya bersedia dikenakan sanksi apabila terbukti melakukan pelanggaran hukum.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, Agustus 2025



Mario Andro Hipay

## INTISARI

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi penempatan *Buckling Restrained Brace* (BRB) terhadap kinerja seismik struktur beton bertulang 8 lantai menggunakan analisis riwayat waktu (*time history analysis*) pada perangkat lunak *SeismoStruct*. Tiga variasi penempatan BRB dievaluasi, yaitu *Mid Bay*, *Perimeter*, *Hybrid* dan satu model *Baseline* (tanpa *bracing*). Parameter yang ditinjau meliputi *interstory drift ratio* (IDR), kapasitas disipasi energi, dan *Residual drift*. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur tanpa *bracing* mengalami IDR maksimum sebesar 3,175%, melebihi ambang batas 2% menurut ASCE 7-16. Variasi *Mid Bay* menurunkan IDR maksimum menjadi 1,487%, sedangkan variasi *Perimeter* mencapai 1,692%. Variasi *Hybrid* menghasilkan IDR maksimum terendah sebesar 1,056% dengan distribusi simpangan antar lantai yang paling merata. Dari sisi disipasi energi, variasi *Hybrid* mencapai kapasitas tertinggi sebesar 12.212,40 kN·m, dibandingkan *Mid Bay* (7.932,07 kN·m) dan *Perimeter* (6.561,18 kN·m). *Residual drift* juga terkecil pada variasi *Hybrid* (<0,15% di seluruh lantai). Secara keseluruhan, strategi penempatan *Hybrid* terbukti paling efektif dalam meningkatkan kinerja seismik struktur, karena mampu menurunkan simpangan antar lantai, menyerap energi gempa paling besar, serta meminimalkan deformasi pasca gempa.

**Kata Kunci:** BRB, beton bertulang, analisis riwayat waktu, *interstory drift ratio*, disipasi energi

## ABSTRACT

*This study analyzes the effect of different variations of Buckling Restrained Brace (BRB) placement on the seismic performance of an eight-story reinforced concrete structure using time history analysis in SeismoStruct. Three BRB placement variations and one Baseline model (without bracing) were evaluated, namely Mid Bay, perimeter, and Hybrid. The parameters considered include interstory drift ratio (IDR), energy dissipation capacity, and Residual drift. The results show that the unBrace structure experienced a maximum IDR of 3.175%, exceeding the 2% threshold defined by ASCE 7-16. The Mid Bay variation reduced the maximum IDR to 1.487%, while the Perimeter variation reached 1.692%. The Hybrid variation achieved the lowest maximum IDR of 1.056% with the most uniform distribution across floors. In terms of energy dissipation, the Hybrid variation reached the highest capacity of 12,212.40 kN·m, compared to Mid Bay (7,932.07 kN·m) and Perimeter (6,561.18 kN·m). Residual drift was also minimized in the Hybrid variation (<0.15% across all floors). Overall, the Hybrid placement strategy proved to be the most effective in enhancing seismic performance, as it successfully reduced interstory drift, absorbed the highest seismic energy, and minimized post-earthquake deformation.*

**Keywords:** BRB, reinforced concrete, *time history analysis, interstory drift ratio* , energy dissipation

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala karuniaNya yang telah diberikan sehingga dapat menyelesaikan laporan Tesis ini dengan baik.

Laporan Tesis ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Selama penyelesaian Tesis ini, penulis telah mendapat banyak bimbingan dan bantuan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Pertama dan terutama untuk Tuhan Yang Maha Esa karena cinta dan kasih-NYA yang berlimpah, maka penulis diperkenankan-NYA dapat menyelesaikan tesis ini serta memperoleh gelar Magister Teknik Sipil Struktur sesuai dengan waktunya.
2. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M. Eng., IPU, ASEAN ENG dan ibu Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M. Eng., Ph.D. selaku dosen penguji yang sudah memberi masukan yang baik bagi penulis. Terimakasih untuk segala masukannya bagi penulis untuk menyusun penulisan tesis menjadi lebih baik lagi.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Pascasarjana Magister Teknik Sipil Struktur yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Terima

kasih karena telah membimbing dan membagi ilmu selama saya menuntut ilmu dalam perkuliahannya.

5. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan motivasi tanpa henti.
6. Rekan-rekan seperjuangan di Program Magister Teknik Sipil yang telah banyak memberikan dukungan, berbagi pengetahuan, dan semangat dalam penyelesaian studi ini..
7. Semua pihak yang telah membantu dalam bentuk apapun yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi sumbangan kecil bagi pengembangan ilmu di bidang teknik sipil.

Yogyakarta, September 2025

Penyusun

Mario Andro Hipay

## DAFTAR ISI

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| PERSETUJUAN TESIS.....        | i    |
| PENGESAHAN TESIS .....        | ii   |
| PERNYATAAN.....               | iii  |
| INTISARI.....                 | iv   |
| ABSTRACT.....                 | v    |
| KATA PENGANTAR.....           | vi   |
| DAFTAR ISI .....              | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....           | xii  |
| DAFTAR TABEL.....             | xiii |
| DAFTAR SIMBOL .....           | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN.....        | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....      | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....     | 4    |
| 1.3 Batasan Masalah.....      | 4    |
| 1.4 Keaslian Penelitian.....  | 5    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....  | 8    |
| 1.6 Tujuan Penelitian.....    | 9    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA ..... | 10   |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Struktur Beton Bertulang dan Sistem Perkuatan Struktur dengan <i>Bracing</i> | 10 |
| 2.2 <i>Buckling Restrained Brace</i> .....                                       | 12 |
| 2.3 Variasi Peletakan BRB pada Struktur Beton Bertulang .....                    | 14 |
| 2.4 Analisis Kinerja Struktur.....                                               | 16 |
| 2.5 Studi Terdahulu .....                                                        | 17 |
| BAB III LANDASAN TEORI.....                                                      | 20 |
| 3.1 Gempa Bumi dan Beban Gempa pada Struktur .....                               | 20 |
| 3.1.1 Gaya Inersia akibat Gempa .....                                            | 20 |
| 3.1.2 Jenis-jenis Gelombang Gempa .....                                          | 21 |
| 3.1.3 Respons Struktur terhadap Gempa.....                                       | 22 |
| 3.1.4 Kebutuhan Sistem Perkuatan Lateral .....                                   | 22 |
| 3.2 Struktur Beton Bertulang .....                                               | 23 |
| 3.2.1 Karakteristik Beton dan Baja Bertulang .....                               | 23 |
| 3.2.2 Perilaku Kerja Beton Bertulang .....                                       | 24 |
| 3.2.3 Sistem Struktur Beton Bertulang dalam Bangunan Gedung.....                 | 24 |
| 3.2.4 Perilaku Struktur Beton Bertulang terhadap Beban Gempa .....               | 24 |
| 3.2.5 Kelebihan dan Kelemahan Struktur Beton Bertulang.....                      | 25 |
| 3.2.6 Peran Sistem <i>Bracing</i> dalam Struktur Beton .....                     | 26 |
| 3.3 <i>Buckling-Restrained Brace</i> (BRB).....                                  | 26 |
| 3.3.1 Komponen dan Perilaku Kerja BRB.....                                       | 27 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2 Keunggulan BRB .....                                      | 28 |
| 3.3.3 Studi Terkait BRB .....                                   | 28 |
| 3.4 Variasi Peletakan <i>Bracing</i> .....                      | 30 |
| 3.5 <i>SeismoStruct</i> .....                                   | 33 |
| 3.5.1 Fitur dan Kapabilitas Utama <i>SeismoStruct</i> .....     | 34 |
| 3.5.2 Penggunaan <i>SeismoStruct</i> dalam Penelitian Ini ..... | 36 |
| 3.6 Analisis Kinerja Struktur Terhadap Gempa .....              | 37 |
| 3.6.1 Parameter Evaluasi Kinerja.....                           | 37 |
| 3.6.2 Metode Analisis Time history Analisis .....               | 41 |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....                              | 42 |
| 4.1 Jenis dan Desain Penelitian.....                            | 42 |
| 4.2 Data dan Material Penelitian.....                           | 42 |
| 4.2.1 Data Struktur .....                                       | 42 |
| 4.2.2 Material Struktur .....                                   | 43 |
| 4.3 Pemodelan Struktur.....                                     | 45 |
| 4.3.1 Pemodelan <i>Baseline</i> .....                           | 45 |
| 4.3.2 Variasi Peletakan BRB .....                               | 46 |
| 4.4 Data Gempa Input .....                                      | 49 |
| 4.5 Jenis Analisis Struktur.....                                | 50 |
| 4.6 Parameter Kinerja yang Dievaluasi.....                      | 51 |

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 4.6.1 Interstory Drift Ratio (IDR) .....    | 51 |
| 4.6.2 Disipasi Energi .....                 | 52 |
| 4.6.3 <i>Residual drift</i> .....           | 53 |
| 4.7 Kesimpulan .....                        | 54 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....            | 55 |
| 5.1 Hasil .....                             | 55 |
| 5.2 <i>Interstory Drift Ratio</i> .....     | 55 |
| 5.3 Disipasi Gaya dan Kurva Histeresis..... | 59 |
| 5.4 <i>Residual drift</i> .....             | 62 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....           | 64 |
| 6.1 Kesimpulan .....                        | 64 |
| 6.2 Saran.....                              | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                        | 67 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 1. Komponen utama <i>Buckling-Restrained Brace</i> (BRB) .....             | 28 |
| Gambar 4. 1. Struktur <i>Baseline</i> .....                                          | 46 |
| Gambar 4. 2. Variasi Peletakan BRB <i>Mid Bay</i> .....                              | 48 |
| Gambar 4. 3. Variasi Peletakan BRB Perimeter.....                                    | 48 |
| Gambar 4. 4. Variasi Peletakan BRB <i>Hybrid</i> .....                               | 49 |
| Gambar 5. 1. Grafik Perbandingan IDR.....                                            | 56 |
| Gambar 5. 2. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi <i>Baseline</i> ..... | 57 |
| Gambar 5. 3. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi <i>Mid Bay</i> .....  | 57 |
| Gambar 5. 4. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi Perimeter ....        | 58 |
| Gambar 5. 5. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi <i>Hybrid</i> .....   | 58 |
| Gambar 5. 6. Grafik Perbandingan Disipasi Energi.....                                | 60 |
| Gambar 5. 7. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi <i>Baseline</i> .....     | 61 |
| Gambar 5. 8. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi <i>Mid Bay</i> .....      | 61 |
| Gambar 5. 9. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi Perimeter .....           | 62 |
| Gambar 5. 10. Kurva Histeresis (gaya – perpindahan) Variasi <i>Hybrid</i> .....      | 62 |
| Gambar 5. 11. Grafik Perbandingan <i>Residual drift</i> Setiap Lantai .....          | 63 |

## DAFTAR TABEL

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4. 1. Dimensi Elemen Struktur .....                    | 42 |
| Tabel 4. 2. Material Beton.....                              | 43 |
| Tabel 4. 3. Material Baja .....                              | 44 |
| Tabel 4. 4. Material BRB .....                               | 45 |
| Tabel 4. 5. Data Gempa.....                                  | 50 |
| Tabel 5. 1. Perbandingan Nilai IDR.....                      | 56 |
| Tabel 5. 2. Perbandingan Hasil Disipasi Energi.....          | 59 |
| Tabel 5. 3. Perbandingan Hasil Maksimum Residual drift ..... | 63 |

## DAFTAR SIMBOL

|                |   |                                                                                                 |
|----------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_i$          | : | Gaya internal/ <i>bracing</i> pada langkah analisis ke- $i$ (kN)                                |
| $F_{i+1}$      | : | Gaya internal/ <i>bracing</i> pada langkah analisis ke- $(i+1)$ (kN)                            |
| $\Delta_i$     | : | <i>Displacement</i> (perpindahan) pada langkah ke- $i$ (mm)                                     |
| $\Delta_{i+1}$ | : | <i>Displacement</i> (perpindahan) pada langkah ke- $(i+1)$ (mm)                                 |
| Ediss          | : | Energi disipasi total struktur (kN·m)                                                           |
| $h_i$          | : | Tinggi lantai ke- $i$ (m)                                                                       |
| $\Delta$       | : | Simpangan antar lantai (mm atau m)                                                              |
| $\Delta/h$     | : | <i>Interstory Drift Ratio</i> (IDR), perbandingan simpangan antar lantai terhadap tinggi lantai |
| $T_1$          | : | Periode fundamental struktur (detik)                                                            |
| $\zeta$        | : | Rasio redaman ( <i>damping ratio</i> , %)                                                       |
| $M$            | : | Massa total struktur (ton)                                                                      |
| $K$            | : | Kekakuan struktur (kN/m)                                                                        |
| $C$            | : | Koefisien redaman (kN·s/m)                                                                      |
| $a(t)$         | : | Riwayat percepatan gempa pada waktu $t$ (m/s <sup>2</sup> )                                     |
| $u(t)$         | : | Riwayat perpindahan struktur pada waktu $t$ (m)                                                 |
| $\dot{u}(t)$   | : | Kecepatan struktur pada waktu $t$ (m/s)                                                         |
| $\ddot{u}(t)$  | : | Percepatan struktur pada waktu $t$ (m/s <sup>2</sup> )                                          |