

TESIS

**SIMULASI NUMERIK KOLOM BETON BERTULANG  
BERPENGEKANG GANDA TERHADAP BEBAN  
MONOTONIK AKSIAL DAN SIKLIK LATERAL**



**ADVENTINO DWI KURNIAWAN**

**NPM: 235119712**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**PROGRAM MAGISTER**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

**2025**



## **FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

---

### **PERSETUJUAN TESIS**

Nama : Adventino Dwi Kurniawan  
Nomor Mahasiswa : 235119712  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Simulasi Numerik Kolom Beton Bertulang Berpengekang  
Ganda Terhadap Beban Monotonik Aksial dan Siklik  
Lateral

**Dosen Pembimbing**

**Tanggal Tanda Tangan**

Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng. 11/08/2021-.....



## FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

### PENGESAHAN TESIS

Nama : Adventino Dwi Kurniawan  
Nomor Mahasiswa : 235119712  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Simulasi Numerik Kolom Beton Bertulang Berpengekang  
Ganda Terhadap Beban Monotonik Aksial dan Siklik  
Lateral

#### Nama Penguji

#### Tanggal Tanda tangan

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

11/08/2025

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.  
(Sekretaris)

11/08/2025

Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D.  
(Anggota)

11/08/2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi



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

## **HALAMAN PERNYATAAN**

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul:

**SIMULASI NUMERIK KOLOM BETON BERTULANG  
BERPENGEKANG GANDA TERHADAP BEBAN MONOTONIK AKSIAL  
DAN SIKLIK LATERAL**

benar-benar merupakan hasil karya pendalaman akademik sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian, maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti di kemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Sleman, 11 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan

Adventino Dwi Kurniawan

## INTISARI

Kolom beton bertulang memegang peranan penting dalam struktur bangunan tahan gempa karena harus memiliki kapasitas aksial tinggi, daktilitas, dan ketahanan deformasi yang baik. Kegagalan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total bangunan. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan kinerja kolom adalah penggunaan sistem sengkang berlapis ganda yang terbukti mampu meningkatkan kekuatan aksial, daktilitas, dan ketahanan deformasi lateral.

Penelitian ini menganalisis kinerja kolom beton bertulang dengan sistem pengekangan ganda melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Abaqus/CAE Learning Edition 2023. Tiga jenis spesimen diuji, yaitu tanpa pengekangan, pengekangan tunggal, dan pengekangan ganda. Variasi yang dianalisis seperti misalnya bentuk sengkang bagian dalam (lingkaran dan spiral), jarak antar lapisan sengkang, jumlah tulangan longitudinal, dan bentuk penampang kolom. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembebanan aksial monotonik dan kombinasi aksial monotonik serta lateral siklik.

Hasil menunjukkan bahwa sistem pengekangan ganda meningkatkan kekuatan aksial, daktilitas, dan deformasi. Sengkang spiral lebih efektif meningkatkan daktilitas, sedangkan sengkang lingkaran menunjukkan kapasitas aksial lebih tinggi.

**Kata kunci: Kolom beton bertulang, pengekangan ganda, beban aksial monotonik, siklik lateral, metode elemen hingga.**

## **ABSTRACT**

*Reinforced concrete columns play an important role in earthquake-resistant building structures because they must have high axial capacity, ductility, and good deformation resistance. Column failure can lead to the complete collapse of the building. One effective method to improve column performance is the use of double-layered stirrups which have been proven to be able to increase axial strength, ductility, and lateral deformation resistance.*

*This study analyzes the performance of reinforced concrete columns with a double confinement system through numerical simulations using Abaqus/CAE Learning Edition 2023 software. Three types of specimens were tested, namely unconfined (no confinement), singly confined (one layer of confinement), and doubly confined specimens (two layers of confinement). The variations analyzed are such as the shape of the inner single (circle and spiral), the distance between the single layers, the number of longitudinal reinforcements, and the cross-sectional shape of the column. The test was carried out in two stages, namely monotonic axial loading and a combination of monotonic and cyclic lateral.*

*The results show that the double-confinement system improves axial strength, ductility, and deformation. Spiral stirrups are more effective in increasing ductility, while circular stirrups show higher axial capacity.*

**Keywords:** *Reinforced concrete columns, double confinement, monotonic axial loads, lateral cyclic, finite element methods.*

## KATA HANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis berjudul *"Simulasi Numerik Kolom Beton Bertulang Berpengekang Ganda terhadap Beban Monotonik Aksial dan Siklik Lateral"*.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, serta sebagai bentuk kontribusi terhadap pengembangan ilmu di bidang rekayasa struktur, khususnya dalam desain elemen beton bertulang yang lebih tangguh terhadap beban dinamis.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada::

1. Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng., dan Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng., selaku dosen pembimbing atas bimbingan, masukan, dan motivasi selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.
2. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., dan Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku tim penguji atas kritik dan saran yang membangun.
3. Seluruh civitas akademika Universitas Atma Jaya Yogyakarta, khususnya Program Studi Magister Teknik Sipil, atas segala dukungan, fasilitas, dan lingkungan akademik yang kondusif.
4. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dana, doa, serta semangat selama penyusunan Laporan Tesis ini.
5. Saudari Any Widyasari, S.Pd., sebagai penyemangat utama di tengah tantangan penyusunan karya ini, dan atas cinta, dukungan, serta pengertian yang menjadi bagian penting dari keberhasilan tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan dan pihak lain yang turut membantu selama proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa depan. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi dunia akademik dan praktisi teknik sipil di Indonesia.

## DAFTAR ISI

|                                                                                                                               |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>PERSETUJUAN TESIS .....</b>                                                                                                | <b>ii</b>   |
| <b>PENGESAHAN TESIS.....</b>                                                                                                  | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>                                                                                                | <b>iv</b>   |
| <b>INTISARI .....</b>                                                                                                         | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                         | <b>vi</b>   |
| <b>KATA HANTAR.....</b>                                                                                                       | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                                                                        | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                                                                     | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                                                                     | <b>xii</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                                                                 | <b>1</b>    |
| A. Latar Belakang .....                                                                                                       | 1           |
| B. Rumusan Masalah .....                                                                                                      | 3           |
| C. Tujuan .....                                                                                                               | 4           |
| D. Batasan Masalah.....                                                                                                       | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                                                                           | <b>6</b>    |
| <b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>                                                                                            | <b>11</b>   |
| A. Kolom Beton Bertulang .....                                                                                                | 11          |
| B. Peranan Sengkang pada Kolom Beton Bertulang .....                                                                          | 12          |
| C. Hukum Konstitutif untuk Beton dan Baja.....                                                                                | 13          |
| D. Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ) dalam Analisis Struktur dan Pertimbangan Efek <i>Bond-Slip</i> ..... | 16          |
| E. Kegagalan Struktural pada Kolom Beton Bertulang.....                                                                       | 19          |
| <b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                                                                                     | <b>21</b>   |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| A. Desain Penelitian.....                                        | 21        |
| B. Pelaksanaan Penelitian .....                                  | 24        |
| C. Pemodelan Numerik.....                                        | 24        |
| <b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>               | <b>50</b> |
| A. Perilaku Beban – Regangan .....                               | 51        |
| B. Pengaruh lapisan dalam.....                                   | 56        |
| C. Pengaruh bentuk penampang kolom .....                         | 63        |
| D. Tekanan Pengekangan Pada Kolom dan Kekuatan Puncak.....       | 65        |
| E. Kombinasi Pembebanan Monotonik Aksial dan Siklik Lateral..... | 72        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>                          | <b>83</b> |
| A. Kesimpulan .....                                              | 83        |
| B. Saran.....                                                    | 85        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>86</b> |

## **DAFTAR GAMBAR**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1 Riwayat pembebanan lateral .....                                | 22 |
| Gambar 2 Model spesimen.....                                             | 23 |
| Gambar 3 Pemodelan kolom (part) .....                                    | 27 |
| Gambar 4 Pemodelan tulangan baja (part).....                             | 29 |
| Gambar 5 Pemodelan objek spiral pada AutoCAD 2025 (Student Version)..... | 30 |
| Gambar 6 Langkah impor objek spiral pada Abaqus (Bagian 1).....          | 30 |
| Gambar 7 Langkah impor objek spiral pada Abaqus (Bagian 2).....          | 31 |
| Gambar 8 Langkah impor objek spiral pada Abaqus (Bagian 3).....          | 31 |
| Gambar 9 Langkah impor objek spiral pada Abaqus (Bagian 4).....          | 32 |
| Gambar 10 Visualiasasi Concrete Compressive Behavior.....                | 35 |
| Gambar 11 Visualiasasi Concrete Compression Damage.....                  | 35 |
| Gambar 12 Visualisasi Concrete Tensile Behavior .....                    | 36 |
| Gambar 13 Visualisasi Concrete Tension Damage.....                       | 36 |
| Gambar 14. Model konstitutif baja tulangan.....                          | 38 |
| Gambar 15 Edit step - Basic.....                                         | 41 |
| Gambar 16 Edit step - Incrementation .....                               | 41 |
| Gambar 17 Constraint pada pemodelan numerik.....                         | 43 |
| Gambar 18 Constrain tipe coupling .....                                  | 44 |
| Gambar 19 Constraint tipe Embedded Region.....                           | 44 |
| Gambar 20 Meshing kolom.....                                             | 48 |
| Gambar 21. Pengaruh lapisan dalam pada spesimen SC, C85, dan S85.....    | 57 |
| Gambar 22. Pengaruh bentuk pengeang dalam (Mengabaikan bond-slip) .....  | 58 |
| Gambar 23 Pengaruh bentuk pengeang dalam (Bond-slip) .....               | 59 |
| Gambar 24. Pengaruh bentuk pengeang dalam (Mengabaikan bond-slip) .....  | 59 |
| Gambar 25 Pengaruh bentuk pengeang dalam (bond-slip).....                | 60 |
| Gambar 26. Dampak rasio proksimitas pada lapisan dalam melingkar .....   | 61 |
| Gambar 27 Dampak rasio proksimitas pada lapisan dalam spiral .....       | 62 |
| Gambar 28 Pengaruh penggunaan tulangan longitudinal tambahan.....        | 63 |
| Gambar 29 Pengaruh penggunaan tulangan longitudinal tambahan.....        | 63 |
| Gambar 30 Pengaruh bentuk penampang kolom .....                          | 65 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 31 Pengaruh bentuk penampang kolom .....                        | 65 |
| Gambar 32 Kurva hysteresis spesimen C85-S-MACL .....                   | 73 |
| Gambar 33 Kurva hysteresis spesimen S85-S-MACL.....                    | 74 |
| Gambar 34 Kurva hysteresis spesimen C85-S-MACL (BS).....               | 74 |
| Gambar 35 Kurva hysteresis spesimen S85-S-MACL.....                    | 74 |
| Gambar 36 Kurva tulang punggung .....                                  | 75 |
| Gambar 37 Kurva degradasi kekakuan (C85-S-MACL, Perfect Bonding) ..... | 75 |
| Gambar 38 Kurva degradasi kekakuan (C85-S-MACL, Bond Slip) .....       | 75 |
| Gambar 39 Kurva degradasi kekakuan (S85-S-MACL, Perfect Bonding).....  | 76 |
| Gambar 40 Kurva degradasi kekakuan (S85-S-MACL, Bond Slip).....        | 76 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 Detail bentuk, dimensi, dan spasi tulangan transversal .....               | 22 |
| Tabel 2 Jumlah simpul, elemen, dan tipe .....                                      | 32 |
| Tabel 3 Sifat mekanis beton .....                                                  | 34 |
| Tabel 4 Sifat mekanis baja .....                                                   | 38 |
| Tabel 5 Faktor reduksi tulangan (bond-slip) .....                                  | 38 |
| Tabel 6 Sifat mekanis baja yang digunakan .....                                    | 39 |
| Tabel 7 Karakteristik spesimen uji .....                                           | 50 |
| Tabel 8 Karakteristik spesimen uji (lanjutan) .....                                | 51 |
| Tabel 9. Hasil pembebanan monotonik aksial .....                                   | 51 |
| Tabel 9. Hasil pembebanan monotonik aksial (lanjutan) .....                        | 52 |
| Tabel 10 Hasil pembebanan monotonik aksial dengan penyesuaian hari pengujian ..... | 52 |
| Tabel 11 Efektivitas pengekangan lapisan luar .....                                | 69 |
| Tabel 12 Efektivitas pengekangan bagian dalam .....                                | 70 |
| Tabel 13 Efektivitas pengekangan rata-rata dan kekuatan puncak .....               | 71 |
| Tabel 14 Efektivitas pengekangan rata-rata dan kekuatan puncak (lanjutan) .....    | 71 |
| Tabel 15 Kekakuan, drift ratio, dan disipasi energi .....                          | 77 |
| Tabel 16 Kekakuan, drift ratio, dan disipasi energi (lanjutan) .....               | 77 |