

**TUGAS AKHIR**

**EFEK PENGEKANGAN KOLOM BETON BERTULANG TERHADAP  
PERILAKU KERUNTUHAN DAN *FORCE-DISPLACEMENT*  
MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD* (FEM)**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Gelar Sarjana S-1  
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Lambung Mangkurat

Dibuat:

**Nibrasa Muhammad Nafis**

**NIM. 2110811310070**

**Dosen Pembimbing:**

**Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.**

**NIP. 19790723 200501 2 005**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL  
BANJARBARU**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL**

**EFEK PENGEKANGAN KOLOM BETON BERTULANG TERHADAP  
PERILAKU KERUNTUHAN DAN *FORCE-DISPLACEMENT*  
MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD* (FEM)**

Oleh

**Nibrasa Muhammad Nafis (2110811310070)**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 19 Juni 2025 dan dinyatakan

**L U L U S**

**Komite Penguji :**

**Ketua : Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D**

**NIP. 19900306 202203 2 010**

**Anggota 1 : Ir. Wiku Adhiwicaksana Krasna, S.T., M.Eng., Ph.D**

**NIP. 19860628 201212 1 002**

**Anggota 2 : Ir. Darmansyah Tjitradi, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**

**NIP. 19750319 200003 1 001**

**Pembimbing : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.**

**Utama NIP. 19790723 200501 2 005**

Banjarbaru, 19 Juni 2025

Diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik**

**Fakultas Teknik ULM,**

**Dr. Mahmud, S.T., M.T.**

**NIP. 19740107 199802 1 001**

**Koordinator Program Studi**

**S-1 Teknik Sipil,**

**Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T.**

**NIP. 19720826 199802 1 001**

**EFEK PENGEKANGAN KOLOM BETON BERTULANG TERHADAP  
PERILAKU KERUNTUHAN DAN FORCE-DISPLACEMENT  
MENGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD (FEM)**

**Nibrasa Muhammad Nafis<sup>1</sup>, Nursiah Chairunnisa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

<sup>2</sup>Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: [nafisnibrasa@gmail.com](mailto:nafisnibrasa@gmail.com)

**ABSTRAK**

Dalam bidang teknik sipil dan rekayasa struktural, kolom merupakan elemen yang penting dalam menahan beban aksial dan lentur pada struktur bangunan. Kolom berfungsi untuk mendistribusikan beban dari lantai ke pondasi dan menjaga stabilitas bangunan. Dalam perancangan kolom, analisis yang akurat diperlukan untuk memastikan bahwa kolom mampu menahan beban yang diharapkan serta sesuai dengan peraturan dan standar keselamatan.

Penelitian ini membahas analisis pengaruh pengekangan pada kolom beton bertulang terhadap perilaku keruntuhan dan hubungan *Force-Displacement* menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*, FEM). Dengan memanfaatkan perangkat lunak ABAQUS, berbagai model kolom diuji dengan variasi jarak sengkang serta pola pengekangan untuk mengamati perubahan kekuatan tekan, daktilitas, dan pola keruntuhan.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kolom dengan pengekangan bujur sangkar memiliki kapasitas beban aksial dan lateral tertinggi dibandingkan model lainnya, serta menghasilkan tegangan beton dan tegangan pada tulangan longitudinal yang lebih besar. Tegangan tertinggi terjadi pada tulangan longitudinal, yang mencapai leleh pada displacement 6,25 mm dan drift ratio 0,5%. Semakin besar displacement atau drift ratio, semakin tinggi tegangan yang terjadi. Bentuk dan jarak pengekangan terbukti sangat memengaruhi kinerja struktur kolom.

**Kata Kunci:** Pengekangan, Kolom, Beton Bertulang, Metode Elemen Hingga, *Force-Displacement*, Daktilitas

# EFFECTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMN RESTRAINT ON COLLAPSE BEHAVIOR AND FORCE-DISPLACEMENT USING FINITE ELEMENT METHOD (FEM)

Nibrasa Muhammad Nafis<sup>1</sup>, Nursiah Chairunnisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate Student of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University

<sup>2</sup>Lecturer of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University

Jl. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: [nafisnibrasa@gmail.com](mailto:nafisnibrasa@gmail.com)

## ABSTRACT

*In civil engineering and structural engineering, columns are an important element in resisting axial and flexural loads in building structures. Columns serve to distribute loads from the floor to the foundation and maintain building stability. In column design, accurate analysis is required to ensure that the columns are able to withstand the expected loads and comply with safety regulations and standards.*

*This research analyzes the effect of restraints on reinforced concrete columns regarding collapse behavior and force-displacement relationships using the Finite Element Method (FEM). Through ABAQUS simulations, column models with varying stirrup spacing and restraint patterns were tested to evaluate changes in compressive strength, ductility, and failure modes. The study is supported by a review of concrete and steel properties, column behavior, drift ratio, and relevant codes such as SNI, ATC-40, and FEMA 356. Results show that tighter confinement improves axial capacity and ductility, offering useful insights for more efficient and earthquake-resistant column design.*

*The modeling results showed that columns with square restraints had the highest axial and lateral load capacity compared to the other models, and produced greater concrete stress and stress in the longitudinal reinforcement. The highest stresses occurred in the longitudinal reinforcement, which reached yield at a displacement of 6.25 mm and a drift ratio of 0.5%. The larger the displacement or drift ratio, the higher the stresses. The shape and spacing of the restraints proved to greatly affect the performance of the column structure.*

**Keywords:** *Restraint, Column, Reinforced Concrete, Finite Element Method, Force-Displacement, Ductility*

## LEMBAR ASISTENSI

 <p style="text-align: center;">KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL BANJARBARU</p>			LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR							
			KEHADIRAN							
No	Nama	NIM	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	NIBRASA MUHAMMAD NAFIS	2110811310070								

## KEGIATAN ASISTENSI

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	26 Agustus 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membahas pokok bahasan dan judul penelitian</li> <li>• Membahas jenis-jenis struktur yang dapat dimodelkan</li> </ul>	
2	29 Agustus 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membahas pokok bahasan</li> <li>• Membahas model benda uji yang dimodelkan</li> </ul>	
3	17 September 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membahas susunan penulisan latar belakang secara runtut dan jelas</li> <li>• Perumusan masalah dan batasan masalah penelitian</li> </ul>	
4	31 Desember 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membahas jurnal-jurnal penelitian terdahulu</li> <li>• Trial permodelan di <i>software</i></li> </ul>	
5	07 Januari 2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trial permodelan dengan mengubah data <i>concrete compression damage parameter</i> dan <i>concrete tensile damage parameter</i></li> <li>• Trial permodelan dengan mengganti diameter tulangan dan luas penampang</li> </ul>	
6	09 Januari 2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mencari referensi tentang kolom yang pernah dianalisis oleh laboratorium</li> <li>• Mencari jurnal untuk memvalidasi hasil model</li> <li>• Trial permodelan dengan lendutan maksimum 20 mm dan 10 mm</li> <li>• Membandingkan hasil permodelan dengan lendutan maksimum yang</li> </ul>	

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
		berbeda-beda <ul style="list-style-type: none"> <li>Mencari hasil kapasitas kolom dengan <i>software SpColumn</i></li> </ul>	
7	10 Januari 2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menambahkan jurnal tentang <i>concrete compression femdamage parameter</i> dan <i>concrete tensile damage parameter</i></li> <li>Mempelajari tentang rasio tulangan sengkang</li> </ul>	
8	13 Januari 2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perbaiki penulisan</li> </ul>	
9	03 Maret 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mencari Materi terkait <i>Drift ratio</i></li> <li>Mencari Batas Tinggi Kolom yang Diperlukan</li> </ul>	
10	12 Maret 2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coba menambahkan Amplitude Column</li> <li>Cek Hasil dari berbagai <i>Drift ratio</i> dan Bandingkan</li> <li>Perbaiki Penulisan</li> </ul>	

Banjarbaru, Juni 2025

Dosen Pembimbing

**Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.**

**NIP. 19790723 200501 2 005**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Efek Pengekangan Kolom Beton Bertulang Terhadap Perilaku Keruntuhan Dan *Force-Displacement* Menggunakan *Finite Element Method* (FEM)”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan mahasiswa/i Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi baik berupa bantuan maupun dukungan, untuk itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang terlibat selama penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Sadik Ikhsan, DAD, M. Sc dan Ibu Hj. Ayu Herlina Rustam, S. Hut, M. Pd selaku orang tua tercinta beserta saudara-saudara saya Nafiri Muhammad Kautsar dan Alexander Muhammad Rumi atas segala bentuk dukungan motivasi dan doa selama ini.
2. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
3. Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, penjelasan, dan ilmu kepada saya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc., Ibu Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Wiku Adhiwicaksana Krasna, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku dosen di Laboratorium Struktur dan Material FT ULM yang telah memberikan banyak ilmu dan saran selama masa bimbingan tugas akhir ini.
5. Segenap dosen Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan banyak ilmu kepada kami.
6. Rekan-rekan Instruktur Laboratorium Struktur dan Material, khususnya kepada Naek, Kamil, Fajar, dan Ihda, serta teman-teman magang yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Segenap rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Sipil, khususnya kepada rekan-rekan Divisi 3 yang telah banyak memberikan pengalaman dan dukungan.

8. Sege nap teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2021, khususnya kepada sipil pender wara yang telah berjuang bersama dari awal memulai perkuliahan di Teknik Sipil hingga saat ini.

Akhir kata, saya menyadari penyusunan Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang membangun agar Tugas Akhir ini lebih baik lagi. Saya berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Banjarbaru, Januari 2025

Penulis

Nibrasa Muhammad Nafis

NIM. 2110811310070

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR ASISTENSI</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxv</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan Penelitian.....	3
1.4    Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II</b> .....	<b>5</b>
1.    Beton .....	5
2.1.1.    Pengertian Beton .....	5
2.1.2.    Mutu Beton .....	6
2.1.3.    Jenis-Jenis Beton.....	6
2.1.4.    Kelebihan dan Kekurangan Beton .....	8
2.1.5.    Sifat Mekanik Beton .....	9
2.1.6.    Susut dan Rangkak Beton .....	11
2.    Baja Tulangan .....	11
2.2.1.    Jenis Baja Tulangan .....	13
2.2.2.    Sifat Material Baja .....	17
3.    Fungsi Utama Beton dan Baja Tulangan.....	21
4.    Kolom.....	22
2.4.1    Pengertian Kolom.....	23

2.4.2	Jenis-Jenis Kolom .....	24
2.4.3	Jenis Tulangan pada Kolom .....	26
2.4.4	Perilaku Kolom dengan Beban Aksial .....	32
2.4.5	Persyaratan Peraturan SNI 2847:2019 untuk Kolom.....	33
5.	Kolom Panjang.....	38
2.5.1	Pengertian.....	38
2.5.2	Panjang Efektif Kolom.....	39
2.5.3	Batasan Rasio Kelangsingan .....	39
6.	Daktilitas Beton.....	39
7.	<i>Drift ratio Column Capacity</i> .....	41
2.7.1.	Faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Rasio <i>Drift</i> Kolom .....	43
2.7.2.	Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40).....	45
2.7.3.	Metode Koefisien <i>Displacement</i> (FEMA 356) .....	47
2.7.4.	Sendi Plastis .....	48
8.	Hubungan Beban Lendutan ( <i>Force-Displacement</i> ) Beton.....	49
2.8.1	Beban ( <i>Force</i> ) .....	50
2.8.2	Lendutan ( <i>Displacement</i> ).....	51
9.	<i>Finite Element Method</i> (FEM).....	53
10.	<i>Software SpColumn</i> .....	53
11.	<i>Software ABAQUS 2020</i> .....	54
12.	Penelitian Terdahulu.....	58
2.10.1	Penelitian oleh Anam (2024) tentang Perbandingan Kapasitas Kolom Beton Bertulang Berdasarkan Variasi Bentuk Sengkang dengan Analisis <i>Finite Elemenet Method</i> .....	58
2.10.2	Penelitian oleh Silaban (2020) tentang Permodelan Pengekangan Kolom Pada Beton Mutu Normal Dengan Metode Elemen Hingga 3-D.....	59

2.10.3	Penelitian oleh Kurniansyah (2013) tentang Pengaruh Pengekangan ( <i>Confinement</i> ) dengan Variasi Jarak Sengkang Terhadap Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom .....	59
<b>BAB III</b>	.....	<b>61</b>
3.1	Diagram Alir.....	61
3.2	Waktu dan Tempat.....	62
3.3	Jumlah dan Pengelompokkan Model .....	62
3.4	Studi Literatur .....	70
3.5	Tahapan Penelitian .....	70
3.5.1	Pengumpulan data .....	70
3.5.2	Memodelkan dengan Program ABAQUS 2020 .....	73
<b>BAB IV</b>	.....	<b>80</b>
4.1.	Permodelan Benda Uji .....	80
4.1.1.	Validasi Model Benda Uji.....	80
4.1.2.	Hasil Model Benda Uji.....	83
4.2.	Hasil Analisis <i>Force-Displacement</i> .....	89
4.2.1.	<i>Force-Displacement</i> Akibat Beban Aksial.....	89
4.2.2.	<i>Force-Displacement</i> Akibat Beban Lateral.....	108
4.3.	Hasil Analisis Tegangan ( <i>Stress</i> ).....	130
4.3.1	Hasil Analisis Tegangan Akibat Beban Aksial.....	131
4.4.	Analisis Pola Keruntuhan.....	134
4.4.1.	Pola Keruntuhan Akibat Beban Aksial.....	134
4.4.2.	Pola Keruntuhan Akibat Beban Lateral .....	181
<b>BAB V</b>	.....	<b>227</b>
5.1	Kesimpulan .....	229
5.2	Saran.....	230
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>231</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos .....	18
Tabel 2. 2 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir.....	19
Tabel 2. 3 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ).....	34
Tabel 2. 4 Batas Simpangan Antar Tingkat ATC-40 .....	46
Tabel 2. 5 Tabel Tingkat Kinerja Struktural dan Kerusakan untuk Rangka Beton	48
Tabel 2. 6 Tingkat Kerusakan Struktur .....	49
Tabel 2. 7 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum .....	52
Tabel 3. 1 Jumlah dan Pengelompokkan Model Benda Uji Kontrol.....	62
Tabel 3. 2 Jumlah dan Pengelompokkan Model Benda Uji untuk Beban Aksial .	62
Tabel 3. 3 Jumlah dan Pengelompokkan Model Benda Uji untuk Beban Lateral	66
Tabel 3. 4 <i>Concrete Compression Damage Parameter</i> .....	71
Tabel 3. 5 <i>Concrete Tensile Damage Parameter</i> .....	72
Tabel 3. 6 Nilai Lendutan untuk <i>Drift Ratio</i> .....	79
Tabel 4. 1 Hasil Model Benda Uji Kontrol dari <i>Software SpColumn</i> .....	82
Tabel 4. 2 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Senggang 100 mm.....	100
Tabel 4. 3 Peningkatan Hasil Beban Benda Uji dengan Jarak Senggang 100 mm .....	101
Tabel 4. 4 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Senggang 150 mm.....	102
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Beban Maksimum P-100 dan P-150 .....	103
Tabel 4. 6 Peningkatan Hasil Beban Benda Uji dengan Jarak Senggang 150 mm .....	103
Tabel 4. 7 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Senggang 200 mm.....	105
Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Beban Maksimum P-100 dan P-200 .....	105
Tabel 4. 9 Peningkatan Hasil Beban Benda Uji dengan Jarak Senggang 200 mm .....	106
Tabel 4. 10 Nilai Daktilitas Model Benda Uji Akibat Beban Aksial .....	107

Tabel 4. 11 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Sengkang 100 mm.....	123
Tabel 4. 12 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Sengkang 150 mm.....	124
Tabel 4. 13 Perbandingan Hasil Beban Maksimum P-100 dan P-150 .....	125
Tabel 4. 14 Beban Maksimum dan Nilai <i>Displacement</i> pada Benda Uji Jarak Sengkang 200 mm.....	126
Tabel 4. 15 Perbandingan Hasil Beban Maksimum P-100 dan P-200 .....	127
Tabel 4. 16 Nilai Daktilitas Model Benda Uji Akibat Beban Lateral .....	127
Tabel 4. 17 Tingkat Kinerja Struktural dan Kerusakan Model Benda Uji.....	128
Tabel 4. 18 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda uji FD-P1 .....	131
Tabel 4. 19 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda uji FD-P2 .....	131
Tabel 4. 20 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda uji FD-P3 .....	132
Tabel 4. 21 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda uji FD-P4 .....	132
Tabel 4. 22 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda uji FD-P5 .....	132
Tabel 4. 23 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda Uji dengan Jarak Sengkang 100 mm .....	133
Tabel 4. 24 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda Uji dengan Jarak Sengkang 150 mm .....	133
Tabel 4. 25 Hasil Tegangan Maksimum Model Benda Uji dengan Jarak Sengkang 200 mm .....	133
Tabel 4. 26 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D6,25 .....	135
Tabel 4. 27 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D12,5 .....	135
Tabel 4. 28 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D25 .....	136
Tabel 4. 29 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D50 .....	136
Tabel 4. 30 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D75 .....	137

Tabel 4. 31 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-100-D100 .....	137
Tabel 4. 32 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D6,25 .....	138
Tabel 4. 33 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D12,5 .....	138
Tabel 4. 34 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D25 .....	139
Tabel 4. 35 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D50 .....	139
Tabel 4. 36 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D75 .....	140
Tabel 4. 37 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-150-D100 .....	140
Tabel 4. 38 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D6,25 .....	141
Tabel 4. 39 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D12,5 .....	141
Tabel 4. 40 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D25 .....	142
Tabel 4. 41 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D50 .....	142
Tabel 4. 42 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D75 .....	143
Tabel 4. 43 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P1-200-D100 .....	143
Tabel 4. 44 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D6,25 .....	144
Tabel 4. 45 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D12,5 .....	144
Tabel 4. 46 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D25 .....	145

Tabel 4. 47 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D50 .....	145
Tabel 4. 48 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D75 .....	146
Tabel 4. 49 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-100-D100 .....	146
Tabel 4. 50 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D6,25 .....	147
Tabel 4. 51 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D12,5 .....	147
Tabel 4. 52 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D25 .....	148
Tabel 4. 53 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D50 .....	148
Tabel 4. 54 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D75 .....	149
Tabel 4. 55 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-150-D100 .....	149
Tabel 4. 56 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D6,25 .....	150
Tabel 4. 57 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D12,5 .....	150
Tabel 4. 58 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D25 .....	151
Tabel 4. 59 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D50 .....	151
Tabel 4. 60 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D75 .....	152
Tabel 4. 61 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P2-200-D100 .....	152
Tabel 4. 62 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D6,25 .....	153

Tabel 4. 63 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D12,5 .....	153
Tabel 4. 64 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D25 .....	154
Tabel 4. 65 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D50 .....	154
Tabel 4. 66 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D75 .....	155
Tabel 4. 67 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-100-D100 .....	155
Tabel 4. 68 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D6,25 .....	156
Tabel 4. 69 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D12,5 .....	156
Tabel 4. 70 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D25 .....	157
Tabel 4. 71 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D50 .....	157
Tabel 4. 72 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D75 .....	158
Tabel 4. 73 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-150-D100 .....	158
Tabel 4. 74 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D6,25 .....	159
Tabel 4. 75 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D12,5 .....	159
Tabel 4. 76 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D25 .....	160
Tabel 4. 77 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D50 .....	160
Tabel 4. 78 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D75 .....	161

Tabel 4. 79 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P3-200-D100 .....	161
Tabel 4. 80 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D6,25 .....	162
Tabel 4. 81 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D12,5 .....	162
Tabel 4. 82 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D25 .....	163
Tabel 4. 83 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D50 .....	163
Tabel 4. 84 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D75 .....	164
Tabel 4. 85 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D100 .....	164
Tabel 4. 86 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D6,25 .....	165
Tabel 4. 87 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D12,5 .....	165
Tabel 4. 88 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D25 .....	166
Tabel 4. 89 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D50 .....	166
Tabel 4. 90 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D75 .....	167
Tabel 4. 91 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D100 .....	167
Tabel 4. 92 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D,25 .....	168
Tabel 4. 93 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D12,5 .....	168
Tabel 4. 94 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D25 .....	169

Tabel 4. 95 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D50 .....	169
Tabel 4. 96 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D75 .....	170
Tabel 4. 97 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D100 .....	170
Tabel 4. 98 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D6,25 .....	171
Tabel 4. 99 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D12,5 .....	171
Tabel 4. 100 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D25 .....	172
Tabel 4. 101 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D50 .....	172
Tabel 4. 102 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D75 .....	173
Tabel 4. 103 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-100-D100 .....	173
Tabel 4. 104 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-D6,25 .....	174
Tabel 4. 105 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-D12,5 .....	174
Tabel 4. 106 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-D25 .....	175
Tabel 4. 107 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-2% .....	175
Tabel 4. 108 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-D75 .....	176
Tabel 4. 109 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-150-D100 .....	176
Tabel 4. 110 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D6,25 .....	177

Tabel 4. 111 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D12,5 .....	177
Tabel 4. 112 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D25 .....	178
Tabel 4. 113 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D50 .....	178
Tabel 4. 114 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D75 .....	179
Tabel 4. 115 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P5-200-D100 .....	179
Tabel 4. 116 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-0,25%.....	182
Tabel 4. 117 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-0,5%.....	182
Tabel 4. 118 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-1%.....	183
Tabel 4. 119 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-2%.....	183
Tabel 4. 120 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-3%.....	184
Tabel 4. 121 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-100-4%.....	184
Tabel 4. 122 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-0,25%.....	185
Tabel 4. 123 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-0,5%.....	185
Tabel 4. 124 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-1%.....	186
Tabel 4. 125 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-2%.....	186
Tabel 4. 126 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-3%.....	187

Tabel 4. 127 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-150-4% .....	187
Tabel 4. 128 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-0,25% .....	188
Tabel 4. 129 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-0,5% .....	188
Tabel 4. 130 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-1% .....	189
Tabel 4. 131 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-2% .....	189
Tabel 4. 132 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-3% .....	190
Tabel 4. 133 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P1-200-4% .....	190
Tabel 4. 134 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-0,25% .....	191
Tabel 4. 135 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-0,5% .....	191
Tabel 4. 136 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-1% .....	192
Tabel 4. 137 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-2% .....	192
Tabel 4. 138 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-3% .....	193
Tabel 4. 139 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-100-4% .....	193
Tabel 4. 140 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-0,25% .....	194
Tabel 4. 141 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-0,5% .....	194
Tabel 4. 142 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-1% .....	195

Tabel 4. 143 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-2% .....	195
Tabel 4. 144 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-3% .....	196
Tabel 4. 145 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-150-4% .....	196
Tabel 4. 146 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-0,25% .....	197
Tabel 4. 147 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-0,5% .....	197
Tabel 4. 148 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-1% .....	198
Tabel 4. 149 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-2% .....	198
Tabel 4. 150 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-3% .....	199
Tabel 4. 151 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P2-200-4% .....	199
Tabel 4. 152 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-0,25% .....	200
Tabel 4. 153 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-0,5% .....	200
Tabel 4. 154 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-1% .....	201
Tabel 4. 155 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-2% .....	201
Tabel 4. 156 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-3% .....	202
Tabel 4. 157 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-100-4% .....	202
Tabel 4. 158 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-0,25% .....	203

Tabel 4. 159 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-0,5%.....	203
Tabel 4. 160 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-1%.....	204
Tabel 4. 161 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-2%.....	204
Tabel 4. 162 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-3%.....	205
Tabel 4. 163 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-150-4%.....	205
Tabel 4. 164 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-0,25%.....	206
Tabel 4. 165 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-0,5%.....	206
Tabel 4. 166 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-1%.....	207
Tabel 4. 167 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-2%.....	207
Tabel 4. 168 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-3%.....	208
Tabel 4. 169 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P3-200-4%.....	208
Tabel 4. 170 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-0,25%.....	209
Tabel 4. 171 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-0,5%.....	209
Tabel 4. 172 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-1%.....	210
Tabel 4. 173 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-2%.....	210
Tabel 4. 174 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-3%.....	211

Tabel 4. 175 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-4% .....	211
Tabel 4. 176 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-0,25% .....	212
Tabel 4. 177 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-0,5% .....	212
Tabel 4. 178 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-1% .....	213
Tabel 4. 179 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-2% .....	213
Tabel 4. 180 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-3% .....	214
Tabel 4. 181 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-4% .....	214
Tabel 4. 182 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-0,25% .....	215
Tabel 4. 183 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-0,5% .....	215
Tabel 4. 184 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-1% .....	216
Tabel 4. 185 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-2% .....	216
Tabel 4. 186 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-3% .....	217
Tabel 4. 187 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-4% .....	217
Tabel 4. 188 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-0,25% .....	218
Tabel 4. 189 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-0,5% .....	218
Tabel 4. 190 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-1% .....	219

Tabel 4. 191 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-2% .....	219
Tabel 4. 192 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-3% .....	220
Tabel 4. 193 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-100-4% .....	220
Tabel 4. 194 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-0,25% .....	221
Tabel 4. 195 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-0,5% .....	221
Tabel 4. 196 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-1% .....	222
Tabel 4. 197 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-2% .....	222
Tabel 4. 198 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-3% .....	223
Tabel 4. 199 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-150-4% .....	223
Tabel 4. 200 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-0,25% .....	224
Tabel 4. 201 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-0,5% .....	224
Tabel 4. 202 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-1% .....	225
Tabel 4. 203 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-2% .....	225
Tabel 4. 204 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-3% .....	226
Tabel 4. 205 Nilai Minimum dan Maksimum Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P5-200-4% .....	226

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Baja Tulangan Beton Polos (BjTP) .....	14
Gambar 2. 2 Jenis Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir Bambu .....	15
Gambar 2.3 Jenis Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir Curam.....	15
Gambar 2. 4 Jenis Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir Tulang Ikan.....	16
Gambar 2. 5 Kabel Prategang .....	16
Gambar 2. 6 Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan.....	21
Gambar 2. 7 Jenis-Jenis Kolom Beton Bertulang .....	26
Gambar 2. 8 Kolom dengan Tulangan Sengkang Persegi.....	29
Gambar 2. 9 Kolom dengan Tulangan Sengkang Spiral .....	30
Gambar 2. 10 Keruntuhan Kolom dengan Sengkang Persegi.....	33
Gambar 2. 11 Keruntuhan Kolom dengan Sengkang Spiral .....	33
Gambar 2. 12 Pengangkuran Sengkang Ikat Lingkaran.....	37
Gambar 2. 13 Definisi $\mu$ dari Daktilitas .....	40
Gambar 2. 14 Komponen-Komponen Kapasitas <i>Displacement</i> pada Kolom.....	42
Gambar 2. 15 Grafik Beban Lateral dengan <i>Displacement</i> Maksimum pada Kolom .....	42
Gambar 2. 16 Loading History .....	44
Gambar 2. 17 Kurva Level Kinerja.....	47
Gambar 2. 18 Tahapan Keruntuhan Sendi Plastis .....	48
Gambar 2. 19 <i>Software SpColumn</i> .....	54
Gambar 2. 20 Tampilan dalam <i>Software SpColumn</i> .....	54
Gambar 2. 21 <i>Software ABAQUS</i> .....	55
Gambar 2. 22 Tampilan dalam <i>Software ABAQUS</i> .....	56
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	61
Gambar 3. 2 Tampilan Awal ABAQUS 2020.....	73
Gambar 3. 3 Tampilan Pembuatan Geometri .....	74
Gambar 3. 4 Tampilan Kotak Parameter Material .....	75
Gambar 3. 5 Tampilan model yang telah di <i>assembly</i> .....	75
Gambar 3. 6 Tampilan <i>Step Module</i> .....	76
Gambar 3. 7 Tampilan Pemberian Kondisi Batas .....	77

Gambar 3. 8 Tampilan <i>Meshing</i> pada Tiap <i>Part</i> .....	77
Gambar 3. 9 Tampilan Akhir.....	78
Gambar 3. 10 <i>ODB History Output Force-Displacement</i> Sebelum Dikombinasikan .....	78
Gambar 3. 11 <i>ODB History Output Force-Displacement</i> Setelah Dikombinasikan .....	79
Gambar 4. 1 Hubungan <i>Force-Displacement</i> Benda Uji Kontrol Pada ABAQUS 2020.....	81
Gambar 4. 2 Diagram Interaksi Kolom.....	81
Gambar 4. 3 Pola Keruntuhan Benda Uji Kontrol a) <i>Assembly</i> , b) Beton, dan c) Tulangan Longitudinal .....	83
Gambar 4. 4 Model Benda Uji P1 - 100.....	83
Gambar 4. 5 Model Benda Uji P1 - 150.....	84
Gambar 4. 6 Model Benda Uji P1 - 200.....	84
Gambar 4. 7 Model Benda Uji P2 - 100.....	84
Gambar 4. 8 Model Benda Uji P2 - 150.....	85
Gambar 4. 9 Model Benda Uji P2 - 200.....	85
Gambar 4. 10 Model Benda Uji P3 - 100.....	85
Gambar 4. 11 Model Benda Uji P3 - 150.....	86
Gambar 4. 12 Model Benda Uji P3 - 200.....	86
Gambar 4. 13 Model Benda Uji P4 - 100.....	86
Gambar 4. 14 Model Benda Uji P4 - 150.....	87
Gambar 4. 15 Model Benda Uji P4 – 200.....	87
Gambar 4. 16 Model Benda Uji P5 - 100.....	88
Gambar 4. 17 Model Benda Uji P5 - 150.....	88
Gambar 4. 18 Model Benda Uji P5 – 200.....	88
Gambar 4. 19 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P1-100.....	90
Gambar 4. 20 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P1-150.....	90
Gambar 4. 21 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P1-200.....	91
Gambar 4. 22 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P2-100.....	92
Gambar 4. 23 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P2-150.....	92
Gambar 4. 24 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P2-200.....	93

Gambar 4. 25 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P3-100.....	94
Gambar 4. 26 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P3-150.....	94
Gambar 4. 27 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P3-200.....	95
Gambar 4. 28 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P4-100.....	96
Gambar 4. 29 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P4-150.....	96
Gambar 4. 30 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P4-200.....	97
Gambar 4. 31 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P5-100.....	98
Gambar 4. 32 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P5-150.....	98
Gambar 4. 33 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji P5-200.....	99
Gambar 4. 34 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 100 mm .....	100
Gambar 4. 35 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 150 mm .....	102
Gambar 4. 36 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 200 mm .....	104
Gambar 4. 37 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P1-100.....	108
Gambar 4. 38 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P1-150.....	109
Gambar 4. 39 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P1-200.....	110
Gambar 4. 40 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P2-100.....	111
Gambar 4. 41 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P2-150.....	112
Gambar 4. 42 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P2-200.....	113
Gambar 4. 43 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P3-100.....	114
Gambar 4. 44 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P3-150.....	115
Gambar 4. 45 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P3-200.....	116
Gambar 4. 46 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P4-100.....	117
Gambar 4. 47 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P4-150.....	118
Gambar 4. 48 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P4-200.....	119
Gambar 4. 49 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P5-100.....	120
Gambar 4. 50 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P5-150.....	121
Gambar 4. 51 Hasil <i>Force-Displacement</i> Benda Uji DR-P5-200.....	122
Gambar 4. 52 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 100 mm .....	123

Gambar 4. 53 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 150 mm .....	124
Gambar 4. 54 Hasil <i>Force-Displacement</i> P1, P2, P3, P4, dan P5 Jarak Senggang 200 mm .....	126
Gambar 4. 55 Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-100-D100: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	180
Gambar 4. 56 Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-150-D100: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	181
Gambar 4. 57 Pola Keruntuhan Benda Uji FD-P4-200-D100: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	181
Gambar 4. 58 Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-100-4%: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	227
Gambar 4. 59 Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-150-4%: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	228
Gambar 4. 60 Pola Keruntuhan Benda Uji DR-P4-200-4%: a) <i>Assembly</i> , b) Beton, c) Tulangan Longitudinal, dan d) Tulangan Senggang .....	228