

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN FREKUENSI ALAMI KOLOM BETON
BERTULANG DAN KOLOM KOMPOSIT DENGAN
*SOFTWARE ABAQUS***



Disusun oleh:

Dyah Ajeng Wijayanti

20190110247

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2022

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN FREKUENSI ALAMI KOLOM BETON
BERTULANG DAN KOLOM KOMPOSIT DENGAN
*SOFTWARE ABAQUS***

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Dyah Ajeng Wijayanti

20190110247

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2020

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dyah Ajeng Wijayanti
NIM : 20190110247
Judul : Perbandingan Frekuensi Alami Kolom Beton Bertulang
dan Kolom Komposit dengan *Software ABAQUS*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 29 Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Dyah Ajeng Wijayanti

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dyah Ajeng Wijayanti

NIM : 20190110247

Judul : Perbandingan Frekuensi Alami Kolom Beton Bertulang dan Kolom Komposit dengan *Software ABAQUS*

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul dan didanai melalui skema hibah pada tahun 20..... oleh Tahun Anggaran 20..... dengan nomor hibah

Yogyakarta, 2023

Penulis,

Dosen Peneliti,

Dyah Ajeng Wijayanti

Dosen Anggota Peneliti 1,

.....

Dosen Anggota Peneliti 2,

.....

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin. Saya berterima kasih kepada Allah SWT yang telah mewujudkan harapan saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memberi saya kekuatan dalam melewati ujian-ujian yang diberikan-Nya. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya dan saudara-saudara saya, dan seluruh keluarga saya. Saya berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak orang dan negara.

Saya mengucapkan terima kasih kepada Almarhumah Ibu saya yang telah menemani saya melalui masa-masa sulit saat kuliah. Meskipun Ibu pergi sebelum saya dapat menyelesaikan kuliah saya, saya tetap bersyukur saya dapat menghabiskan waktu-waktu saya bersama Ibu. Semoga Ibu tenang di sisi-Nya. *Aamiin yaa rabbal'alamin.*

Saya mengucapkan terima kasih kepada kakak saya, Mas Yuli, yang telah memberi saya kesempatan untuk melaksanakan kuliah di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Semoga kebaikan Mas Yuli dibalas oleh Allah SWT berkali-kali lipat. *Aamiin yaa rabbal'alamin.*

Saya mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan dosen penguji saya, Bapak Guntur dan Ibu Restu, yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga kebaikan Bapak dan Ibu Dosen dibalas oleh Allah SWT. *Aamiin yaa rabbal'alamin.*

Saya mengucapkan terima kasih kepada teman-teman dan berbagai pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada Pak Fau yang sudah membantu saya dalam menganalisis struktur dan menganalisis kolom komposit serta memberi informasi-informasi yang berguna dalam perencanaan struktur.

Penulis, 24 Juli 2023



Nyah Ajeng wyayandi

PRAKATA



Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai frekuensi alami kolom beton bertulang terhadap variasi beban aksial tekan, menganalisis nilai frekuensi alami kolom komposit terhadap variasi beban aksial tekan, dan membandingkan frekuensi alami kolom beton bertulang dan kolom komposit.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Puji Harsanto, ST, MT, Ph.D,
2. Dr. Ir. Guntur Nugroho, S.T., M.Eng,
3. Dr. Ir. Restu Faizah, S.T., M.T.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

Wallahu a'lam bi Showab.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 29 Juli 2028

Penyusun

DAFTAR ISI

.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xix
DAFTAR SINGKATAN	xxiii
DAFTAR ISTILAH	xxiv
ABSTRAK	xxv
<i>ABSTRACT</i>	xxvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	23
2.2.1 Definisi kolom dan kolom komposit.....	23
2.2.2 Perencanaan kolom komposit	24
2.2.3 Perencanaan kolom beton bertulang	31
2.2.4 Getaran	37
2.2.5 Frekuensi alami	39
2.2.6 Metode elemen hingga	40
2.2.7 Program <i>ABAQUS</i>	42
BAB III. METODE PENELITIAN.....	43
3.1 Bahan atau Materi.....	43

3.2	Alat	47
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian.....	48
3.4	Tahapan Penelitian.....	48
	3.4.1 Studi literatur	48
	3.4.2 Penelitian tahap I	48
	3.4.3 Penelitian tahap II.....	77
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		124
4.1	Frekuensi Alami Kolom Beton.....	124
4.2	Frekuensi Alami Kolom Beton Bertulang	127
4.3	Frekuensi Alami Kolom Komposit CES	130
4.4	Perbandingan Frekuensi Alami Kolom Beton Bertulang dan Kolom Komposit CES.....	133
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		139
5.1	Kesimpulan.....	139
5.2	Saran	139
DAFTAR PUSTAKA		141
LAMPIRAN.....		145

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan hasil tes Jang dengan simulasi (Gan, et al., 2019)	12
Tabel 2.2 Perbandingan frekuensi alami sebelum dan sesudah keruntuhan (Nasery, et al., 2020).....	15
Tabel 2.3 Frekuensi alami dari sistem balok-ganda di bawah beban aksial tekan (Zhao, et al., 2020)	16
Tabel 2.4 Perbedaan dan persamaan penelitian terdahulu dan sekarang	17
Tabel 2.5 Nilai k (Stokey, 1998).....	40
Tabel 3.1 Data kolom komposit.....	43
Tabel 3.2 Data balok yang digunakan.....	43
Tabel 3.3 Gaya dalam aksial-lentur kolom	44
Tabel 3.4 Gaya dalam geser kolom.....	44
Tabel 3.5 Gaya dalam tekan kolom.....	44
Tabel 3.6 Gaya dalam dan lendutan maksimum dari <i>output ETABS</i> balok	44
Tabel 3.7 Parameter plastisitas beton 30 MPa (Hafezolghorani, et al., 2017).....	44
Tabel 3.8 Nilai tegangan-regangan baja fy 250 MPa (Casita, et al., 2020)	45
Tabel 3.9 Nilai <i>true stress-strain</i> baja fy 420 MPa (Ismail, et al., 2017)	45
Tabel 3.10 <i>Concrete tensile behavior</i> beton 30 MPa (Hafezolghorani, et al., 2017)	45
Tabel 3.11 <i>Concrete tension damage</i> beton 30 MPa (Hafezolghorani, et al., 2017)	45
Tabel 3.12 <i>Concrete compressive behaviour</i> beton 30 MPa (Hafezolghorani, et al., 2017)	46
Tabel 3.13 <i>Concrete compression damage</i> beton 30 MPa (Hafezolghorani, et al., 2017)	46
Tabel 3.14 Referensi yang digunakan.....	48
Tabel 3.17 Properti profil baja	51
Tabel 3.18 Properti material beton.....	52
Tabel 3.19 Properti tulangan.....	52
Tabel 3.20 Momen inersia tulangan baja (Isr) terhadap sumbu x.....	54
Tabel 3.21 Kesimpulan analisis kolom komposit CES	62

Tabel 3.22 Properti material dan penampang kolom beton bertulang	62
Tabel 3.23 Kesimpulan desain kolom beton bertulang.....	77
Tabel 3.24 Satuan konstan	77
Tabel 3.25 Uji konvergensi kolom komposit CES	92
Tabel 3.26 Uji konvergensi kolom beton bertulang.....	113
Tabel 4.1 Hasil analisis numerik frekuensi alami kolom beton menggunakan <i>Software ABAQUS</i> (Hz)	124
Tabel 4.2 Hasil perhitungan analitik frekuensi alami kolom beton dengan persamaan Stokey, 1998 (Hz)	125
Tabel 4.3 Perbandingan selisih antara frekuensi alami hasil analisis numerik dan frekuensi alami hasil perhitungan analitik kolom beton	125
Tabel 4.4 Hasil analisis numerik frekuensi alami kolom beton bertulang (Hz)..	128
Tabel 4.5 Hasil analisis numerik frekuensi alami kolom komposit CES arah Z (Hz)	131
Tabel 4.6 Hasil analisis numerik frekuensi alami kolom komposit CES arah X (Hz)	131
Tabel 4.7 Perbandingan frekuensi alami <i>mode</i> 1 (Hz).....	133
Tabel 4.8 Perbandingan frekuensi alami <i>mode</i> 2 (Hz).....	133
Tabel 4.9 Perbandingan frekuensi alami <i>mode</i> 3 (Hz).....	134
Tabel 4.10 Perbandingan frekuensi alami <i>mode</i> 4 (Hz).....	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik perbandingan rasio kapasitas baja dan komposit (Meillyta dan Vuardi, 2019)	5
Gambar 2.2 Grafik beban-tegangan material beton (Casita, et al., 2020).....	6
Gambar 2.3 Grafik beban-tegangan material baja (Casita, et al., 2020).....	6
Gambar 2.4 Grafik deformasi-beban kolom RCFT dan CCFT (Casita, et al., 2020)	7
Gambar 2.5 Geometri kolom komposit (Rath, et al., 2022).....	8
Gambar 2.6 Pengaruh rasio L/D dan rasio e/D terhadap <i>displacement</i> dan kapasitas beban aksial kolom untuk rasio profil baja 44% (Rath, et al., 2022)	8
Gambar 2.7 Pengaruh rasio profil baja dan rasio L/D terhadap momen lentur maksimal kolom pada rasio e/D = 0,3 (Rath, et al., 2022).....	8
Gambar 2.8 Pengaruh geometrik kolom terhadap <i>second order moment</i> (Rath, et al., 2022).....	9
Gambar 2.9 Grafik perbandingan frekuensi alami mode pertama (Nugroho, 2018)	10
Gambar 2.10 Objek penelitian balok non prismatis (Al-Ansari, et al., 2018)	11
Gambar 2.11 Contoh grafik perbandingan frekuensi alami hasil metode CRM, MRM, dan ANSYS pada balok non prismatis (<i>tapered beam</i>) dengan 6 segmen dan lebar kecil balok 0,1 meter (Al-Ansari, et al., 2018).....	11
Gambar 2.12 Perbandingan hasil test Jang dengan simulasi (Gan, et al., 2019) ..	12
Gambar 2.13 Efek gaya tekan pada beban tekuk (Waddar, et al., 2019)	13
Gambar 2.14 Efek gaya tekan aksial pada frekuensi alami <i>mode 1</i> (Waddar, et al., 2019)	13
Gambar 2.15 Efek gaya tekan aksial pada frekuensi alami <i>mode 2</i> (Waddar, et al., 2019)	14
Gambar 2.16 Efek gaya tekan aksial pada frekuensi alami <i>mode 3</i> (Waddar, et al., 2019)	14
Gambar 2.17 Kolom komposit CES.....	23
Gambar 2.18 Kolom CFST	23
Gambar 2.19 Grafik nomogram faktor panjang efektif (McGraw-Hill, 2023).....	27

Gambar 2.20 Diagram interaksi kolom (Setiawan, 2008).....	33
Gambar 2.21 Hubungan waktu, frekuensi, dan amplitudo (Oulmane, et al., 2013)	38
Gambar 2.22 <i>Mode</i> getar (Iriyanto, 2015).....	38
Gambar 2.23 Distribusi tegangan pada lempengan yang ditarik (Erinofiardi, 2012)	41
Gambar 2.24 Konsep analisis dengan metode elemen hingga (Erinofiardi, 2012)	41
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian	49
Gambar 3.3 Grafik nomogram faktor panjang efektif yang digunakan (McGraw-Hill, 2023)	55
Gambar 3.4 Sketsa gaya yang bekerja pada penampang kolom sumbu x	58
Gambar 3.5 Sketsa gaya yang bekerja pada penampang kolom sumbu y	60
Gambar 3.6 Kotak dialog <i>General Information</i>	64
Gambar 3.7 Kotak dialog <i>Material Properties</i>	64
Gambar 3.8 Kotak dialog <i>Reinforcement</i>	65
Gambar 3.9 Kotak dialog <i>Rectangular Section</i>	65
Gambar 3.10 Kotak dialog <i>All Sides Equal</i>	66
Gambar 3.11 Kotak dialog <i>Factored Loads</i>	66
Gambar 3.12 Diagram interaksi kolom pada kondisi <i>P min</i>	67
Gambar 3.13 Diagram interaksi kolom pada kondisi <i>P max</i>	67
Gambar 3.14 Diagram interaksi kolom pada kondisi <i>M2 min</i> dan <i>M2 max</i>	67
Gambar 3.15 Diagram interaksi kolom pada kondisi <i>M3 min</i> dan <i>M3 max</i>	68
Gambar 3.16 Sketsa model kolom komposit CES dan kolom beton bertulang	78
Gambar 3.17 <i>Viewport ABAQUS CAE</i>	79
Gambar 3.18 Kotak dialog <i>Create Part</i>	80
Gambar 3.19 Kotak dialog <i>Edit Base Extrusion</i>	80
Gambar 3.20 <i>Sketch part</i> beton.....	81
Gambar 3.21 <i>Sketch part</i> tulangan utama	81
Gambar 3.22 <i>Sketch part</i> sengkang.....	82
Gambar 3.23 Dimensi profil baja H300x300x10x15	82
Gambar 3.24 <i>Sketch part</i> profil baja H300x300x10x15	83
Gambar 3.25 Pengisian berat jenis material beton.....	83

Gambar 3.26 Pengisian parameter elastisitas beton.....	84
Gambar 3.27 Pengisian parameter plastisitas.....	84
Gambar 3.28 Pengisian data <i>compressive behavior</i> beton 30 MPa.....	85
Gambar 3.29 Pengisian data <i>compression damage</i> beton 30 MPa.....	85
Gambar 3.30 Pengisian data <i>tensile behavior</i> beton 30 MPa.....	85
Gambar 3.31 Pengisian data <i>tension damage</i> beton 30 MPa.....	86
Gambar 3.32 Pengisian berat jenis material baja A615Gr60.....	86
Gambar 3.33 Pengisian parameter elastisitas baja A615Gr60.....	87
Gambar 3.34 Pengisian parameter plastisitas baja A615Gr60.....	87
Gambar 3.35 Pengisian berat jenis material baja A36.....	88
Gambar 3.36 Pengisian parameter elastisitas baja A36.....	88
Gambar 3.37 Pengisian parameter plastisitas baja A36.....	88
Gambar 3.38 Kotak dialog <i>Create Section</i>	89
Gambar 3.39 Kotak dialog <i>Edit Section</i> beton.....	89
Gambar 3.40 Kotak dialog <i>Edit Section</i> tulangan longitudinal.....	90
Gambar 3.41 Kotak dialog <i>Edit Section</i> tulangan sengkang.....	90
Gambar 3.42 Kotak dialog <i>Edit Section</i> profil baja.....	90
Gambar 3.43 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> beton.....	91
Gambar 3.44 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> tulangan longitudinal.....	91
Gambar 3.45 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> Sengkang.....	91
Gambar 3.46 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> profil baja.....	91
Gambar 3.47 Uji konvergensi kolom komposit CES.....	92
Gambar 3.50 Kotak dialog <i>Global Seeds</i>	93
Gambar 3.51 Kotak dialog <i>Element Type part</i> beton dan profil baja.....	94
Gambar 3.52 Kotak dialog <i>Element Type part</i> tulangan longitudinal dan sengkang	94
Gambar 3.53 Tampilan <i>part</i> beton yang telah di- <i>mesh</i>	94
Gambar 3.54 Tampilan <i>part</i> tulangan longitudinal yang telah di- <i>mesh</i>	95
Gambar 3.55 Tampilan <i>part</i> sengkang yang telah di- <i>mesh</i>	95
Gambar 3.56 Tampilan <i>part</i> profil baja yang telah di- <i>mesh</i>	95
Gambar 3.57 Kotak dialog <i>Verify Mesh</i>	96
Gambar 3.58 Tampilan <i>instance</i> yang telah dibuat.....	96

Gambar 3.59 Kotak dialog <i>Edit Step</i> dari “step-gaya aksial”	97
Gambar 3.60 Kotak dialog <i>Edit Step</i> dari “step-frekuensi alami”	98
Gambar 3.61 Tampilan model pada Modul <i>Interaction</i>	98
Gambar 3.62 Kotak dialog <i>Create Load</i>	99
Gambar 3.63 Tampilan model dengan gaya aksial	99
Gambar 3.64 Kotak dialog <i>Create Boundary Condition</i>	100
Gambar 3.65 Kotak dialog <i>Edit Boundary Condition</i>	100
Gambar 3.66 Model dengan perletakan	101
Gambar 3.67 Kotak dialog <i>Edit Job</i>	101
Gambar 3.68 Tampilan <i>mode shape</i> 1 kolom komposit CES	102
Gambar 3.69 Tampilan <i>mode shape</i> 2 kolom komposit CES	102
Gambar 3.70 Tampilan <i>mode shape</i> 3 kolom komposit CES	102
Gambar 3.71 <i>Viewport ABAQUS CAE</i>	103
Gambar 3.72 Kotak dialog <i>Create Part</i>	104
Gambar 3.73 Kotak dialog <i>Edit Base Extrusion</i>	104
Gambar 3.74 <i>Sketch part</i> beton.....	105
Gambar 3.75 <i>Sketch</i> tulangan longitudinal	105
Gambar 3.76 <i>Sketch</i> sengkang	106
Gambar 3.77 Pengisian berat jenis material beton.....	107
Gambar 3.78 Pengisian parameter elastisitas beton.....	107
Gambar 3.79 Pengisian parameter plastisitas beton.....	107
Gambar 3.80 Pengisian data <i>compressive behavior</i> beton 30 MPa	108
Gambar 3.81 Pengisian data <i>compression damage</i> beton 30 MPa	108
Gambar 3.82 Pengisian data <i>tensile behavior</i> beton 30 MPa.....	109
Gambar 3.83 Pengisian data <i>tension damage</i> beton 30 MPa.....	109
Gambar 3.84 Pengisian berat jenis material baja A615Gr60.....	110
Gambar 3.85 Pengisian parameter elastisitas baja A615Gr60	110
Gambar 3.86 Pengisian parameter plastisitas baja A615Gr60.....	110
Gambar 3.87 Kotak dialog <i>Create Section</i>	111
Gambar 3.88 Kotak dialog <i>Edit Section</i> beton.....	111
Gambar 3.89 Kotak dialog <i>Edit Section</i> tulangan longitudinal.....	112
Gambar 3.90 Kotak dialog <i>Edit Section</i> sengkang.....	112

Gambar 3.91 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> beton	112
Gambar 3.92 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> tulangan longitudinal	112
Gambar 3.93 Kotak dialog <i>Edit Section Assignment</i> sengkang	113
Gambar 3.94 Uji konvergensi kolom beton bertulang <i>mode 1</i>	114
Gambar 3.97 Kotak dialog <i>Global Seeds</i>	115
Gambar 3.98 Kotak dialog <i>Element Type part</i> beton.....	115
Gambar 3.99 Kotak dialog <i>Element Type part</i> tulangan longitudinal dan sengkang	115
Gambar 3.100 Tampilan <i>part</i> beton yang telah di- <i>mesh</i>	116
Gambar 3.101 Tampilan <i>part</i> tulangan longitudinal yang telah di- <i>mesh</i>	116
Gambar 3.102 Tampilan <i>part</i> sengkang yang telah di- <i>mesh</i>	116
Gambar 3.103 Kotak dialog <i>Verify Mesh</i>	117
Gambar 3.104 Tampilan <i>instance</i> yang telah dibuat.....	117
Gambar 3.105. Kotak dialog <i>Edit Step</i> dari “step-gaya aksial”	118
Gambar 3.106 Kotak dialog <i>Edit Step</i> dari “step-frekuensi alami”	119
Gambar 3.107 Tampilan model pada modul <i>Interaction</i>	119
Gambar 3.108 Kotak dialog <i>Create Load</i>	120
Gambar 3.109 Tampilan model dengan gaya aksial	120
Gambar 3.110 Kotak dialog <i>Create Boundary Condition</i>	121
Gambar 3.111 Kotak dialog <i>Edit Boundary Condition</i>	121
Gambar 3.112 Model dengan perletakan	122
Gambar 3.113 Kotak dialog <i>Edit Job</i>	122
Gambar 3.114 Tampilan <i>mode shape 1</i> kolom beton bertulang	123
Gambar 3.115 Tampilan <i>mode shape 2</i> kolom beton bertulang	123
Gambar 3.116 Tampilan <i>mode shape 3</i> kolom beton bertulang	123
Gambar 4.1 Grafik perbandingan frekuensi alami <i>software ABAQUS</i> dan persamaan Stokey (1998) pada <i>mode 1</i>	126
Gambar 4.2 Grafik perbandingan frekuensi alami <i>software ABAQUS</i> dan persamaan Stokey (1998) pada <i>mode 2</i>	126
Gambar 4.3 Grafik perbandingan frekuensi alami <i>software ABAQUS</i> dan persamaan Stokey (1998) pada <i>mode 3</i>	127

Gambar 4.4 Grafik perbandingan frekuensi alami <i>software ABAQUS</i> dan persamaan Stokey (1998) pada <i>mode 4</i>	127
Gambar 4.5 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 1</i> kolom beton bertulang dengan variasi gaya tekan aksial	128
Gambar 4.6 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 2</i> kolom beton bertulang dengan variasi gaya tekan aksial	129
Gambar 4.7 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 3</i> kolom beton bertulang dengan variasi gaya tekan aksial	129
Gambar 4.8 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 4</i> kolom beton bertulang dengan variasi gaya tekan aksial	130
Gambar 4.9 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 1</i> kolom komposit CES dengan variasi gaya tekan aksial	131
Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 2</i> kolom komposit CES dengan variasi gaya tekan aksial	132
Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 3</i> kolom komposit CES dengan variasi gaya tekan aksial	132
Gambar 4.12 Grafik hubungan frekuensi alami <i>mode 4</i> kolom komposit CES dengan variasi gaya tekan aksial	133
Gambar 4.13 Grafik perbandingan frekuensi kolom <i>mode 1</i>	136
Gambar 4.14 Grafik perbandingan frekuensi kolom <i>mode 2</i>	136
Gambar 4.15 Grafik perbandingan frekuensi kolom <i>mode 3</i>	137
Gambar 4.16 Grafik perbandingan frekuensi kolom <i>mode 4</i>	137
Gambar 4.17 Grafik perbandingan frekuensi kolom <i>mode 1, 2, 3, dan 4</i>	138

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Struktur Gedung Kantor Sederhana dan Analisis Persyaratan Umum Gedung	145
Lampiran 2. Analisis momen lentur balok baja profil WF berdasarkan SNI 1729:2020.....	184
Lampiran 3. Contoh Hasil Simulasi Numerik Kolom pada <i>Software ABAQUS</i> . 194	
Lampiran 4. Contoh Perhitungan Analitik Frekuensi Alami Kolom Beton dengan Persamaan Stokey (1998).....	203

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
A	$[L^2]$	luas penampang
A_c	$[L^2]$	luas material beton
A_{ch}	$[L^2]$	luas penampang inti beton
A_g	$[L^2]$	luas total penampang komponen struktur komposit
A_s	$[L^2]$	luas penampang baja
A_s	$[L^2]$	luas penampang baja
A_{sh}	$[L^2]$	luas penampang total tulangan transversal
A_{sr}	$[L^2]$	luas batang tulangan menerus/longitudinal
A_{sr}	$[L^2]$	luas tulangan utama
A_w	$[L^2]$	luas badan
b	[L]	lebar penampang kolom
b_c	[L]	lebar penampang inti beton
b_f	[L]	lebar flange
c	[L]	jarak sumbu netral dengan permukaan beton atas
c	-	koefisien c
c	[L]	jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral
C_1	-	koefisien dalam perhitungan kekakuan efektif komponen struktur tekan komposit CES
C_b	-	faktor modifikasi tekuk torsi lateral
C_c	$[MLT^{-2}]$	gaya tekan pada beton
c_c	[L]	selimut beton
C_s	$[MLT^{-2}]$	gaya tekan pada profil baja
C_{v1}	-	koefisien kekuatan geser badan
d	[L]	jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal
d_1	[L]	jarak gaya tekan pada beton ke sumbu netral
d_2	[L]	jarak gaya tekan pada profil baja ke sumbu netral
d_3	[L]	jarak gaya tarik pada profil baja ke sumbu netral
d_4	[L]	jarak gaya tarik pada tulangan baja 1 ke sumbu netral
d_5	[L]	jarak gaya tarik pada tulangan baja 2 ke sumbu netral
d_b	[L]	diameter tulangan utama
d_s	[L]	diameter sengkang
e	[L]	eksentrisitas
E	$[ML^{-2}]$	modulus elastisitas
E_c	$[ML^{-1}T^{-2}]$	modulus elastisitas beton
EI_{eff}	$[ML^3T^{-2}]$	kekakuan efektif penampang komposit
E_s	$[ML^{-1}T^{-2}]$	modulus elastisitas baja
f'_c	$[ML^{-1}T^{-2}]$	kuat tekan beton

f_n	[T-1]	frekuensi alami
f_u	[ML-1T-2]	tegangan tekan ultimit baja
F_y	[ML-1T-2]	tegangan leleh minimum baja
f_y	[ML-1T-2]	tegangan leleh minimum baja
F_{ysr}	[ML-1T-2]	tegangan leleh minimum batang tulangan
g	[LT-2]	gravitasi bumi
G	[ML-1T-2]	modulus geser
G	-	faktor kekangan
h	[L]	lebar bersih antara sayap-sayap
h	[L]	tinggi penampang kolom
h	[L]	tinggi web bersih
h_0	[L]	jarak antara titik berat sayap
h_b	[L]	tinggi penampang balok
h_c	[L]	panjang penampang inti beton
h_w	[L]	tinggi web
h_x	[L]	panjang terbesar jarak tulangan longitudinal yang terkait sengkang
I	[L4]	momen inersia penampang balok
I	[L4]	momen inersia
I_c	[L4]	momen inersia penampang beton terhadap sumbu netral elastis penampang komposit
I_s	[L4]	momen inersia profil baja terhadap sumbu netral elastis penampang komposit
I_{sr}	[L4]	momen inersia batang tulangan terhadap sumbu netral elastis penampang komposit
J	[L4]	konstanta torsi
K	-	faktor panjang efektif
k	[MT-2]	kekakuan
k	-	faktor panjang efektif
k_n	-	parameter k yang tergantung dengan perletakan balok
L	[L]	panjang tanpa pembreisan lateral komponen struktur
l_0	[L]	panjang zona sendi plastis
L_b	[L]	panjang balok
L_b	[L]	panjang jarak antara pengaku lateral
L_c	[L]	panjang efektif komponen struktur
L_c	[L]	tinggi kolom
l_n	[L]	panjang kolom
L_p	[L]	batas panjang tak terbreis secara lateral untuk kondisi batas leleh
L_r	[L]	batas panjang tak terbreis secara lateral untuk kondisi batas tekuk torsi-lateral inelastis
m	[M]	massa

M_c	$[ML^2T^{-2}]$	kekuatan lentur rencana dihitung berdasarkan prosedur dalam Bab F SNI 1729:2020
M_n	$[ML^2T^{-2}]$	kekuatan lentur nominal
M_{nb}	$[ML^2T^{-2}]$	kuat lentur nominal balok
M_{nc}	$[ML^2T^{-2}]$	kuat lentur nominal kolom
M_o	$[ML^2T^{-2}]$	kapasitas lentur kolom pada eksentrisitas tak hingga
M_p	$[ML^2T^{-2}]$	momen lentur plastis
M_{pr}	$[ML^2T^{-2}]$	kuat lentur kolom menganggap kuat tarik pada tulangan memanjang sebesar minimum $1,25f_y$ dan faktor reduksi $\phi = 1$
M_r	$[ML^2T^{-2}]$	kekuatan lentur perlu dihitung berdasarkan SNI 1729:2020 Bab C dengan kombinasi beban DFBT
n	-	mode getar
N_u	$[MLT^{-2}]$	gaya tekan terkecil dari hasil analisis struktur
P_c	$[MLT^{-2}]$	kekuatan aksial rencana yang dihitung berdasarkan SNI 1729:2020 Bab E
P_e	$[MLT^{-2}]$	beban tekuk kritis elastis yang ditentukan sesuai dengan SNI 1729:2020 Bab C atau Lampiran 7
P_n	$[MLT^{-2}]$	kekuatan tekan nominal
P_{no}	$[MLT^{-2}]$	kekuatan aksial tekan nominal, simetris ganda, pada komponen struktur komposit dengan panjang nol, yang dibebani secara aksial
P_o	$[MLT^{-2}]$	kapasitas tekan kolom yang dibebani secara konsentris
P_r	$[MLT^{-2}]$	kekuatan aksial perlu yang dihitung berdasarkan SNI 1729:2020 Bab C, dengan kombinasi beban DFBT
P_u	$[MLT^{-2}]$	Kekuatan aksial tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBT
r	$[L]$	radius girasi
r	$[L]$	<i>corner radius</i>
s	$[L]$	spasi antar tulangan transversal
S	$[L^2]$	luas penampang balok
S	$[L^3]$	<i>section modulus</i>
t_f	$[L]$	tebal flange
T_{r1}	$[MLT^{-2}]$	gaya tarik pada tulangan baja 1
T_{r2}	$[MLT^{-2}]$	gaya tarik pada tulangan baja 2
T_s	$[MLT^{-2}]$	gaya tarik pada profil baja ke sumbu netral
t_w	$[L]$	tebal badan
V_c	$[MLT^{-2}]$	kapasitas geser kolom
V_n	$[MLT^{-2}]$	kekuatan geser nominal
V_s	$[MLT^{-2}]$	kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser
V_u	$[MLT^{-2}]$	gaya geser terfaktor penampang

W	$[MT^{-2}]$	berat profil baja
w_c	$[ML^{-3}]$	berat volume beton
y_0	$[L]$	jarak sumbu plastis
z	$[L]$	jarak permukaan atas baja profil dengan permukaan atas beton
Z	$[L^3]$	<i>plastic modulus</i>
β	-	faktor β
γ	$[ML^{-3}]$	massa jenis material
Δ_{izin}	$[L]$	lendutan izin
Δ_y	$[L]$	lendutan maksimum hasil analisis struktur
λ_f	-	rasio lebar terhadap tebal sayap
λ_{pf}	-	batas parameter lebar terhadap tebal untuk sayap kompak
λ_{pw}	-	batas parameter lebar terhadap tebal untuk badan kompak
λ_{rf}	-	batas parameter lebar terhadap tebal untuk sayap nonkompak
λ_{rw}	-	batas parameter lebar terhadap tebal untuk badan nonkompak
λ_w	-	rasio lebar terhadap tebal badan
ρ_{sr}	-	rasio tulangan minimum untuk penulangan longitudinal
ϕ	-	faktor reduksi
ϕ_b	-	faktor reduksi untuk lentur
ϕ_c	-	faktor reduksi untuk tekan
ϕ_v	-	faktor ketahanan untuk geser

DAFTAR SINGKATAN

ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
AISC	: <i>American Institute of Steel Construction</i>
AMS	: <i>Automatic Multi-level Substructuring</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Material</i>
CAE	: <i>Computer-Aided Engineering</i>
CCFT	: <i>Circular Concrete-Filled Tube</i>
CES	: <i>Concrete-Encased Steel</i>
CRM	: <i>Classic Rayleigh Method</i>
CSA	: <i>Canadian Standards Association</i>
CSFT	: <i>Concrete-Filled Steel Tube</i>
DFBT	: <i>Desain Faktor Beban dan Ketahanan</i>
DXF	: <i>Data Exchange File</i>
EFDD	: <i>Enhanced Frequency Domain Decomposition</i>
FEM	: <i>Finite Element Method</i>
KGS1	: <i>Kolom Garuda Steel 1</i>
KGS2	: <i>Kolom Garuda Steel 2</i>
KGS3	: <i>Kolom Garuda Steel 3</i>
KGS4	: <i>Kolom Garuda Steel 4</i>
LTB	: <i>Lateral Torsional Buckling</i>
MPa	: <i>Mega Pascal</i>
MRM	: <i>Modified Rayleigh Method</i>
OK	: <i>Operation Kamer</i>
RCFT	: <i>Rectangular Concrete-Filled Tube</i>
RSUD	: <i>Rumah Sakit Unit Darurat</i>
SCWB	: <i>Strong-Column Weak-Beam</i>
SNI	: <i>Standar Nasional Indonesia</i>
SSI	: <i>Stochastic Subspace Identification</i>
WF	: <i>Wide Flange</i>

DAFTAR ISTILAH

1. *Concrete Damage Plasticity*
Concrete damage plasticity adalah pendekatan pemodelan komputasi yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku beton dalam beban mekanis. Pendekatan ini memperhitungkan kerusakan progresif dan deformasi plastis yang terjadi pada struktur beton.
2. Faktor kekangan
Faktor kekangan untuk kolom merupakan parameter yang menggambarkan sejauh mana kolom terikat dalam mentransfer momen atau gaya lentur ke elemen struktural lainnya.
3. Interferensi gelombang
Interferensi gelombang adalah fenomena di mana dua atau lebih gelombang bertemu dan saling mempengaruhi, menghasilkan pola pola konstruktif (penjumlahan amplitudo) atau destruktif (pembatalan amplitudo) dalam hasil kombinasi gelombang tersebut.
4. *Mode shapes*
Mode shape adalah pola getaran karakteristik yang terjadi pada suatu struktur saat merespons terhadap rangsangan frekuensi tertentu.
5. Resonansi
Resonansi adalah fenomena di mana suatu sistem atau objek secara maksimal merespons terhadap rangsangan eksternal dengan frekuensi yang sama atau mendekati frekuensi alami sistem tersebut.
6. Uji konvergensi
Uji konvergensi adalah proses atau metode untuk menguji kestabilan dan akurasi hasil perhitungan numerik dengan memvariasikan ukuran elemen atau parameter lainnya hingga hasil konvergen atau mendekati solusi yang tepat.