

ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN SISTEM *WAFFLE SLAB*

Tommy Tri Santoso

NRP : 0321005

Pembimbing : Ir. Daud Rahmat Wiyono, M.Sc

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG**

ABSTRAK

Pada umumnya arsitek menginginkan desain struktur gedung dengan bentang yang cukup lebar, tetapi tinggi tiap lantai dari gedung tidak terlalu tinggi hanya berkisar 3-5 meter. Hal ini dapat diatasi salah satunya dengan sistem struktur *waffle slab*. Mengingat bahwa Indonesia adalah daerah rawan gempa maka perlu diperhitungkan sistem penahan gempa agar strukturnya dapat menahan beban gempa yang terjadi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Dengan berkembangnya program komputer, maka struktur *waffle slab* dapat dihitung secara numerik dengan menggunakan program ETABS dengan sistem penahan gempanya mengikuti metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Analisis numerik tiga dimensi digunakan untuk memvalidasi hasil yang didapatkan oleh komputer dengan program ETABS, sehingga dapat dilakukan perbandingan analisis manual yaitu dengan metode portal ekuivalen tahan gempa.

Hasil perhitungan analisis manual dan numerik, dimana analisis manual dijadikan sebagai acuan, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa persentase perbedaan gaya dalam pada pelat berkisar 0,027% - 1,424% dan luas tulangan kolom tiap lantai berkisar 4,4 %, sehingga akan menghasilkan besar dan jumlah tulangan yang kurang lebih sama.

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR.....	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK.....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	3
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan.....	3
1.4 Sistematika Pembahasan.....	4
BAB II : ANALISIS DAN DESAIN <i>WAFFLE SLAB</i> DENGAN PORTAL EKIVALEN	
2.1 Analisa Struktur <i>Waffle Slab</i>	5
2.1.1 Pendahuluan.....	5
2.1.2 Struktur <i>Waffle Slab</i>	6
2.1.3 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah.....	7
2.2 Metode Rangka Ekuivalen.....	8
2.2.1 Rangka Ekuivalen.....	9

2.2.2 Menentukan Momen Statis Total Rencana.....	10
2.2.3 Distribusi Momen antara Jalur Kolom dan Jalur Tengah.....	12
2.2.4 Kekakuan Lentur, Faktor <i>Carry Over</i> dan Momen Ujung.....	14

BAB III : ANALISIS DAN DESAIN *WAFFLE SLAB* BETON BERTULANG

TAHAN GEMPA

3.1 Prosedur Analisis Struktur <i>Waffle Slab</i> Tahan Gempa.....	16
3.2 Besarnya Gaya Gempa yang Bekerja.....	18
3.3 Perhitungan Harga D.....	21
3.4 Menentukan Momen-momen pada Kolom dan Pelat.....	24
3.5 Ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.....	28

BAB IV : PEMODELAN, ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR BETON

BERTULANG DENGAN PROGRAM

4.1. Masukkan Data Material.....	38
4.2 Memilih <i>Section</i> yang digunakan.....	38
4.3 Memilih Jenis Pelat dan Memasukkan Ketebalan Pelatnya.....	39
4.4 Mendefinisikan <i>Static Load Cases Names</i> (Beban Gempa arah x)	39
4.5 Mendefinisikan <i>Static Load Cases Names</i> (Beban Gempa arah y)	40
4.6 Mendefinisikan <i>Load Combination</i>	40
4.7 Menentukan Jenis Perletakkan (Jepit).....	41
4.8 Memasukkan Beban pada Model Struktur (LL).....	41
4.9 Memasukkan Beban pada Model Struktur (SDL).....	42
4.10 Melakukan Analisis	42
4.11 Hasil <i>Running</i> Program.....	43

4.12	Luas Penulangan Berdasarkan Program.....	43
BAB V : STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN		
5.1	<i>Preliminary Design</i>	44
5.1.1	<i>Preliminary Design</i> Pelat.....	44
5.1.2	<i>Preliminary Design</i> Kolom.....	48
5.2	Perhitungan Gaya Dalam Berdasarkan Perhitungan Manual Cara Portal Ekivalen.....	52
5.2.1	Gaya Gempa yang bekerja pada Masing-Masing Lantai.....	53
5.2.2	Harga D (D Value).....	55
5.2.3	Momen-Momen Akibat Gaya Gempa.....	67
5.2.4	Momen-Momen pada Lantai 2 akibat Beban Vertikal.....	75
5.2.5	Kombinasi Momen-Momen akibat Beban Vertikal dan Gempa.....	84
5.2.6	Pembagian Momen-momen ke Jalur Kolom dan Jalur Tengah.....	84
5.2.7	Penulangan Pelat Lantai 2.....	86
5.2.8	Penulangan Balok <i>Ribs</i>	95
5.2.9	Transfer Momen dan Syarat Geser.....	97
5.3	Analisa dan Desain Struktur <i>Waffle slab</i> dengan Etabs pada Portal C...101	
5.3.1	Model Gedung <i>Waffle Slab</i>	101
5.3.2	Melakukan Validasi Model <i>Waffle Slab</i>	102
5.3.3	Menghitung Periode Getar T Berdasarkan Etabs.....	102
5.3.4	Menghitung Periode Getar T Rayleigh.....	103
5.4	Gambar Luas Tulangan Kolom Berdasar Hasil Etabs dan Manual.....	104

5.5	Perbandingan Hasil Tulangan Kolom dari Analisis Numerik dan Analisis Manual.....	105
5.6	Detail Penulangan Kolom dari Portal yang Ditinjau.....	106
5.7	Detail Penulangan <i>Ribs</i>	106
5.8	Penggambaran Momen pada Pelat Ekuivalen Portal As C untuk Lantai 2 berdasar Hasil Etabs dan Manual.....	107
 BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan.....	108
6.2	Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA.....		110
LAMPIRAN.....		111

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior.....	7
Tabel 2.2 Pembagian Momen Negatif Terfaktor Interior pada Jalur Kolom.....	13
Tabel 2.3 Pembagian Momen Negatif Terfaktor Eksterior pada Jalur Kolom.....	13
Tabel 2.4 Pembagian Momen Positif Terfaktor.....	14
Tabel 2.5 Pembagian Momen terhadap Jalur Kolom.....	14
Tabel 3.1 Menentukan Harga y_o	25
Tabel 3.2 Faktor Koreksi y_1	26
Tabel 3.3 Harga Koreksi y_2 dan y_3	27
Tabel 5.1 Distribusi Gaya Gempa Horizontal Total Masing-Masing Lantai.....	54
Tabel 5.2 Harga K_t	56
Tabel 5.3 Harga K_{es}	59
Tabel 5.4 Harga K_c	59
Tabel 5.5 Harga T_R	63
Tabel 5.6 Harga Koefisien Distribusi Gaya Geser.....	66
Tabel 5.7 Harga COF.....	75
Tabel 5.8 Akibat 1,4 DL dan Akibat 1,2 DL + 1,6 LL.....	75
Tabel 5.9 Distribusi Momen <i>Two Cycle</i>	76
Tabel 5.10 Hasil Momen Muka Kolom 1,2 DL + 1,6 LL.....	78
Tabel 5.11 Hasil Momen Muka Kolom 1,2 DL + 0,5 LL.....	80
Tabel 5.12 Kombinasi Momen-momen akibat Beban Vertikal dan Gempa.....	82
Tabel 5.13 Penulangan Jalur Kolom dan Jalur Tengah pada Bentang 1-2 = 4-3.....	88

Tabel 5.14 Penulangan Jalur Kolom dan Jalur Tengah pada Bentang 2-3.....	88
Tabel 5.15 Penulangan Kolom Tengah dan Kolom Pinggir.....	92
Tabel 5.16 Hasil Massa Total dari Hasil Manual dan Etabs.....	99
Tabel 5.17 Hasil Pemeriksaan terhadap Rayleigh.....	100
Tabel 5.18 Perbandingan Luas Tulangan Analisis Manual dan Numerik.....	102

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur <i>Waffle Slab</i>	6
Gambar 2.2 Model Hubungan Pelat dengan Kolom.....	9
Gambar 2.3 Rangka Ekuivalen.....	10
Gambar 2.4 Jalur Kolom dan Jalur Tengah pada Portal Ekuivalen.....	12
Gambar 3.1 (a) Denah <i>Waffle Slab</i>	17
(b) Portal $As\ B = As\ C$	17
Gambar 3.2 Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	18
Gambar 3.3 Gaya Gempa yang Bekerja pada Masing-masing Portal.....	20
Gambar 3.4 Kekakuan Pelat Ekuivalen.....	21
Gambar 3.5 Titik Belok <i>Inflection Point</i>	23
Gambar 3.6 Momen pada Kolom dan Pelat.....	24
Gambar 3.7 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM.....	31
Gambar 3.8 Lokasi Tulangan pada Konstruksi Pelat Dua Arah.....	33
Gambar 3.9 Pengaturan Tulangan pada Pelat.....	35
Gambar 4.1 Input Data Material Program Etabs.....	38
Gambar 4.2 Input Data <i>Section</i> yang digunakan pada program.....	38
Gambar 4.3 Input Jenis Pelat dan Ketebalannya.....	39
Gambar 4.4 Menentukan Jenis <i>Static Load Cases</i>	39
Gambar 4.5 Menentukan Kombinasi Pembebanan.....	40
Gambar 4.6 Memilih Jenis Perletakkan yang Digunakan.....	40
Gambar 4.7 Memasukkan Beban SDL dan LL pada Struktur.....	41

Gambar 4.8	Melakukan Analisis untuk Dibandingkan Hasil Manual.....	41
Gambar 4.9	Hasil <i>Running</i> Program.....	42
Gambar 4.10	Luas Penulangan Berdasarkan Program Etabs.....	42
Gambar 4.11	Memasukan Beban Dinamik Respon Spektrum.....	
Gambar 4.12	Menentukan Respon <i>Spectra Cases</i> untuk arah U1 (SPEC1).....	
Gambar 4.13	Menentukan Respon <i>Spectra Cases</i> untuk arah U2 (SPEC2).....	
Gambar 4.14	Melakukan Analisis Tahap 2.....	
Gambar 5.1	<i>Preliminary Design</i> Pelat.....	43
Gambar 5.2	<i>Preliminary Design</i> Drop Panel.....	45
Gambar 5.3	<i>Preliminary Design</i> Kolom.....	47
Gambar 5.4	Denah Struktur <i>Waffle Slab</i> dengan Beban Gempa.....	51
Gambar 5.5	Lebar Efektif Pelat.....	55
Gambar 5.6	Menentukan K_t	56
Gambar 5.7	Menentukan K_s	57
Gambar 5.8	Harga K_{es} dan K_c untuk Portal as A = as D.....	60
Gambar 5.9	Harga K_{es} dan K_c untuk Portal as B = as C.....	60
Gambar 5.10	Harga $\bar{K}$, a dan D.....	61
Gambar 5.11	Harga $\bar{K}$, a dan D untuk Portal As A = As D.....	61
Gambar 5.12	Harga $\bar{K}$, a dan D untuk Portal As B = As C.....	63
Gambar 5.13	Gaya Gempa yang Bekerja pada Portal As B = As C.....	67
Gambar 5.14	Gaya Geser yang Bekerja pada Masing-masing Tingkat.....	68
Gambar 5.15	Harga y_2 dan y_3	69

Gambar 5.16	Harga Momen-momen akibat Gaya Gempa pada Portal As B = As C.....	70
Gambar 5.17	Momen-momen pada Pelat Ekvivalen pada Portal As B=As C untuk Lantai 2.....	71
Gambar 5.18	Momen Muka Kolom.....	72
Gambar 5.19	Harga K_s	73
Gambar 5.20	Koefisien Momen Primer, COF, Koefisien Induksi , Momen Primer.....	74
Gambar 5.21	Hasil Momen Proses <i>Two Cycle</i>	77
Gambar 5.22	Penulangan Pelat Lantai 2 untuk Portal As B = As C.....	84
Gambar 5.23	Menentukan Gaya Aksial Kolom Tengah dan Kolom Pinggir.....	89
Gambar 5.24	Dimensi Kolom dan <i>Drop Panel</i> Kolom <i>Exterior</i> B-2.....	95
Gambar 5.25	Dimensi Kolom dan <i>Drop Panel</i> Kolom <i>Interior</i> B-2.....	96
Gambar 5.26	Luas Tulangan Kolom berdasarkan Hasil Manual.....	101
Gambar 5.27	Luas Tulangan Kolom berdasarkan Hasil Etabs.....	101
Gambar 5.28	Penulangan Kolom.....	103
Gambar 5.29	Penulangan <i>Ribs</i>	103
Gambar 5.30	Momen pada Pelat Ekvivalen Portal As C dari Analisis Numerik.....	104
Gambar 5.31	Momen pada Pelat Ekvivalen Portal As C dari Analisis Manual.....	104

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>3D View</i>	112
Lampiran 2 <i>Elevation View Portal C Story 2</i>	112
Lampiran 3 <i>Moment 3-3 Diagram (COMB1)</i>	113
Lampiran 4 <i>Moment 3-3 Diagram (COMB3)</i>	113
Lampiran 5 <i>Plan View Story 2 Elevation 8000 Resultant M11</i> <i>Diagram (COMB1)</i>	114
Lampiran 6 <i>Plan View Story 2 Elevation 8000 Resultant M11 Diagram</i> <i>(COMB3)</i>	114
Lampiran 7 <i>3D View Resultant M11 Diagram (COMB1)</i>	115
Lampiran 8 <i>3D View Resultant M11 Diagram (COMB3)</i>	115

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas penampang (m^2)
A _s	= Luas tulangan (mm^2)
C	= Faktor respon gempa
COF	= <i>Carry Over Factor</i>
D	= Koefisien distribusi gaya geser
DF	= Distribusi Faktor
DL	= <i>Dead Load</i> (kg/m^2)
d _i	= simpangan horizontal tingkat ke-i akibat beban gempa horizontal (mm)
E	= Modulus Elastisitas (MPa)
FEM	= <i>Fixed End Moment</i>
F _i	= Beban Gempa Horizontal dalam arah yang ditinjau pada tingkat ke-i (kg)
f' _c	= Mutu beton (MPa)
f _y	= Tegangan leleh (MPa)
g	= Percepatan gravitasi (m/det^2)
h	= Tinggi bangunan (m)
h _i	= Ketinggian lantai ke-i diukur dari penjepitan lateral
I	= Momen inersia (m^4)
K	= Kekakuan struktur (kg-m)
LL	= <i>Live Load</i> (Kg/m^2)
ln	= Panjang bentang bersih pelat (m)
Mu	= Momen <i>ultimate</i> (Nmm)

- P_u = beban terpusat (kg)
 R = Faktor reduksi gempa
 SDL = Super Dead Load (kg/m^2)
 T = Periode (detik)
 T_R = Periode pembanding harga T (detik)
 V = Gaya geser (kg)
 W_i = Berat lantai ke- i (kg)
 W_t = Berat total beban mati + beban hidup yang direduksi (kg)
 δ = Defleksi / simpangan horizontal
 γ_{beton} = Berat jenis beton (kg/m^3)
 ω = Ragam getar (rad/det)