

ANALISIS DAN DESAIN PELAT LANTAI WAFEL DARI BETON PRATEGANG

Erick Alfredo

NRP : 0721022

Pembimbing : Winarni Hadipratomo, Ir

ABSTRAK

Salah satu komponen struktur dalam bangunan yang penting adalah pelat. Pelat beton dua arah yang didukung pada keempat sisinya dengan rasio sisi panjang ke sisi lebar kurang dari 2 disebut sistem pelat dua arah. Di antara berbagai jenis pelat dua arah, pelat wafel memberikan nilai estetika sebagai plafon bangunan, biarpun bekistingnya cukup mahal. Pada dasarnya pelat wafel dapat dianalisis dengan prinsip yang sama seperti sistem pelat dua arah yang lain. Tujuan penulisan Tugas Akhir ini untuk menganalisis dan mendesain pelat lantai wafel dari beton prategang pada sebuah bangunan bentang besar dengan menggunakan program *ETABS v9.7.2*.

Data akan diolah dengan bantuan program dan kemudian dianalisis sesuai dengan peraturan SNI 2002 dan Peraturan Umum Kegempaan. Desain pelat wafel beton prategang kemudian secara manual dianalisis dengan metode portal ekuivalen.

Hasil dari perhitungan struktur cukup aman menerima gempa statik pada wilayah 4 dengan kondisi tanah keras. Jumlah tendon yang digunakan sebanyak 3 buah *7-wire-strands* dan pada penebalan pelat di bagian eksterior sebanyak 5 buah tendon sedangkan di bagian interior sebanyak 10 buah tendon.

ANALYSIS AND DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE WAFFLE SLAB

Erick Alfredo

NRP : 0721022

Advisor : Winarni Hadipratomo, Ir

ABSTRACT

Slab is one important component in building structure. Two-way slab supported on four sides with a ratio of long side to side width of less than 2 is called a two-way slab system. Among several type of two-way slab, waffle slab give an aesthetics value of the building. Basically either waffle slab or another two way slab system can be analyzed in the same way. The objective of this Thesis is to analyze and design long span prestressed concrete waffle slab using ETABS v9.7.2.

The data will be processed with the aid of the program and then analyzed in accordance with SNI 2002 regulations and the General Rules of seismicity. Design of prestressed concrete waffle slab then manually analyzed by the equivalent frame method.

The calculation results of the structure is at the safe side to resist earthquake forces in 4th seismic region on hard soil conditions. The number of seven-wire strand tendon placed are 3, 5, and 10 tendons in each rib, exterior drop panel, and interior drop panel respectively.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN.....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN.....	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	1
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Metode Pembahasan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN LITERATUR	
2.1 Klasifikasi Pelat Beton Dua Arah	4
2.2 Pilihan yang Ekonomis untuk Sistem Lantai Beton.....	8
2.3 Struktur Pelat Wafel.....	9
2.4 Pelat Dua Arah dengan Metode Portal Ekuivalen.....	9
2.5 Beban Imbang Dua Arah.....	12
2.5.1 Distribusi Tendon Prategang.....	17

2.5.2 Batasan Tegangan Tarik Beton pada Beban Layan	19
2.6 Struktur Beton Prategang	20
2.6.1 Baja Prategang	20
2.6.2 Metode Penengangan Beton.....	22
2.6.3 Kehilangan Gaya Prategang.....	25
2.7 Ketentuan Umum Kegempaan	26
2.7.1 Daktilitas Struktur Bangunan.....	29
2.7.2 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental	30
2.7.3 Gaya Gempa Rencana.....	30
2.7.4 Kinerja Batas Layan Struktur Gedung	31
2.7.5 Kinerja Batas Ultimate Struktur Gedung	32
BAB III STUDI KASUS	
3.1 Data Struktur	33
3.2 Denah Struktur Bangunan	34
3.3 Data Material.....	37
3.4 Data Pembebanan.....	38
3.4.1 Beban Gravitasi.....	38
3.4.2 Beban Lateral (Gaya Gempa).....	39
3.5 Kombinasi Pembebanan.....	40
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Statik Ekuivalen Tanpa Balok Tepi	41
4.1.1 Berat Total Gedung (W_t)	41
4.1.2 Periode Getar Struktur.....	42
4.1.3 Gaya Gempa Rencana	43
4.1.4 Gaya Gempa Nominal (F_x)	43
4.1.5 Simpangan Antar Lantai	43
4.1.6 Kinerja Batas Layan dan Batas Ultimate	44
4.2 Analisis Beban Kerja.....	46
4.3 Beban Imbang dan Profil Tendon	46
4.4 Karakteristik Rangka Ekuivalen	48

4.5 Desain Momen	51
4.5.1 Desain Momen Beban Kerja	51
4.5.2 Desain Momen Imbang	52
4.5.3 Desain Momen Sekunder	53
4.5.4 Desain Momen Ultimate	55
4.5.5 Kuat Geser Nominal Pelat.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>flate plate</i>	4
Gambar 2.2	Tipe sistem pelat dua arah: (a) pelat datar (<i>flat plate</i>), (b) pelat datar (<i>flat slab</i>), (c) pelat diatas balok, dan (d) pelat wafel	5
Gambar 2.3	Pelat Dua arah (flat slab): a) kepala kolom tanpa <i>drop panel</i> , (b) kepala kolom dengan <i>drop panel</i> , (c) hanya <i>drop panel</i> tanpa kepala kolom.....	6
Gambar 2.4	Pelat dua arah, $L/S \leq 2$	6
Gambar 2.5	(a) Sistem rusuk dua arah.....	7
Gambar 2.5	Sistem rusuk dua arah: (b) Tanpa pengisi, (c) Dengan Pengisi	8
Gambar 2.6	Momen lentur balok dengan perletakan jepit.....	13
Gambar 2.7	Diagram alir perhitungan pelat wafel beton prategang.....	14
Gambar 2.8	Garis tendon prategang dalam panel dua arah	18
Gambar 2.9	Variasi distribusi tendon	19
Gambar 2.10	Jenis tendon: (a) <i>MacAlloy Bar</i> , (b) <i>Diwidag Bar</i> , (c) <i>seven–wire strand</i> , (d) <i>Compacted strand</i>	21
Gambar 2.11	<i>Strand</i> : : (a) 3 kawat, (b) 7 kawat (<i>seven–wire strand</i>), (c) 19 kawat	21
Gambar 2.12	Proses Penegangan Pratarik	23
Gambar 2.13	Metode Prategang Pascatarik	24
Gambar 2.14	Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode 500 tahun	28
Gambar 2.15	Respons Spektrum Gempa Rencana	31
Gambar 3.1	Model Struktur 3 dimensi.....	34
Gambar 3.2	Denah tipikal struktur bangunan	35
Gambar 3.3	Potongan memanjang lantai 1–3	35

Gambar 3.4 Denah pelat wafel.....	36
Gambar 3.5 Potongan memanjang I-I	36
Gambar 3.6 Potongan vertikal I-I.....	37
Gambar 3.7 Detail rusuk dan pelat.....	37
Gambar 4.1 Pusat kekakuan massa	41
Gambar 4.2 Diagram momen akibat kombinasi 2	47
Gambar 4.3 Profil tendon.....	48
Gambar 4.4 Daerah pelat yang ditinjau.....	49
Gambar 4.5 Potongan profil tendon.....	51
Gambar 4.6 Detail pemasangan tendon	55
Gambar 4.7 Detail tulangan tendon non prategang.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan I.....	27
Tabel 2.2 Taraf kinerja struktur gedung.....	29
Tabel 2.3 Koefisien ζ	30
Tabel 4.1 Berat total gedung	42
Tabel 4.2 <i>Modal participating mass ratio</i>	42
Tabel 4.3 Gaya gempa rencana mode 1	42
Tabel 4.4 Gaya gempa rencana mode 2	43
Tabel 4.5 Gaya gempa nominal mode 1.....	43
Tabel 4.6 Gaya gempa nominal mode 2.....	43
Tabel 4.7 <i>Story drift</i>	44
Tabel 4.8 Kinerja batas layan.....	44
Tabel 4.9 Kinerja batas ultimate	45
Tabel 4.10 Distribusi momen akibat beban bersih.....	52
Tabel 4.11 Distribusi momen akibat beban imbang.....	53
Tabel 4.12 Distribusi momen akibat beban terfaktor.....	54

DAFTAR NOTASI

A, B, f	koefisien untuk perhitungan I_{sb}
A_c	luas penampang beton, mm^2 .
A_m	faktor respons gempa maksimum pada spektrum respons gempa rencana.
A_{ps}	luas tendon yang digunakan, mm^2 .
A_r	pembilang dalam persamaan hiperbola faktor respons gempa C pada spektrum respons gempa rencana
A_s	luas tulangan non-prategang, mm^2 .
b	dimensi lebar dalam arah yang ditentukan, mm.
b_o	keliling dari penampang kritis pada kolom dan drop panel, mm.
b_w	lebar badan rusuk, mm.
b_1	lebar bagi penampang kritis pada drop panel dalam arah horizontal, mm.
b_2	lebar bagi penampang kritis pada drop panel dalam arah vertikal, mm.
C	faktor respons gempa.
C	konstanta torsi.
C_{AB}	jarak penampang kritis dari garis tengah CC ke garis AB, mm.
C_{CD}	jarak penampang kritis dari garis tengah CC ke garis CD, mm.
COF	carry over factor
c_1	ukuran kolom arah L_1 , m.
d	jarak dari serat terluar ke baja tarik terjauh, mm.
d_p	jarak dari tepi tertekan ke titik pusat tendon longitudinal, mm.
d_b	diameter nominal tulangan, mm.
DF	distribution factor
e	eksentrisitas, mm.
E_c	modulus elastisitas beton, MPa.
E_{ci}	modulus elastisitas awal beton, MPa.
f_c	tegangan tekan pada serat terluar, MPa.

f_{ci}	tegangan tekan awal beton, MPa.
f_c'	mutu beton pada kondisi layan/beban kerja, MPa.
f_{cs}	tegangan beton pada lokasi cgs, MPa.
FEM	fixed end moment, kNm/m.
f_{pe}	tegangan tekan beton akibat gaya prategang afektif, MPa.
f_{pi}	tegangan awal pada tendon, MPa.
f_{ps}	tegangan pada tulangan prategang pada saat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa.
f_{pu}	kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa.
f_{py}	kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan, MPa.
f_y	kuat leleh tulangan, MPa.
F_x	beban gempa nominal statik ekuivalen arah x.
F_y	beban gempa nominal statik ekuivalen arah y.
g	percepatan gravitasi, m/s^2 .
h	dimensi tinggi dalam arah yang ditentukan, mm.
h	tinggi lantai antar tingkat, mm.
h_f	tebal pelat, mm.
I	faktor keutamaan gedung.
I_c	momen inersia beton, mm^4 .
I_{sb}	momen inersia balok–pelat, mm^4 .
J_c	momen inersia untuk transfer geser momen, mm^4 .
K_c	kekakuan kolom, kNm.
K_t	kekakuan torsi pelat, kNm.
K_{sb}	kekakuan balok–pelat, kNm.
L_n	bentang bersih diukur dari muka–ke–muka tumpuan, m.
L_u	tinggi antar lantai, m.
M_{DL}	beban akibat berat sendiri, kNm.
M_n	momen nominal, kNm.
M_{SD}	momen akibat berat mati tambahan, kNm.
M_s	momen sekunder, kNm.

M_U	momen lentur penampang, kNm.
M_I	momen primer, kNm.
n	jumlah tendon yang digunakan.
P_e	gaya prategang efektif, MPa.
R	faktor reduksi gempa
T	waktu getar alami struktur, detik.
U_x	daktilitas gempa arah x.
U_y	daktilitas gempa arah y.
V	beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh gempa rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum.
V_{bx}	gaya gempa rencana arah x.
V_{by}	gaya gempa rencana arah y.
$\bar{v}_s$	kecepatan rambat rata-rata berbobot gelombang geser dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
W_{bal}	berat imbang pelat, kN/m ²
W_i	berat lantai tingkat ke- i struktur atas suatu gedung, N.
W_{net}	berat bersih pelat, kN/m ²
W_L	beban hidup, kN/m ²
W_{SW}	berat sendiri pelat, kN/m ²
W_{SD}	berat mati tambahan, kN/m ²
W_t	berat total struktur, N.
W_u	berat ultimate, kN/m ² .
W_w	berat mati total pelat, kN/m ² .
W_x	berat lantai tingkat ke- i struktur dalam arah x, N.
W_y	berat lantai tingkat ke- i struktur dalam arah y, N.
x	tebal rusuk, mm.
y	ukuran kolom arah desain, mm.
z_i	tinggi struktur lantai ke- i terhadap taraf penjepitan lateral
α_s	konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada pelat.

- β_p konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c dalam pelat prategang.
- γ faktor ukurang tulangan.
- γ_c berat volume beton, kN/m^3
- γ_f bagian dari momen tidak berimbang yang disalurkan sebagai lentur pada hubungan pelat–kolom.
- γ_L faktor beban untuk beban hidup nominal.
- γ_p faktor yang memperhitungkan tipe tendon prategang
 $= 0,55$ untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ tidak kurang dari 0,80
 $= 0,40$ untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ tidak kurang dari 0,85
 $= 0,28$ untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ tidak kurang dari 0,90
- γ_v bagian dari momen tidak berimbang yang dipindahkan sebagai geser eksentris pada hubungan pelat–kolom.
- δ_m simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana.
- δ_y simpangan struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat terjadi pelelehan pertama
- ζ zeta, koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung.
- μ faktor daktilitas struktur gedung.
- μ faktor kelengkungan untuk desain prategang.
- ω_p nilai batas indeks penulangan.
- ξ ksi, faktor pengali dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal.
- ϕ_v faktor reduksi kekuatan.

DAFTAR LAMPIRAN

L.1	Tabel momen (kN/m)	60
L.2	Diagram momen akibat kombinasi 1	60
L.3	Diagram momen akibat kombinasi 3	61
L.4	Diagram momen akibat kombinasi 4	61
L.5	Diagram momen akibat kombinasi 5	62
L.6	Diagram momen akibat kombinasi 6	62