

**ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA
DENGAN SISTEM BALOK ANAK DAN BALOK INDUK
MENGUNAKAN PELAT DUA ARAH**

**Hernando Batuwael
NRP : 0321043**

Pembimbing : Daud Rachmat W., Ir., M.Sc.

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

ABSTRAK

Pada umumnya Arsitek menginginkan desain struktur gedung dengan tinggi balok yang kecil sehingga bangunan tidak terkesan terlalu tinggi. Untuk mendapatkan tinggi balok yang lebih kecil pada sistem balok anak dan balok induk dengan pelat dua arah perlu dilakukan beberapa pemodelan jumlah balok anak yang dipakai. Disamping itu dari owner menginginkan desain struktur yang ekonomis, sehingga perlu menghitung RAB dari beberapa model yang ditinjau untuk mencari harga yang ekonomis. Pemodelan akan dilakukan untuk 3 model struktur. Model 1 jumlah balok anak 2 buah pada masing-masing bentang, model 2 jumlah balok anak 4 pada masing-masing bentang dan model 3 jumlah balok anak 6 pada masing-masing bentang.

Dengan adanya program komputer Etabs ver. 9.04 proses pencarian dimensi balok yang kecil dapat dilakukan tetapi masih memenuhi persyaratan kekuatan dan lendutan dengan cara coba-coba dengan memasukan input data pelat, balok anak, balok induk dan kolom. Perhitungan volume dan berat tulangan memakai persyaratan detailing yang berlaku untuk struktur bertulang tahan gempa sedangkan untuk harganya dipakai harga yang berlaku saat ini.

Dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan, untuk model 3 memberikan dimensi balok anak yang sama dengan model 2, sedangkan balok induk dan kolom lebih kecil dari model 2. Dimensi balok anak, balok induk dan kolom model 1 lebih besar dibandingkan dimensi model 2 dan model 3. Berat tulangan model 1 lebih kecil dibandingkan model 2 dan model 3, volume beton model 2 lebih kecil dibandingkan model 1 dan model 3 sedangkan untuk Harga struktur yang paling ekonomis adalah model 1

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas Kasih Karunia dan AnugerahNya serta pertolonganNya yang tidak pernah berkesudahan bagi saya, khususnya dalam membimbing saya dari awal pembuatan tugas akhir ini hingga sampai akhir penyusunan tugas akhir dapat terselesaikan dengan baik, biarlah kiranya ini menjadi pembelajaran yang berharga bagi saya untuk menyerahkan seluruh pembelajaran ini hanya kepada Allah. *Terima kasih Tuhan Yesus.*

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan program pendidikan sarjana di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Kristen Maranatha Bandung.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut dipilih bidang struktur dengan judul :
“ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM BALOK ANAK DAN BALOK INDUK MENGGUNAKAN PELAT DUA ARAH”.

Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan saran, arahan, dukungan doa, semangat dan harapan. Dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. **Bapak Daud Rachmat W., Ir., M.Sc.**, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan
2. **Ibu Hanny Juliany Dani, ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha

3. **Ibu Rini Iskandar, Ir.**, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha
4. Ibu Olga C. Pattipawaej, Ph.D, Bapak Anang Kristianto, ST., MT, Bapak Yosafat Aji Pranata, ST., MT., selaku penguji yang telah bersedia menguji saya dalam penyusunan tugas akhir ini
5. Papi, Mami dan adikku Erich, terimakasih atas dukungan doa,harapan, semangat dan perhatiannya
6. Bang Candra, Bang Heber, Franky, Vanlie, Hadi, Saut, Rudy, Pandapotan, Daniel, Boy (KTB dan KK), Anta, Niko (Saudara KK) serta Bang Dedy, Irma, Lusy, Astri, Hadi, Nikki, Hendra, David, Wendy, Sehat, Corry, dan Cindra (Teman-teman Satpelma). Terimakasih atas dukungan doa, semangat dan nasehatnya serta perhatian yang diberikan
7. Ibu Eny, Tina, Wawa, Lanny, Ely, dan teman PMK yang lainnya. Terimakasih atas dukungan doa, semangat dan nasehatnya serta perhatian yang diberikan
8. Anton, David, *and All Crew Civil Engineering* spesial '03

Semua adalah Anugerah yang diberikan Allah pada kita, biarlah kiranya Allah saja yang membalas semua kebaikan dari semua yang telah menolong berjalannya tugas akhir ini sampai selesai. Tuhan Yesus Mengasihinya kita semua.

Bandung, 10 Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I : PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	5
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan.....	5
1.4 Sistematika Penulisan.....	6
 BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Struktur.....	7
2.2 Sistem Balok Anak dan Balok Induk.....	8
2.2.1 Penentuan Dimensi Balok.....	9
2.2.2 Penulangan Balok.....	10

2.3	Pelat Searah dan Pelat Dua Arah.....	11
2.3.1	Penentuan Tebal Pelat.....	14
2.3.2	Menghitung Gaya Dalam Pelat.....	15
2.3.3	Menghitung Penulangan Pelat.....	16

BAB III : ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA

3.1	Beban Gempa di Indonesia.....	18
3.2	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	25
3.3	Analisis Struktur Gedung 3 Dimensi.....	28

BAB IV : STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemodelan Sistem Balok Anak dan Balok Induk dengan Pelat Dua Arah.....	31
4.1.1	Model 1.....	34
4.1.2	Model 2.....	45
4.1.3	Model 3.....	56
4.2	Pembahasan.....	67

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA.....	73
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	74
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

2.1	Lendutan Izin Maksimum.....	13
2.2	Momen di dalam Pelat Persegi yang Menumpuh pada Keempat Tepinya akibat Beban terbagi rata.....	16
3.1	Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.....	21
3.2	Spektrum Respons Gempa Rencana.....	25
3.3	Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan lebih Struktur dan Tahanan lebih Total beberapa jenis Sistem dan Subsistem Struktur Gedung.....	27
4.1	Penulangan Struktur Model 1.....	43
4.2	Volume Beton Model 1.....	43
4.3	Berat Tulangan Model 1	44
4.4	Penulangan Struktur Model 2.....	54
4.5	Volume Beton Model 2.....	54
4.6	Berat Tulangan Model 2	55
4.7	Penulangan Struktur Model 3.....	65
4.8	Volume Beton Model 3.....	65
4.9	Berat Tulangan Model 3	66
4.10	Dimensi Ketiga Model Struktur.....	67
4.11	Volume Beton dan Berat Tulangan Ketiga Model Struktur.....	67
4.12	Harga Ketiga Model Struktur.....	68

DAFTAR GAMBAR

1.1	Struktur Model 1.....	3
1.2	Struktur Model 2.....	4
1.3	Struktur Model 3.....	4
2.1	Skema Sistem Struktur Rangka.....	8
2.2.a	Pelat Satu Arah.....	12
2.2.b	Pelat Dua Arah.....	12
2.3.a	Pelat Satu Arah.....	12
2.3.b	Pelat Dua Arah.....	12
3.1	Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun.....	20
3.2	Respons Spektrum Gempa Rencana.....	23
3.3	Mekanisme Keruntuhan Ideal suatu Struktur Gedung dengan Sendi Plastis terbentuk pada ujung-ujung Balok, kaki Kolom.....	26
4.1	Diagram Alir Desain Penulangan Struktur	33
4.2	Tampak Atas Model 1.....	34
4.3	Tampak Samping Model 1.....	35
4.4	3 Dimensi gedung Model 1.....	35
4.5	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tepi Model 1.....	37
4.6	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tengah Model 1.....	40
4.7	Hasil Desain Struktur untuk Kolom Model 1.....	42
4.8	Lendutan Maksimum (combo 2) Model 1	44
4.9	Tampak Atas Model 2.....	45
4.10	Tampak Samping Model 2.....	46

4.11	3 Dimensi gedung Model 2.....	46
4.12	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tepi Model 2.....	48
4.13	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tengah Model 2.....	51
4.14	Hasil Desain Struktur untuk Kolom Model 2.....	53
4.15	Lendutan Maksimum (combo 2) Model 2.....	55
4.16	Tampak Atas Model 3.....	56
4.17	Tampak Samping Model 3.....	57
4.18	3 Dimensi gedung Model 3.....	57
4.19	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tepi Model 3.....	59
4.20	Hasil Desain Struktur untuk Balok Tengah Model 3.....	62
4.21	Hasil Desain Struktur untuk Kolom Model 3.....	64
4.22	Lendutan Maksimum (combo 2) Model 3.....	66

DAFTAR NOTASI

$A_o = C_a$	= Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh Gempa Rencana yang bergantung pada Wilayah Gempa dan jenis tanah tempat struktur gedung berada
A_m	= Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana
$A_r = C_v$	= Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C pada Spektrum Respons Gempa Rencana
A_s	= Luas tulangan utama
A_v	= Luas tulangan sengkang
b	= Lebar balok
C	= Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana
C_1	= Nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung
$d = h$	= Tebal pelat
D	= Diameter tulangan
DL	= Berat sendiri
E_c	= Modulus elastisitas beton
f	= Faktor kuat lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa nominal
f_y	= Kuat leleh tulangan longitudinal non-prategang yang disyaratkan, MPa
f_{ys}	= Kuat leleh tulangan transversal non-prategang yang disyaratkan, MPa

f_c	= Kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
F1	= Sumbu utama
F2	= Sumbu minor
g	= Percepatan gravitasi; dalam subskrip menunjukkan momen yang bersifat momen guling
h	= Tinggi balok
h_{min}	= Tebal pelat minimum
h_{max}	= Tebal pelat maksimum
I	= Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan penyesuaian umur gedung itu
I1	= Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung
I2	= Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian umur gedung
jd	= perkalian antara 0.9 dan tebal pelat
l_n	= Bentang bersih arah panjang
LL	= Beban hidup
M_u	= Momen maksimum
n	= Jumlah tulangan
R	= Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung elastic penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut; factor reduksi gempa representatif struktur gedung tidak beraturan
R_m	= Faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu jenis sistem atau subsistem struktur gedung

s	= Jarak tulangan
SDL	= Beban mati tambahan
T	= Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana
T _c	= Waktu getar alami sudut, yaitu waktu getar alami pada titik perubahan diagram C dari garis datar menjadi kurva hiperbola pada Spektrum Respons Gempa Rencana
T ₁	= Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan dinyatakan dalam detik
v	= Volume (m ³)
V	= Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut
V _c	= Kuat geser nominal
V _e	= Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan
V _n	= Kuat geser nominal yang dihitung
V _s	= Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar
V _t	= Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung dan yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons atau dari hasil analisis respons dinamik riwayat waktu
V _u	= Kuat geser terfaktor pada penampang yang ditinjau
V ₁	= Gaya geser dasar nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung
W _t	= Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai

- α (alfa) = Sudut antara perbandingan dari sumbu minor dengan sumbu utama
- $\bar{\alpha}$ (delta-m) = Nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel
- β (beta) = Perbandingan antara bentang bersih arah panjang dengan arah pendek
- λ (lamda) = Pengali untuk penambahan lendutan jangka -panjang seperti yang didefinisikan dalam SNI 03-1726-2002 pasal 11.5(2(5))
- μ (mu) = Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama
- ϕ (pi) = Faktor reduksi = 0,8
- ϕ (rou) = Rasio tulangan tekan
- ϕ_{min} (rou min)= Rasio tulangan minimum
- ϕ_{max} (rou max)= Rasio tulangan maksimum
- ϕ_b (rou balance)= Rasio tulangan dalam kondisi seimbang
- Σ (sigma) = Tanda penjumlahan.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Prosedur Analisis dan Desain Struktur menggunakan Etabs ver. 9.04.....	74
Lampiran 2 : Output Etabs Ver. 9.04.....	108
Lampiran 3 : Langkah Perhitungan Volume Beton dan Berat Tulangan.....	110
Lampiran 4 : Denah Penulangan.....	115