

PERENCANAAN GEDUNG BETON BERTULANG BERATURAN BERDASARKAN SNI 02-1726-2002 DAN FEMA 450

Eben Tulus

NRP: 0221087

Pembimbing: Yosafat Aji Pranata, ST., MT

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

ABSTRAK

Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa di Indonesia menjadi suatu hal yang sangat penting mengingat sebagian besar wilayah Indonesia terletak dalam wilayah gempa cukup tinggi, sehingga rancang bangun sepatutnya memperhitungkan kemungkinan itu. Bangunan yang di desain tahan gempa pada prinsipnya harus menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna bangunan.

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah melakukan studi perencanaan gedung beton bertulang beraturan berdasarkan peraturan SNI 03-1726-2002 dan FEMA 450, dan pembahasan meliputi perhitungan beban gempa, desain penulangan balok, kolom dan pelat, gaya geser dasar, peralihan, dan perhitungan pondasi.

Nilai gaya geser nominal arah x (V_x) mempunyai perbedaan sebesar 0,1242%, sedangkan nilai gaya geser nominal arah y (V_y) mempunyai perbedaan sebesar 0,1348%. Hal ini terjadi karena hasil perhitungan nilai F_{xi} dan F_{yi} dengan kedua metode tersebut memberikan hasil yang hampir sama. Hasil desain balok dan kolom dengan menggunakan beban gempa dengan model desain SNI 03-1726-2002 dan FEMA 450 memberikan hasil yang sama untuk desain penulangan begitu juga lendutan pada balok tidak terjadi perbedaan pada kedua model gedung. Pada gaya dalam balok perbedaan nilai V_u sebesar 0,189%, dan M_u mempunyai selisih sebesar 0,0046%, sedangkan perbedaan nilai N_u pada kolom sebesar 0,721%, perbedaan nilai V_u sebesar 0,160%, dan perbedaan hasil M_u sebesar 4,329%. Pada reaksi tumpuan, hasil desain pondasi memiliki hasil yang sama tetapi membari perbedaan ketebalan pilecap sebesar 5,263%. Secara umum, metode SNI 02-1726-2002 dan metode FEMA 450 tersebut memberikan hasil yang hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa, peraturan gempa Indonesia memberikan hasil perhitungan tersebut hampir sama dengan peraturan gempa Amerika Serikat.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR..... | ii |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| 1.2 Tujuan Penulisan..... | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penulisan | 2 |
| 1.4 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN LITERATUR..... | 4 |
| 2.1 Beton | 4 |
| 2.1 Baja | 4 |
| 2.3 Hubungan Bahan Beton dan Baja | 5 |
| 2.3.1 Hubungan Tegangan-Regangan Bahan Beton | 6 |
| 2.4 Perencanaan Gedung Beton Bertulang Beraturan..... | 7 |
| 2.4.1 Desain Tahan Gempa Bangunan Beton Bertulang..... | 8 |
| 2.4.2 Balok Beton Bertulang..... | 9 |
| 2.4.3 Kolom Beton Bertulang | 10 |
| 2.5 Beban..... | 10 |
| 2.5.1 Beban Gravitasi..... | 10 |
| 2.5.2 Beban Gempa | 11 |
| 2.6 Peraturan Gempa SNI 1726 – 2002... .. | 12 |
| 2.6.1 Gempa Rencana dan Kategori Gedung | 12 |
| 2.6.2 Wilayah Gempa..... | 15 |
| 2.6.3 Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen | 17 |
| 2.6.5 Waktu Getar Alami Fundamental | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.6 Analisis Statik Ekuivalen | 18 |
| 2.3.7 Kinerja Struktur Gedung | 18 |
| 2.7 Peraturan Gempa FEMA 450 | 20 |
| 2.8 Perangkat Lunak ETABS | 21 |
| 2.9 Pondasi | 21 |
| 2.9.1 Klasifikasi Pondasi Tiang | 23 |
| 2.9.2 Perencanaan Pondasi | 24 |
| BAB 3 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN | 27 |
| 3.1 Data Struktur | 27 |
| 3.1.1 Data Gedung | 27 |
| 3.1.2 Data Material | 29 |
| 3.1.3 Data Tanah | 29 |
| 3.1.4 Diagram Bagan Alir Studi | 30 |
| 3.2 Analisis | 31 |
| 3.2.1 Pemodelan Gedung | 32 |
| 3.2.2 Pembebanan Beban Gravitasi | 44 |
| 3.2.3 Pusat Massa | 46 |
| 3.3 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa | 46 |
| 3.3.1 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 02-1726-2002 | 48 |
| 3.3.2 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa Berdasarkan FEMA 450 | 54 |
| 3.4 Analisis Struktur dan Desain | 58 |
| 3.4.1 Lendutan dan Desain Struktur Gedung | 59 |
| 3.4.2 Desain Penulangan Balok dan Kolom Pada Gedung Model 1 | 60 |
| 3.4.3 Kontrol Kekuatan Kolom Pada Gedung Model 1 | 71 |
| 3.4.4 Desain Penulangan Balok dan Kolom Pada Gedung Model 2 | 74 |
| 3.4.5 Kontrol Kekuatan Kolom Pada Gedung Model 2 | 86 |
| 3.4.6 Desain Pelat | 88 |
| 3.5 Perencanaan Pondasi | 92 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.1 Perencanaan Pondasi Pada Gedung Model 1 | 91 |
| 3.5.2 Perencanaan Pondasi Pada Gedung Model 2 | 94 |
| 3.6 Pembahasan..... | 97 |
| BAB 4 KESIMPULAN DAN SARAN | 100 |
| 4.1 Kesimpulan | 100 |
| 4.2 Saran..... | 101 |
| DAFTAR PUSTAKA | 102 |
| LAMPIRAN..... | 103 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|---------------|--|
| A_m | Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa Maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana. |
| A_o | Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana. |
| A_p | Luas penampang ujung tiang. |
| A_r | Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C |
| A_s | Luas tulangan tarik non-prategang, mm^2 |
| $A_{s, \min}$ | Luas minimum tulangan lentur, mm^2 |
| A_{st} | Luas total tulangan longitudinal (batang tulangan atau baja profil), mm^2 |
| A_s' | Luas tulangan tekan, mm^2 |
| A_1 | Luas daerah yang dibebani |
| A_2 | Luas maksimum dari sebagian permukaan pendukung yang secara geometris serupa dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm^2 |
| B | Lebar pondasi |
| b | Lebar muka tekan komponen struktur, mm |
| b_o | Keliling dari penampang kritis pada pelat dan fondasi telapak, mm |
| C | Faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi. |
| C_1 | Nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung. |
| c_1 | Ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah bentang dimana momen lentur sedang ditentukan, mm |
| c_2 | Ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah tegak lurus terhadap arah bentang dimana momen lentur sedang ditentukan, mm |
| D | Kedalaman dasar pondasi |
| d | Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik, mm |

| | |
|--------|---|
| db | Diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang, mm |
| DL | Dead Load (beban mati) |
| E_c | Modulus elastisitas beton, MPa |
| ETABS | <i>Extended Three Dimensional Analysis of Building.</i> |
| f_c' | Kuat tekan beton karakteristik, MPa |
| FEMA | Federal Emergency Agency |
| F_i | Beban gempa nominal statik ekuivalen. |
| FK | Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>) |
| f_s | Unit shaft friction sepanjang ΔL |
| f_y | Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa |
| g | Percepatan gravitasi |
| h_i | Ketinggian lantai tingkat ke-i, diukur dari taraf penjepitan lateral. |
| I | Faktor keutamaan gedung. |
| I_1 | Faktor keutamaan gedung untuk perioda ulang gempa. |
| I_2 | Faktor keutamaan berkaitan dengan penyesuaian umur gedung. |
| k | Eksponen yang terkait untuk periode struktur. |
| LL | <i>Live Load</i> (beban hidup) |
| M_c | Momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan, N-mm |
| M_u | Momen terfaktor pada penampang, N-mm |
| M_1 | Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda, N-mm |
| M_2 | Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan; selalu bernilai positif, N-mm |
| n | Nomor lantai tingkat paling atas (lantai puncak). |
| P_n | Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan, N |
| P_u | Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan $\leq \phi P_n$ |
| Q_p | Kapasitas ujung tiang. |
| Q_s | Kapasitas selimut tiang |

| | |
|------------|--|
| q_{c1} | Nilai q_c rata-rata pada 0.7 B-4B di bawah ujung tiang |
| q_{c2} | Nilai q_c rata-rata pada ujung tiang 8 B di atas ujung tiang. |
| R | Faktor reduksi gempa. |
| R_m | Faktor reduksi gempa maksimum. |
| SNI | Standar nasional Indonesia. |
| SR | Skala Richter |
| SRPMK | Sistem rangka pemikul momen khusus. |
| T | Waktu getar alami struktur. |
| V | Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh gempa rencana. |
| V_c | Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N |
| V_u | Gaya geser terfaktor pada penampang, N |
| V_t | Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan. |
| V_1 | Gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam yang pertama saja. |
| V_c | Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton |
| W_i | Berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai. |
| wu | Beban terfaktor per unit panjang dari balok atau per unit luas pelat |
| W_t | Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai |
| Δ_m | Kinerja batas layan ultimit. |
| Δ_s | Kinerja batas layan. |
| μ | Faktor daktilitas struktur gedung. |
| μ_m | Faktor daktilitas maksimum. |
| ΔL | Panjang segmen tiang yang ditinjau. |
| β | Faktor yang didefinisikan dalam 12.2(7(3)) |
| ρ | Rasio tulangan tarik non-prategang |
| ρ' | Rasio tulangan tekan non-prategang |
| ϕ | Faktor reduksi kekuatan. |
| α_m | Nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel |

- δ_m Rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan.
- δ_y Simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama.

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Beton dan Baja | 6 |
| Gambar 2.2 Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Beton..... | 7 |
| Gambar 2.3 <i>Respons Spektrum</i> Gempa Rencana | 16 |
| Gambar 2.4 Perhitungan Daya Dukung Ujung | 25 |
| Gambar 3.1 Model 3D..... | 28 |
| Gambar 3.2 Denah Struktur Tampak Samping | 28 |
| Gambar 3.3 Menah Struktur Tampak Atas | 29 |
| Gambar 3.4 Diagram Bagan Alir Studi..... | 30 |
| Gambar 3.5 Potongan Pelat..... | 33 |
| Gambar 3.6 Tampilan Awal Program | 39 |
| Gambar 3.7 Data Material Beton | 39 |
| Gambar 3.8 Penampang Profil Balok..... | 40 |
| Gambar 3.9 Penampang Profil Kolom | 40 |
| Gambar 3.10 Pelat Lantai..... | 41 |
| Gambar 3.11 <i>Static Load Case</i> | 41 |
| Gambar 3.12 <i>Load Combinations</i> Data..... | 42 |
| Gambar 3.13 Properti Balok | 43 |
| Gambar 3.14 Properti Kolom..... | 43 |
| Gambar 3.15 Properti Pelat..... | 43 |
| Gambar 3.16 Perletakan Struktur..... | 44 |
| Gambar 3.17 Beban Mati Lantai | 44 |
| Gambar 3.18 Beban Hidup Lantai | 45 |
| Gambar 3.19 Hasil Kontrol Pembebanan LL dan SDL | 45 |
| Gambar 3.20 Pusat Massa | 46 |
| Gambar 3.21 Nilai Periode Getar..... | 47 |
| Gambar 3.22 Massa Bangunan | 47 |
| Gambar 3.23 <i>Respons Spektrum</i> Wilayah 4..... | 48 |
| Gambar 3.24 <i>Input</i> Beban F_x Pada Statik Ekuivalen SNI 02-1726-2002 | 51 |
| Gambar 3.25 <i>Input</i> Beban F_y Pada Statik Ekuivalen SNI 02-1726-2002 | 51 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.26 <i>Input</i> Beban F_x Pada Statik Ekvivalen FEMA 450 | 56 |
| Gambar 3.27 <i>Input</i> Beban F_y Pada Statik Ekvivalen FEMA 450 | 57 |
| Gambar 3.28 Balok Dan Kolom Yang di Tinjau | 59 |
| Gambar 3.29 Lendutan Pada Gedung Model 1 | 59 |
| Gambar 3.30 Lendutan Pada Gedung Model 2..... | 60 |
| Gambar 3.31 Detail Penulangan Balok Pada Gedung Model 1 | 68 |
| Gambar 3.32 Detail Penulangan Kolom Pada Gedung Model 1 | 71 |
| Gambar 3.33 <i>Material Properties</i> | 72 |
| Gambar 3.34 <i>Rectangular Section</i> | 72 |
| Gambar 3.35 <i>Input</i> Diameter Tulangan | 73 |
| Gambar 3.36 Data Beban P_u dan M_u | 73 |
| Gambar 3.37 Hasil <i>Run Program Pca Column</i> | 74 |
| Gambar 3.38 Detail Penulangan Balok Pada Gedung Model 2..... | 82 |
| Gambar 3.39 Detail Penulangan Kolom Pada Gedung Model 2 | 85 |
| Gambar 3.40 <i>Material Properties</i> | 86 |
| Gambar 3.41 <i>Rectangular Section</i> | 86 |
| Gambar 3.42 <i>Input</i> Diameter Tulangan | 87 |
| Gambar 3.43 Data Beban P_u dan M_u | 87 |
| Gambar 3.44 Hasil <i>Run Program Pca Column</i> | 88 |
| Gambar 3.45 Potongan Tulangan Pelat Lantai | 91 |
| Gambar 3.46 Detail Desain Pondasi Pada Gedung Model 1 | 94 |
| Gambar 3.47 Detail Desain Pondasi Pada Gedung Model 2 | 96 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung..... | 11 |
| Tabel 2.2 Faktor Keutamaan I Untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan..... | 13 |
| Tabel 2.3 Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Struktur dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsistem Struktur Gedung..... | 14 |
| Tabel 3.1 Gaya Geser Struktur Arah y (V_{by}) SNI 03-1726-2002 | 49 |
| Tabel 3.2 Gaya Geser Struktur Arah x (V_{bx}) SNI 03-1726-2002 | 49 |
| Tabel 3.3 Gaya Gempa Rencana (F_y) SNI 03-1726-2002 | 50 |
| Tabel 3.4 Gaya Gempa Rencana (F_x) SNI 03-1726-2002..... | 50 |
| Tabel 3.5 Nilai T_x (Ray) SNI 03-1726-2002 | 52 |
| Tabel 3.6 Nilai T_y (Ray) SNI 03-1726-2002 | 53 |
| Tabel 3.7 Gaya Gempa Rencana Arah y (V_{by}) FEMA 450..... | 55 |
| Tabel 3.8 Gaya Gempa Rencana Arah x (V_{bx}) FEMA 450..... | 56 |
| Tabel 3.9 Nilai T_x (Ray) FEMA 450 | 57 |
| Tabel 3.10 Nilai T_y (Ray) FEMA 450 | 58 |
| Tabel 3.11 Perbandingan Nilai F_y | 97 |
| Tabel 3.12 Perbandingan Nilai F_x | 97 |
| Tabel 3.13 Gaya Dalam dan Lendutan..... | 98 |
| Tabel 3.14 Gaya Dalam Pada Kolom..... | 98 |
| Tabel 3.15 Perbedaan Desain Penulangan Balok 400/600..... | 98 |
| Tabel 3.16 Perbedaan Desain Penulangan Kolom 700/700 | 99 |
| Tabel 3.17 Pondasi dan <i>Pilecap</i> | 99 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1 Data Sondir | 103 |
| Lampiran 2 Nilai periode Getar | 107 |
| Lampiran 3 Batas Layan dan Batas <i>Ultimate</i> | 109 |
| Lampiran 4 <i>Story Shear</i> | 114 |
| Lampiran 5 <i>Output Program Concrete Pilecap Design</i> | 131 |
| Lampiran 6 <i>Output Program LPILE Plus 4.0</i> | 138 |