

# ANALYSIS AND DESIGN OF 9-STOREY EARTHQUAKE RESISTANT CONCRETE BUILDING BASED ON SNI 1726-2002 AND RSNI 201x

## ANALISIS DAN DESAIN GEDUNG BETON BERTULANG 9 LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726-2002 DAN RSNI 201x

Maria Monitaris Ayu Jakindo<sup>1)</sup>, Yosafat Aji Pranata<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung 40164

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung 40164, E-mail [yosafat.ap@gmail.com](mailto:yosafat.ap@gmail.com)

### ABSTRACT

In an effort to reduce victims and damages building from the impact of earthquakes then needed earthquake resistant buildings. With planning and building earthquake-resistant buildings are expected to be made safe, stable, and easy to collapse. The purpose of research is to analyze reinforced concrete earthquake resistant building, with long-span beams based on the calculation of earthquake loads Indonesia earthquake loads in compliance with SNI 1726-2002 and RSNI 201x. From the analysis of the building using seismic regulations Indonesia SNI 1726-2002 and RSNI 201x using ETABS software support, it can be summed up as follows: Building A has a basic shear force greater than the Building B, Building A has a larger displacement and drift compared to Building A,  $T > 0.56$  second the value of the acceleration factor in the regulation SNI 1726-2002 spectra greater than RSNI 201x, Building A has a number of a reinforcement beam more than the Building B, reinforcement beams prestressed reinforcement strands has as many as 43 pieces, flexural used 3D25 with Angkur Type E, and Building A has the same number of column reinforcements compared to Building B.

**Keywords:** SNI 1726-2002, RSNI 201x, prestressed concrete, slender beams, earthquake

### ABSTRAK

Dalam upaya mengurangi dampak terjadinya korban jiwa dan kerusakan bangunan akibat adanya gempa maka diperlukan adanya bangunan tahan gempa. Dengan perencanaan bangunan tahan gempa diharapkan bangunan yang dibuat dapat aman, stabil, dan tidak mudah roboh. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis bangunan gedung beton bertulang tahan gempa, dengan balok bentang panjang berdasarkan perhitungan beban gempa sesuai peraturan beban gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x. Dari hasil analisis gedung dengan menggunakan peraturan gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Gedung A memiliki gaya geser dasar lebih besar dibandingkan dengan Gedung B, Gedung A memiliki displacement dan drift lebih besar dibandingkan dengan Gedung A,  $T > 0,56$  detik nilai percepatan faktor spektra pada peraturan SNI 1726-2002 lebih besar dibandingkan dengan RSNI 201x, Gedung A memiliki jumlah tulangan balok lebih banyak dibandingkan dengan Gedung B, tulangan balok prategang memiliki tulangan strand sebanyak 43 buah, tulangan lentur yang digunakan 3D25 dengan Tipe Angkur E, dan Gedung A memiliki jumlah tulangan kolom sama dibandingkan dengan Gedung B.

**Kata-kata kunci:** SNI 1726-2002, RSNI 201x, beton prategang, balok bentang panjang, gempa

### PENDAHULUAN

Bumi dibagi menjadi beberapa lempeng. Lempeng-lempeng tersebut terus bergerak. Pergerakan lempeng-lempeng tersebut menghasilkan tekanan yang melepaskan energi. Semakin lama tekanan itu semakin besar sehingga melepaskan energi yang besar sehingga mengakibatkan gempa bumi. Gempa bumi yang sering terjadi mengakibatkan bencana alam. Bencana alam tersebut umumnya dapat diklasifikasikan menjadi dua macam: (1) Bencana primer, (2) Bencana sekunder (Yeats, et al., 1997). Bencana primer adalah efek langsung dari proses gempanya, yaitu (a) efek

dari perekahan dan pergerakan pada patahan, (b) efek goncangan/getaran dari gelombang seismik yang menjalar dari sumber gempa ke sekitarnya, (c) tsunami apabila terjadi di bawah laut.

Bencana sekunder adalah bencana ikutan atau bencana alam yang dipicu oleh getaran gempa bumi, yaitu seperti kerusakan akibat gerakan tanah dan terjadinya likuifaksi. Sebagian ahli mengklasifikasikan tsunami sebagai bencana sekunder karena bukan langsung karena proses gempanya tapi karena volume air yang didorong ke atas oleh proses gempa yang mengakibatkan pengangkatan dari dasar laut. Meski-

pun demikian yang penting adalah pengertian sekunder di sini tidak berarti bahwa bencananya lebih kecil dari yang primer tapi malah sering sebaliknya (Danny, 2008).



Gambar 1. Kerusakan bangunan gedung akibat gempa tektonik di Padang, Sumatera Barat, Rabu 30 September 2009 (Sumber : kompas.com)

Gempa bumi besar di Indonesia yang menimbulkan bencana besar terjadi di Padang, Sumatera Barat. Gempa ini tidak hanya dirasakan di Medan, Jambi, Pekanbaru, Lampung, Bengkulu, tetapi juga di negara jiran Malaysia dan Singapura. Gempa berkekuatan 7,6 SR, pukul 17:16 WIB itu menelan korban puluhan jiwa, ribuan rumah hancur berantakan, sejumlah bangunan perkantoran dan pusat perbelanjaan juga rubuh, bahkan beberapa jalan provinsi juga rusak. Beberapa gedung yang runtuh yakni Gedung BII di Jalan Sudirman, Suzuki Ujung Jalan Ujung Gurun, Capella, Sentral Pasaraya Padang, Ramayana di Jalan Pemuda, dan puluhan rumah permanen dan semipermanen milik warga dalam sekejap runtuh (Kompas.com).

Dalam upaya mengurangi dampak bencana di suatu wilayah, tindakan pencegahan perlu dilakukan. Pada saat bencana terjadi, korban jiwa dan kerusakan yang timbul umumnya disebabkan oleh kurangnya persiapan. Pencegahan yang dibutuhkan salah satunya adalah dengan perencanaan bangunan tahan gempa. Dengan perencanaan bangunan tahan gempa diharapkan bangunan yang dibuat dapat aman, stabil, dan tidak mudah roboh pada saat terjadi gempa bumi.

### Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis bangunan gedung beton bertulang tahan gempa, dengan balok bentang panjang berdasarkan perhitungan beban gempa sesuai peraturan beban gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x. Dalam perkembangannya, standar yang ada untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa bagi struktur bangunan ge-

dung saat ini perlu diperbaharui dan dikembangkan, hal ini untuk mengikuti perkembangan teknologi yang ada sehingga dapat sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil hingga standar yang baru akan tetap akurat dalam penggunaannya

Adapun ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang akan dibahas adalah bangunan gedung beton bertulang dengan fungsi untuk kantor dan *showroom* mobil.
2. Jumlah lantai adalah 9 (sembilan) lantai.
3. Bangunan terletak di wilayah gempa 6 di Indonesia, dengan jenis tanah sedang.
4. Peraturan gempa yang digunakan adalah peraturan gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x.
5. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi berdasarkan SNI 1726-2002.
6. Pembahasan meliputi perilaku struktur bangunan gedung akibat adanya beban gempa.
7. Gedung direncanakan agar memenuhi persyaratan-persyaratan sesuai peraturan gempa Indonesia.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seismosoft dengan sifat lisensi akademik dan ETABS dengan sifat lisensi atas nama Laboratorium Komputer Pusat Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

## TINJAUAN LITERATUR

### Beban Gempa

Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung akibat adanya pergerakan tanah. Namun pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal. Besarnya gaya geser dasar (statik ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan (BSN, 2002):

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t \quad (1)$$

dengan:

- $C_1$  = faktor respon gempa yang ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanahnya
- $I$  = faktor keutamaan gedung
- $R$  = faktor reduksi gempa yang bergantung pada jenis struktur yang bersangkutan
- $W_t$  = berat total bangunan termasuk beban hidup yang bersesuaian

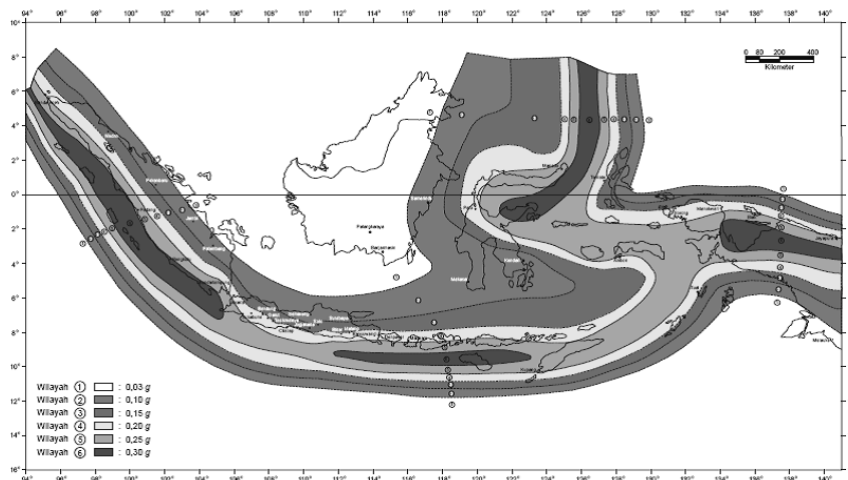
### Peraturan Gempa Indonesia Berdasarkan SNI 1726-2002

Umumnya bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan. Tujuan dari penetapan standar SNI 1726-2002 ini tidak lain untuk menyamakan standar

SNI 1726-2002 ini tidak lain untuk menyamakan standar perencanaan gedung yang tahan gempa di Indonesia, di mana peraturan tersebut sudah disesuaikan dengan kondisi beban gempa di Indonesia. Standar tersebut juga bertujuan untuk membatasi kerusakan gedung akibat gempa sedang sehingga masih dapat diperbaiki secara ekonomis dan korban jiwa akibat runtuhnya gedung dapat dihindari. Standar SNI 1726-2002 ini tidak berlaku untuk bangunan gedung dengan sistem struktur yang tidak umum atau gedung dengan sistem *base isolation*, sarana infrastruktur seperti jembatan, bangunan air, dinding dan dermaga pelabuhan, an-jungan lepas

pantai dan bangunan non gedung lain-nya, rumah tinggal satu tingkat dan gedung non tek-nis lainnya.

Beban gempa yang bekerja pada bangunan ditentukan oleh kondisi geologi setempat. Untuk Indonesia resiko kegempaan pada bangunan dibagi menjadi 6 wilayah gempa. Wilayah gempa tersebut disusun berdasarkan atas 10% kemungkinan gerak tanah oleh gempa rencana dilampai dalam periode 50 tahun, yang identik dengan periode ulang rata-rata 500 tahun. Pembagian wilayah gempa di Indonesia didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun.



Gambar 2. Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan batuan dasar dengan periode ulang 500 Tahun (BSN, 2002)

Analisis beban statik ekuivalen adalah salah satu cara analisis statik struktur, di mana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horisontal untuk hanya boleh dilakukan struktur-struktur gedung sederhana dan beraturan yang tidak menunjukkan perubahan yang mencolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya, karena beban statik ekuivalen hanyalah pendekatan yang meniru pengaruh dinamik dari gempa yang sesungguhnya. Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung beraturan adalah suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi, sehingga respons dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen.

Sesuai dengan SNI 1726-2002, persyaratan *drift* atau pembatasan simpangan antar tingkat pengaruh gempa nominal sebagai berikut:

Kinerja batas layan

$$\Delta_s \leq \frac{0,03}{R} h_i \text{ atau } \leq 30 \text{ mm} \quad (2)$$

Pembatasan ini bertujuan mencegah terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan disamping untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan menjaga kenyamanan penghuni.

Kinerja batas ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan.

a. Untuk struktur gedung beraturan:

$$\Delta_m = 0,7 R \Delta_s, \text{ atau } \leq 0,02 h_i \quad (3a)$$

b. Untuk struktur gedung tidak beraturan:

$$\Delta_m \leq \frac{0,7R}{\text{FaktorSkala}} \Delta_s \quad (3b)$$

Pembatasan ini bertujuan membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian

struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi).

Untuk struktur gedung tidak beraturan yang tidak memenuhi ketentuan SNI 1726-2002, pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respons dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respons struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi, dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama (fundamental) harus dominan dalam translasi. Daktilitas struktur gedung tidak beraturan harus ditentukan yang representatif mewakili daktilitas struktur 3D. Tingkat daktilitas tersebut dapat dinyatakan dalam faktor reduksi gempa  $R$  representatif, yang nilainya dapat dihitung sebagai nilai rata-rata berbobot dari faktor reduksi gempa untuk 2 arah sumbu koordinat orthogonal dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh struktur gedung dalam masing-masing arah tersebut.

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal  $V$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut:

$$V \geq 0,8V_1 \quad (4)$$

dengan:

$V_1$  = gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut persamaan (1)

Perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respons dengan memakai Spektrum Respons Gempa Rencana yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi  $I/R$ , di mana  $I$  adalah Faktor Keutamaan sedangkan  $R$  adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Penjumlahan respons ragam yang untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki

waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS). Untuk memenuhi persyaratan menurut Pasal 7.1.3 SNI Gempa 1726-2002, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu, harus dikalikan nilainya dengan suatu Faktor Skala:

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,8 \cdot V_s}{V_d} \geq 1 \quad (5)$$

$$V_s = \frac{2,5 \times C_a \times I \times W_t}{R \times T} \leq \frac{C_v \times I \times W_t}{R} \quad (6)$$

dengan :

$V_s$  = gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam yang pertama saja

$V_d$  = gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.

Bila diinginkan, dari diagram atau kurva gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung dapat ditentukan beban-beban gempa nominal statik ekuivalen yang bersangkutan (selisih gaya geser tingkat dari 2 tingkat berturut-turut), yang bila perlu diagram atau kurvanya dimodifikasi terlebih dulu secara konservatif untuk mendapatkan pembagian beban-beban gempa nominal statik ekuivalen yang lebih baik sepanjang tinggi struktur gedung. Beban-beban gempa nominal statik ekuivalen ini kemudian dapat dipakai dalam suatu analisis statik ekuivalen 3 dimensi biasa.

(4)

### Peraturan Gempa Indonesia Berdasarkan RSNI 201x

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan jika tidak memenuhi persyaratan struktur gedung beraturan yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik.

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 7, di dalam perencanaan gedung tidak beraturan dapat digunakan prosedur analisis berikut:

#### 1. Analisis ragam respons spektrum

Analisis ragam respons spektrum adalah suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metode analisis yang dikenal dengan analisis ragam spektrum respons, di mana respons dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respons dinamik maksimum masing-masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respons gempa rencana.

2. Analisis respons dinamik riwayat waktu linier dan nonlinier

Analisis respons dinamik riwayat waktu linier adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung atau dapat juga dengan metode analisis ragam.

Analisis respons dinamik riwayat waktu nonlinier adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linier) maupun elasto-plastik (nonlinier) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

Berdasarkan RSNI 201x pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2, ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidakberaturan horizontal dan vertikal.

Berdasarkan RSNI 201x pasal 6.3, respons spektra desain harus ditentukan dan dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra berdasarkan RSNI 201x pasal 6.3 adalah:

**Parameter Percepatan Batuan Dasar**

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik seperti ada pada Gambar 3 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 3. Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (BSN, 201x)



Gambar 4. Peta Respon Spektra Percepatan 1,0 detik ( $S_1$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 Tahun (BSN, 201x)

**Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE<sub>R</sub>)**

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE<sub>R</sub> di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Berdasarkan RSNi 201x pasal 6.2, faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F<sub>a</sub>) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F<sub>v</sub>). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S<sub>MS</sub>) dan periode 1 detik (S<sub>M1</sub>) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan perumusan berikut ini.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (7)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (8)$$

dengan:

S<sub>s</sub> = parameter respons spektra percepatan gempa MCE<sub>R</sub> terpetakan untuk periode pendek

S<sub>1</sub> = parameter respons spektra percepatan gempa MCE<sub>R</sub> terpetakan untuk periode 1 detik

Koefisien situs F<sub>a</sub> dan F<sub>v</sub> ditentukan berdasarkan tabel di bawah ini:

Tabel 1. Koefisien situs, F<sub>a</sub> berdasarkan RSNi 201x

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE <sub>R</sub> terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S <sub>s</sub>				
	S <sub>s</sub> ≤ 0,25	S <sub>s</sub> = 0,5	S <sub>s</sub> = 0,75	S <sub>s</sub> = 1	S <sub>s</sub> ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

Tabel 2. Koefisien situs, F<sub>v</sub> berdasarkan RSNi 201x

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE <sub>R</sub> terpetakan pada periode 1 detik, S <sub>1</sub>				
	S <sub>1</sub> ≤ 0,1	S <sub>1</sub> = 0,2	S <sub>1</sub> = 0,3	S <sub>1</sub> = 0,4	S <sub>1</sub> ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Keterangan :

- Nilai-nilai F<sub>a</sub> maupun F<sub>v</sub> yang tidak terdapat pada tabel dapat dilakukan proses interpolasi linier.
- SS merupakan situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik

**Parameter Percepatan Spektra Desain**

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S<sub>DS</sub>) dan periode 1 detik (S<sub>D1</sub>) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (10)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (11)$$

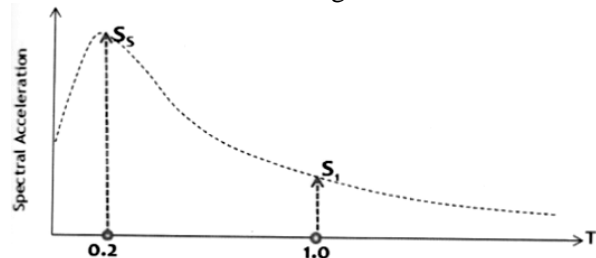
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (12)$$

dengan:

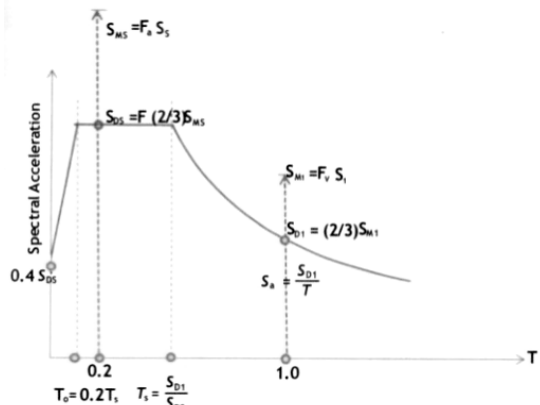
S<sub>DS</sub> = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

S<sub>D1</sub> = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik

Semua parameter respons desain diplot di dalam grafik dan akan menghasilkan respons spektra desain. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 diperlihatkan ilustrasi percepatan dari batuan dasar (site) yang di-amplifikasi sehingga menjadi percepatan dasar tanah di bawah suatu struktur bangunan.



Gambar 5. Spectra Acceleration Bedrock (BSN, 201x)



Gambar 6. Response Spectra Desain (BSN, 201x)

Untuk periode yang lebih kecil dari T<sub>0</sub>, spektrum respons percepatan desain, S<sub>a</sub>, harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (13)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T<sub>0</sub> dan lebih kecil dari atau sama dengan T<sub>s</sub>, spektrum respons desain, S<sub>a</sub>, sama dengan S<sub>DS</sub>. Sedangkan untuk periode lebih besar dari T<sub>s</sub>, spektrum respons percepatan desain, S<sub>a</sub>, diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (14)$$

dengan:

S<sub>DS</sub> = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

$S_{Di}$  = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik  
 $T$  = Periode getar fundamental struktur

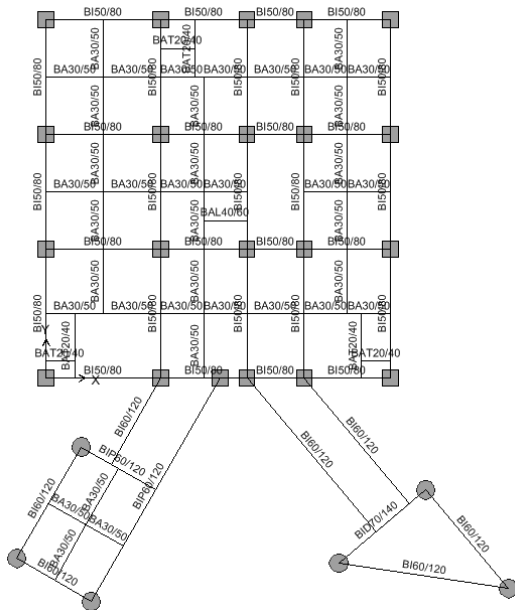
**Penulangan Balok Beton Bertulang, Balok Prategang, dan Kolom Beton Bertulang**

Untuk penulangan digunakan sesuai peraturan SNI 2847-2002. Perhitungan dibantu dengan perangkat lunak *Spreadsheet*.

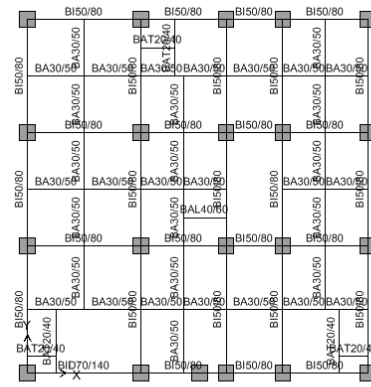
**STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN**

Gedung termasuk kategori tidak beraturan, dan terletak pada wilayah 6 tanah sedang dengan sistem struktur SRPMK. Dalam penelitian ini, akan dibandingkan dianalisis dua peraturan dengan gedung yang sama.

Selanjutnya dalam penelitian ini gedung yang dianalisis dengan menggunakan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 selanjutnya disebut **Gedung A** dan gedung yang dianalisis dengan menggunakan Peraturan Gempa RSNI 201x selanjutnya disebut **Gedung B**. Denah struktur dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 7. Denah Lantai 1, 3, 5, 7



Gambar 8. Denah Lantai 2, 4, 6, 8



Gambar 9. Model Struktur 3D

Dari model struktur tersebut, dengan bantuan perangkat lunak *ETABS* maka dapat diperoleh nilai peralihan dan *drift* antar tingkat yang ditinjau di point 23. Berikut adalah perbandingan antara dua peraturan, yaitu selengkapnya ditampilkan pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8.

Tabel 3. Peralihan (*Displacement*) Arah x

Lantai	<i>Displacement</i> Gedung A (mm)	<i>Displacement</i> Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	46,80	41,80	10,68
8	43,50	38,80	10,80
7	39,20	34,90	10,97
6	33,80	30,10	10,95
5	27,70	24,70	10,83
4	21,10	19,00	9,95
3	14,30	13,00	9,09
2	8,10	7,40	8,64
1	2,60	2,40	7,69

Tabel 4. Peralihan (*Displacement*) Arah y

Lantai	<i>Displacement</i> Gedung A (mm)	<i>Displacement</i> Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	51,90	46,40	10,60
8	49,10	43,80	10,79
7	45,00	40,10	10,89
6	39,50	35,20	10,89
5	33,00	29,50	10,61
4	25,70	23,10	10,12
3	17,80	16,10	9,55
2	10,10	9,10	9,90
1	3,20	2,90	9,38

Tabel 5. *Drift*  $\Delta_s$  antar tingkat Arah x

Lantai	<i>Drift</i> $\Delta_s$ antar tingkat Gedung A (mm)	<i>Drift</i> $\Delta_s$ antar tingkat Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	3,30	3,00	9,09
8	4,30	3,90	9,30
7	5,40	4,80	11,11
6	6,10	5,40	11,48
5	6,60	5,70	13,64
4	6,80	6,00	11,76
3	6,20	5,60	9,68
2	5,50	5,00	9,09
1	2,60	2,40	7,69

Tabel 6. *Drift*  $\Delta_s$  antar tingkat Arah y

Lantai	<i>Drift</i> $\Delta_s$ antar tingkat Gedung A (mm)	<i>Drift</i> $\Delta_s$ antar tingkat Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	2,80	2,60	7,14
8	4,10	3,70	9,76
7	5,50	4,90	10,91
6	6,50	5,70	12,31
5	7,30	6,40	12,33
4	7,90	7,00	11,39
3	7,70	7,00	9,09
2	6,90	6,20	10,14
1	3,20	2,90	9,38

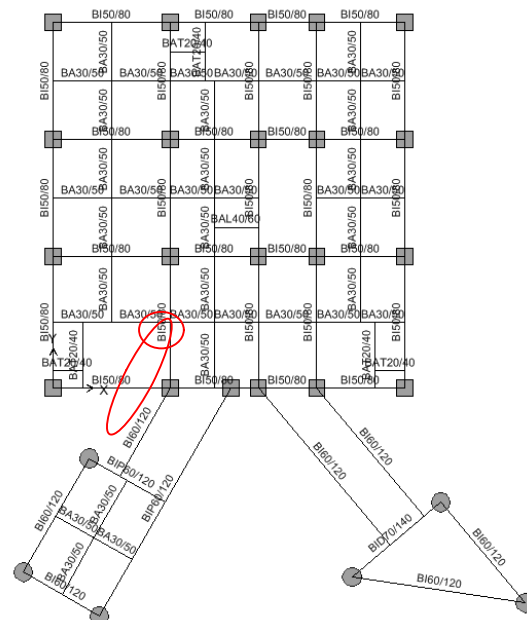
Tabel 7. *Drift*  $\Delta_m$  antar tingkat Arah x

Lantai	<i>Drift</i> $\Delta_m$ antar tingkat Gedung A (mm)	<i>Drift</i> $\Delta_m$ antar tingkat Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	9,6335	9,0135	6,44
8	12,5527	11,7175	6,65
7	15,7638	14,4216	8,51
6	17,8073	16,2243	8,89
5	19,2669	17,1256	11,11
4	19,8507	18,0270	9,19
3	18,0992	16,8252	7,04
2	16,0558	15,0225	6,44
1	7,5900	7,2108	5,00

Tabel 8 *Drift*  $\Delta_m$  antar tingkat Arah y

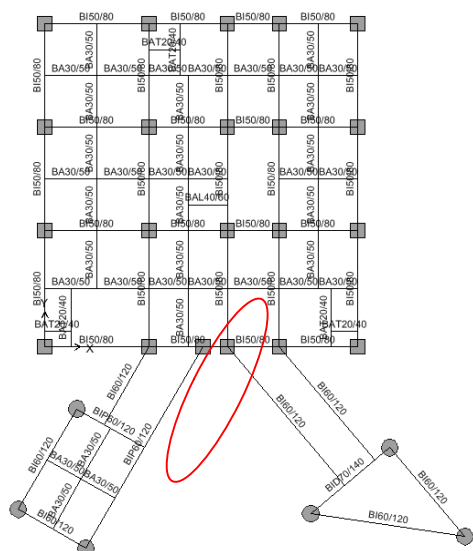
Lantai	<i>Drift</i> $\Delta_m$ antar tingkat Gedung A (mm)	<i>Drift</i> $\Delta_m$ antar tingkat Gedung B (mm)	% - Relatif Beda
9	8,1738	7,8117	4,43
8	11,9688	11,1166	7,12
7	16,0558	14,7220	8,31
6	18,9750	17,1256	9,75
5	21,3104	19,2288	9,77
4	23,0619	21,0315	8,80
3	22,4781	21,0315	6,44
2	20,1427	18,6279	7,52
1	9,3415	8,7130	6,73

Pada penelitian ini, balok dan kolom yang di desain adalah balok B35 untuk balok beton bertulang dan B174 untuk balok prategang, dan kolom C48 seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Balok B35 dan Kolom C48 Beton bertulang pada Lantai 3





Gambar 11. Balok B174 (Lantai 3) yang ditinjau

Dengan bantuan perangkat lunak *ETABS*, maka diperoleh gaya dalam sehingga dapat dihitung jumlah tulangan yaitu selengkapnya ditampilkan pada Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11, Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 sebagai berikut.

Tabel 9. Penulangan Balok Beton Bertulang Gedung A

Type	Detail Balok B35, 600×1200		
Position	Support (Left)	Midspan	Support (Right)
Section			
Top rebar	10D25	5D25	10D25
Bot rebar	7D25	5D25	7D25
Stirrups	4D13-90 mm	4D13-190 mm	4D13-90 mm

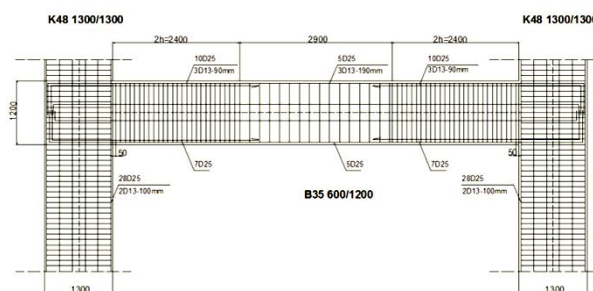
Tabel 10. Penulangan Balok Beton Bertulang Gedung B

Type	Detail Balok B35, 600×1200		
Position	Support (Left)	Position	Support (Left)
Section			
Top rebar	9D25	5D25	9D25
Bot rebar	7D25	5D25	7D25
Stirrups	4D13-100 mm	4D13-200 mm	4D13-100 mm

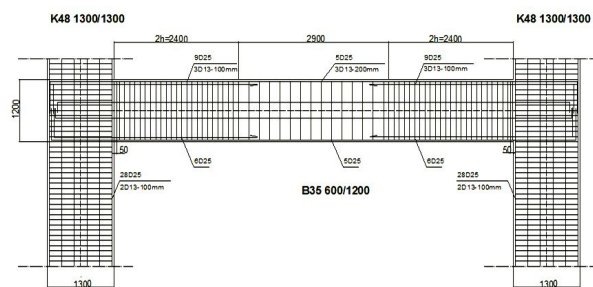
Tabel 11. Detail Penulangan Kolom Beton Bertulang

Type	Kolom C48 1300 × 1300	
Gedung	A	B
Section		
Rebar	28D25	28D25
Stirrups	D13-100	D13-100

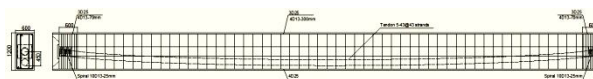
Dari hasil perhitungan penulangan baik balok dan kolom beton bertulang maupun balok prategang maka dapat dilihat pada gambar detail berikut ini.



Gambar 12. Detail Penulangan Balok dan Kolom Beton Bertulang Gedung A (satuan mm)



Gambar 13. Detail Penulangan Balok dan Kolom Beton Bertulang Gedung B (satuan mm)



Gambar 14. Detail Penulangan Balok Prategang (satuan mm)

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2002)*.
- Badan Standarisasi Nasional. 201x. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (RSNI 201x)*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 2847-2002)*.
- Budiono B., dan Supriatna, L., 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 1726-2002 dan RSNI 201x*. Bandung: Penerbit ITB.
- Computer and Structures, Inc., 2009. *ETABS Manual*, Computer and Structures, Inc.
- Hibbeler, R.C., 2011. "*Structural Analysis 8th Edition*". Pearson Prentice Hall Inc.
- Jakindo, M., (2013). Analisis dan Desain Gedung Beton Bertulang 9 Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2002 dan RSNI 201x. *Tugas Akhir* (tidak dipublikasikan), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha.
- Natawidjaja, D. H., 2008. *Evaluasi Bahaya Patahan Aktif, Tsunami dan Guncangan Gempa*. Lembaga Ilmu Pengetahuan.
- Nawy, E. G., 2001. *Beton Prategang, Suatu Pendekatan Mendasar*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Standar Konstruksi Bangunan Indonesia. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*.
- URL: <http://www.kompas.com>
- URL: <http://www.vsl.net>
- Wight, J.K., and MacGregor, J.G. 2009. *Reinforced Concrete 5<sup>th</sup> Edition*, Pearson Education Inc., Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.