

PENGARUH FREKUENSI GEMPA TERHADAP RESPONS BANGUNAN BERTINGKAT

Restu Faizah¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183. Telp. 0274-387656
Email : restufaizah06@gmail.com

Abstrak

Kerusakan struktural akibat gempa tidak semata-mata fungsi dari besarnya percepatan tanah akibat gempa. Faktor penyebab besarnya kerusakan struktur adalah karakteristik gempa, karakteristik site, dan karakteristik struktur. Karakteristik gempa meliputi peak ground acceleration, duration of strong shaking, frequency content dan length of fault rupture. (Lindeburg, 2008). Parameter kandungan frekuensi gempa dinilai paling berpengaruh dibandingkan parameter lainnya. (Widodo, 2001). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh frekuensi gempa terhadap respons struktur dengan berbagai variasi jumlah tingkat, dan variasi dimensi kolom pada setiap tingkat. Untuk melihat respons struktur akibat gempa dengan frekuensi yang bervariasi ini, digunakan analisis dinamik time history dengan menggunakan software Matlab. Beban gempa masukan meliputi gempa frekuensi rendah, sedang dan tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rendah frekuensi gempa, maka simpangan tingkat maksimum pada bangunan yang relatif tinggi akan semakin tinggi. Semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya horisontal tingkat pada bangunan yang relatif rendah akan semakin tinggi. Semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya geser dasar V pada bangunan yang relatif tinggi akan semakin tinggi. Variasi dimensi kolom/balok beda dapat meningkatkan simpangan tingkat, tetapi dapat menurunkan gaya horisontal tingkat dan gaya geser dasar bangunan.

Kata kunci: *frekuensi gempa; gaya geser dasar bangunan; gaya horisontal tingkat; simpangan tingkat*

Pendahuluan

Berdasarkan catatan dari *Tsunami Research Group* (TRG) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), terdapat sebanyak 230 gempa besar, dengan *magnitude* di atas 5 terjadi selama tahun 2012. Namun tidak semua gempa tersebut tergolong gempa merusak, dikarenakan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh adanya gempa tidak hanya ditentukan oleh *magnitude* dari gempa saja. Beberapa parameter gempabumi yang mempengaruhi tingkat kerusakan bangunan adalah percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*, PGA), nilai spektrum respon, durasi gempa, dan kandungan frekuensi gempa. Parameter kandungan frekuensi gempa dinilai paling berpengaruh dibandingkan parameter lainnya. (Widodo, 2001).

Dengan teori getaran dapat dijelaskan bahwa struktur akan mengalami kerusakan besar apabila frekuensi dominan getaran tanah/beban akibat gempa berdekatan dengan frekuensi getaran bangunan, atau biasa disebut dengan peristiwa resonansi. Apabila kondisi tersebut terjadi, maka seluruh bangunan akan runtuh total. Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi dari model struktur bertingkat yang digoyang gempa dengan berbagai kandungan frekuensi, menggunakan Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*, THA). Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui hubungan antara frekuensi gempa dengan respons bangunan bertingkat, sehingga keruntuhan struktur akibat gempa dapat dihindari.

Analisis Dinamik Riwayat Waktu (THA)

Dalam Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung di Indonesia yang baru, yaitu SNI 1726-2012, tidak terdapat penjelasan detil tentang Analisis Dinamik Riwayat Waktu, sedangkan dalam peraturan lama, yaitu SNI 1726-2002, dijelaskan dengan detil. Oleh karena itu, analisis dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan pada peraturan lama, SNI 1726-2002.

Untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik riwayat waktu terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncak A menjadi:

$$A = \frac{A_0 I}{R} \quad (1)$$

A_0 adalah percepatan puncak muka tanah yang dibedakan sesuai dengan wilayah gempa, R adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan, dan I adalah Faktor Keutamaan, semuanya terdapat

dalam SNI 1726-2002. Dalam analisis ini redaman struktur yang harus diperhitungkan dapat dianggap 5% dari redaman kritis.

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam pertama, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis harus dikalikan dengan faktor skala.

$$\text{Faktor skala} = \frac{0.8 V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2)$$

V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam pertama saja, dan V_t adalah gaya geser dasar maksimum yang diperoleh dari hasil analisis dinamik respon spektra yang sudah dilakukan.

Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis dinamik riwayat waktu harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidakpastian kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, yang salah satunya harus diambil akselerogram Gempa *El Centro* N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di *California* (SNI 1726-2002).

Respons Struktur

Peristiwa gempa merupakan peristiwa dinamik yang akan menimbulkan getaran pada tanah, dan selanjutnya akan menggetarkan struktur yang ada di atas tanah tersebut. Bangunan bertingkat apabila digoyang gempa, akan mempunyai pola goyangan (*mode shapes*) sebanyak jumlah tingkatnya. Lindeburg and McMullin (2008) menjelaskan bahwa bagian dari massa total bangunan akan memberikan kontribusinya dan dapat digunakan untuk menentukan *drift ratio*. Nilai partisipasi setiap mode (Γ_j) dari suatu bangunan bertingkat ditentukan oleh koordinat mode shape (P_j^*) dan massa tingkat (M_j^*), dengan Persamaan 3.

$$\Gamma_j = \frac{P_j^*}{M_j^*} = \frac{\{\phi\}_j^T [M]}{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j} = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_j m_i}{\sum_{i=1}^n \phi_j^2 m_i} \quad (3)$$

Selanjutnya, Lindeburg and McMullin (2008) juga mengatakan bahwa partisipasi setiap mode (Γ_j) juga berhubungan dengan simpangan atas (g_j) dan faktor amplitudo (Z_j), sebagaimana Persamaan 4.

$$Z_j = \Gamma_j g_j \quad (4)$$

Simpangan kontribusi suatu mode ke- j (g_j) pada persamaan (4) pada dasarnya sama atau senada dengan simpangan horisontal suatu massa (Y_j). Dengan demikian modal amplitude (Z_j) dapat diperoleh dengan mengikutkan partisipasi setiap mode. Simpangan total suatu massa diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh kontribusi tiap-tiap mode sebagaimana persamaan 5.

$$Y_j = \sum_{j=1}^n [\phi_n Z_j] \quad (5)$$

Nilai rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*) pada struktur diperoleh dengan cara mengurangi simpangan tingkat atas terhadap tingkat di bawahnya, sebagaimana Persamaan 6.

$$\Delta y = \frac{y_j(t) - y_{j-1}(t)}{h} \times 100\% \quad (6)$$

Apabila simpangan tingkat telah diperoleh, maka dapat dihitung pula gaya horisontal tingkat. Pada analisis dinamika struktur, simpangan tingkat dan gaya horisontal tingkat adalah respon-respon elastik penting yang harus dicari. Gaya horisontal tingkat mode ke- j dapat dicari dengan persamaan 7.

$$F_j = K_j \cdot Y_j \quad (7)$$

F_j adalah gaya horisontal tingkat ke- j , K_j adalah kekakuan tingkat ke- j , dan Y_j adalah simpangan tingkat ke- j . Apabila gaya horisontal tingkat dari tingkat paling bawah hingga paling atas dijumlahkan, akan diperoleh gaya geser dasar V .

Metodologi Penelitian

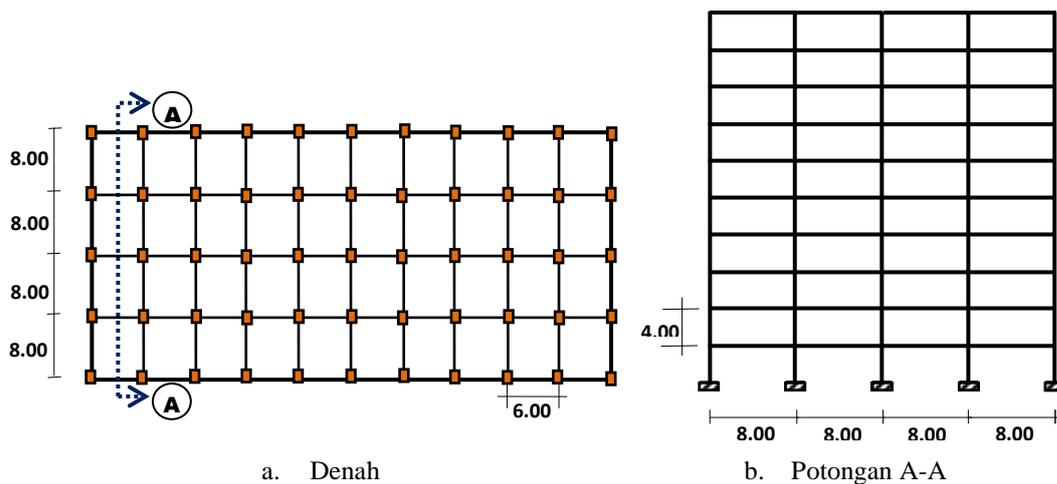
Bangunan yang ditinjau dalam analisis ini merupakan model struktur rangka beton tahan gempa yang berlokasi di Kota Yogyakarta, menurut SNI 1726-2002 berada pada wilayah gempa 3, dengan kondisi tanah sedang. Penelitian ini meliputi pemilihan model struktur dengan software SAP 2000 v11, analisis dinamik *time history* dengan software Matlab 7.10.0.499 (2010a), dan pembahasan.

Data Struktur

Data model struktur rangka beton tahan gempa diperoleh dengan jalan *trial and error* dengan menggunakan software SAP 2000. Pemodelan geometri struktur 2 dimensi mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Denah lantai dibuat tipikal seperti ditunjukkan pada Gambar 1.
2. Variasi jumlah tingkat: 5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
3. Perbedaan elevasi tiap tingkat: 4.00 m.
4. Jumlah bentang: 4, dengan lebar bentang dibuat sama yaitu 8.00 m.
5. Tebal pelat lantai diambil sama baik untuk lantai tipikal atau lantai atap, yaitu setebal 120 mm.
6. *Ducting* dan *plafond* hanya terdapat pada lantai atap.
7. Digunakan variasi ukuran dimensi kolom/balok sama tiap tingkat (KS) dan berbeda pada beberapa tingkat (KB) secara proporsional.
8. Kekakuan struktur dihitung dengan metode *Shear Building*.
9. Spesifikasi material yang digunakan adalah:
 - a. Beton mutu K-300 dengan $f'c = 30$ MPa dan Modulus Elastisitas Beton, $E_c = 25700$ MPa.
 - b. Tulangan pokok digunakan BJTD 40, dengan $f_y = 400$ MPa dan Modulus Elastisitas Baja, $E_s = 2.10^5$ MPa.
 - c. Tulangan sengkang digunakan BJTP 30, dengan $f_y = 300$ MPa dan Modulus Elastisitas Baja, $E_s = 2.10^5$ MPa.

Contoh pemodelan bangunan 10 tingkat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh tipikal pemodelan bangunan 10 tingkat

Data Beban Gempa

Beban gempa dihitung dengan metode dinamik *time history*, dengan variasi frekuensi gempa yaitu gempa frekuensi tinggi, sedang dan rendah. Akselerogram gempa masukan yang digunakan adalah:

1. Gempa *Manjil Iran* 1990 (frekuensi tinggi)
2. Gempa *Kobe* 1995 (frekuensi tinggi)
3. Gempa *El Centro* 1940 (frekuensi sedang)
4. Gempa *Jogja* 2006 (frekuensi sedang)
5. Gempa *Taiwan NGA 570* (frekuensi rendah)
6. Gempa *Parkfield* 1966 (frekuensi rendah)

Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi:

1. Menentukan model struktur portal beton bertulang dengan menggunakan software SAP 2000.
2. Menghitung massa dengan prinsip *lumped mass*.
3. Menghitung nilai kekakuan dengan metode *shear building*.
4. Analisis dinamik metode *time history* dengan bantuan program Matlab.

Analisis Dinamik *Time History*

Analisis dinamik *time history* dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab yang sudah diverifikasi keakuratannya, meliputi beberapa tahap perhitungan sebagai berikut ini:

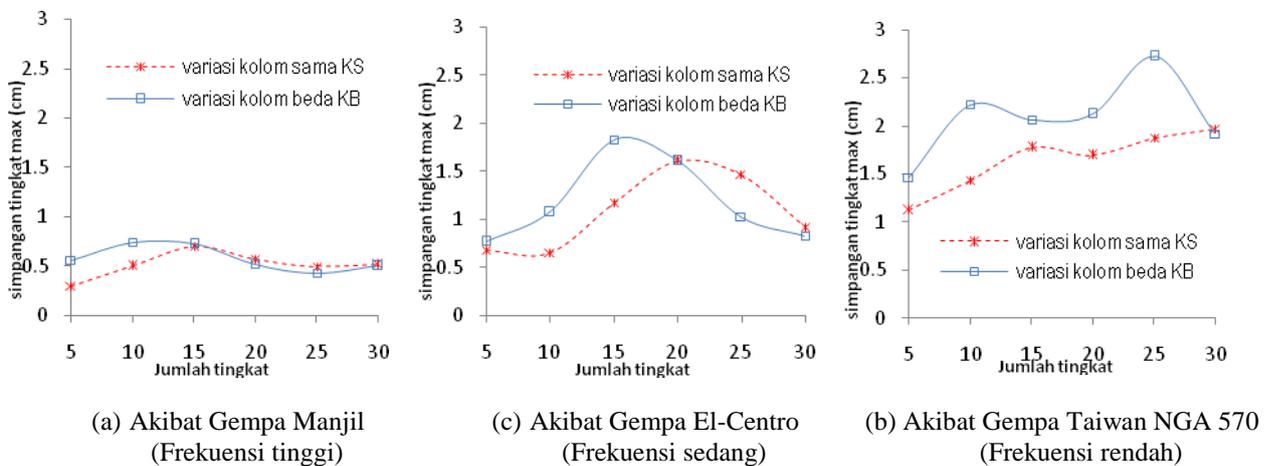
1. Input data pada program Matlab yang meliputi data massa dan kekakuan *shear building* dari struktur.
2. Mencari nilai *mode shape* dan frekuensi sudut ω .
3. Menghitung partisipasi mode dan *modal effective mass*.
4. *Input* akselerogram gempa.
5. Integrasi numerik dengan metode *central difference* untuk menghitung respon-respon struktur, yaitu simpangan, *drift ratio*, dan gaya horisontal tingkat.
6. Menghitung gaya geser dasar bangunan *V*.

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan analisis *time history* pada model struktur dengan beban gempa frekuensi rendah, sedang dan tinggi, diperoleh pengaruh frekuensi gempa terhadap respons struktur berikut ini.

1. Simpangan Tingkat

Nilai simpangan tingkat dapat dihitung dengan persamaan 5, dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Simpangan tingkat maksimum akibat gempa frekuensi Tinggi, sedang dan rendah

Dari gambar 3, dapat diketahui simpangan tingkat maksimum akibat gempa frekuensi tinggi adalah 0,737 pada bangunan 10 tingkat, akibat gempa frekuensi sedang 1,828 cm pada bangunan 15 tingkat, dan akibat gempa frekuensi rendah 2,722 cm pada bangunan 25 tingkat. Simpangan tingkat maksimum terjadi pada bangunan dengan variasi dimensi kolom/balok beda. Perbedaan jumlah tingkat bangunan yang mengalami simpangan tingkat maksimum juga ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Simpangan maksimum pada struktur

| Frekuensi gempa | Struktur yang mengalami simpangan maksimum | |
|-----------------|--|-------------|
| | Struktur KS | Struktur KB |
| Tinggi | 15 tingkat | 10 tingkat |
| Sedang | 20 tingkat | 15 tingkat |
| Rendah | 30 tingkat | 25 tingkat |

KS: Variasi dimensi kolom/balok sama

KB: Variasi dimensi kolom/balok beda

Berdasarkan hasil di atas, dapat diperoleh kecenderungan bahwa semakin rendah frekuensi gempa, maka simpangan tingkat maksimum akan semakin besar. Selain itu, pengaruh frekuensi gempa juga terlihat pada jumlah tingkat bangunan yang mengalami simpangan tingkat maksimum, yaitu semakin rendah frekuensi gempa, maka simpangan tingkat maksimum akan terjadi pada bangunan yang semakin tinggi. Dapat pula dikatakan bahwa gempa frekuensi rendah akan mengakibatkan simpangan maksimum yang tinggi pada bangunan yang relatif tinggi. Hal itu dikarenakan bangunan tinggi memiliki periode fundamental besar, atau frekuensi getar rendah, sehingga apabila digoyang gempa dengan frekuensi rendah pula akan terjadi simpangan yang besar.

Dari tabel 1 dapat diketahui pula pengaruh variasi dimensi kolom terhadap simpangan tingkat, yaitu simpangan tingkat maksimum selalu terjadi pada struktur dengan variasi dimensi kolom/balok beda (KB). Hal itu diperkirakan karena adanya pengurangan dimensi kolom pada struktur KB yang menyebabkan kekakuan berkurang dan frekuensi struktur juga berkurang, sehingga simpangan tingkat akan semakin besar. Oleh karena itu simpangan maksimum pada struktur KB terjadi pada struktur dengan jumlah tingkat lebih rendah daripada struktur KS, karena struktur yang lebih rendah memiliki frekuensi struktur lebih besar.

2. Gaya Horisontal Tingkat

Hasil perhitungan gaya horisontal tingkat ditunjukkan dalam gambar 4 - 9. Gambar 4 dan 5 adalah gaya horisontal tingkat akibat gempa frekuensi tinggi, grafik terlihat mengumpul dalam satu garis vertikal dan perbedaan antar tingkat tidak terlalu besar. Gaya horisontal tingkat akibat gempa frekuensi tinggi cenderung sama pada bangunan rendah maupun tinggi.

Gambar 6 dan 7 menunjukkan gaya horisontal tingkat akibat gempa frekuensi sedang, grafik terlihat mulai berpecah atau tidak membentuk satu garis vertikal dan perbedaan antar tingkat mulai membesar. Gaya horisontal tingkat akibat gempa frekuensi sedang cenderung membesar pada bangunan rendah yaitu bangunan 5, 10 dan 15 tingkat.

Gambar 8 dan 9 yang menunjukkan gaya horisontal tingkat akibat gempa frekuensi rendah, grafik terlihat saling berpecah dan perbedaan antar tingkat relatif besar. Peningkatan gaya horisontal tingkat terlihat sangat signifikan pada bangunan rendah yaitu bangunan 5, 10 dan 15 tingkat.

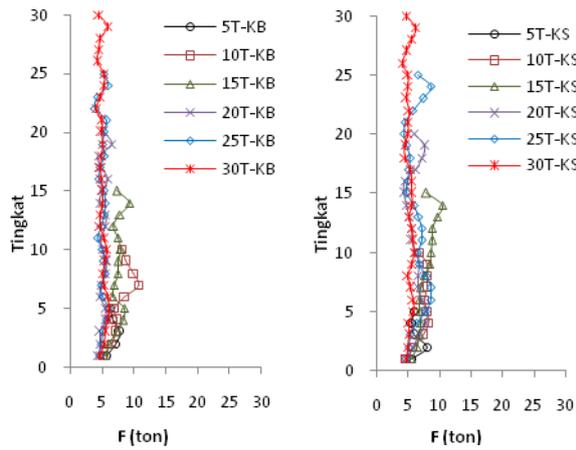
Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya horisontal tingkat pada bangunan rendah akan semakin tinggi. Hal itu diperkirakan karena semakin rendah bangunan maka kekakuan akan semakin besar dan akibatnya gaya horisontal tingkat akan semakin besar pula. Peningkatan terutama terlihat pada struktur dengan variasi dimensi kolom/balok sama (KS), diperkirakan karena pengaruh kekakuan struktur. Pada struktur KB terdapat pengurangan dimensi kolom/balok di tingkat-tingkat atas, maka kekakuan struktur KB menjadi lebih kecil dari kekakuan struktur KS. Sesuai dengan persamaan 7, yaitu kekakuan yang semakin besar akan mengakibatkan gaya horisontal tingkat semakin besar pula, maka gaya horisontal tingkat struktur KS lebih besar daripada struktur KB. Dengan kata lain, gaya horisontal tingkat akan semakin tinggi pada bangunan rendah, dengan variasi dimensi kolom/balok sama (KS), akibat gempa dengan frekuensi rendah.

3. Gaya Geser Dasar Bangunan V

Hasil hitungan gaya geser dasar V pada struktur dengan variasi dimensi kolom/balok sama (KS) dan kolom/balok beda (KB) ditampilkan dalam Tabel 2. Pembahasan mengenai gaya geser dasar bangunan V adalah sebagai berikut ini.

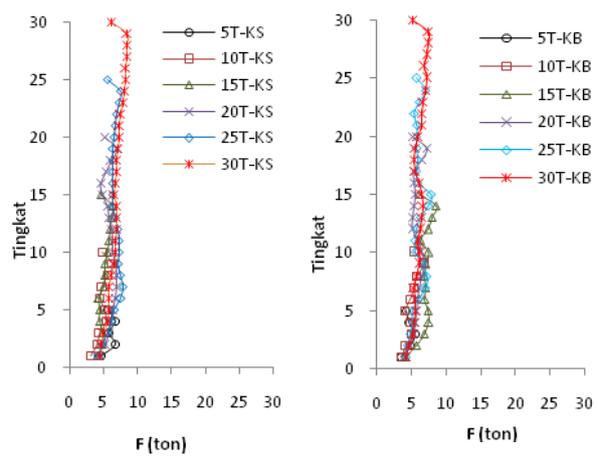
1. Semakin tinggi struktur, gaya geser dasar V akan semakin tinggi pula, diperkirakan akibat adanya perbedaan berat struktur. Pada bangunan yang lebih tinggi, berat struktur akan semakin besar sehingga mengakibatkan meningkatnya gaya geser dasar V .
2. Gaya geser dasar V juga akan mengalami peningkatan apabila frekuensi gempa menurun. Gaya geser dasar tertinggi terjadi akibat gempa Taiwan NGA570 yang merupakan gempa frekuensi rendah. Keadaan ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa apabila frekuensi gempa mendekati frekuensi struktur, maka dapat mengakibatkan resonansi, atau gaya geser dasar V yang sangat besar. Semakin tinggi struktur, maka semakin rendah frekuensi getarnya, sehingga apabila digoyang gempa dengan frekuensi rendah akan mengakibatkan gaya geser dasar V yang sangat tinggi. Oleh karena itu, gaya geser dasar V terbesar terjadi pada bangunan yang paling tinggi (30 tingkat), akibat gempa Taiwan NGA570 yang memiliki frekuensi rendah.
3. Variasi kolom/balok beda (KB) mengakibatkan gaya geser dasar yang lebih kecil daripada kolom/balok sama (KS). Dengan variasi KB, terdapat pengurangan dimensi kolom-kolom bagian atas, sehingga berat struktur KB lebih kecil dari berat struktur KS. Hal ini sesuai dengan pembahasan pada analisis gaya geser dasar ekuivalen statik, yaitu semakin ringan struktur, maka gaya geser dasar V akan semakin kecil pula, atau dengan kata lain, struktur yang ringan lebih menguntungkan bagi bangunan tahan gempa karena menimbulkan getaran yang relatif kecil.

Dari pembahasan ini, dapat disimpulkan bahwa besar gaya geser dasar V *time history*, dipengaruhi oleh tinggi struktur, frekuensi gempa masukan, dan variasi dimensi kolom. Gaya geser dasar V akan semakin tinggi apabila frekuensi gempa rendah, mengenai bangunan bertingkat tinggi, dengan variasi dimensi kolom sama KS.



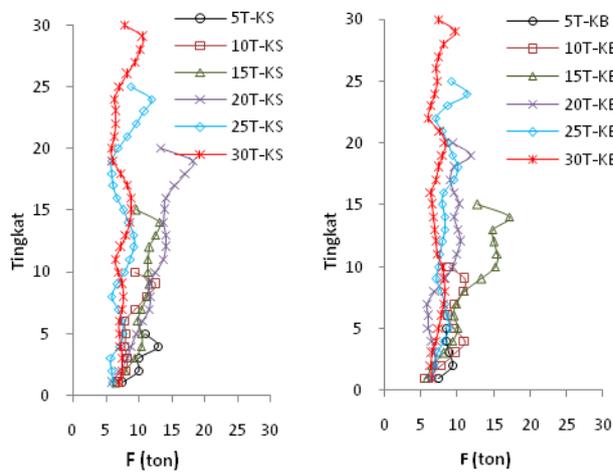
a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 4. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa Manjil (Frekuensi tinggi)



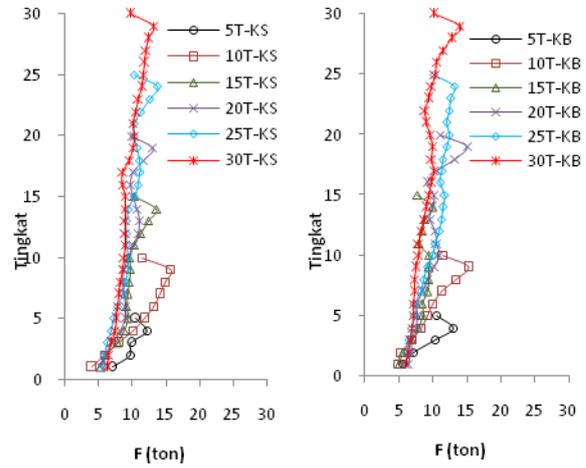
a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 5. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa Kobe (Frekuensi tinggi)



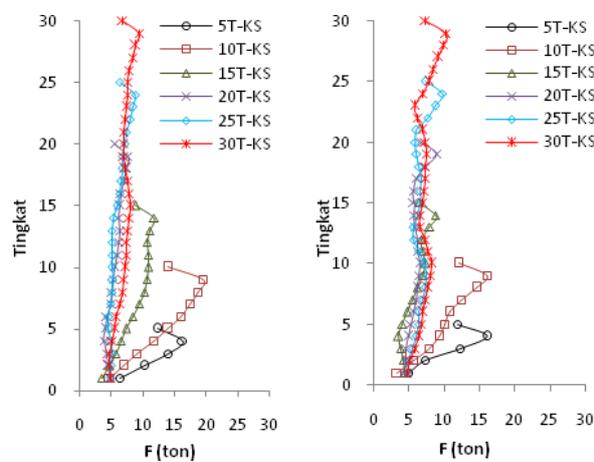
a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 6. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa El-Centro (Frekuensi sedang)



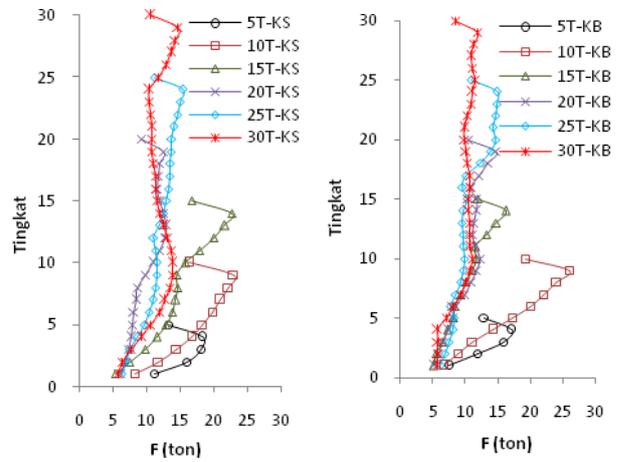
a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 7. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa Yogyakarta 2006 (Frekuensi sedang)



a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 8. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa Parkfield (Frekuensi rendah)



a) Struktur KS b) Struktur KB

Gambar 9. Gaya horisontal tingkat F_i akibat gempa Taiwan NGA 570 (Frekuensi rendah)

Tabel 2. Gaya geser dasar *time history*, *V* (ton)

| KS/ KB | Jml tingkat | Kobe | Manjil | Yogya | El-Centro | Parkfield | Taiwan NGA570 |
|-----------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| KS | 5 | 29.71443982 | 31.30439926 | 49.52690432 | 51.59933204 | 59.14307502 | 76.61531396 |
| | 10 | 48.02699204 | 72.96392839 | 109.4970665 | 89.95750429 | 131.8434277 | 171.766653 |
| | 15 | 76.73598651 | 117.5231401 | 142.9665296 | 157.8364431 | 130.0986412 | 218.4615367 |
| | 20 | 117.9948773 | 123.8203731 | 187.6255285 | 196.8711834 | 111.2586187 | 200.6053947 |
| | 25 | 164.9305821 | 157.4986341 | 236.8778547 | 242.6049483 | 148.1178115 | 291.991054 |
| | 30 | 204.5744382 | 157.2219774 | 283.1421943 | 228.9685457 | 209.9037659 | 343.432325 |
| KB | 5 | 23.1761541 | 33.82249894 | 46.55306515 | 42.34883037 | 52.44753411 | 65.08003316 |
| | 10 | 51.00308087 | 79.41712235 | 95.72791319 | 92.10650503 | 101.8922611 | 169.2669306 |
| | 15 | 104.6270836 | 111.6058807 | 122.4821448 | 173.3542649 | 87.68675042 | 150.387675 |
| | 20 | 116.0715835 | 104.0053491 | 191.2247243 | 168.1393678 | 118.931814 | 204.9288964 |
| | 25 | 150.739444 | 128.7666248 | 250.8928632 | 205.2028222 | 164.7636684 | 260.1345842 |
| | 30 | 185.3490306 | 153.4933851 | 269.379106 | 218.5170239 | 217.3102496 | 290.6918804 |

Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin rendah frekuensi gempa, maka simpangan tingkat maksimum pada bangunan yang relatif tinggi akan semakin besar.
2. Semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya horisontal tingkat pada bangunan yang relatif rendah akan semakin besar.
3. Semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya geser dasar *V* pada bangunan yang relatif tinggi akan semakin besar.
4. Variasi dimensi kolom/balok beda dapat meningkatkan simpangan tingkat, tetapi dapat menurunkan gaya horisontal tingkat dan gaya geser dasar bangunan.

Daftar Pustaka

- Ambrose, J and Vergun., (1999), “*Design for Earthquakes*”, John Wiley and Sons. New York.
- Aisyah, Siti dan Megantara, Y., (2011). “Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa dengan Metode Analisis Pushover” *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*, Palembang, 26-27 Oktober 2011.
- Budiono., (2002), “*Perkembangan Desain Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa di Indonesia*”, Departemen Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Budiono, dan Supriatna., (2011), “*Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan menggunakan SNI 3-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X*”, Penerbit ITB, Bandung.
- Chen and Lui, (2005), “*Earthquake Engineering for Structural Design*”, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Chopra, Anil K., (2000), “*Dynamics of Structures: Theory And Applications To Earthquake Engineering*”, second edition. Prentice-Hall.
- Clough and Penzien., (2003), “*Dynamics of Structures*”, third edition. McGraw-Hill
- Dewobroto, W., (2008), “*Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000*”, Gramedia, Jakarta.
- Faizah dan Widodo, (2013), “Analisis Gaya Gempa Rencana pada Struktur Bertingkat Banyak dengan Metode Dinamik Respon Spektra”, *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*, UNS-Solo, 24-25 Oktober 2013.
- Faizah (2013), “*Analisis Distribusi Vertikal Gaya Gempa dan Implikasinya pada Respons Bangunan Bertingkat*”, Tesis Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- FEMA 451., (2006), “*NEHRP Recommended Provisions: Design Examples-August 2006*”, National Institute of Building Sciences. Washington, DC
- Ghosh., (1999), “*Impact of Seismic Design Provisions of 2000 IBC: Comparison with 1997 UBC*”, SEAOC Convention 1999.
- Hanselman, Duane & Littlefield., (2002), “*Matlab Bahasa Komputasi Teknis*”, Andi Offset, Yogyakarta.
- Kameswari, et.al., (2011), “Dynamic Response of High Rise Structures Under The Influence of Discrete Staggered Shear Walls”, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol. 3 No.10 October 2011.

- Kusumastuti., (2010), “*Pengaruh Tinggi Struktur dan Jumlah Bentang Terhadap Kontribusi Mode pada Struktur Beton Bertulang Bertingkat Banyak dengan Pendekatan Kekakuan Kolom Shear Building dan Cara Muto*”, Tesis Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Lindeburg and McMullin, (2008), “*Seismic Design of Building Structures*”, Professional Publication Inc. California
- Muto, K., (1993), “*Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*”. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Pazz and Leigh, (2004), “*Structural Dynamic: Theory and Computation*”, Kluwer Academic Publisher, London.
- Purwono dan Andriyono., (2010), “Implikasi Konsep Seismic Design Category (SDC) – ASCE 7-05 Terhadap Perencanaan Struktur Tahan Gempa Sesuai SNI 1726-02 Dan SNI 2847-02”, *Seminar dan Pameran HAKI 2010 – Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia*.
- PPTGIUG (1981), “*Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung*”, Dit.Jen. Tjipta Karya, DPU, Jakarta.
- Sunaryati, Et.al., (2009), “Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa”. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol.5 No.1. Februari 2009.
- SNI 03-1726-2002 (2002), “*Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*”, Departemen Kimpraswil PU, Bandung.
- SNI 03-1726-2012 (2012), “*Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*”.
- Widodo, (2001), “*Respon Dinamik Struktur Elastik*”, UII Press, Yogyakarta.
- Widodo, (2011), “*Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*”, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Widiarsono, (2005), “*Tutorial Praktis Belajar Matlab*”, Yogyakarta.