

ANALISIS STRUKTUR SISTEM RANGKA PENAHAN MOMEN BIASA PADA BERBAGAI JENIS TANAH BERDASARKAN DISPLACEMENT DAN DRIFT

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono

email: kukuhkds@yahoo.co.id

Diterima Tanggal: 16 Januari 2017 Disetujui Tanggal: 27 Januari 2017

Abstrak

Dalam suatu proyek perencanaan bangunan gedung pasti memiliki keunikan sendiri dan selalu berbeda dengan dengan proyek lainnya. Suatu perencanaan bangunan yang mempunyai lokasi tertentu pasti memiliki jenis tanah yang berbeda pula dengan lokasi lainnya. Bangunan yang terletak pada wilayah gempa tertentu dengan percepatan puncak batuan dasar periode ulang 500 tahun belum tentu memiliki percepatan respon gempa yang sama, jika dilihat dari berbagai jenis tanah yang ada (tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras). Dari penelitian ini dihasilkan waktu getar alami metode empiris dengan Methode A dari UBC Section 1630.2.2 menghasilkan periode yang lebih kecil yaitu 0,937 detik sedangkan menurut SNI 03-1726-2002 pasal 5.6 tabel 8, untuk wilayah gempa 3 adalah 1,8 detik. Gaya Geser Dasar Nominal terbesar terjadi pada Tanah Lunak yaitu sebesar 803,572 kg, Tanah Sedang adalah 353,572 kg dan Tanah Keras adalah 246,428 kg. Hal ini dikarenakan percepatan gravitasi pada setiap jenis tanah berbeda. Dari hasil analisis dengan program ETABS, waktu getar alami terbesar terdapat di bangunan dengan jenis tanah lunak, yaitu 4,134 detik, tanah sedang 2,747 detik dan tanah keras 2,289 detik. Dan kinerja batas layan (Δ_s) dan kinerja batas ultimit (Δ_M) masih memenuhi syarat. Dan displacement lantai terbesar terjadi pada tanah lunak, diikuti tanah sedang dan terkecil pada tanah keras.

Kata kunci : waktu getar alami, gaya geser dasar nominal, kinerja batas, ETABS

1. PENDAHULUAN

Posisi Indonesia yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik besar di dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Hal ini menjadikan negara dengan rawan gempa di dunia. Sebagai standar acuan dasar bagi perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia, maka dibuat suatu zonasi rawan gempa yang ada. Zonasi rawan gempa disusun berdasarkan statistik dan letak geografis kejadian gempa sehingga dapat diperkirakan bagaimana kejadian gempa yang terjadi di suatu wilayah.

Dalam suatu proyek perencanaan bangunan gedung pasti memiliki keunikan sendiri dan selalu berbeda dengan dengan proyek lainnya. Sesuai dengan definisi proyek itu sendiri, adalah pekerjaan yang mempunyai sifat unik dan tidak berlangsung selamanya. Keunikan yang membedakan suatu perencanaan bangunan gedung adalah beban yang direncanakan, bentuk bangunan, lokasi bangunan, jenis tanah dan lain-lain.

Suatu perencanaan bangunan yang mempunyai lokasi tertentu pasti memiliki jenis tanah yang berbeda pula dengan lokasi lainnya. Perbedaan ini menghasil-

kan gaya gempa pada suatu struktur bangunan berbeda pula. Bangunan yang terletak pada wilayah gempa tertentu dengan percepatan puncak batuan dasar periode ulang 500 tahun belum tentu memiliki percepatan respon gempa yang sama, jika dilihat dari berbagai jenis tanah yang ada (tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras).

Perencanaan bangunan tahan gempa umumnya dilakukan dengan analisa elastis yang diberikan faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Tetapi perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa adalah kondisi inelastis. Salah satu aspek yang mempengaruhi beban gempa dalam perencanaan bangunan gedung adalah periode bangunan. Periode bangunan sangat dipengaruhi oleh massa struktur serta kekakuan struktur tersebut. Kekakuan struktur sangat dipengaruhi oleh kondisi struktur, bahan yang digunakan serta dimensi struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Bangunan Tahan Gempa

Berdasarkan *International Building Code* (IBC) 2009, dalam perencanaan sistem bangunan tahan gempa untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a) Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil.
- b) Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
- c) Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktur dan non-struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang

terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

- d) Sistem *sprinkler* untuk proteksi kebakaran dan tangga keluar tetap utuh.

2.2 Dinamika Struktur

Didalam SNI03-1726-2002, analisis perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

- 1) Analisis beban dorong statik (*static push over analysis*) pada struktur gedung. Suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier dan non-linier, di mana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.
- 2) Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung beraturan. 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.

- 3) Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung tidak beraturan.

Suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen yang telah dijabarkan dari pembagian gaya geser tingkat maksimum dinamik sepanjang tinggi struktur gedung yang telah diperoleh dari hasil analisis respons dinamik elastik linier 3 dimensi.

- 4) Analisis perambatang gelombang.

Suatu analisis untuk menentukan pembesaran gelombang gempa yang merambat dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah, dengan data tanah di atas batuan dasar dan gerakan gempa masukan pada kedalaman batuan dasar sebagai data masukannya.

- 5) Analisis ragam spektrum respons.

Suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metoda 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.

- 6) Analisis respons dinamik riwayat waktu linier.

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 masukan, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metoda integrasi langsung atau dapat juga melalui metoda analisis ragam.

- 7) Analisis respons dinamik riwayat waktu non-linier. Suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linier) maupun elasto-plastis (non-linier) terhadap gerakan tanah akibat Gempa Rencana sebagai data masukan, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metoda integrasi langsung.

2.3 Dasar Perencanaan

Dasar perencanaan bangunan gedung yang menjadi standar acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)
- 2) Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002);
- 3) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG tahun 1983)

a. Beban Gempa

Pembebanan gempa yang terjadi pada struktur bangunan didasarkan gempa rencana yang didasarkan SNI 03-1726-2002, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 500 tahun.

Berdasarkan SNI03-1726-2002, jenis-jenis tanah dibagi menjadi 4 macam jenis, yaitu:

- tanah lunak
- tanah sedang
- tanah keras
- tanah khusus

Jenis tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras apabila untuk lapisan setebal mak-

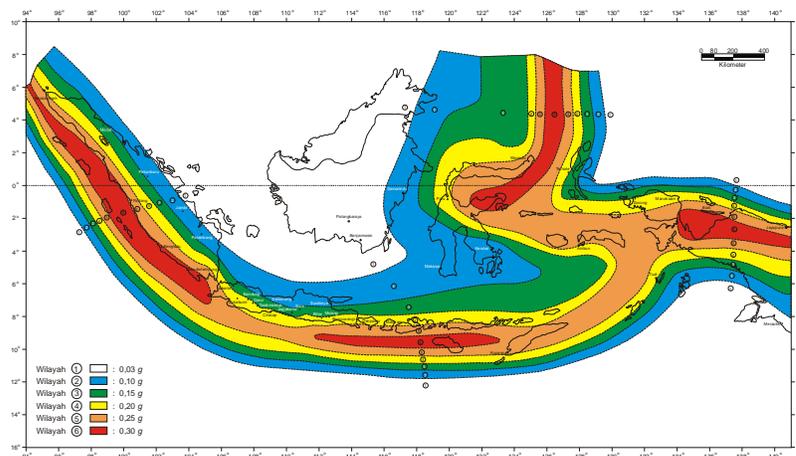
simum 30 meter paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam Tabell. Berdasarkan kecepatan rambat gelombang, nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata dan kuat geser niralir rata-rata, jenis tanah ditentukan sebagai berikut:

Tabel 1 : Jenis-jenis tanah

| Jenis tanah | Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, \bar{v}_s (m/det) | Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata \bar{N} | kuat geser niralir rata-rata \bar{S}_u (kPa) |
|--------------|--|--|--|
| Tanah Keras | $\bar{v}_s \geq 350$ | $\bar{N} \geq 50$ | $\bar{S}_u \geq 100$ |
| Tanah Sedang | $175 \leq \bar{v}_s < 350$ | $15 \leq \bar{N} < 50$ | $50 \leq \bar{S}_u < 100$ |
| Tanah Lunak | $\bar{v}_s < 175$ | $\bar{N} < 15$ | $\bar{S}_u < 50$ |
| | Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa | | |

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling

tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 2. Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun

Apabila percepatan puncak muka tanah A_0 tidak didapat dari hasil analisis perambatan gelombang seperti disebut dalam Pasal 4.6.1, percepatan puncak muka tanah

tersebut untuk masing-masing Wilayah Gempa dan untuk masing-masing jenis tanah ditetapkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 : Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

| Wilayah Gempa | Percepatan puncak batuan dasar ('g') | Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g') | | | |
|---------------|--------------------------------------|--|--------------|-------------|---|
| | | Tanah Keras | Tanah Sedang | Tanah Lunak | Tanah Khusus |
| 1 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi |
| 2 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | |
| 3 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,30 | |
| 4 | 0,20 | 0,24 | 0,28 | 0,34 | |
| 5 | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,36 | |
| 6 | 0,30 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | |

Pada setiap bangunan harus dikenal masuk dalam kategori salah dari 5 kategori gedung yang tersebut pada pasal 4.1 SNI03-1726-2002 atau Tabel 3 dibawah. Tabel ini

mencantumkan faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan yang dipakai untuk menghitung beban gempa nominal (V).

Tabel 3 : Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

| Kategori gedung | Faktor Keutamaan | | |
|--|------------------|-------|-----|
| | I_1 | I_2 | I |
| Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Monumen dan bangunan monumental | 1,0 | 1,6 | 1,6 |
| Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi. | 1,4 | 1,0 | 1,4 |
| Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun. | 1,6 | 1,0 | 1,6 |
| Cerobong, tangki di atas menara | 1,5 | 1,0 | 1,5 |

Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar ini maka Faktor Keutamaan, I, dapat dikalikan 80%.

Daktilitas struktur memakai 2 parameter yaitu faktor daktilitas sim-

pangan μ dan faktor reduksi gempa R. Daktilitas simpangan μ meny-

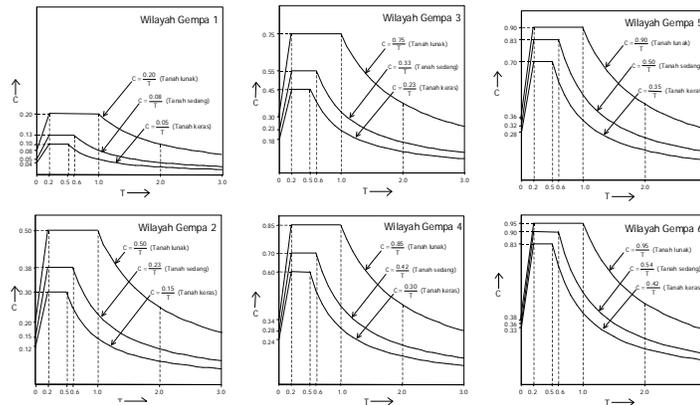
takan ratio simpangan di ambang keruntuhan δ_m dan simpangan pada terjadinya pelelehan pertama. R adalah ratio beban gempa rencana dan beban gempa nominal. R ini merupakan indikator kemampuan daktilitas struktur gedung. Nilai μ dan R tercantum pada pasal 4.3 SNI 03-1726-2002.

Faktor respons gempa (C) dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana.

Respons spektra gempa merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi dari respons spektra adalah respon maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v) dan

perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respon spektra adalah respon maksimum. Kurva respon spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d), kecepatan relatif maksimum (S_v) dan percepatan total maksimum (S_a).

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 4.7.4 gambar 3, respons spektra ditentukan berdasarkan parameter jenis tanah (tanah lunak, tanah sedang, tanah keras) dan zonasi wilayah gempa yang berjumlah 6 zona. Dalam gambar tersebut, C adalah faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik.



Gambar 3 Respons Spektrum Gempa Rencana

Berdasarkan SNI03-1726-2002 pasal4.2, beberapa syarat struktur gedung ditetapkan gedung beraturan dan tidak beraturan apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak

lebih dari 10 tingkat atau 40 m.

- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak

adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.

- Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah per-pindahan tersebut.
- Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap

pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen yang ditetapkan pada pasal 6 SNI03-1726-2002.

Beban gempa didapatkan dari hasil perhitungan gaya geser dasar nominal V yang diperoleh rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{C I}{R} W_t$$

Dimana :

V , adalah gaya geser dasar nominal
 C , adalah faktor respon gempa
 I , adalah faktor keutamaan gedung
 W_t , adalah berat total gedung termasuk beban hidup yang bekerja
 R , adalah faktor reduksi gempa

b. Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem struktur suatu gedung adalah sistem yang dibentuk oleh komponen struktur gedung, berupa balok, kolom, pelat dan dinding geser, yang disusun sedemikian rupa sehingga masing-masing sistem mempunyai peran yang berbeda untuk menahan beban-beban.

Perencanaan sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter-parameter berikut ini:

1. Faktor daktilitas maksimum (μ_m)
2. Faktor reduksi gempa maksimum (R_m)
3. Faktor tahanan lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan (f)

3. STRUKTUR GEDUNG BERATURAN

3.1 Periode Alami Struktur

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 6.2, waktu getar fundamental T_1 untuk struktur gedung di dalam penentuan faktor respons gempa C_1 , nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari rumus Rayleigh.

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}}$$

Dimana :

W_i , adalah massa lantai tingkat ke- i
 F_i , adalah distribusi vertikal gaya gempa sesuai
 d_i , adalah simpangan horizontal lantai tingkat ke- i
 g , adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9.81 m/s^2

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 6.1.3, distribusi gempa vertikal berdasarkan persamaan berikut:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V$$

Dimana:

W_i , adalah berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup.
 z_i , adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf penjepitan lateral.
 n , adalah nomer lantai tingkat paling atas.
 V , adalah gaya geser desain total.

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 5.6, Untuk mencegah

penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n menurut persamaan

$$T < \zeta n$$

Dimana:

ζ , adalah koefisien yang dapat dilihat pada Tabel 4

n, adalah jumlah lantai gedung

Tabel 4 Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur

| Wilayah Gempa | ζ |
|---------------|---------|
| 1 | 0,20 |
| 2 | 0,19 |
| 3 | 0,18 |
| 4 | 0,17 |
| 5 | 0,16 |
| 6 | 0,15 |

3.2 Simpangan Antar Lantai

a. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelepasan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan, berdasarkan SNI03-1726-2002, struktur gedung dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung pada yang nilainya lebih kecil.

$$\Delta i < \frac{0,03}{R} h_i$$

atau

$$\Delta i < 30mm$$

b. 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, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Sesuai Pasal 4.3.3 simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa

nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut :

4. untuk struktur gedung beraturan :

$$\xi = 0,7 R$$

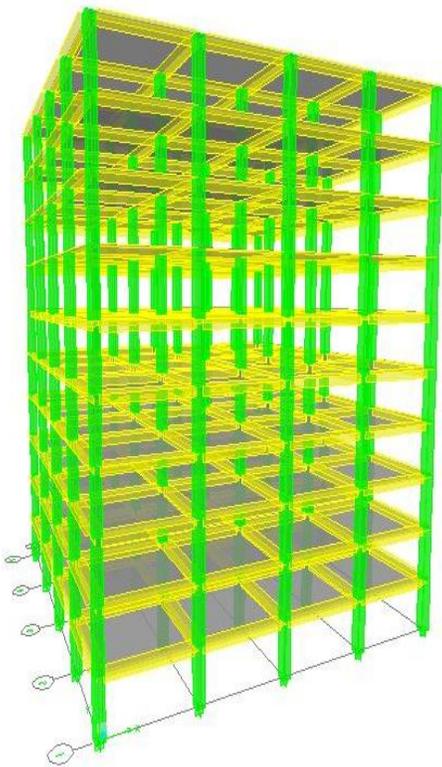
5. untuk struktur gedung tidak beraturan :

$$\xi = \frac{0,7R}{\text{Faktor Skala}}$$

Dimana R adalah faktor red-uksi gempa struktur gedung tersebut dan Faktor Skala adalah seperti yang ditetapkan dalam Pasal 7.2.3.

4. PEMODELAN STRUKTUR

Pemodelan 3 dimensi bangunan gedung beraturan 10 lantai dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 4. Pemodelan 3 dimensi struktur bangunan

Tabel 5 Tinggi dan Elevasi tiap Lantai

| No. | Lantai | Tinggi Lantai (m) | Elevasi Lantai |
|-----|---------|-------------------|----------------|
| 1 | Base | 3.00 | + 0.00 |
| 2 | Story1 | 3.00 | + 3.00 |
| 3 | Story2 | 3.00 | + 6.00 |
| 4 | Story3 | 3.00 | + 9.00 |
| 5 | Story4 | 3.00 | + 12.00 |
| 6 | Story5 | 3.00 | + 15.00 |
| 7 | Story6 | 3.00 | + 18.00 |
| 8 | Story7 | 3.00 | + 21.00 |
| 9 | Story8 | 3.00 | + 24.00 |
| 10 | Story9 | 3.00 | + 27.00 |
| 11 | Story10 | 3.00 | + 30.00 |

5. ANALISIS

5.1 Beban Gempa Rencana

a. Waktu Getar Alami

Dengan rumpus empiris *Method A* dari *UBC Section 1630.2.2*, waktu getar alami gedung adalah:

$$C_t = 0,0731 \quad h_n = 30\text{meter}$$

$$T_{\text{empiris}} = C_t \cdot h_n^{\left(\frac{3}{4}\right)}$$

$$T_{\text{empiris}} = 0,937\text{detik}$$

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 5.6 tabel 8, untuk wilayah gempa 3, pembatasan waktu getar alami adalah:

$$\zeta = 0,18 \quad n = 10$$

$$T = \zeta \cdot n$$

$$T = 1,8\text{detik}$$

$$T_{\text{empiris}} = 0,937\text{detik} < T = 1,8\text{detik}$$

b. Gaya Geser Dasar Nominal

Gaya geser dasar nominal yang terjadi pada tingkat dasar gedung, diperhitungkan akibat beban gedung, fungsi gedung dan wilayah gempa dengan cara analitik.

6. Tanah Lunak

$$C_{1\text{lunak}} := 0.75$$

$$I := 1$$

$$R := 5.5$$

$$W_{\text{total}} := 5892867\text{kg}$$

$$V_{\text{lunak}} := \frac{C_{1\text{lunak}} \cdot W_{\text{total}} \cdot I}{R}$$

$$V_{\text{lunak}} = 803572.773\text{ kg}$$

>
(OK)

Waktu getar alami arah x dan y pada tanah lunak adalah sama, hal ini dikarenakan struktur bangunan berbentuk beraturan.

7. Tanah Sedang

$$C_{1\text{sedang}} := 0.33$$

$$I = 1$$

$$R = 5.5$$

$$W_{\text{total}} = 5892867\text{kg}$$

$$V_{\text{sedang}} := \frac{C_{1\text{sedang}} \cdot W_{\text{total}} \cdot I}{R}$$

$$V_{\text{sedang}} = 353572.02\text{ kg}$$

10. Tanah Sedang

Waktu getar dari hasil model ETABS pada tanah sedang didapatkan sebagai berikut:

8. Tanah Keras

$$C_{1\text{keras}} := 0.23$$

$$I = 1$$

$$R = 5.5$$

$$W_{\text{total}} = 5892867\text{kg}$$

$$V_{\text{keras}} := \frac{C_{1\text{keras}} \cdot W_{\text{total}} \cdot I}{R}$$

$$V_{\text{keras}} = 246428.984\text{ kg}$$

>
(OK)

Waktu getar alami arah x dan y pada tanah sedang adalah sama, hal ini dikarenakan struktur bangunan berbentuk beraturan.

c. Analisis Waktu Getar Struktur

9. Tanah Lunak

Waktu getar dari hasil model ETABS pada tanah lunak didapatkan sebagai berikut:

11. Tanah Keras

Waktu getar dari hasil model ETABS pada tanah keras didapatkan sebagai berikut:

>

(OK)

Waktu getar alami arah x dan y pada tanah keras adalah sama, hal ini dikarenakan struktur bangunan berbentuk beraturan.

d. Analisis Kinerja Batas Layan dan Batas Ultimit

Besaran simpangan antar tingkat dalam batas dibatasi sebagai berikut :

- Untuk Kinerja Batas Layan :

$$R = 5.5$$

$$h_i := 3000\text{mm}$$

$$\Delta_s := \frac{0.03}{R} \cdot h_i$$

$$\Delta_s = 16.364\text{mm} \quad \text{atau} \quad 30\text{mm}$$

$$\Delta_{s_{use}} := \min(\Delta_s, 30\text{mm}) = 16.364\text{mm}$$

- Untuk Kinerja Batas Ultimit :

$$h_i = 3000\text{mm}$$

$$\Delta M := 0.02 \cdot h_i$$

$$\Delta M = 60\text{mm}$$

12. Tanah Lunak

Kinerja batas layan (Δ_s) pada tanah lunak sebagai berikut:

Tabel 6 Analisis Kinerja batas layan (Δ_s) akibat gempa pada tanah lunak arah x atau y

| Story | hi (m) | Δ_s (mm) | Drift Δ_s antar tingkat (mm) | Syarat drift Δ_s (mm) |
|-------|--------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 86.10 | 3.17 | 16.36 |
| ST.9 | 3.00 | 82.93 | 5.61 | 16.36 |
| ST.8 | 3.00 | 77.32 | 7.08 | 16.36 |
| ST.7 | 3.00 | 70.24 | 9.26 | 16.36 |
| ST.6 | 3.00 | 60.98 | 9.76 | 16.36 |
| ST.5 | 3.00 | 51.22 | 12.44 | 16.36 |
| ST.4 | 3.00 | 38.78 | 11.95 | 16.36 |
| ST.3 | 3.00 | 26.83 | 11.71 | 16.36 |
| ST.2 | 3.00 | 15.12 | 9.75 | 16.36 |
| ST.1 | 3.00 | 5.37 | 5.37 | 16.36 |

Kinerja batas Ultimit (ΔM) pada tanah lunak sebagai berikut:

Tabel 7 Analisis Kinerja batas Ultimit (ΔM) akibat gempa pada tanah lunak arah x atau y

| Story | hi (m) | Drift Δ_s antar tingkat (mm) | Drift ΔM antar tingkat (mm) | Syarat drift ΔM (mm) |
|-------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 3.17 | 12.20 | 60.00 |
| ST.9 | 3.00 | 5.61 | 21.60 | 60.00 |
| ST.8 | 3.00 | 7.08 | 27.26 | 60.00 |
| ST.7 | 3.00 | 9.26 | 35.65 | 60.00 |
| ST.6 | 3.00 | 9.76 | 37.58 | 60.00 |
| ST.5 | 3.00 | 12.44 | 47.89 | 60.00 |
| ST.4 | 3.00 | 11.95 | 46.01 | 60.00 |
| ST.3 | 3.00 | 11.71 | 45.08 | 60.00 |
| ST.2 | 3.00 | 9.75 | 37.54 | 60.00 |
| ST.1 | 3.00 | 5.37 | 20.67 | 60.00 |

13. Tanah Sedang

Kinerja batas layan (Δ_s) pada tanah sedang sebagai berikut:

Tabel 8 Analisis Kinerja batas layan (Δs) akibat gempa pada tanah Sedang arah x atau y

| Story | hi (m) | Δs (mm) | Drift Δs antar tingkat (mm) | Syarat drift Δs (mm) |
|-------|--------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 38.05 | 1.63 | 16.36 |
| ST.9 | 3.00 | 36.42 | 2.27 | 16.36 |
| ST.8 | 3.00 | 34.15 | 3.26 | 16.36 |
| ST.7 | 3.00 | 30.89 | 4.01 | 16.36 |
| ST.6 | 3.00 | 26.88 | 4.44 | 16.36 |
| ST.5 | 3.00 | 22.44 | 5.20 | 16.36 |
| ST.4 | 3.00 | 17.24 | 5.32 | 16.36 |
| ST.3 | 3.00 | 11.92 | 5.31 | 16.36 |
| ST.2 | 3.00 | 6.61 | 4.23 | 16.36 |
| ST.1 | 3.00 | 2.38 | 2.38 | 16.36 |

Kinerja batas ultimit (ΔM) pada tanah sedang sebagai berikut:

14. Tanah Keras

Tabel 9 Analisis Kinerja batas Ultimit (ΔM) akibat gempa pada tanah Sedang arah x atau y

| Story | hi (m) | Drift Δs antar tingkat (mm) | Drift Δm antar tingkat (mm) | Syarat drift Δm (mm) |
|-------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 1.63 | 6.28 | 60.00 |
| ST.9 | 3.00 | 2.27 | 8.74 | 60.00 |
| ST.8 | 3.00 | 3.26 | 12.55 | 60.00 |
| ST.7 | 3.00 | 4.01 | 15.44 | 60.00 |
| ST.6 | 3.00 | 4.44 | 17.09 | 60.00 |
| ST.5 | 3.00 | 5.20 | 20.02 | 60.00 |
| ST.4 | 3.00 | 5.32 | 20.48 | 60.00 |
| ST.3 | 3.00 | 5.31 | 20.44 | 60.00 |
| ST.2 | 3.00 | 4.23 | 16.29 | 60.00 |
| ST.1 | 3.00 | 2.38 | 9.16 | 60.00 |

Kinerja batas layan (Δs) pada tanah keras sebagai berikut:

Tabel 10 Analisis Kinerja batas layan (Δs) akibat gempa pada tanah Keras arah x atau y

| Story | hi (m) | Δs (mm) | Drift Δs antar tingkat (mm) | Syarat drift Δs (mm) |
|-------|--------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 26.59 | 1.31 | 16.36 |
| ST.9 | 3.00 | 25.28 | 1.62 | 16.36 |
| ST.8 | 3.00 | 23.66 | 2.12 | 16.36 |

| Story | hi (m) | Δs (mm) | Drift Δs antar tingkat (mm) | Syarat drift Δs (mm) |
|-------|--------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.7 | 3.00 | 21.54 | 2.84 | 16.36 |
| ST.6 | 3.00 | 18.70 | 3.17 | 16.36 |
| ST.5 | 3.00 | 15.53 | 3.58 | 16.36 |
| ST.4 | 3.00 | 11.95 | 3.90 | 16.36 |
| ST.3 | 3.00 | 8.05 | 3.50 | 16.36 |
| ST.2 | 3.00 | 4.55 | 2.92 | 16.36 |
| ST.1 | 3.00 | 1.63 | 1.63 | 16.36 |

Kinerja batas ultimit (ΔM) pada tanah keras sebagai berikut:

Tabel 11 Analisis Kinerja batas ultimit (ΔM) akibat gempa pada tanah Keras arah x atau y

| Story | hi (m) | Drift Δs antar tingkat (mm) | Drift Δm antar tingkat (mm) | Syarat drift Δm (mm) |
|-------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ST.10 | 3.00 | 1.31 | 5.04 | 60 |
| ST.9 | 3.00 | 1.62 | 6.24 | 60 |
| ST.8 | 3.00 | 2.12 | 8.16 | 60 |
| ST.7 | 3.00 | 2.84 | 10.93 | 60 |
| ST.6 | 3.00 | 3.17 | 12.20 | 60 |
| ST.5 | 3.00 | 3.58 | 13.78 | 60 |
| ST.4 | 3.00 | 3.90 | 15.02 | 60 |
| ST.3 | 3.00 | 3.50 | 13.48 | 60 |
| ST.2 | 3.00 | 2.92 | 11.24 | 60 |
| ST.1 | 3.00 | 1.63 | 6.28 | 60 |

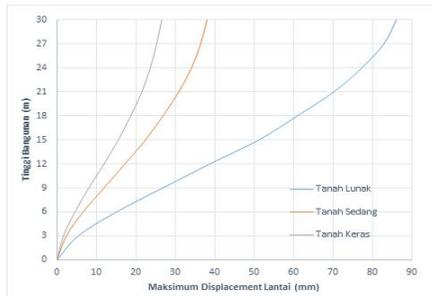
e. Perbandingan Simpangan antar lantai pada berbagai jenis tanah.

Dari hasil analisis yang dilakukan besarnya displacement lantai terbesar terjadi pada bangunan dengan jenis tanah lunak, diikuti tanah sedang dan tanah keras. Seperti terlihat pada Tabel 12 dan Grafik 1.

Tabel 12 Perbandingan Maksimum Displacement Lantai

| Story | Tanah Lunak Δs (mm) | Tanah Sedang Δs (mm) | Tanah Keras Δs (mm) |
|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| ST.10 | 86.10 | 38.05 | 26.59 |
| ST.9 | 82.93 | 36.42 | 25.28 |
| ST.8 | 77.32 | 34.15 | 23.66 |

| Story | Tanah Lunak | Tanah Sedang | Tanah Keras |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Δ_s (mm) | Δ_s (mm) | Δ_s (mm) |
| ST.7 | 70.24 | 30.89 | 21.54 |
| ST.6 | 60.98 | 26.88 | 18.70 |
| ST.5 | 51.22 | 22.44 | 15.53 |
| ST.4 | 38.78 | 17.24 | 11.95 |
| ST.3 | 26.83 | 11.92 | 8.05 |
| ST.2 | 15.12 | 6.61 | 4.55 |
| ST.1 | 5.37 | 2.38 | 1.63 |



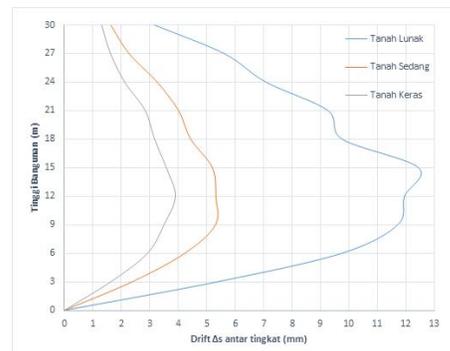
Grafik 1. Perbandingan Maksimum Displacement Lantai

Dari hasil analisis yang dilakukan besarnya simpangan lantai terbesar terjadi pada bangunan dengan jenis tanah lunak, diikuti tanah sedang dan tanah keras baik pada kondisi batas layan dan ultimit. Seperti terlihat pada Tabel 13, Grafik 2 dan Grafik 3.

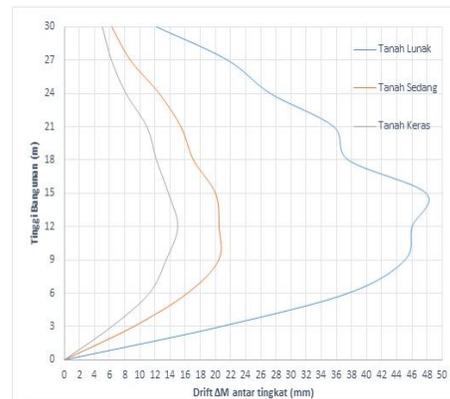
Tabel 13 Perbandingan Simpangan Antar tingkat Pada Berbagai Jenis Tanah

| Story | Tanah Lunak | | Tanah Sedang | | Tanah Keras | |
|-------|-------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|
| | Δ_s | Δ_M | Δ_s | Δ_M | Δ_s | Δ_M |
| ST.10 | 3.17 0 | 12.2 05 | 1.6 30 | 6.27 5 | 1.3 10 | 5.04 3 |
| ST.9 | 5.61 0 | 21.5 99 | 2.2 70 | 8.74 0 | 1.6 20 | 6.23 7 |
| ST.8 | 7.08 0 | 27.2 58 | 3.2 60 | 12.5 51 | 2.1 20 | 8.16 2 |
| ST.7 | 9.26 0 | 35.6 51 | 4.0 10 | 15.4 39 | 2.8 40 | 10.9 34 |
| ST.6 | 9.76 0 | 37.5 76 | 4.4 40 | 17.0 94 | 3.1 70 | 12.2 05 |
| ST.5 | 12.4 40 | 47.8 94 | 5.2 00 | 20.0 20 | 3.5 80 | 13.7 83 |
| ST.4 | 11.9 50 | 46.0 08 | 5.3 20 | 20.4 82 | 3.9 00 | 15.0 15 |

| Story | Tanah Lunak | | Tanah Sedang | | Tanah Keras | |
|-------|-------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|
| | Δ_s | Δ_M | Δ_s | Δ_M | Δ_s | Δ_M |
| ST.3 | 11.7 10 | 45.0 84 | 5.3 10 | 20.4 44 | 3.5 00 | 13.4 75 |
| ST.2 | 9.75 0 | 37.5 38 | 4.2 30 | 16.2 86 | 2.9 20 | 11.2 42 |
| ST.1 | 5.37 0 | 20.6 75 | 2.3 80 | 9.16 3 | 1.6 30 | 6.27 6 |



Grafik 2. Perbandingan Drift Δ_s Antar Lantai



Grafik 3. Perbandingan Drift Δ_M Antar Lantai

6. KESIMPULAN DAN SARAN Kesimpulan

- 1) Waktu getar alami metode empiris dengan *Method A* dari *UBC Section 1630.2.2* menghasilkan periode yang lebih kecil yaitu 0,937 detik sedangkan menurut SNI 03-1726-2002 pasal 5.6 tabel 8, untuk wilayah gempa 3 adalah 1,8 detik.

- 2) Gaya Geser Dasar Nominal terbesar terjadi pada Tanah Lunak yaitu sebesar 803,572kg, Tanah Sedang adalah 353,572kg dan Tanah Keras adalah 246,428 kg. Hal ini dikarenakan percepatan gravitasi pada setiap jenis tanah berbeda.
- 3) Dari hasil analisis dengan program ETABS, didapatkan waktu getar alami terbesar terdapat di bangunan dengan jenis tanah lunak, yaitu sebesar 4,134 detik, untuk tanah sedang adalah 2,747 detik dan tanah keras adalah 2,289 detik. Sehingga desain bangunan ini untuk 10 lantai masih memenuhi syarat batas waktu getas alami.
- 4) Dari hasil analisis dengan program ETABS displacement lantai terbesar terjadi pada tanah lunak, diikuti tanah sedang dan terkecil pada tanah keras.

Saran

- 1) Perlu dilakukan analisa menurut SNI terbaru.
- 2) Perlu dilakukan analisis pada bangunan tidak beraturan untuk mengetahui perilakunya.
- 3) Perlu dilakukan analisis dinamik dengan metode yang lain untuk mengetahui perilakunya.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah Pamungkas. Erny Harianti. (2009). *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, ITS Press.
- Bambang Budiono, Prof., Ir., M.E., PhD. Lucky Supriatna, ST. (2011). *Studi Komparasi De-*

sain Bangunan Tahan Gempa, Penerbit ITB.

- PPIUG 1983.(1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- SNI 03-1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah.

Biodata Penulis :

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Alumni S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (2008), Pasca Sarjana (S2) Program Studi Teknik Sipil Struktur Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (2010). Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UTP Surakarta (2015 – sekarang).