

EVALUASI RESPONS STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT TINGGI EKSISTING MENGGUNAKAN PERATURAN KEGEMPAAN SNI 03-1726-2012

Widya Apriani¹, Sjahril A Rahim²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia
widya.apriani99@gmail.com

ABSTRAK

Pada umumnya bangunan yang ada di Indonesia telah dibangun dengan acuan pedoman SNI 1726-1989-F dan SNI 03-1726-2002. Peraturan tersebut belum menerapkan konsep perencanaan bangunan tahan gempa secara eksplisit. Berkaitan dengan hal tersebut, dalam upaya memitigasi kerusakan akibat beban gempa maka telah diterbitkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung yaitu SNI 03-1726-2012. Bangunan yang telah ada boleh jadi tidak memenuhi standar baru. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons gedung bertingkat (Gedung X) terhadap beban gempa. Gedung X dievaluasi menurut gaya geser dasar dan kekakuan struktur. Hal-hal tersebut diteliti dengan membandingkan antara struktur eksisting dengan struktur yang baru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika dilakukan analisa statik nonlinier (*pushover analysis*), struktur eksisting tidak memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup dalam menahan beban gempa nominal akibat gempa rencana sesuai dengan SNI 03-1726-2012.

Kata Kunci: *Bangunan Tingkat Tinggi, Evaluasi Struktur, Peraturan Kegempaan.*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia termasuk wilayah dengan risiko gempa bumi yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan bangunan yang tahan terhadap gempa. Beberapa dekade terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sistem struktur dengan respon yang paling baik terhadap gempa. Namun, pada umumnya bangunan yang ada di Indonesia telah dibangun dengan acuan pedoman SNI 1726-1989-F dan SNI 03-1726-2002. Peraturan ini belum mensyaratkan beban gempa secara eksplisit. Pada tahun 2010, Sutijpto telah melakukan analisis terhadap adanya persyaratan geser dasar seismik minimum pada RSNI 03-1726-2012, yang tidak dinyatakan secara eksplisit dalam SNI 03-1726-2002. Hasilnya bahwa gedung dengan perioda di atas 3 detik (19 lapis ke atas) yang telah terbangun dan yang dirancang berdasarkan SNI 03-1726-2002, tidak memenuhi persyaratan RSNI 03-1726-2012. Bangunan yang telah ada boleh jadi menjadi tidak memenuhi standar baru sehingga bangunan rentan akan keamanan dan kekakuan struktur. Untuk itu, seharusnya dikaji ulang dan bila perlu harus diperkuat (*retrofitting*). Dengan demikian penelitian ini akan mengkaji keamanan dan kekakuan struktur pada bangunan yang telah dibangun. Penelitian ini menggunakan analisis statik non linear untuk mengetahui bagaimana respon nyata struktur ketika terkena gempa. Selanjutnya dapat diketahui bagaimana respon nyata struktur ketika terkena gempa dengan metode analisa statik non linier (*pushover*).

Landasan Teori

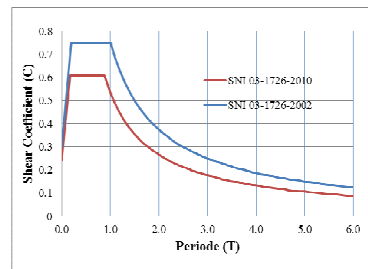
Beban Gempa

Beban gempa dihitung dengan cara dinamik dengan menggunakan *spectrum respons analysis*. Kurva respons spectrum gempa rencana untuk wilayah gempa zona 3 (Jakarta) dengan kondisi tanah lunak menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 adalah seperti di Gambar 1

Analisis Beban Gempa Nominal Dinamik (Spektrum Respons)

Perencanaan struktur gedung yang beraturan dan tidak beraturan yang membutuhkan analisis yang lebih detail dapat memakai analisis Dinamik. Menurut pasal 4.2.1 SNI 03-1726-2002, Analisis 3 dimensi harus dilakukan untuk memeriksa respons struktur terhadap beban gempa rencana. Peraturan membatasi bahwa

hasil analisis getar bebas tiga dimensi harus dominan dalam arah translasi paling tidak pada ragam pertama(fundamental).



Gambar 1. Grafik Fungsi Spektrum Respons Daerah Jakarta

Menurut SNI 03-1726-2002 menyatakan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam satu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal (V), ditunjukkan dalam persamaan $V \geq 0,8 V_1$. Analisis ini dilakukan dengan *spectrum respons* sesuai wilayah kegempaan dan jenis tanah struktur gedung dikalikan faktor koreksi gI/R . Jumlah ragam yang ditinjau harus menghasilkan partisipasi massa sekurang-kurangnya 90%.

Periode Getar Alami Fundamental

Permasalahan fleksibilitas pada struktur harus dihindari, nilai waktu getar alami (T_1) struktur gedung harus dibatas. Pembatasan nilai dipengaruhi oleh koefisien ζ dan jumlah tingkat (n) suatu gedung. Nilai ζ_n diperoleh dari tabel koefisien di SNI-03-1726-2002. Periode Getar alami dapat diperoleh dengan persamaan $T_1 < \zeta n$.

Tahap Evaluasi Bangunan Eksisting menurut FEMA 310

Fema 310 menyatakan bahwa terdapat tiga tahapan proses evaluasi ketahanan gempa bangunan eksisting. Tujuannya adalah untuk menentukan ketahanan suatu struktur menahan beban gempa. Fase tersebut terdiri atas fase *screening*, fase evaluasi, fase evaluasi detail. Fase kedua merupakan fase rangkaian yang dibahas pada penelitian ini. Fase kedua terdiri atas menganalisis gaya gempa statik ekuivalen, menganalisis perpindahan komponen menggunakan analisis elastis atau dinamik (*respons spectrum*), menganalisis defisiensi struktur bangunan gedung terhadap pengaruh gempa. Kategori defisiensi terdiri dari Pemeriksaan kekakuan struktur dan pemeriksaan kekuatan struktur.

Pemeriksaan Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur merupakan faktor kinerja struktur yang harus diperiksa dengan mengidentifikasi simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. SNI -02-1726-2002 mensyaratkan kondisi batas layan dan kondisi batas ultimate simpangan, yaitu:

$$Drift\ layan = \frac{0.03}{R} h \leq 30\ mm$$

$$Drift\ layan = \frac{0.03}{R} h \leq 30\ mm$$

$$Drift\ ultimate = 0,02(h_i)$$

Pemeriksaan Kekuatan Struktur

Pemeriksaan ini difokuskan pada penilaian terhadap P-M-M ratio kolom yang dapat dilihat dari hasil analisis program ETABS pada model eksisting. Pemodelan diperiksa memperhatikan faktor kekuatan reduksi dan kombinasi pembebanan rencana. Persamaan PMM adalah sebagai berikut:

$$\frac{P}{P_{maks}} + \frac{M}{M_{maks}} = 1$$

dengan :

- P : Gaya aksial yang terjadi
- M : Momen Lentur yang terjadi
- Pmaks : Gaya aksial maksimum yang mampu ditahan kolom
- Mmaks : Momen lentur maksimum yang mampu ditahan kolom

P-M-M ratio untuk suatu kolom pada struktur harus bernilai kecil dari satu. Apabila nilai P-M-M besar atau sama dengan satu maka berarti struktur telah mengalami defisiensi kekuatan/kapasitas dalam menahan beban kombinasi. dengan kata lain, dapat dikatakan kolom mengalami overstress.

Gaya Geser Dasar

Persyaratan gaya geser dasar seismic minimum merupakan persyaratan yang belum dijelaskan secara eksplisit pada peraturan sebelumnya. Hal ini akan sangat mempengaruhi pada desain bangunan tingkat tinggi yang mempunyai periode yang panjang. RSNI 03-1726-2012 mensyaratkan besarnya koefisien respons seismic minimum dari nilai yang terbesar antara $0.044 S_{DS} I_e$ dan 1%. Sedangkan SNI 03-1726-2002 tidak menetapkan suatu nilai geser dasar seismic minimum.

Fokus desain struktur eksisting dalam penelitian ini dilakukan dengan beban dinamik respons spectrum yang di kontrol dengan analisa statik ekuivalen (pengecekan gaya geser). Analisa dinamik respon spectrum pada SNI 03-1726-2002 dievaluasi dengan perhitungan gaya geser ragam pertamanya (V_1) dengan syarat V lebih besar atau sama dengan $0.8 V_1$. Sedangkan untuk SNI 03-1726-2010 disyaratkan gaya elemen yang dihasilkan ragam harus diskalakan sedemikian hingga geser dasar tersebut sama dengan 0,85 kali geser dasar metode statik ekuivalen atau bila $V_{cqc} < 85\% V$ statik, faktor skala gaya dan simpangan antar lantai = $0,85\% V_{statik} / V_{cqc}$.

2. METODOLOGI

Struktur bangunan eksisting yang dijadikan model dalam kasus ini adalah struktur bangunan *dual system*, yakni menggunakan pengaku shearwall, yang dalam kondisi ini bangunan tidak memenuhi prasyarat desain tahan gempa dari peraturan revisi yang baru.

Deskripsi Model struktur dan Lokasi

Perencanaan struktur eksisting pada penelitian ini mengambil kasus gedung perkantoran. Struktur direncanakan berdasarkan kriteria berikut ini.

Jumlah tingkat	: 20 lantai
Tinggi tingkat tipikal/ Tinggi tingkat dasar	: 4 m/5 m
Lokasi	: wilayah 3(tanah lunak)

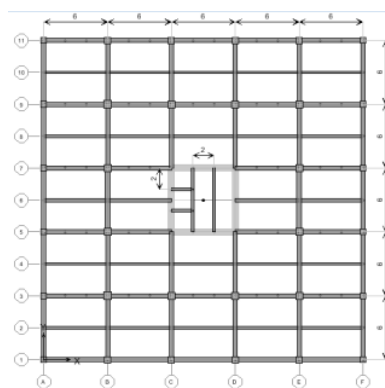
Faktor reduksi Gempa (R) adalah 8.5 (daktail penuh) untuk SNI 2002 dan nilai 7 (untuk SNI 2010).Selanjutnya Faktor keutamaan (I) : 1 (perkantoran)

Berikut ini dijabarkan penamaan pemodelan struktur yang akan dianalisa :

1. MODEL DS02, yaitu penamaan model struktur eksisting dual system (DS) yang dianalisis dengan peraturan lama (SNI 03-1726-2002).
2. MODEL DS10, yaitu penamaan model struktur eksisting yang dievaluasi dengan peraturan baru SNI 03-1726-2010.

Denah Bangunan

Denah dari struktur bangunan *dual system* yang di-*retrofitting* adalah tipikal, yakni terdiri dari lima bentang untuk masing masing arah x dan y dengan dimensi yang terlihat pada gambar berikut ini:

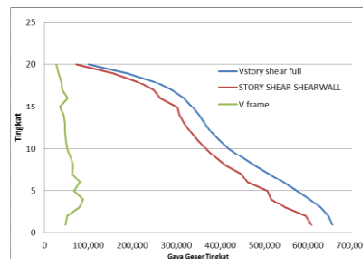


Gambar 2. Denah Struktur Eksisting

3. HASILDAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Struktur MODEL DS02: Periode Alami Struktur

Untuk menghindari penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, maka perlu dilakukan kontrol terhadap waktu getar yang diperoleh. Persyaratan SNI 2002 membatasi nilai $T \leq \xi n$, untuk kasus pada penelitian ini gedung 20 lantai terletak diwilayah 3 maka ξ sebesar 0,18 dan $n= 20$, maka $T \leq 3,6$, diperoleh dari hasil analisa T sebesar 3,22 detik.



Gambar 3. Patisipasi elemen dalam menahan gaya geser

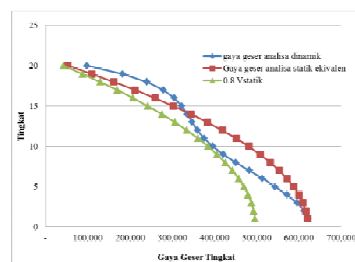
Dari gambar di atas diperoleh bahwa partisipasi shearwall dominan karena lebih dari 75% mampu menahan gaya geser akibat gempa sehingga memenuhi persyaratan struktur *dual system*.

Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai SNI 1726-2002 jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam mencakup partisipasi sekurang-kurangnya 90%. Digunakan 15 ragam pola getar dan partisipasi massa. Hasilnya menunjukkan struktur memenuhi syarat partisipasi massa. Berikut ini ditampilkan partisipasi massa menahan gaya geser. Hasil analisis menunjukkan pada mode ke-8 SumUX sebesar 90.222, Pada mode 14 tercapai SumUY sebesar 92.7883 dan pada mode ke-7 SumUY sebesar 93.5545.

Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

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 yaitu $V \geq 0.8V_1$, dimana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam pertama. Dengan demikian dapat digambarkan pada Gambar 4 berikut ini:

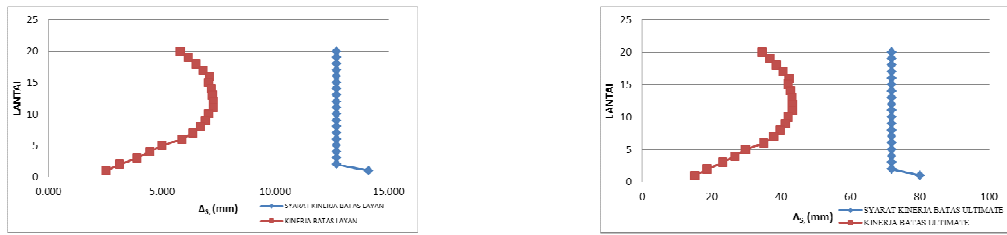


Gambar 4 Diagram Gaya Geser Tingkat Nominal Sepanjang Tinggi Struktur Gedung

Hasil di atas menunjukkan bahwa gaya geser tingkat nominal dari analisis respons dinamik tidak perlu dimodifikasi karena nilainya sudah melebihi 0,8kali Gaya geser dasar statik ekivalen. Selanjutnya gaya geser tingkat nominal dari respons spektrum tersebut dijabarkan menjadi beban-beban gempa statik ekivalen. Hal ini digunakan untuk menentukan gaya-gaya internal di dalam unsur-unsur struktur gedung (Sesuai pasal A.7.2.4 SNI 03-1726-2002).

Pemeriksaan Kekakuan Struktur

Kinerja struktur gedung yang dinilai dari faktor kekakuan struktur menunjukkan dalam dua kondisi yaitu kondisi batas layan dan kondisi batas ultimit, yaitu:



Gambar 5. Kinerja batas ultimate (Δ_M) akibat gempa nominal arah Y

Evaluasi Struktur dengan Model DS10

Periode Alami struktur

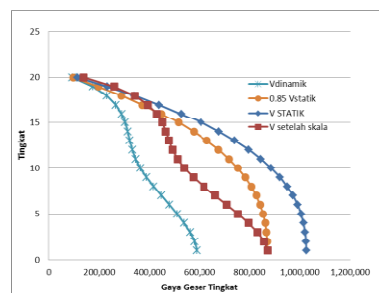
Dari hasil analisis struktur dengan metode respons spektrum diperoleh nilai $T = (T_c)$ sebesar 3.22detik. Sedangkan T_a diperoleh 1.3176 detik, maka digunakan $T = C_u.T_a = 1.84464$ detik.

Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai SNI 1726-2010 jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam mencakup partisipasi sekurang kurangnya 90%. Dalam analisis dinamik yang dilakukan, digunakan 15 ragam pola getar dan partisipasi massa yang disumbangkan masing-masing 90.22% pada mode ke 8 untuk translasi arah x (SUM UX), sebesar 92.79% pada mode ke 14 untuk translasi arah y (SUM UY) dan sebesar 93.55% pada mode ke 9 untuk rotasi arah sumbu z (SUM RZ). Dalam hal ini maka struktur memenuhi syarat partisipasi massa.

Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Sesuai SNI 03-1726-2010 bahwa jika gaya geser desain dari analisis ragam kurang dari 8% geser dasar (dengan batasan $T = C_u.T_a$), maka gaya elemen yang dihasilkan dari analisis ragam harus diskalakan sedemikian, hingga geser dasar tersebut adalah 0,85 kali geser dasar V_{statik} . Faktor skala gaya dan simpangan antar lantai adalah 0,85 V_{statik}/V_{cqc} .

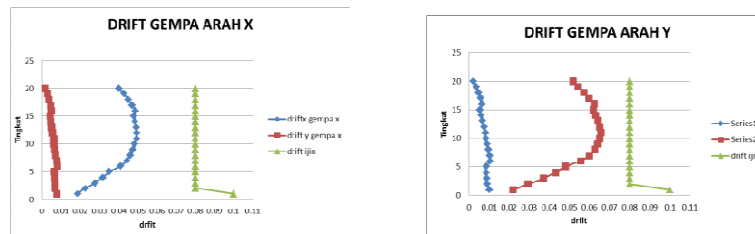


Gambar 6. Diagram Gaya Geser Tingkat Nominal Sepanjang Tinggi Struktur Gedung (SNI 03-1726-2010)

Selanjutnya gaya geser tingkat nominal dari respons spektrum tersebut dijabarkan menjadi beban-beban gempa statik ekuivalen. Hal ini digunakan untuk menentukan gaya-gaya internal di dalam unsur-unsur struktur gedung.

Kontrol Simpangan Struktur terhadap Pembebanan Gempa

Kinerja struktur gedung untuk kekakuan, dapat dilihat dari simpangan antar tingkat akibat pengaruh beban gempa rencana.

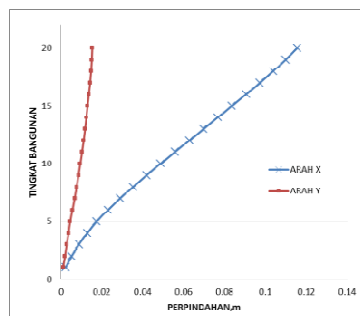


Gambar 7. Drift akibat gempa nominal

Pemeriksaan pada simpangan struktur masih berada pada batas ijin layan dan ultimitnya.

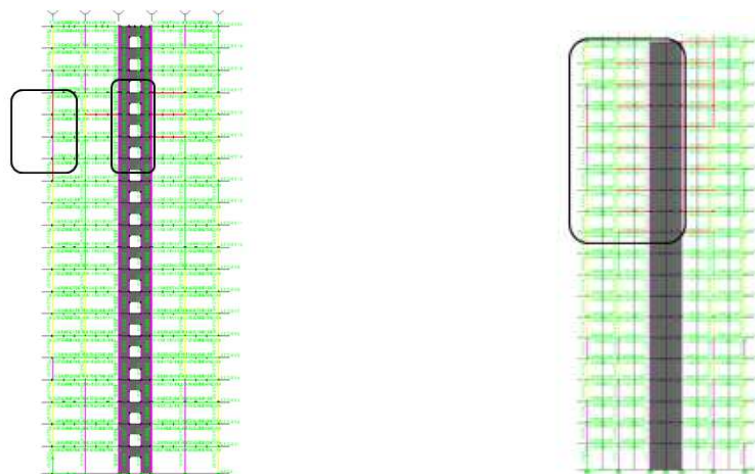
Pemeriksaan Perpindahan Lantai

Berikut disajikan perpindahan struktur MODEL DS10-a



Gambar 8. Korelasi Displacement dan Tingkat

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap kebutuhan tulangan. Dengan kondisi struktur eksisting yang telah dirancang dengan SNI 03-1726-2002 ternyata kebutuhan tulangan pada elemen balok pada beberapa bagian mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan terjadinya overstress akibat bertambahnya gaya geser. Elemen struktur yang mengalami overstress ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 9. (a) Kegagalan balok pada elevasi 7 (b) Kegagalan balok pada elevasi C

Struktur balok pada bidang yang terdapat dinding geser yaitu elevasi view 7 mengalami overstress akibat menerima beban gempa SNI 03-1726 2010. Struktur balok pada bidang yang terdapat dinding geser yaitu elevasi view C, telah mengalami overstress akibat menerima gaya geser yang berlebihan akibat beban gempa yang meningkat pada SNI 03-1726 2010. Terjadinya kegagalan kekuatan pada struktur eksisting akibat beban gempa yang lebih besar adanya stuktur dinding geser ternyata juga belum mampu untuk mengakomodasi gaya lateral yang diakibatkan oleh gaya gempa tersebut. Terjadinya overstress karena kapasitas rasio melebihi batas dan kolom pada join tidak mampu mengakomodasi gaya geser sehingga melebihi batas. Selanjutnya ditampilkan kegagalan struktur yang dikenai 25% beban gempa dinamik. Pada kolom yang

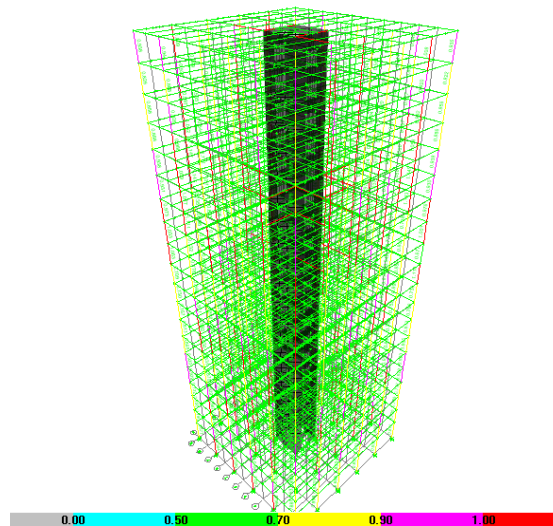
ditinjau dibuat diagram interaksi kolom, ditunjukkan interaksi momen dan gaya aksial, terlihat bahwa terjadi overstress pada kolom, karena titik berada di luar diagram. Apabila dilakukan pembesaran diagram interaksi dengan memperbesar dimensi kolom tidak mungkin dilakukan bila lebih besar dari 1,25 kali diagram semula untuk memenuhi tulangnya. Maka dapat disimpulkan bahwa terjadinya kegagalan kekuatan pada struktur eksisting akibat beban gempa yang lebih besar adanya struktur dinding geser ternyata juga belum mampu untuk mengakomodasi gaya lateral yang diakibatkan oleh gaya gempa tersebut sehingga harus diretrofitting.

Pemeriksaan Kekuatan Struktur

Pemeriksaan kekuatan dilakukan terhadap 18 kombinasi pembebanan beban gempa terhadap struktur MODEL DS10-a. Adapun parameter kekuatan yang diperiksa adalah sebagai berikut:

Pemeriksaan Ratio Kekuatan Kolom

Sebagai ukuran dari kondisi stres kolom, rasio kapasitas dihitung. Rasio kapasitas pada dasarnya merupakan faktor yang memberikan indikasi stres kondisi kolom terhadap kapasitas kolom. Sebelum memasuki diagram interaksi untuk memeriksa kapasitas kolom, saat faktor perbesaran diterapkan beban diperhitungkan untuk memperoleh P_u , M_u2 , dan M_u3 , kemudian ditempatkan di ruang interaksi. Apabila P-M-M rasion untuk suatu kolom pada struktur Model DS10-a sama dengan atau lebih dari satu maka kolom tersebut memiliki defisiensi dalam kekuatan (kapasitas) untuk menahan beban kombinasi gravitasi dengan beban nominal akibat gempa rencana sesuai SNI 03-1726-2010 sehingga kolom tersebut mengalami overstress. Jika titik terletak dalam volume interaksi, kapasitas kolom memadai. Namun, jika titik terletak di luar interaktivolume, kolom ini tertekan. Rasio kapasitas dicapai dengan memplot titik L dan menentukan lokasi dari titik C. Titik C didefinisikan sebagai titik di mana garis OL (jika diperpanjang keluar) akan memotong permukaan kegagalan.



Gambar 10. P-M-M ratio (kolom berwarna merah mengalami overstress)

Perbandingan Model DS 02 dan Model DS 10

Perubahan Persyaratan Gaya Geser Dasar Minimum

SNI 03-1726-2010 mensyaratkan besarnya koefisien respons seismik minimum dari nilai yang terbesar antara $0.044 S_{DS} I_e$ dan 1%. Sedangkan SNI 02-1726-2002 tidak mensyaratkan suatu nilai geser dasar seismik minimum, namun periode sistem struktur penahan gaya lateral gedung dibatasi $T \leq \xi n$, dimana n adalah jumlah lapis dan nilai ξ bervariasi tergantung wilayah gempa.

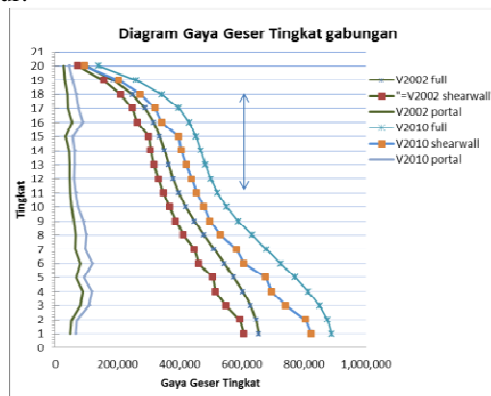
Penentuan Gaya geser dasar : Menurut SNI 03-1726-2002 : $V_{statik02} = CIWt/R$ sedangkan Menurut SNI 03-1726-2010 : $V_{statik10} = C_s \cdot W$

Tabel 1. Batasan Koefisien Geser dasar

$C_s \text{ min} = 0.044 S_{ds} I_e$	$C_s = S_{ds}/(R/I)$	$C_{smax} = S_{d1}/T(R/I)$	Cs yang dipakai
0.02	0.09	0.04	0.04

Perbandingan Gaya Geser

Pemeriksaan terhadap gaya geser untuk mengetahui peningkatan gaya geser yang menyebabkan terjadinya defisiensi kekuatan pada struktur.



Gambar 11. Gambar gaya geser tingkat bangunan

Pada Gambar 11 menunjukkan 6 yaitu gaya geser yang dialami oleh elemen. Dibawah ini dijelaskan persentase peningkatan gaya geser yang terjadi pada pemodelan struktur. Berdasarkan grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan gaya geser yang dialami oleh struktur yang di desain dengan beban gempa sesuai SNI 03-1726-2010. Peningkatan yang terjadi pada elemen portal rata-rata sebesar 32 %. Peningkatan yang terjadi pada elemen Shearwall rata-rata sebesar 24 %, dan peningkatan yang terjadi pada struktur secara keseluruhan rata-rata adalah 26 %. Hal inilah yang mengindikasikan terjadinya defisiensi kekuatan pada balok pada elevasi E ditingkat 11-18.

4. KESIMPULAN

1. Hasil analisis menunjukkan kinerja layan dan ultimit struktur masih berada di bawah grafik batas yang disyaratkan pada SNI 03-1726-2002. Pada kurva ditunjukkan dengan tidak adanya nilai simpangan antar tingkat yang lewat dari batas sesuai ketentuan yang ditetapkan. Hal ini berarti bahwa kekakuan struktur masih cukup ketika dikenai beban gempa nominal.
2. Dari penerapan perhitungan gaya gempa pada kasus bangunan x menggunakan peraturan SNI 03-1726-2002 didapatkan gaya geser yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya gempa yang dihitung dengan SNI 03-1726-2010 yang telah di skalakan.
3. Gaya gempa dari SNI 03-1726-2010 menghasilkan gaya dalam struktur yang lebih besar dari pada gaya dalam yang dihasilkan dari gaya gempa SNI 03-1726-2002 ditandai dengan munculnya elemen struktur yang overstress.
4. Struktur Gedung yang telah terbangun dengan Peraturan yang lama membutuhkan analisis untuk dilakukan perbaikan/retrofitting.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan syukur yang tak terhingga atas izin Allah SWT sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini. Selanjutnya saya mengucapkan terima kasih kepada Ir. Syahril A. Rahim, M. Eng., selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penulisan makalah ini dan Segecap Dosen Pascasarjana Teknik Sipil UI dan teman-teman S2 teknik sipil angkatan 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN, 1989. SNI 03-1727-1989 : *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah*. Jakarta.
- BSN, 2002. SNI 1726-2002 : *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.
- BSN, 2012. SNI1726-2012 : *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.

Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru

ISBN: 978-979-792-636-6

Federal Emergency Management Agency, 1998. *FEMA-310 Handbook for The Seismic Evaluations of Building*.

Paulino, M. R, 2010. *Preliminary Design of Tall Buildings*. Thesis of Worcester Polytechnic Institute.

Pranata, Yosafat Aji, 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan PUSHOVER ANALYSIS*. Jurnal Teknik Sipil, Vol 3, No 1: Bandung

Smith, B. S., & Coull, A, 1991. *Tall Building Structures: Analysis and Design*.

Sutjipto, Suradjin, 2010. *Dampak Persyaratan Geser Dasar Seismik Minimum pada RSNi 03-1726-2010 terhadap Gedung Tinggi Terbangun*: Jakarta.

