

**EVALUASI RANGKA BETON BERTULANG DENGAN DINDING GESER
MENGUNAKAN FEMA 310
(Studi Kasus Pada : Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau)**

Muhammad Rizky¹⁾, Alex Kurniawandy²⁾, Zulfikar Djauhari³⁾

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: rizky.moesa@gmail.com

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: alexkurniawandy@gmail.com

³ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id, zulfkr_dj@yahoo.com

ABSTRACT

The earthquake is a natural disaster that is very difficult to predict the time and location of occurrence. A relatively short process very inversely proportional to the impact. Planning for building must be considered for anticipated damage that will occur as a result of an earthquake. This study aims to conduct a thorough evaluation of the performance of the structure of the Building Dang Merdu Tower of Bank Riau against earthquake hazards by using the FEMA 310 document. The evaluation was conducted on the evaluation of the first phase of the checklist method FEMA 310, the second phase of evaluation with linear static methods and evaluation of the third phase of the method static nonlinear (pushover). Based on FEMA checklist Building Dang Merdu Tower of Bank Riau does not meet the requirements at the soft story investigation. Stiffness of the first level of less than 70% on the stiffness of the second level. Based on a linear static analysis for equivalent static earthquake load story drift value does not meet the requirements story drift permit SNI 1726-2012 while the earthquake response spectrum meet the requirements. Based on the pushover analysis level of the performance Building Dang Merdu Tower of Bank Riau is O (Operational) on ATC-40.

Keywords: FEMA 310, linear static, pushover, performance of the structure, inelastic drift

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan bencana alam yang sangat sulit diprediksi waktu dan lokasi terjadinya. Gempa bumi disebabkan oleh bergesernya lempeng bumi yang ada di bawah permukaan bumi. Ketika lempeng bumi bergerak maka mengakibatkan getaran pada lapisan permukaan bumi. Hal ini membuat bangunan di atasnya mengalami kerusakan pada struktur yang mengakibatkan keruntuhan pada bangunan tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan bangunan akibat gempa bumi adalah kekuatan, kedalaman dan lama getaran gempa bumi serta kondisi tanah dan bangunan. Proses yang relatif singkat sangat berbanding terbalik dengan akibat negatif yang ditimbulkan.

Salah satu penyebab bangunan yang terbuat dari struktur beton bertulang

mengalami kerusakan ialah detail penulangan yang ternyata kurang memenuhi persyaratan minimum untuk bangunan tahan gempa. Hal ini terlihat pada dimensi kolom dan balok yang umumnya kecil, penggunaan tulangan polos dan pengangkur yang tidak sesuai standar (Imran dkk, 2005 dan 2006).

Selain itu konfigurasi bangunan akan menentukan perilaku bangunan saat gempa bumi terjadi. Konfigurasi bangunan yang baik adalah bangunan yang denah dan potongannya sederhana. Konfigurasi yang kurang baik seperti konfigurasi bangunan *soft story*, *bad mass distribution*, *set back* dan *pounding* yang dapat berakibat pada tingginya kerusakan bangunan (Widodo, 2007).

Lebih lanjut penyebab kerusakan bangunan dan besarnya korban jiwa dalam

beberapa kejadian gempa seperti Aceh, Yoga dan Padang disebabkan oleh rendahnya mutu material, kesalahan dalam desain dan konstruksi serta detail tulangan, peta gempa yang perlu diperbaharui, pengaruh gelombang S dan gempa vertikal arah memanjang bangunan, kegagalan pondasi, *soil liquefaction*, *differential settlement*, efek kolom pendek, efek kolom langsing, efek torsi, kurangnya redudansi dan tidak tersedianya jalur evakuasi yang aman secara struktur (Madutujuh, 2010).

Hal terkait lainnya adalah komponen vertikal struktur memberi pengaruh yang sangat signifikan terhadap kerusakan struktur gedung di kejadian gempa Padang 30 September 2009 (Mangkoesoebroto, 2010).

Federal Emergency Management Agency (FEMA) dalam mengantisipasi kerugian yang akan terjadi terhadap bangunan gedung yang akan atau telah berdiri maka dibuatlah buku pedoman untuk mengevaluasi secara cepat kelayakan bangunan gedung terhadap gempa. Buku pedoman tersebut diterbitkan pada Januari 1998 dengan nama FEMA 310 yang selanjutnya diperbaharui pada Januari 2015. Dalam dokumen FEMA 310 evaluasi dapat dilakukan pada bangunan yang akan dibangun maupun bangunan yang sudah berdiri dengan syarat-syarat yang telah ditentukan.

Terkait dengan hal-hal tersebut di atas maka dilakukan kajian untuk mengimplementasikan FEMA 310 pada kondisi bangunan di kota Pekanbaru. Bangunan yang dipilih adalah bangunan yang memiliki karakteristik :

1. berlantai banyak (*high rise building*).
2. sistem rangka pemikul momen khusus yang bergerak.
3. *dual system* yakni kombinasi sistem rangka pemikul momen dengan struktur ganda.
4. rangka tidak beraturan secara vertikal.

Sehingga bangunan yang dipilih untuk mewakili karakteristik tersebut adalah Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau.

Penelitian ini melakukan evaluasi menyeluruh kelayakan Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau terhadap bahaya gempa dengan menggunakan dokumen FEMA 310, sehingga diperoleh perilaku struktur dari bangunan yang dapat dijadikan acuan dalam proses rehabilitasi untuk meminimalisir kerugian yang terjadi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

FEMA 310 menyediakan tiga tahap evaluasi struktur. Tahap pertama evaluasi ialah pengecekan secara cepat dengan melengkapi *checklist* struktural, pondasi dan nonstruktural, jika ditemukan penilaian yang *non compliant*, maka dilanjutkan ke evaluasi tahap kedua yang merupakan analisis struktur, analisa ini dapat berupa analisis statik linear, dinamis linear dan prosedur khusus. Evaluasi tahap ketiga dilakukan jika terdapat hasil evaluasi yang *non compliant* pada evaluasi tahap kedua. Evaluasi tahap ketiga merupakan analisis non linear, salah satu metode yang digunakan ialah analisis statik nonlinier (*pushover*).

Evaluasi tahap pertama dilakukan setelah semua data terpenuhi. *Checklist* yang diperlukan merupakan fungsi dari daerah gempa dan tingkat kinerja. Setiap evaluasi terhadap *checklist* harus ditandai *compliant* (C), *non compliant* (NC), atau *not applicable* (N/A). Pernyataan *compliant* mengidentifikasi yang dapat diterima dan sesuai dengan kriteria, *non compliant* mengidentifikasi masalah yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut. Pernyataan dinyatakan *not applicable* bila pernyataan tidak ditemukan di gedung yang ditinjau atau pernyataan tidak sesuai dengan tingkat kinerja gedung. Pernyataan tertentu mungkin tidak berlaku untuk bangunan yang sedang dievaluasi. Tanpa data yang valid dan memadai, penilaian evaluasi tidak dapat dilakukan dengan tepat dan akurat.

Evaluasi tahap kedua dapat dilakukan bila evaluasi tahap pertama telah selesai dilakukan. Evaluasi tahap kedua dilakukan dengan memilih salah satu metode analisis linear berikut :

1. prosedur statik linear (analisis statik ekuivalen)
2. prosedur dinamis linear dibagi menjadi dua :
 - a. Analisis ragam respon spektrum
 - b. Analisis respon dinamik riwayat waktu
3. prosedur khusus (*special*)

Kekurangan (*deficiencies*) yang ditemukan di evaluasi tahap kedua ini menjadi alasan untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Alternatif yang diizinkan ialah menghentikan investigasi dan melaporkan kekurangan yang didapat dari evaluasi tahap kedua.

Prosedur statik linear dilakukan untuk gedung yang simetris, sedangkan untuk prosedur dinamis harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. bangunan yang lebih tinggi dari 100 ft (30 m)
2. bangunan dengan ketidakaturan massa, kekakuan atau geometrik.

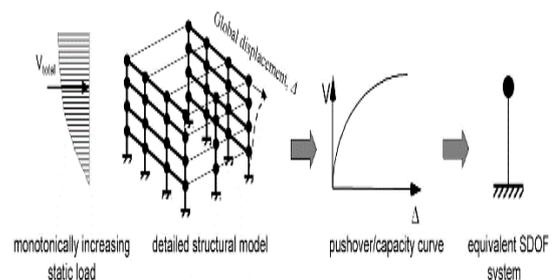
Prosedur spesial digunakan untuk jenis bangunan ber dinding pendukung (*bearing wall*) dengan dinding pengisi bata (*masonry*) tak bertulang serta dengan diafragma yang fleksibel.

Evaluasi tahap ketiga perlu dilakukan jika ditemukan kekurangan atau *non compliant* dari evaluasi tahap pertama dan tahap kedua. Prosedur tahap ketiga ini dapat dilakukan dengan memilih salah satu prosedur, yaitu dinamis linear atau statik nonlinear atau dinamis non linear. Evaluasi ini dilakukan jika gedung memiliki salah satu dari karakteristik berikut :

1. tinggi gedung melebihi 30 m.
2. rasio dimensi horizontal gedung di salah satu tingkat melebihi 1,4 kali dimensi horizontal tingkat yang berdekatan.
3. perhitungan simpangan sepanjang sisi gedung, jika diafragma di atasnya kaku, lebih dari 150% rata-rata simpangan tingkat (ketidakaturan kekakuan torsi).
4. rata-rata simpangan di suatu tingkat lebih dari 150% simpangan tingkat di atas atau di bawahnya (ketidakaturan kekakuan vertikal).

5. sistem penahan gaya lateral yang non ortogonal.

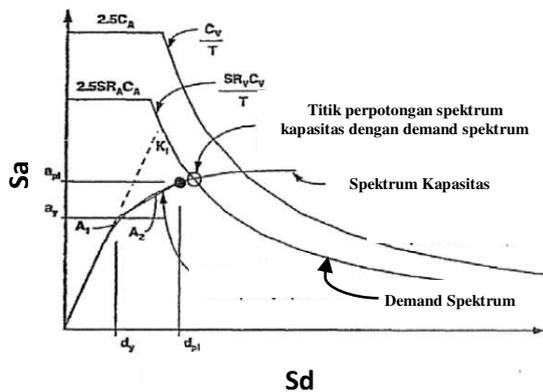
Analisis pushover adalah suatu analisis yang dilakukan dengan membebani suatu struktur dengan beban yang meningkat secara bertahap untuk mewakili gaya inersia yang akan diterima oleh struktur tersebut ketika terjadi gempa bumi. Ditingkatkannya beban secara bertahap pada elemen struktur akan menimbulkan hilangnya kekakuan pada struktur tersebut sedikit demi sedikit sampai pada akhirnya struktur tersebut tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan. Tujuan dari pushover analisis adalah untuk memperkirakan gaya maksimum yang dapat diterima dan deformasi yang terjadi pada suatu struktur serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Pembebanan Pushover
(Sumber : FEMA 440)

Hasil analisis statik nonlinear (pushover) adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan kurva kapasitas struktur.

Performance point adalah titik *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* sebagaimana yang dipergunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40,1996). *Performance point* memberikan informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respon-respon struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.



Gambar 2.2 Penentuan *Performance Point* (Sumber : ATC-40,1996)

Kriteria-kriteria *performance* struktur bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. *Operational (O)*
Tidak terjadi kerusakan struktural maupun non struktural, kriteria ini diterapkan pada bangunan-bangunan yang sangat krusial perannya seperti fasilitas militer, rumah sakit, dan bank.
2. *Immediate Occupancy (IO)*
Struktur mampu menahan gempa dan tidak mengalami kerusakan struktural maupun non struktural, sehingga bangunan dapat langsung dipakai.
3. *Life Safety (LS)*
Struktur mampu menahan gempa dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal atau berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
4. *Collapse Prevention (CP)*
Struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

Berdasarkan ATC-40 tingkat kinerja struktur harus ditentukan berdasarkan maksimum total drift dan maksimum inelastik drift yang dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Maksimum Total Drift} = \frac{Dt}{H} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Maksimum Inelastik Drift} = \frac{Dt-D_1}{H} \dots\dots(2)$$

Dimana :
Dt = Perpindahan maksimum struktur (m)
D1 = Perpindahan pada kondisi leleh pertama (m)
H = Tinggi struktur bangunan (m)

Tabel 2.1 *Performance Level* Menurut ATC-40

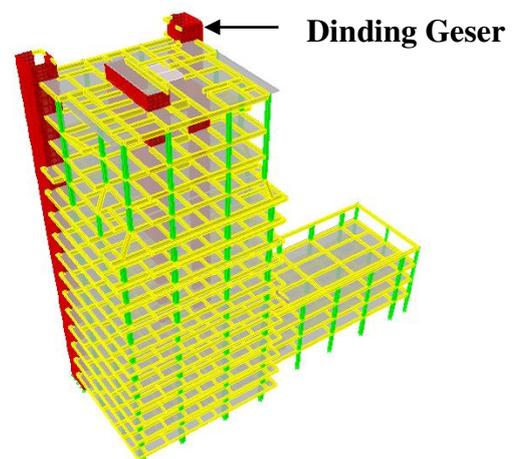
Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01-0,03	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Inelastik Drift	0,005 – 5	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit

(Sumber : ATC-40 Table 11-2)

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Studi Kasus

Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus pada Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau yang merupakan bangunan perkantoran di kota Pekanbaru. Struktur Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau terdiri atas tower dan podium. Tower terdiri dari 16 lantai sedangkan podium terdiri dari 5 lantai. Tower dan podium merupakan struktur beton bertulang yang menyatu dan memiliki *basement* yang sama. Total tinggi keseluruhan Menara Dang Merdu Bank Riau adalah 83 m yang terdiri dari 2 *edge*, 1 atap, 15 lantai, 1 lantai *basement* dan 1 lantai semi *basement*. Tinggi struktur atas adalah 64,9 m. Pemodelan struktur Gedung Menara Dang Merdu bank Riau dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Pemodelan Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau

3.2 Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Tingkat Lunak (*Soft Story*) adalah suatu tingkat yang kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

Kondisi *Soft Story* biasanya terjadi pada bangunan komersial dengan bagian depan yang terbuka di depan toko lantai dasar, dan hotel atau bangunan perkantoran dengan sebagian tingkat pertama yang tinggi.

Untuk tingkat lunak dicari dengan cara menghitung kekakuan tiap elemen vertikal pada tiap tingkatnya. Sebagaimana uraian di bawah ini.

Kolom K1 Tingkat 1:

b : 80 cm h : 80 cm t (tinggi kolom) : 500 cm

$$E = 4700 \sqrt{f'c'} = 4700 \sqrt{30} = 257430 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} x b x h^3 = \frac{1}{12} x 80 x 80^3 = 3413333 \text{ cm}^4$$

$$K_x = \frac{12EI_x}{t^3} = \frac{12x257430x3413333}{500^3} = 84355 \text{ Kg/cm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} x b^3 x h = \frac{1}{12} x 80^3 x 80 = 3413333 \text{ cm}^4$$

$$K_y = \frac{12EI_y}{t^3} = \frac{12x257430x3413333}{500^3} = 84355 \text{ Kg/cm}$$

Dinding Geser Tingkat 1:

b : 30 cm h : 500 cm t : 500 cm

$$I_x = \frac{1}{12} x b x h^3 = \frac{1}{12} x 30 x 500^3 = 312500000 \text{ cm}^4$$

$$K_x = \frac{12EI_x}{t^3} = \frac{12x257430x312500000}{500^3} = 7722888 \text{ Kg/cm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} x b^3 x h = \frac{1}{12} x 30^3 x 500 = 1125000 \text{ cm}^4$$

$$K_y = \frac{12EI_y}{t^3} = \frac{12x257430x1125000}{500^3} = 27802 \text{ Kg/cm}$$

3.3 Gaya Geser Gempa Statik Ekuivalen

Gaya geser dasar gempa statik ekuivalen pada Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau dihitung berdasarkan peraturan SNI 1726-2012. Berat struktur Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau terdiri dari berat sendiri struktur yang didapat dari hasil analisis program *finite element*, beban mati tambahan (*curtain wall*) dan beban gaya

akibat lift) dan beban hidup. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987 Pasal 2.1.2.5 beban hidup untuk perhitungan gempa dapat direduksi dengan efektifitas beban hidup yang bekerja pada gedung sebesar 30%. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh total berat struktur adalah 161320,356 kN.

Periode alami (T) yang digunakan memiliki nilai batas minimum dan maksimum, yaitu:

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t h_n^x \dots \dots \dots (3)$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_a \dots \dots \dots (4)$$

Karena sistem struktur pada kedua arah gempa adalah sama Sistem Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Dinding Struktural Khusus maka, koefisien yang digunakan pada kedua arah pembebanan gempa adalah sama yaitu:

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 14 SNI 1726-2012)}$$

$$C_t = 0,0488 \text{ (Tabel 15 SNI 1726-2012)}$$

$$h_n = 64,9 \text{ m (data struktur)}$$

$$x = 0,75 \text{ (Tabel 15 SNI 1726-2012)}$$

$$T_{a \text{ minimum}} = (0,0488) (64,9)^{0,75} = 1,12 \text{ dt}$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = 1,4 x 1,12 = 1,56 \text{ dt}$$

Periode alami struktur (T) pada masing-masing arah yang didapat dari analisis menggunakan *program finite element* adalah sebagai berikut:

$$T_X = 1,55 \text{ dt}$$

$$T_Y = 1,18 \text{ dt}$$

Pengecekan T pada arah X:

$$T_{a \text{ minimum}} < T_X < T_{a \text{ maksimum}}$$

$$1,12 < \mathbf{1,55} < 1,56$$

Pengecekan T pada arah Y:

$$T_{a \text{ minimum}} < T_Y < T_{a \text{ maksimum}}$$

$$1,12 < \mathbf{1,18} < 1,56$$

Nilai periode alami struktur (T) yang digunakan pada masing-masing arah adalah nilai periode alami struktur (T) yang didapat dari analisis menggunakan program *finite element*.

Berdasarkan nilai periode alami struktur tersebut dihitung nilai C_s . Nilai C_s mempunyai batas minimum dan maksimum, oleh karena itu nilai C_s yang akan digunakan harus ditentukan terlebih dahulu. Nilai R diambil sebesar 7 pada kedua arah karena memiliki sistem struktur yang sama Sistem

Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Dinding Geser Khusus.

$$C_s \text{ minimum} = 0,004 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,004 \times 0,39 \times 1 = 0,0174$$

$$C_s \text{ hitungan} = \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{I_e}} \dots \dots \dots (5)$$

$$C_s \text{ hitungan (x)} = \frac{0,32}{1,55 \frac{7}{1}} = 0,0292$$

$$C_s \text{ hitungan (y)} = \frac{0,32}{1,18 \frac{7}{1}} = 0,0384$$

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{R} \dots \dots \dots (6)$$

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{0,32}{7} = 0,0564$$

Pengecekan C_s pada arah X:

$$C_s \text{ minimum} < C_s \text{ hitungan (x)} < C_s \text{ maksimum}$$

$$0,0174 < \mathbf{0,0292} < 0,0564$$

Pengecekan C_s pada arah Y:

$$C_s \text{ minimum} < C_s \text{ hitungan (y)} < C_s \text{ maksimum}$$

$$0,0174 < \mathbf{0,0384} < 0,0564$$

Nilai C_s yang digunakan adalah nilai $C_s \text{ hitungan}$ pada masing-masing arah, karena nilai $C_s \text{ hitungan}$ terletak diantara nilai $C_s \text{ minimum}$ dan $C_s \text{ maksimum}$. Nilai gaya geser lateral ekuivalen dihitung menggunakan nilai $C_s \text{ hitungan}$.

$$V_X = C_s \text{ hitungan (x)} W_t = 0,0292 \times 161320,356 = 4714,440 \text{ kN}$$

$$V_Y = C_s \text{ hitungan (y)} W_t = 0,0397 \times 161320,356 = 6199,961 \text{ kN}$$

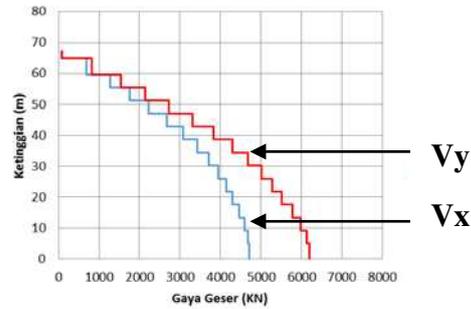
Distribusi vertikal gaya gempa ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \dots \dots \dots (7)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (8)$$

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (9)$$

Distribusi gaya gempa statik ekuivalen untuk arah X dan Y dapat dilihat pada diagram berikut ini :



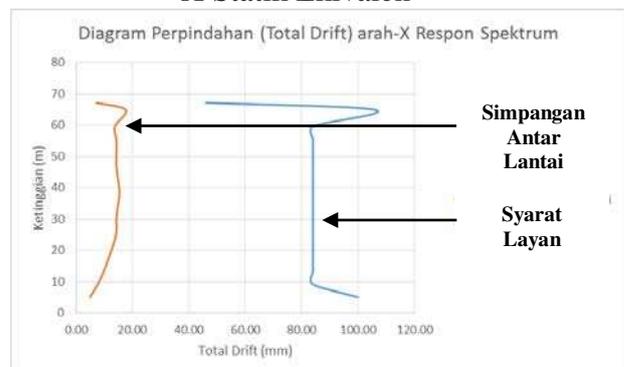
Gambar 3.2 Diagram Gaya Geser Tingkat Nominal Berdasarkan Gaya Geser Statik Ekuivalen

3.4 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 16 simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui simpangan antar lantai tingkat izin yaitu, 0,020 kali tinggi tingkat yang bersangkutan. Berdasarkan hasil dari perhitungan dan analisis program finite element diperoleh nilai simpangan untuk arah X dan arah Y terhadap beban gempa statik ekuivalen dan respon spektrum dapat dilihat pada diagram berikut :



Gambar 3.3 Simpangan Antar Lantai Arah X Statik Ekuivalen



Gambar 3.4 Simpangan Antar Lantai Arah X Respon Spektrum

Pada perhitungan simpangan antar lantai menunjukkan beban gempa statik ekuivalen belum memenuhi syarat layan SNI 1726-2012 untuk simpangan antar lantai ijin.

3.5 Performance Point dan Level of Performance

Berdasarkan analisis statik nonlinier (pushover) diperoleh nilai *performance point* untuk gaya geser dasar (V) sebesar 25558,028 kN dan untuk nilai *displacement* (D) sebesar 0,367 m. *Performance level* merupakan kondisi yang menggambarkan kinerja bangunan pada saat terjadinya gempa rencana. *Performance level* pada penilaian kali ini ditentukan berdasarkan ATC-40 dengan nilai *displacement* pada *performance point* yang diperoleh dari hasil analisis program *finite element* dibandingkan dengan tinggi struktur.

Berdasarkan ATC-40 tingkat kinerja struktur harus ditentukan berdasarkan maksimum total drift dan maksimum inelastik drift yaitu :

$$\text{Maksimum Total Drift} = \frac{Dt}{H} = \frac{0,367}{64,9} = 0,0056$$

Maksimum

$$\text{Inelastik Drif} = \frac{Dt - D_1}{H} = \frac{0,367 - 0,053}{64,9} = 0,0048$$

Berdasarkan nilai maksimum total drift sebesar 0,0056 dan maksimum inelastik drift sebesar 0,0048 kinerja Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau diklasifikasikan ke dalam O (*operational*) karena lebih kecil dari 0,01 dan 0,005.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah :

1. Evaluasi pada tahap pertama menunjukkan bahwa Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau belum memenuhi persyaratan pada poin checklist tingkat lunak. Pada pemeriksaan tingkat lunak kekakuan tingkat pertama hanya 60% dari kekakuan tingkat kedua sehingga tidak memenuhi persyaratan sebesar 70%.
2. Evaluasi pada tahap kedua menunjukkan bahwa nilai simpangan antar lantai

Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau belum memenuhi syarat layan simpangan antar lantai ijin SNI 1726-2012 untuk beban gempa statik ekuivalen sedangkan untuk beban gempa respon spektrum memenuhi syarat yang ditentukan

3. Evaluasi pada tahap ketiga menunjukkan bahwa Gedung Menara Dang Merdu Bank Riau memiliki tingkat kinerja O (*operational*) berdasarkan ATC-40. Hal ini ditunjukkan dengan nilai maksimum total drif dan maksimum inelastik drift nya lebih kecil dari 0,01 dan 0,005.

5. SARAN

1. Untuk kajian lanjutan, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan *Time History Analysis* sehingga dapat diperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai perilaku struktur bangunan tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amir, Fatmawati. 2012. Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi dengan Rapid Visual Screening (RVS) Berdasarkan FEMA 154. Infrastruktur. 2 : 9-15.
- Andrianto, H.R. 2006. Analisa Struktur Gedung dengan ETABS versi 9.0.7. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Asneindra, Mario. 2011. Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Tak Beraturan Akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2002 dan RSNI3 03-1726-201X. Repository Universitas Riau.
- ATC 40. 1996. Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California Seismic Safety Commision.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI 1726-2012 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung). Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung). Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Dewobroto, W. 2005. Evaluasi kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Civil Engineering

- National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism – Unika Soegijapranata. Semarang, 17-18 Juni 2005.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA 310). 1998. Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings – A Prestandard. Washington D.C.: American Society of Civil Engineer.
- Humaidi, Erik. 2011. Evaluasi Cepat Struktur Portal Beton Bertulang Dengan Dinding Pengisi. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Pekanbaru : Universitas Riau.
- Imran, I., Suarjana, Hoedajanto, Dradjat. 2006. Permasalahan Detailing Pada Bangunan Beton Bertulang Sederhana Tahan Gempa. Makalah dalam Seminar HAKI 2007. Surabaya, 2007.
- Imran, Iswandi, & Hendrik, Fajar. 2010. Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa. Bandung : ITB Press.
- Madutujuh, Nathan. 2010. Aspek Penting dan Petunjuk Praktis dalam Perencanaan Struktur Gedung di Dekat Pusat Gempa. Makalah dalam Seminar HAKI 2010. Jakarta, 2010.
- Mangkoesubroto, Sindur P. 2010. Padang Earthquake of September 30, 2009 Why It Is So Devastating. Makalah dalam Seminar HAKI 2010. Jakarta, 2010.
- Muttaqin, Akbar.M. 2014. Evaluasi Lanjut Struktur Portal Beton Bertulang Terhadap Gempa. Repository Universitas Riau.
- Purwono, Rachmat dan Tavo. 2007. Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa. Makalah dalam Seminar HAKI 2007. Surabaya, 2007.
- Standar Konstruksi Bangunan Indonesia. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Sukamta, Davy. 2011. Melangkah Ke Depan: Dari Analisis Statik Linear Menuju Analisis Dinamik Non-Linear. Makalah dalam Seminar HAKI 2011.
- Widodo. 2007. Kerusakan Bangunan Pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 : Akibat Kebelumjelasan Code, Sosialisasi Atau Pelaksanaan. Makalah dalam Seminar HAKI 2007. Surabaya, 2007.