

## EVALUASI CEPAT STRUKTUR PORTAL BETON BERTULANG TERHADAP GEMPA

**Muhammad Akbar Muttaqin<sup>1</sup>, Enno Yuniarto<sup>2</sup>, Andy Hendri<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru

Email: mhd.akbar.muttaqin.07@gmail.com

### ABSTRACT

*Earthquakes from 2004 to 2009 in Indonesia has resulted in many deaths and the collapse of the building. The American Society of Civil Engineers (ASCE) with the Federal Emergency Management Agency (FEMA) has published FEMA 310 as a handbook for seismic evaluation of buildings. FEMA 310 evaluation includes evaluation of phase one, two and three. Evaluation of phase one (tier 1) using a checklist of structural, non-structural, region of low sismicity and also geologic site hazard and foundation. Evaluation of the second phase (tier 2) is a linear analysis for structures such as static equivalence analysis and dynamic. Evaluation of the third stage (tier 3) is non-linear analysis of such a pushover. If the evaluation phase of the assessment does not meet the criteria, then it should proceed to the second phase, as well as for further evaluation. The building is located in the city of Pekanbaru that is reviewed and evaluated up to the second phase. Calculation of seismic shear force have used seismic hazard map of Indonesia has been published in 2010. This is one step to improve the performance of structures to resist earthquakes, it is expected that this will reduce structural damage and avoid loss of life. The results of the evaluation phase one (tier 1) that has been conducted shows that the buildings that were reviewed non-compliant for weak story and soft story. Evaluation of the second phase (tier 2) shows that all the columns in buildings were able to bear the load, while some beam were over strength, however both of building can be declared the buildings are safe against earthquakes (compliant).*

*Keywords : Earthquake, FEMA 310, quick assessment, seismic evaluation*

### PENDAHULUAN

*The American Society of Civil Engineers (ASCE) dan Federal Emergency Management Agency (FEMA) telah menerbitkan FEMA 310 di tahun 1998 yang menjadi buku pegangan untuk evaluasi bangunan gedung terhadap gempa. Di Indonesia, sejak tahun 2004 sampai dengan 2009 tercatat kejadian gempa yang hebat di*

Indonesia, diantaranya Tsunami di Aceh, Gempa Yogya dan Gempa Padang yang mengakibatkan hilangnya ribuan jiwa, runtuhnya ribuan infrastruktur dan trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi (Kirmanto, 2010).

Gedung-gedung yang berada di kota Pekanbaru pernah mengalami getaran gempa yang berasal dari daerah lain, seperti Sumatera Barat,

walaupun pusat gempa tidak berasal dari Pekanbaru namun getaran ini memberikan goyangan pada gedung yang berada di Pekanbaru. Hal itu menjadi alasan untuk mengevaluasi bangunan yang berada di kota Pekanbaru yang termasuk wilayah gempa 2 (SNI 03-1726-2002).

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah kinerja gedung objek penelitian terhadap pembebanan gempa melalui evaluasi gempa FEMA 310, apakah gedung menunjukkan kinerja yang memadai atau kinerja yang tidak memadai terhadap beban gempa.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Evaluasi yang dilakukan akan memberikan penilaian ketahanan struktur terhadap gempa, apakah penilaian memenuhi(*compliant*), tidak memenuhi(*non compliant*) atau tidak bisa diterapkan(*not applicable*).
2. Hasil evaluasi akan menjadi pertimbangan langkah selanjutnya yang perlu dilakukan terhadap struktur dan manusia yang beraktifitas di gedung tersebut.

Penelitian yang dilakukan Asneindra (2011), menyimpulkan bahwa balok B249 di lantai 5,6,7,8 mampu menahan kombinasi pembebanan menurut SNI 03-1726-2002 tetapi mengalami *overstrength* pada pembebanan menurut RSNI 03-1726-201X.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Evaluasi FEMA 310 meliputi evaluasi tahap satu, dua dan tiga. Tahap pertama menggunakan ceklis tentang penilaian komponen

struktural, nonstruktural, kondisi geologi dan kegunaan bangunan yang ditinjau. Ceklis yang digunakan di penelitian ini ialah ceklis struktural mendasar, nonstruktural mendasar dan ceklis geologi yang beresiko serta pondasi. Kategori penilaian evaluasi ada 3, yaitu *compliant* (C), *non compliant* (NC) dan *not applicable* (NA). *Compliant* (C) berarti memenuhi kriteria yang disyaratkan, *non compliant* (NC) berarti memerlukan evaluasi lebih lanjut serta *not applicable* (NA) jika tidak dapat dievaluasi.

Tahap kedua (*tier 2*) ialah analisa struktur, dalam penelitian ini menggunakan analisis statik ekuivalen. Analisis statik ekuivalen dilakukan untuk gedung dengan tinggi kurang dari 30,48 m dan tidak terjadi ketidakteraturan massa, kekakuan atau geometrik bangunan. Evaluasi tahap kedua(*tier 2*) dilakukan jika ditemukan pernyataan di tahap satu yang tidak memenuhi persyaratan (*non compliant*) pada ceklis struktural mendasar, nonstruktural mendasar atau ceklis geologi yang beresiko serta pondasi.

Tahap ketiga yaitu analisis non-linear dengan analisa dorong statik (*pushover*). Analisa ini tidak dilakukan karena analisis statik ekuivalen di tahap kedua dianggap mampu menunjukkan kinerja struktur.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain adalah data tanah, data perencanaan berupa gambar konstruksi (*shopdrawing*) dan observasi atau survei ke lokasi gedung.

Survei bertujuan untuk melihat dan melakukan verifikasi terhadap kondisi gedung dan lokasi gedung.

Data komponen struktural dari hasil survei dan gambar rencana didapat dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Humaidi (2011).

Membuat algoritma dengan menyusun langkah-langkah untuk mengevaluasi struktur portal beton bertulang dengan dinding pengisi bata (*masonry*) terhadap beban gempa dalam bentuk bagan alir.

Studi kasus yang menjadi objek penelitian adalah gedung Rektorat UIN Suska Pekanbaru. Pemilik Gedung adalah Pemerintah, beralamat di Jl. HR. Soebrantas KM. 15, Provinsi Riau. Wilayah gempa rendah (*low*), tingkat kinerja gedung ialah *immediate occupancy* (segera dihuni). Sistem pondasi ialah pondasi tiang, tinggi gedung ialah 23,65 m, gedung 5 lantai, mutu beton rencana 25 Mpa, mutu tulangan rencana, 400 Mpa, kategori resiko gedung II (Perkantoran), faktor keutamaan gempa = 1, spektra perc. 0,2 detik ( $S_s$ ) = 0,4 g, spektra perc. 1 detik ( $S_1$ ) = 0,25 g, kondisi tanah ialah lunak (SE), dan kategori desain seismik = D.

Analisis statik ekuivalen adalah evaluasi tahap kedua (*tier 2*) FEMA 310. Analisis ini merupakan evaluasi lanjut dari tahap pertama (*tier 1*). Analisis ini akan dibantu dengan *software* ETABS ver 9.0.0. Gedung dimodelkan sesuai dengan kondisi sebenarnya, baik kolom, balok dan pelat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian evaluasi tahap pertama (*tier 1*) gedung Rektorat UIN Suska Pekanbaru diringkas dalam Tabel 1 untuk memudahkan dalam melihat hasil evaluasi komponen struktural mendasar.

Kriteria yang terpenuhi maka dinilai *compliant* (C), tidak terpenuhi *non compliant* (NC) dan tidak dapat dievaluasi *not applicable* (N/A).

Evaluasi komponen situs yang beresiko dan pondasi secara keseluruhan dapat dilihat di Tabel 2.

Semua pernyataan di ceklis non struktural berjumlah 31 pernyataan dinyatakan *Not Applicable* (N/A), hal ini disebabkan karena belum diperoleh data non struktural gedung Rektorat UIN Suska Pekanbaru.

Tabel 1. Checklist Struktural Mendasar

No	Pernyataan	Hasil Evaluasi
1	Alur Beban	C
2	<i>Weak story</i>	NC
3	<i>Soft story</i>	NC
4	Geometri	C
5	Ketidaksinambungan Vertikal	C
6	Massa	C
7	Puntir	C
8	Bangunan Bersebelahan	C
9	Deteriorasi Beton	C
11	Mortar Sambungan Pasangan Bata	N/A
12	Retak di dinding pengisi	C
13	Retak di kolom batas	C
14	Redudansi	C
15	Pengecekan Tegangan Geser pada Dinding Pengisi Bertulang	N/A
16	Pengecekan Tegangan Geser pada Dinding Pengisi tak Bertulang	C
17	Sambungan Dinding	C
18	Transfer ke Dinding Geser	N/A
19	Kolom Beton	C

Tabel 2. Ceklis lokasi geologi yang beresiko/berbahaya dan pondasi

No	Pernyataan	Hasil Evaluasi
1	Likui-faksi	N/A
2	Kegagalan lereng	C
3	Pecahnya lempeng permukaan	C
4	Kinerja pondasi	C
5	Deteriorasi	N/A
6	Pondasi tiang	N/A
7	Guling	C
8	Sengkang antara elemen pondasi	N/A
9	Pondasi dalam	N/A
10	Kemiringan lokasi	C

Evaluasi tahap satu (*tier 1*) yang dilakukan pada gedung Rektorat UIN Sultan Syarif Kasim Pekanbaru menunjukkan bahwa ditemukan pernyataan yang tidak memenuhi (*non-compliant*), yaitu pada ceklis struktural, pernyataan *weak story* dan *soft story*.

Pernyataan *Weak story* dinilai *Non Compliant*, hal ini menunjukkan bahwa gedung Rektorat UIN Suska tidak memiliki kapasitas geser yang memadai untuk menahan gempa. Kapasitas geser pada gedung ini berasal dari elemen kolom karena tidak ada dinding geser di gedung ini.

Perbedaan kapasitas geser atap terhadap tingkat empat disebabkan oleh perbedaan dimensi kolom di lantai atap yang lebih kecil dari pada kolom yang berada di lantai empat. Hal ini dapat dilihat di Tabel 3.

Pernyataan *Soft story* dinilai *non Compliant* untuk gedung Rektorat UIN Suska. Hal ini berarti bahwa gedung Rektorat UIN Suska tidak memiliki kekakuan yang memadai untuk menahan beban gempa.

Tabel 3. Perbandingan kapasitas geser tingkat gedung Rektorat UIN Suska

Tingkat ke-	Persentase kapasitas geser thd tingkat di bawahnya	Persentase kapasitas geser thd tingkat di atasnya
1		100,00%
2	100,00%	121,37%
3	82,39%	120,20%
4	83,20%	161,06%
Atap	62,09%	

Kekakuan gedung berasal dari elemen kolom karena tidak ada dinding geser di gedung ini. Hasil evaluasi tahap satu (*tier 1*) menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kekakuan di beberapa lantai.

Kekakuan lantai tiga terhadap lantai dua dan lantai atap terhadap lantai empat kurang dari persyaratan yaitu 70%, di samping itu kekakuan lantai tiga, empat dan atap dinyatakan kurang dari 80% terhadap rata-rata tiga tingkat di bawahnya.

Dimensi kolom di lantai satu dan dua adalah sama, dimensi kolom di lantai tiga dan empat adalah sama, sedangkan kolom di atap berbeda dengan kolom-kolom tingkat di bawahnya, semakin ke tingkat atas, ternyata dimensi kolom semakin mengecil. Perbandingan dimensi kolom lantai empat dan atap dapat dilihat di Tabel 4. Dimensi panjang kolom di tiap tingkat adalah sama, namun tinggi dan lebar kolom yang berbeda akan menyebabkan perbedaan inersia yang akhirnya menyebabkan terjadinya *soft story*.

Tabel 4. Perbandingan dimensi kolom lantai empat dan atap

Lantai 4			Atap		
tipe kolom	b	h	tipe kolom	b	h
k1	500	500	k1	400	400
k2	650	650	k2	550	550
k3	650	650	k3	550	550
k4	750	750	k4	700	700
k5	700	700	kD	420	420
k6 & k6a	750	750	k6 & k6a	700	700
k7	200	600	k7	200	600
k8	200	700	k8	200	700
kT	600	600	k9	450	200

Keterangan :

b dan h dalam satuan mm.

*Soft story* akan berakibat pada simpangan antar tingkat, jika simpangan antar tingkat melampaui nilai batas tertentu, maka dapat mengakibatkan keruntuhan di salah satu tingkat gedung.

Hasil evaluasi tahap satu (*tier 1*) menunjukkan bahwa ditemukan pernyataan yang tidak memenuhi (*non compliant*) pada pernyataan *soft story* dan *weak story*, oleh karena itu gedung ini harus dievaluasi ke tahap selanjutnya, yaitu evaluasi tahap dua (*tier 2*) dengan analisa statik ekuivalen karena tinggi gedung lebih rendah dari 30,48 m, walaupun terjadi ketidakaturan kekakuan (*soft story*). Evaluasi tahap dua dibantu *software* ETABS ver 9.0.0.

RSNI 03-1726-201X menyatakan bahwa simulasi arah pengaruh gempa rencana yang sembarangan terhadap struktur, pengaruh pembebanan gempa arah utama dianggap 100 % ditambah 30% searah tegak lurus gempa

utama. Gaya gempa terdistribusi di setiap tingkatnya. Distribusi gaya geser di setiap tingkat dapat dilihat di Tabel 5.

Distribusi gaya geser untuk gedung Rektorat UIN Suska terbagi tidak sama besar di tiap tingkatnya, akan tetapi dengan perbandingan tertentu. Gaya geser gempa pada arah x dan y tidak sama besar, hal ini disebabkan perbedaan jumlah portal pada arah x dan y. Portal arah y berjumlah lima lebih sedikit dibandingkan portal arah x yang berjumlah tujuh, sehingga gaya geser gempa arah x lebih besar dibandingkan pada arah y.

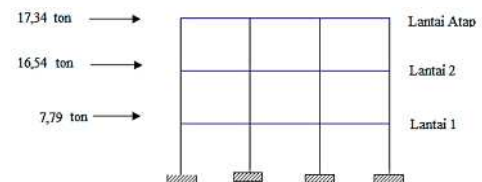
Tabel 5. Distribusi gaya geser gempa

Tingkat ke	Gaya geser tingkat arah	
	$1/5F_{ix}$	$1/7F_{iy}$
Atap	63,66	45,47
4	55,62	39,73
3	48,26	34,47
2	26,68	19,06
1	11,30	8,07

Distribusi gaya geser gempa di setiap tingkatnya pada arah x dan y dapat dilihat pada Gambar 1. dan 2.



Gambar 1. Distribusi gaya geser gempa arah x



Gambar 2. Distribusi gaya geser gempa arah x

Perhitungan simpangan pada lantai dua sampai dengan atap dapat dilihat di Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Simpangan Struktur arah X

Tingkat	Simpangan arah X (mm)	Simpangan tingkat(mm)	Batas Simpangan (mm)	Ket
Atap	9,30	1,29	66,9231	Ok
4	8,01	1,24	67,6923	Ok
3	6,77	1,87	67,6923	Ok
2	4,90	3,16	67,6923	Ok
1	1,74	1,74	67,6923	Ok

Tabel 7. Simpangan Struktur arah Y

Tingkat	Simpangan arah Y (mm)	Simpangan tingkat(mm)	Batas Simpangan	Ket
Atap	7,10	0,77	66,9231	Ok
4	6,33	1,23	67,6923	Ok
3	5,10	1,83	67,6923	Ok
2	3,27	2,00	67,6923	Ok
1	1,27	1,27	67,6923	Ok

Perhitungan simpangan menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat gedung Rektorat UIN Suska lebih kecil dari yang disyaratkan di RSNI 03-1726-201X. Hal ini berarti gedung Rektorat UIN Suska tidak mengalami keruntuhan semata-mata akibat gaya geser gempa, akan tetapi kombinasi pembebanan yang termasuk beban mati, hidup dan gempa.

Kinerja struktur dapat dievaluasi dari hasil ETABS. ETABS membantu evaluasi tahap dua (*tier 2*) menjadi lebih mudah. Input data dimensi kolom dan balok dilakukan setelah terlebih dulu model gedung Rektorat UIN Suska selesai dimodelkan dalam model tiga dimensi.

Rasio kekuatan (DCR) adalah perbandingan atau rasio beban terhadap kapasitas kolom atau balok.

Perencanaan struktur mengharuskan kapasitas harus lebih besar dari beban rencana, sehingga sebaiknya digunakan kolom dan balok yang berwarna selain ungu dan merah.

Kinerja struktur dapat dilihat dari warna yang muncul di balok atau kolom, setiap warna memiliki arti yang berbeda-beda. Penjelasan dari warna yang muncul di kolom dan balok di Tabel 8.

Tabel 8. Penilaian tingkat keamanan struktur dari hasil ETABS

No	Warna	Rasio Kekuatan (DCR)	Tingkat Keamanan
1	Biru muda	0,00 s/d 0,50	Sangat aman
2	Hijau	0,50 s/d 0,70	Aman
3	Kuning	0,70 s/d 0,90	Aman
4	Ungu	0,90 s/d 0,95	Cukup aman
5	Merah	$\geq 0,95$	Kritis s/d melebihi kapasitas ( <i>overstrength</i> )

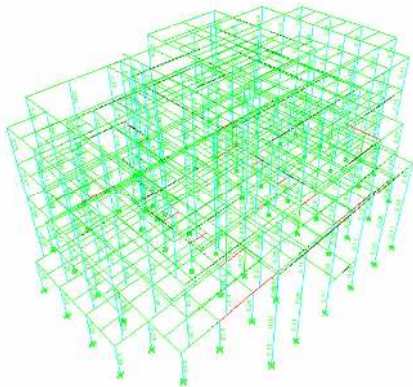
(Sumber : Analisis Struktur Gedung dengan ETABS versi 9.0.7)

Beberapa balok di gedung ini berwarna merah (*overstrength*). Hal ini ditemukan di lantai satu dan tiga dan dapat dilihat di gambar 3.

Kolom di gedung ini berwarna selain merah, secara umum berwarna biru muda atau hijau yang berarti kinerja kolom aman atau sangat aman seperti terlihat di Tabel 8.

Balok yang mengalami *overstrength* berkemungkinan besar disebabkan karena gedung Rektorat UIN Suska tidak direncanakan menggunakan beban gempa periode 2500 tahun sesuai RSNI 03-1726-201X, akan tetapi dengan periode ulang 500 tahun sesuai SNI 03-1726-2002. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Asneindra (2011), bahwa beberapa balok

Menara Dang Merdu mengalami *overstrength* akibat pembebanan gempa RSNI 03-1726-201X, sedangkan terhadap beban gempa SNI 03-1726-2002 balok dalam kinerja aman.



Gambar 3. Kinerja Struktur Gedung Rektorat UIN Suska

Hasil evaluasi tahap dua (*tier 2*), gedung Rektorat UIN Suska dinyatakan memenuhi (*compliant*) kriteria keamanan terhadap gempa menurut FEMA 310. Penilaian ini didasarkan pada kondisi kolom yang tidak mengalami *overstrength*, walaupun beberapa balok mengalami *overstrength*, oleh karena itu berkemungkinan besar keruntuhan gedung dapat dihindari saat terjadi gempa.

#### KESIMPULAN

1. Peta gempa di RSNI 03-1726-201X menggunakan gempa periode ulang 2500 tahun sedangkan peraturan sebelumnya SNI 03-1726-2002 menggunakan peta gempa dengan periode ulang 500 tahun, sehingga gaya geser gempa menurut RSNI 03-1726-201x lebih besar dibandingkan gaya geser gempa SNI 03-1726-2002.

2. Evaluasi tahap dua (*tier 2*) menggunakan salah satu analisis linear yaitu analisis statik ekuivalen dibantu *software* ETABS ver 9.0.0.
3. Evaluasi tahap pertama (*tier 1*) Gedung Rektorat UIN Suska tidak memenuhi penilaian pada ceklis struktural, yaitu pada pernyataan *weak story* dan *soft story*, sedangkan pada ceklis non struktural dan ceklis lokasi geologi yang berbahaya dan pondasi dinilai memenuhi (*compliant*).
4. Gedung Rektorat UIN Suska dievaluasi ke tahap kedua (*tier 2*) karena ditemukan dua pernyataan yang *non compliant* pada ceklis struktural. Hasil evaluasi menggunakan ETABS ver 9.0.0 menunjukkan bahwa kemungkinan besar gedung Rektorat UIN Suska akan mampu bertahan jika terjadi gempa. Penilaian ini bersandar pada kondisi kolom yang aman (*not overstrength*), walaupun ditemukan beberapa balok yang mengalami kelebihan beban (*overstrength*) di lantai satu dan tiga.
5. Evaluasi untuk gedung Rektorat UIN Suska dilakukan sampai dengan tahap kedua (*tier 2*) karena tidak ditemukan kolom dengan nilai DCR (*demand capacity ratio*) yang lebih besar dari 2 yang mengindikasikan bahwa perlu dilakukan evaluasi tahap ketiga (*tier 3*) dengan analisis *pushover*.

#### SARAN

1. Evaluasi gedung dengan dokumen FEMA 310 seharusnya

dilakukan setelah terlebih dahulu dilakukan penilaian visual secara cepat (*rapid visual screening*) dengan dokumen FEMA 154.

2. FEMA 310 telah diperbaharui menjadi *code* atau aturan yang disebut ASCE 31 dan ASCE 41.

Jakarta : Kementerian  
Pekerjaan Umum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- 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.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*.