

KAJIAN KERENTANAN GEMPABUMI GEDUNG BERTINGKAT DENGAN BENTUK BERATURAN DAN TIDAK BERATURAN

SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF MULTISTORY BUILDING WITH REGULAR AND IRREGULAR SHAPE

Mulyo Harris Pradono

BPPT, Gedung 820, Geostech, Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

Email: mulyoharris@yahoo.com

Diterima (received) : 12-09-2014, Direvisi (reviewed) : 16-05-2014

Disetujui (accepted) : 14-10-2014

Abstrak

Jakarta sebagai ibukota negara memiliki banyak sekali gedung bertingkat. Jumlah gedung bertingkat dengan ketinggian lebih dari sembilan lantai mencapai lebih dari 700 gedung. Sementara itu, Jakarta juga tidak lepas dari ancaman gempabumi. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta berada pada zonasi dengan tingkat kegempaan sedang. Namun tidak terhindar dari kemungkinan terjadinya gempabumi besar, yaitu untuk level gempa 2500 tahun. Sedangkan gempa dengan probabilitas kejadian 500 tahun akan menghasilkan gempa tremor di Jakarta sebesar seperti yang dirasakan di Padang pada bulan September 2009, yaitu sekitar MMI VII sampai VIII. Oleh sebab itu, diperlukan kajian kerentanan gedung-gedung bertingkat di DKI Jakarta dalam menghadapi ancaman gempabumi, sehingga dapat diketahui tingkat risikonya.

Kata kunci : gedung bertingkat, bentuk, kerentanan, risiko, gempabumi

Abstract

Jakarta as the capital of the country has a lot of buildings. The number of multi-story buildings with a height of more than nine floors reaching more than 700 buildings. Meanwhile, Jakarta is also not free from the threat of earthquakes. According to the Ministry of Public Works, Jakarta was in zoning with moderate seismicity level. However, it does not avoid the possibility of the occurrence of large earthquakes, i.e. to the level of 2500 year earthquake. A seismic level of 500 years of occurrence probability would produce an earthquake tremor in Jakarta as large as that felt in Padang in September 2009, which is around MMI VII to VIII. Therefore, it is necessary to study the vulnerability of high-rise buildings in Jakarta in the face of the threat of earthquakes, so as to assess the level of the risk.

Keywords : multistory building, shape, vulnerability, risk, earthquake

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

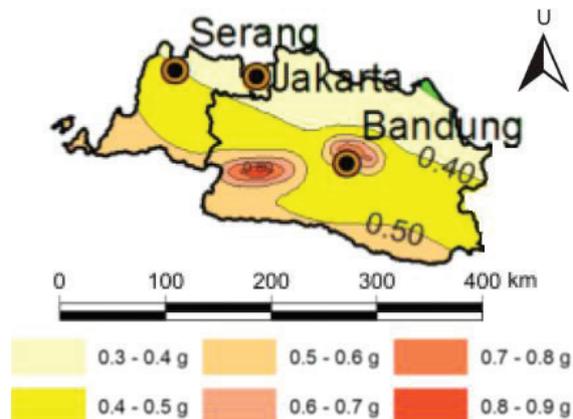
Menurut Peta Ancaman Bahaya Gempa Bumi 2010, banyak kota besar yang berada pada zonasi ancaman gempa sedang sampai dengan tinggi (Kemen PU, 2010). DKI Jakarta sebagai ibukota negara berada pada zona ancaman gempabumi sedang, namun tidak terhindar dari kemungkinan terjadi gempabumi besar (Gambar 1), yaitu untuk level gempa 2500 tahun.

Studi terhadap zona subduksi di selatan Pulau Jawa, menunjukkan adanya potensi gempa besar. Ketiadaan gempa *megathrust* paling tidak selama

300 tahun terakhir di lokasi ini mengimplikasikan terjadi akumulasi seismic moment paling tidak sebesar 1.6×10^{22} Nm (\sim Mw 8.7) di selatan Ujung Kulon-Pelabuhan Ratu, dan 3.9×10^{21} Nm (\sim Mw 8.3) di selatan Pangandaran (Hanifa, et.al., 2014). Gempa sebesar ini dapat menyebabkan getaran dengan intensitas sebesar MMI VII di Jakarta. Gempa MMI VII dirasakan seperti getaran yang terjadi akibat gempa di lepas laut Padang pada 30 September 2009. Pada intensitas ini, banyak gedung bertingkat di Padang yang mengalami rusak dan beberapa runtuh.

Di dalam mengantisipasi ancaman tersebut dan meningkatkan kesiapsiagaan, perlu dilakukan kajian risiko bencana gempabumi DKI Jakarta.

Dengan kajian ini, diharapkan dampak gempabumi terhadap bangunan dapat dikaji, karena bangunan yang runtuh dapat menimbulkan korban jiwa.



Gambar 1. Percepatan Puncak di Batuan Dasar daerah DKI Jakarta dan Sekitarnya untuk Level Hazard Gempa 2500 tahun

Salah satu data yang dibutuhkan dalam kajian risiko bencana adalah data kerentanan fisik bangunan gedung. Data tersebut merupakan grafik hubungan antara besarnya ancaman (percepatan getaran gempa di permukaan tanah atau dalam skala intensitas) dan besarnya kerusakan bangunan (dalam bentuk tingkat kerusakan).

Dalam kajian kerentanan fisik gedung di DKI Jakarta, telah ditentukan faktor yang mempengaruhi kerentanan struktur, yaitu: bentuk gedung, fungsi gedung, tahun desain, dan jumlah lantai (Pradono, 2013). Salah satu dari faktor di atas akan dibahas dalam makalah ini, yaitu faktor bentuk gedung.

1.2 Tujuan

Maksud dari kajian ini adalah mendapatkan pengaruh dari ketidakberaturan bentuk gedung terhadap kerentanan gedung akibat ancaman gempabumi. Pemahaman ini penting untuk membangun kurva kerentanan gedung bertingkat dalam mengkaji peta risiko bencana gempabumi pada gedung bertingkat di DKI Jakarta dan kota lainnya.

2. METODOLOGI

Kegiatan kajian ini dimulai dengan melakukan survei dan pengumpulan data pada dua gedung yang menggambarkan bentuk yang dapat mempengaruhi kerentanan bangunan terhadap ancaman gempabumi. Data pertama yang disurvei adalah kuat tekan beton dari kolom dan balok beton. Untuk mengetahui kuat tekan pada kolom beton pada struktur utama, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *Hammer Test*. Jenis pengujian ini dipilih karena: tidak

merusak dan dapat dilakukan dengan cepat. Kekurangannya, alat ini mengkonversi kekerasan beton di permukaan menjadi nilai kuat tekan beton seluruh penampang. Dengan melakukan pengujian minimal 20 titik pada satu lokasi, akan didapatkan harga rata-rata yang cukup memadai. Analisis lebih diutamakan pada kajian kualitas (nilai relatif), di mana akan dilakukan perbandingan pada nilai uji di satu titik dibandingkan dengan titik yang lain.

Data kedua adalah keseluruhan dimensi kolom, balok, lantai, dan dinding beton dari struktur gedung. Data ini diperoleh dari pengukuran langsung pada gedung dan jika ada dari gambar *as built drawing*.

Data lain yang diperlukan adalah dimensi tulangan di dalam beton. Jika tidak ada *as built drawing*, maka diasumsikan digunakan tulangan minimum pada setiap kolom, yaitu luas penampang tulangan adalah 2% dari luas penampang kolom. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah ST37 dengan kuat tarik adalah 3700 kg/cm^2 dan kuat leleh adalah 2400 kg/cm^2 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Survei dan Pengumpulan Data

Gedung kajian pertama (Gedung I) yang disurvei adalah gedung di lingkungan DKI Jakarta yang dibangun pada tahun 1974. Gedung ini terdiri dari 24 Lantai.



Gambar 2. Foto Gedung Kajian I

Nilai kekerasan permukaan beton dan konversinya menjadi kuat tekan beton ditunjukkan pada table berikut. Nilai kuat tekan beton di atas cukup tinggi dan ini wajar untuk gedung-gedung bertingkat yang memerlukan beton dengan mutu tinggi.

Tabel 1. Nilai kekerasan permukaan beton dan Konversinya.

Lantai	Koordinat Kolom	X (rata-rata)	
		Pukulan	Mpa
3	B6	57.625	60.42
8	B2	69.325	*
13	E2	62.65	*
18	E2	63.49	*
23	B6	55.25	57.64

Keterangan : untuk nilai di atas 61 MPa, alat tidak menampilkan angka

Tabel 2. Dimensi Kolom dan Tinggi Lantai

Lantai	Koordinat Kolom	Tinggi lantai (cm)	Jarak antar kolom (cm)	Ukuran Kolom (cm)	
				NS	EW
3	B6	410	720	105	105
8	B2	410	720	95	95
13	E2	410	720	85	85
18	E2	410	720	75	75
23	B6	410	720	65	65

Tabel 3. Dimensi Balok dan Anak Balok

Lantai	Ukuran Balok EW (cm)		Ukuran Balok NS (cm)		Ukuran Balok Anak EW (cm)	
	tinggi	lebar	tinggi	lebar	tinggi	Lebar
3	70	50	90	60	60	35
8	70	50	90	60	60	35
13	70	50	90	60	60	35
18	70	50	90	60	60	35
23	70	50	90	60	60	35

Keterangan : NS dan EW adalah arah North-South dan East-West

Gedung kajian kedua (Gedung II) yang disurvei mempunyai bentuk yang tidak teratur. Gedung ini dibangun pada tahun 2011. Gedung ini terdiri dari 23 Lantai.

Gedung Kajian II ini sebagian lantainya berdiri di atas gedung yang lebih lebar di bawahnya (di sini dinamakan Gedung IIA). Bagian yang tidak berdiri di atas gedung adalah struktur lift dan tangga darurat. Struktur lift dan tangga darurat berdiri di samping gedung. Gedung yang di bawahnya (di sini dinamakan Gedung IIB) mempunyai lift terpisah di dalam gedung tersebut.

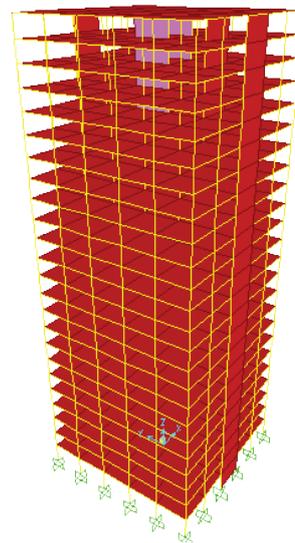


Gambar 3. Foto Gedung Kajian II

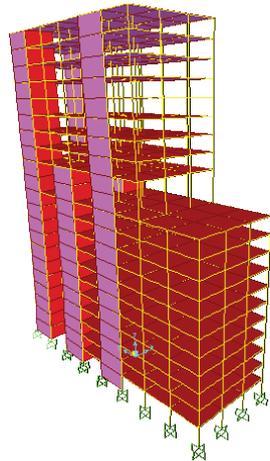
Gedung IIB terdiri dari 10 Lantai sedangkan Gedung IIA dimulai dari Lantai 13 (untuk lantai perkantorannya). Lantai 11 dan 12 digabung sehingga kolom di lantai ini memiliki tinggi 2 kali kolom lantai lainnya.

3.2. Analisis Numerik Perilaku Gedung terhadap Guncangan Gempa Bumi.

Setelah mendapatkan data dimensi dan mutu beton dan data lainnya, maka dibangunlah sebuah model numerik gedung yang disurvei tersebut, dengan menggunakan perangkat lunak bernama *Structural Analysis Program* (CSI, 2009).

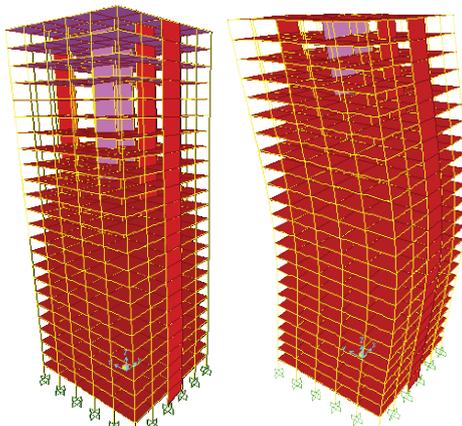


Gambar 4. Model Numerik Gedung Kajian I

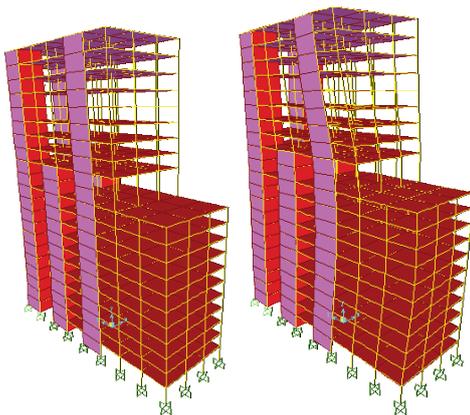


Gambar 5. Model Numerik Gedung Kajian II

Dengan model numerik ini, maka dilakukan kajian sifat unik dari model ini yaitu modus getarnya pada modus pertama dan modus ke empat.



Gambar 6. Modus Getar Gedung 1, $T_1=3.47$ detik dan $T_4 = 1.03$ detik

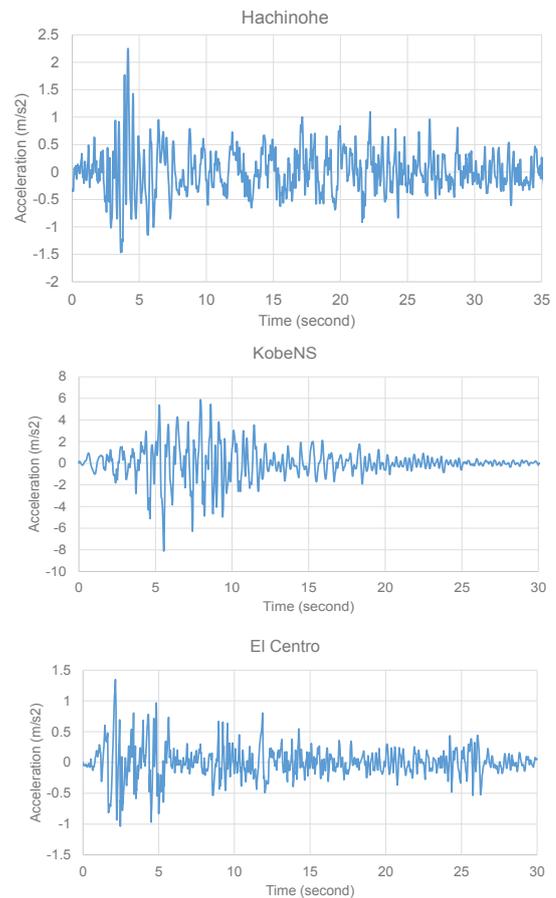


Gambar 7. Modus Getar Gedung 2, $T_1=1.89$ detik dan $T_4=0.71$ detik

Dari hasil kajian Gedung II (dengan bentuk tidak beraturan), tampak bahwa pada Modus Getar 4, terjadi gerakan yang dapat menimbulkan momen

yang besar pada sambungan dua gedung. Apabila suatu gempa menggetarkan gedung pada modus getar ini, maka dapat terjadi momen yang besar pada sambungan antara Gedung IIB (bawah) dengan Gedung IIA (atas). Selanjutnya akan dilihat hasil simulasi dengan menggunakan getaran gempa.

Untuk mengetahui momen terbesar yang terjadi selama gempabumi, maka dilakukan simulasi model terhadap rekaman gempa sebanyak tiga rekaman. Rekaman gempa itu disajikan pada gambar berikut.



Gambar 8. Rekaman Tiga Gempa: Hachinohe, Kobe, dan El Centro

Dipilih tiga gempa yang mempunyai karakteristik berbeda. Gempa Hachinohe di Jepang merupakan gempa yang terjadi di lautan dan getarannya direkam di daratan di daerah Hachinohe, Jepang. Gempa Kobe di Jepang terjadi di daratan dan direkam tidak jauh dari sumbernya di daerah Kobe. Sedangkan gempa El Centro, Amerika Serikat terjadi di daratan, direkam di lokasi relatif agak jauh.

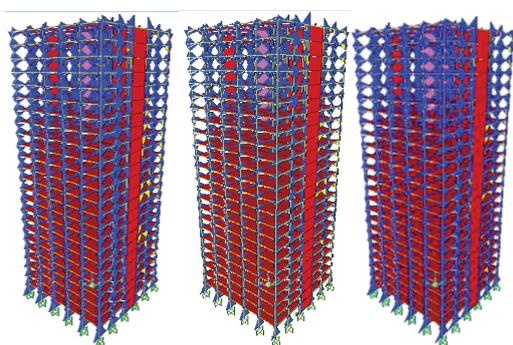
Selain karakteristik berbeda, mereka juga mempunyai nilai PGA (peak ground acceleration) yang berbeda pula. Agar gempa yang disimulasikan mempunyai PGA yang sama, yaitu sebesar 2.25 m/s^2 atau sekitar MMI VII, maka semua gempa diskalakan. Tabel berikut menunjukkan skala untuk

masing-masing gempa agar mempunyai PGA yang sama untuk simulasi.

Tabel 4. Skala untuk Simulasi Tiga Gempa

No	Nama Gempa	PGA (m/s ²)	Skala	PGA setelah skala (m/s ²)
1	Hachinohe	2.25	1.00	2.25
2	Kobe NS	-8.12	0.28	-2.25
3	El Centro	1.35	1.67	2.25

Setelah simulasi, maka dilakukan plot *envelopes* dari momen yang terjadi selama gempa simulasi. Hasil plot *envelopes* untuk model Gedung I ditunjukkan pada gambar berikut.

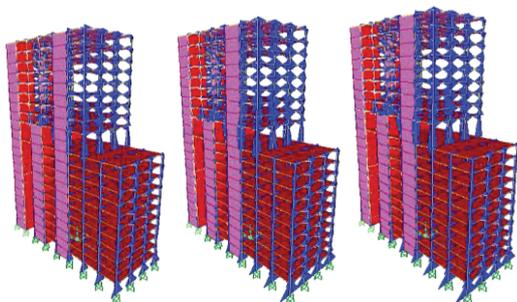


Gambar 9. Envelope Momen Pada Gedung I akibat Simulasi Tiga Gempa

Nilai *envelope* momen yang terjadi pada kolom ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5. Nilai *envelope* momen terbesar pada kolom Gedung I

No	Nama Gempa	Nilai Momen [kN.m]	Posisi Kolom
1	Hachinohe	1027	Lantai 1, Tengah
2	Kobe NS	486	Lantai 1, Tengah
3	El Centro	291	Lantai 1, Tengah



Gambar 10. *Envelope* Momen Pada Gedung II akibat Simulasi Tiga Gempa

Nilai *envelope* momen yang terjadi pada kolom ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 6. Nilai *Envelope* Momen Terbesar pada-Kolom Gedung II

No	Nama Gempa	Nilai Momen (kN.m)		
		Kolom Lantai 1	Kolom Lantai 11	Kolom Lantai 13
1	Hachinohe	1463	1454	1064
2	Kobe NS	2267	1370	1183
3	El Centro	1343	994	807

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil di atas, tampak bahwa pada Gedung Kajian I, *envelope* momen terbesar terjadi di kolom terbawah. Sedangkan pada Gedung II, momen terbesar terjadi di kolom terbawah dan kolom pada lantai 11, yaitu kolom di mana Gedung IIA (atas) menumpu pada Gedung IIB (bawah). Hal ini menunjukkan bahwa bentuk Gedung II menyebabkan terjadinya momen yang besar terjadi juga pada tengah-tengah ketinggian gedung. Di Gedung I, hal ini tidak terjadi.

Di dalam desain, hal ini tentu saja sudah diantisipasi oleh perancang gedung tersebut. Namun hal ini memerlukan perhatian ekstra dari perancang dan pembangun bangunan ini. Sesuatu yang memerlukan perhatian ekstra mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi. Kesulitan yang lebih tinggi mempunyai risiko kesalahan yang lebih tinggi juga. Dengan demikian kerentanan gedung dengan bentuk tidak beraturan menjadi lebih besar dibandingkan dengan gedung dengan bentuk beraturan.

FEMA membahas ketidakberaturan bentuk gedung yang menyebabkan kerentanan tinggi pada gedung (FEMA, 2002). Ketidakberaturan dibagi menjadi dua: ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan denah. Ketidakberaturan vertikal contohnya adalah bangunan yang dikaji dalam makalah ini. Ketidakberaturan denah misalnya adalah bentuk L dari denah sebuah gedung. Walaupun umumnya gedung berbentuk denah L tersebut dipisah secara struktur dengan adanya dilatasi, akan tetapi benturan yang terjadi antar gedung akibat perilaku yang berbeda masih dapat terjadi. Ini mengakibatkan kerentanan yang tinggi juga.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian di atas, maka gedung dengan bentuk yang tidak beraturan seperti pada kasus di makalah ini memiliki:

- Nilai momen besar di kolom tengah ketinggian gedung yang hampir menyamai besarnya momen di kolom di lantai dasar. Sedangkan gedung dengan bentuk beraturan memiliki momen pada kolom yang semakin mengecil, dimulai terbesar pada lantai dasar dan semakin mengecil pada lantai-lantai di atasnya.
- Di dalam desain, hal di atas tentunya sudah diantisipasi oleh perancang. Hanya saja, tingkat kesulitan yang tinggi membuat risiko terjadinya kesalahan dalam desain menjadi tinggi. Hal ini yang membuat tingkat kerentanan menjadi meningkat untuk gedung dengan bentuk tidak beraturan.
- Perlunya adanya studi yang lebih detail mengenai penilaian kerentanan dari faktor bentuk gedung. Perlu adanya pembobotan yang lebih proporsional terhadap bentuk gedung dibandingkan dengan faktor lain yang mempengaruhi kerentanan seperti jumlah lantai, tahun pembuatan gedung, dan fungsi gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- CSI Computers and Structures (2009) *Structural Analisis Program 2000*, Berkeley, CA.
- Departemen Pekerjaan Umum (1983) *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung*, SKBI-2.3.53.1987
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002) *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI - 1726 – 2002, April.
- FEMA (2002) *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, FEMA 154, National Earthquake Hazards Reduction Program, Edition 2 / March 2002.
- GeoHazards International (2001) *Global Earthquake Safety Initiative (GESI) Pilot Project*, Final Report, United Nations Centre for Regional Development.
- Hanifa, N. R., Sagiya, T., Kimata, F., Joni Efendi, J., Abidin, H. Z., and Meilano, I. (2014) Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008–2010, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 401, Pages 159-171, 1 September.
- Kementerian Pekerjaan Umum (2010) *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*, Jakarta, Juli.
- Pradono, M. H. (2013) Kerentanan Gedung di DKI Jakarta Terhadap Ancaman Gempabumi, *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, Volume 8 Nomor 2, Halaman 23-31, Desember 2013, ISSN: 0126-4907.