

EVALUASI KETAHANAN GEMPA BANGUNAN RUKO DI KOTA PEMATANG SIANTAR

Bambang Hadibroto¹, Sempurna Perangin-angin¹, Syahreza Alvan¹

¹Jurusan T. Sipil Fak. Teknik Universitas Negeri Medan, Jln. Willem Iskandar Pasar V, Medan 20221

Diterima 9 Juli 2012, disetujui untuk publikasi 21 Agustus 2012

Abstract Kota Pematang Siantar pernah mengalami getaran hebat akibat gempa di tahun 1916 berkekuatan $M_B = 6,8$, bersumber dari daerah sesar Renun, sekitar 50 km dari kota Pematang Siantar. Gempa ini telah merusak sejumlah bangunan di kota Pematang Siantar. Studi yang dilakukan ini adalah untuk melihat seberapa jauh gempa dapat mengancam bangunan rumah toko (ruko) di Kota Pematang Siantar yang saat ini tumbuh menjamur. Bahaya yang ditinjau pada studi ini adalah kekuatan material yang digunakan, kapasitas struktur ruko, analisa kehancuran dan tingkat kehancuran dan kinerja ruko akibat beban getaran gempa jauh yang mengandung frekwensi rendah dan berdurasi panjang dan kehancuran yang mungkin ditimbulkannya. Bangunan ruko yang diteliti 3 lantai 2 pintu (3B2) dengan ruko 3 lantai 3 pintu (3B3). Bangunan diasumsikan berdiri di atas jenis Tanah Lunak, Sedang, dan Keras. Hasil-hasil yang diperoleh melalui simulasi dengan program tidak linear beton bertulang menunjukkan bahwa bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) serta 3 lantai 3 pintu (3B3) dimana ketiganya terletak di atas tanah lunak adalah bangunan-bangunan ruko yang paling berbahaya untuk didiami bila skenario gempa lipatan Nias $M_w=9,0$ terjadi. Bangunan-bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) di atas tanah lunak adalah sangat berbahaya bagi keselamatan jiwa dan harta bila skenario gempa patahan aktif $M_B=6,8$ dari kawasan Renun terjadi. Kedua jenis bangunan ini diperkirakan mengalami kerusakan parah yang tidak dapat diperbaiki, bahkan sebagian diperkirakan rubuh. Kerusakan tersebut berupa gagal struktur pada kolom dasar dan balok, Kerusakan lain yang terjadi juga berupa sendi plastis di hampir semua ujung elemen struktur. Untuk bangunan lainnya umumnya semua ujung elemen struktur mengalami retak-retak dan sendi plastis dalam batas yang bisa diperbaiki. Namun tidak sedikit pula yang mengalami sendi plastis, khususnya pada bagian-bagian ujung elemen struktur penting seperti kolom bagian dasar. Perilaku leleh awal kemudian sendi plastis dan gagal struktur sering ditemui terjadi pada elemen kolom terlebih dahulu baru kemudian elemen balok. Perilaku seperti telah diketahui bersama tidak boleh terjadi pada konsep strong column weak beam.

Kata kunci:
ruko, sendi plastis,
leleh, Kota Pematang
Siantar

PENDHULUAN

Gempa-gempa yang lebih kecil yaitu gempa menengah sampai dengan gempa kuat banyak bersumber dari zona Sesar Bukit Barisan (Newcomb dan McCann, 1987; Pacheko dan Sykes, 1992). Sesar ini adalah salah satu zona

sesar *strike-slip* yang cukup dikenal dunia sebagai *Sumatran Great Fault*. Seperti pada tahun 1921, gempa Tapanuli sebesar $M_w=7.1$ yang muncul di Sumatera Utara mengejutkan banyak kota seperti Pematang Siantar, Gunung Sitoli dan Tarutung, bahkan

sampai ke Banda Aceh, 522 km dari pusat gempa (Soetardjo dkk., 1985). Disusul kemudian dengan gempa $M_w=7.7$ pada tahun 1936 yang menyebabkan sejumlah bangunan di kota Pematang Siantar, yang berjarak 135 km dari pusat gempa, tercatat mengalami kerusakan.

Wilayah Sumatera Utara sebelah barat merupakan daerah lintasan pertemuan Lempeng Eurasia dan Lempeng Australia. Patahan-patahan (*fault*) yang terdapat di daerah pantai barat Sumatera Utara, seperti yang diungkapkan oleh Dany Hilman Natawidjaya (Natawidjaya, 2002), adalah patahan Renun, Angkola, Toru, Barumon dan Sianok. Dari data-data pencatatan gempa dan fakta keberadaan berapa patahan yang beraktifitas dapat disimpulkan, bahwa wilayah Sumatera Utara terutama daerah pantai baratnya merupakan daerah dengan potensi gempa yang tinggi. Gempa yang terjadi umumnya adalah gempa dangkal dengan kedalaman berkisar 7 – 100 km dengan magnitude antara 3.0 – 8.3 dalam skala Richter.

Segmen sesar aktif yang terdekat ke Kota Pematang Siantar adalah segmen sesar Renun. Segmen Tripa memiliki panjang sekitar 180 km dan berada di lintasan pegunungan Bukit Barisan dimana di sekitarnya terdapat lembah Alas. Sementara itu segmen Renun, di sekitar lembah Tarutung, memiliki panjang sekitar 220 km merupakan segmen yang terpanjang di sesar Sumatera (Sieh dan Natawidjaya, 2000). McCaffrey dkk (2000) menunjukkan bahwa segmen Renun memiliki laju slip geologi mencapai 25 ± 2 mm/tahun. Sedangkan Genrich dkk. (2000) menjelaskan laju slip sekitar 24 ± 1 mm/tahun untuk segmen Renun. Sebaran

lokasi episenter gempa yang pernah terjadi antara tahun 1907 hingga tahun 2007 di sekitar wilayah Sumatera Utara, dapat dilihat pada Gambar 1.2 diatas.

Dalam pembangunannya, secara struktural Bangunan Ruko di Kota Pematang Siantar terlihat tidak direncanakan sebagaimana mestinya. Bisa jadi dibuat dengan perencanaan yang mengesampingkan perhitungan analisa struktur. Parahnya lagi sering didapati bangunan-bangunan bermasalah, izin yang diberikan hanya 2 lantai ternyata di lapangan berdiri 3 atau bahkan 4 lantai. Sekilas masalah ini memang tidak berbahaya, tetapi dibalik itu semua, dikhawatirkan bangunan ini tidak akan mampu memikul beban dinamis yang disalurkan oleh tanah akibat getaran gempa. Kekhawatiran ini tampaknya sering diabaikan karena memang sangat jarang bangunan rusak akibat gempa di kota Pematang Siantar.

Walau kota Pematang Siantar termasuk daerah stabil dari gempa tetapi belum tentu sepenuhnya aman. Hal ini terbukti dari laporan studi Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG, 2000) yang mencatat sejumlah getaran pernah melanda kota Pematang Siantar. Intensitas yang dirasakan menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Bahaya gempa terdekat adalah berasal dari sesar segmen Renun dan Tripa yang berjarak sekitar 50 km. Segmen-segmen ini adalah bagian dari sesar besar yang sangat aktif di sepanjang Sumatera.

Sejarah telah membuktikan bahwa kota Pematang Siantar pernah mengalami getaran akibat gempa, yaitu di tahun 1916. Gempa tersebut bersumber dari daerah sesar Renun, sekitar 50 km dari kota Pematang Siantar dan berkekuatan $M_B = 6,8$. Pada tahun ini bangunan-bangunan

bertingkat 3 atau 4 sangat langka ditemukan di kota Pematang Siantar. Bangunan pada masa itu umumnya berlantai 1 serta memiliki konstruksi yang relatif berlebihan dalam penggunaan material sehingga relatif sangat kuat.

Bandingkan dengan keadaan sekarang ini, kota Pematang Siantar sudah banyak memiliki bangunan-bangunan bertingkat yang dibangun dengan sangat mengedepankan nilai ekonomis pada konstruksi. Hal ini tampak sangat jelas pada bangunan rumah toko yang semakin lama semakin menjamur di Kota Pematang Siantar. Apa yang terjadi kepada bangunan-bangunan ruko ini bila gempa yang kuat di sesar Renun berulang kembali.

Perlu ditelusuri lebih jauh khususnya terhadap kekuatan material yang digunakan, kapasitas struktur ruko, analisa kehancuran dan tingkat kehancuran dan kinerja ruko akibat beban getaran gempa jauh yang mengandung frekwensi rendah dan berdurasi panjang dan kehancuran yang mungkin ditimbulkannya.

Metodologi Penelitian :

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Pematang Siantar dan Laboratorium Komputer FT UMSU pada tahun 2012.

Bahan dan Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Perangkat keras :

1 unit komputer desktop dengan spesifikasi Core i3 RAM 8 GB; 1 unit laptop dengan spesifikasi Core i3 RAM 4 GB dan printer. 1 unit komputer, satu unit laptop dan printer.

2. Perangkat lunak :

- a) IDARC2D program evaluasi kinerja bangunan tidak elastik
- b) Microsoft Office untuk pengelolaan data, kata dan grafik.

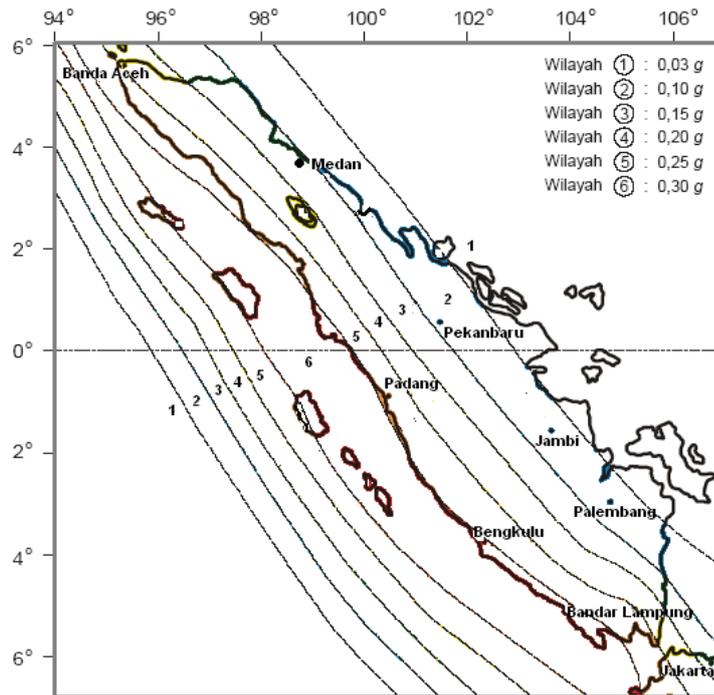
Perlakuan dan Rancangan Kajian

- a. Gempa Acuan

Gempa terkuat yang pernah terjadi di wilayah Sumatera Utara sekitarnya dan dirasakan di kota Pematang Siantar akan dijadikan gempa acuan. Gempa tersebut adalah gempa 1916 di wilayah Renun dengan kekuatan $M_B = 6.8$.

- b. Percepatan Puncak Batuan Dasar

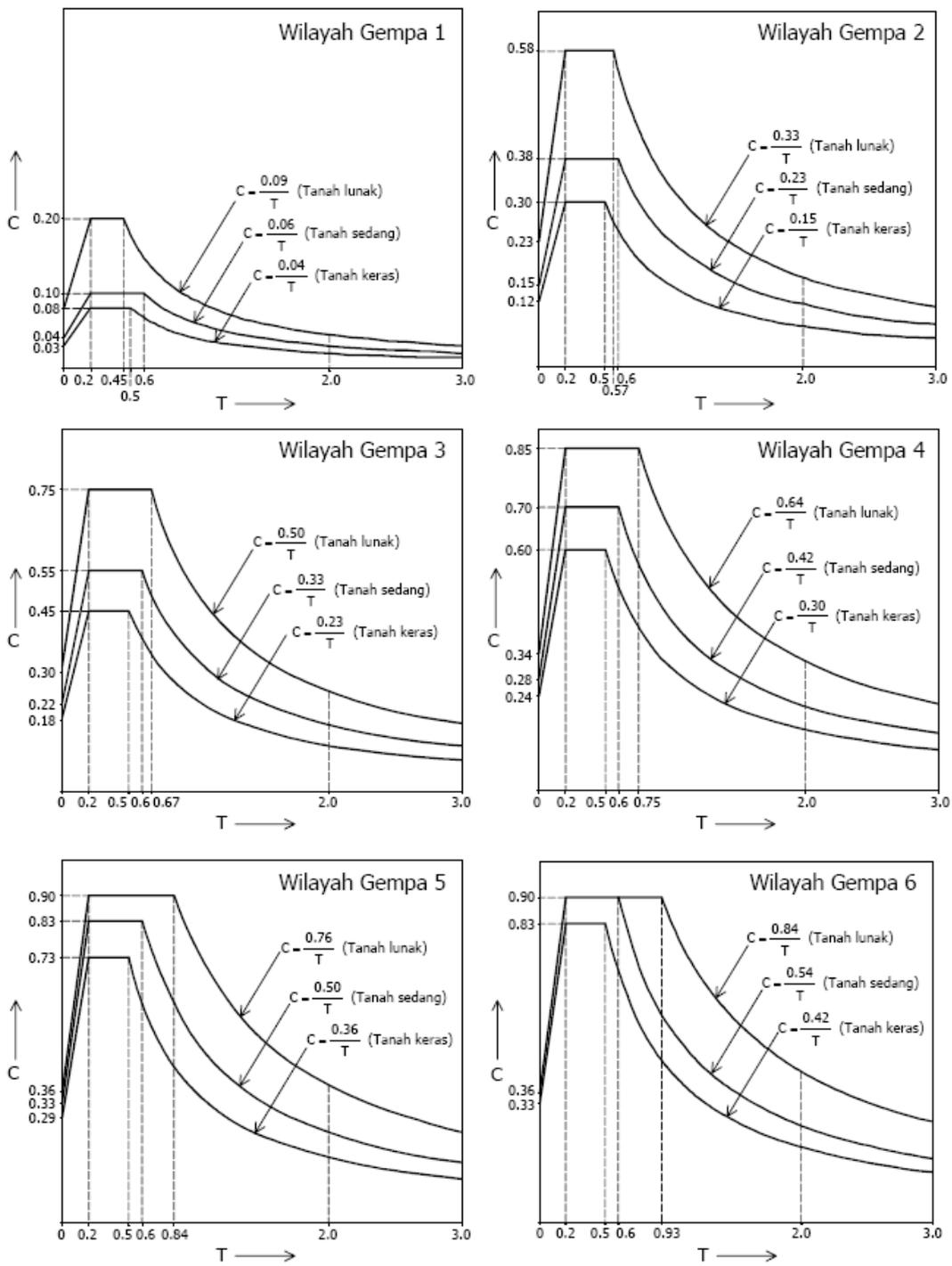
Gelombang getaran gempa acuan akan diambil melalui rekaman riwayat waktu gempa-gempa sesar *strike-slip* di Jepang dan California, AS. Rekaman-rekaman tersebut akan dipilih berdasarkan jarak stasiun pencatat dengan sumber gempa $\geq 140\text{km}$ dan kondisi geologi. Riwayat waktu yang dipilih akan diskalakan ke percepatan tanah puncak batuan dasar hasil atenuasi. Hubungan-hubungan atenuasi yang akan dipakai adalah Fukushima dan Tanaka (1990). Percepatan puncak di muka tanah akan diperoleh melalui penskalaan linear antara percepatan di batuan (Gambar 1) dan di muka tanah versi SNI-1726-2003 (Tabel 1 dan Gambar 1).



Gambar 1. Peta zonasi percepatan di batuan dasar menurut SNI-1726-2003.

Tabel 1. Percepatan puncak batuan dasar dan pembesarannya dimuka tanah menurut SNI-1726-2003.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan Puncak Muka Tanah ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,03	0,04	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,23	
3	0,15	0,18	0,22	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,29	0,33	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,36	



Gambar 2. Spektrum percepatan SNI-1726-2003 untuk 6 wilayah dan 3 jenis tanah

Jenis Beton dan Besi Tulangan

Kekuatan karakteristik beton dan besi tulangan akan diambil berdasarkan kondisi lapangan yang umumnya adalah beton K175 – K225 (sekitar $f'_c=14,5$ MPa – 18,8 MPa), $f_y=220$ MPa (tulangan utama dan tulangan sengkang).

Jenis struktur

Struktur yang akan diselidiki dalam kajian ini adalah bangunan ruko (rumah toko) yang ada di kota Pematang Siantar. Bangunan tersebut adalah beton bertulang yang memiliki keadaan geometrik 3 lantai 2 pintu (3B2) dan 3 lantai 3 pintu (3B3). Tinggi lantai 2 terhadap lantai dasar adalah 4,0 meter sedangkan tinggi lantai-lantai berikutnya diasumsikan sama sebesar 3,7 meter. Untuk lebar bentang satu pintu diasumsikan sebesar 4,0 m dan sama untuk setiap bentang-bentang berikutnya. Model ini merupakan sebagian dari 10 jenis ruko yang telah peneliti survey

Pembebanan dan Rekaman Riwayat Waktu Gempa

Tabel 2. Percepatan puncak batuan dasar dan permukaan tanah untuk Kota Pematang Siantar yang digunakan pada penelitian ini :

Sumber acuan	Percepatan tanah puncak (g)			
	Batuan dasar	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
SNI-1726-2003 akibat semua jenis gempa wilayah 3	0.150	0.180	0.220	0.300

Respon Perilaku Struktur

Secara umum respon perilaku struktur akan dievaluasi dengan menggunakan metode berbasis kinerja atau *performance-based method*. Struktur akan dianalisa respon perilakunya sampai tahap nonlinear atau mengalami kegagalan sehingga diketahui tingkat kinerjanya

Struktur-struktur ini akan diberikan beban-beban yang terdiri dari :

- Beban gravitasi,
- Beban bergerak, dan
- Beban gempa.
- Kombinasi beban-beban akan mengikut kepada syarat yang diberikan oleh SNI 1727-1987 (DPU, 1987).
- Beban gempa yang akan diberikan adalah beban gempa riwayat waktu.

Model getaran tanah riwayat waktu akibat gempa jauh akan diambil berdasarkan hasil studi Faisal (2005). Studi yang berdasarkan metoda penentuan (*deterministic seismic hazard analysis*) tersebut menyimpulkan bahwa Pematang Siantar memiliki PGA pada batuan dasar sebesar 0,213 g akibat skenario gempa patahan aktif *strike slip* $M_B = 6.8$ dengan jarak ke sumber gempa sepanjang $R = 50$ km dan kedalaman $H=25$ km yaitu di segmen patahan Renun.

berdasarkan indeks kehancuran Valles dkk. (1996). Pendekatan yang digunakan pada metode berbasis kinerja dalam kajian ini merupakan penggabungan metode berbasis gaya dan metode berbasis simpangan (Chandler dan Mendis, 2000; Kappos dan Manafpour, 2001).

Beban-beban gempa yang diasumsikan akan dialami oleh struktur dibuat ke dalam 2 bentuk, (i) riwayat waktu percepatan, dan (ii) gaya lateral. Simpangan atau defleksi yang terjadi pada atap dan antar tingkat pada struktur akan dianalisa untuk akibat gaya-gaya gempa (riwayat waktu percepatan) menurut SNI 1726-2003 (SNI, 2003) dan menurut skenario gempa acuan. Sedangkan defleksi maksimum sebelum terjadi kegagalan struktur akan menggunakan gaya gempa lateral. Perilaku nonlinear struktur dan kinerjanya akan dianalisa dengan metode Valles dkk. (1996).

Pengamatan

Penelitian ini akan mengamati variabel-variabel berikut :

1. Simpangan atap struktur bangunan ruko
2. Tahap leleh, sendi plastis dan kegagalan struktur bangunan ruko.
3. Kinerja bangunan ruko.

Prosedur Kajian

Studi penelitian ini menggunakan sejumlah prosedur seperti berikut ini:

1. Survey properties bangunan ruko
2. Tentukan gempa acuan dan jarak terdekatnya ke kota Pematang Siantar.
3. Pilih riwayat waktu percepatan yang dapat mewakili keadaan gempa.
4. Tentukan percepatan tanah puncak di batuan dasar berdasarkan atenuasi gelombang gempa. Harga yang diperoleh diskalakan ke riwayat waktu percepatan hasil langkah 2.
5. Tentukan estimasi pembesaran gelombang gempa oleh tanah (tanah kaku, sedang dan lunak). Lakukan penskalaan sekali lagi terhadap riwayat waktu percepatan.

6. Tentukan pembebanan yang terjadi pada struktur bangunan ruko menurut DPU (1987) dan DPU (1999).
7. Lakukan analisa perilaku seismik non-elastis struktur bangunan ruko dengan alat bantu program dan IDARC2D.
8. Analisa defleksi dan kehancuran yang terjadi
9. Tentukan kinerja bangunan yang ditinjau

Hasil dan Pembahasan :

a. Kapasitas Struktur Ruko

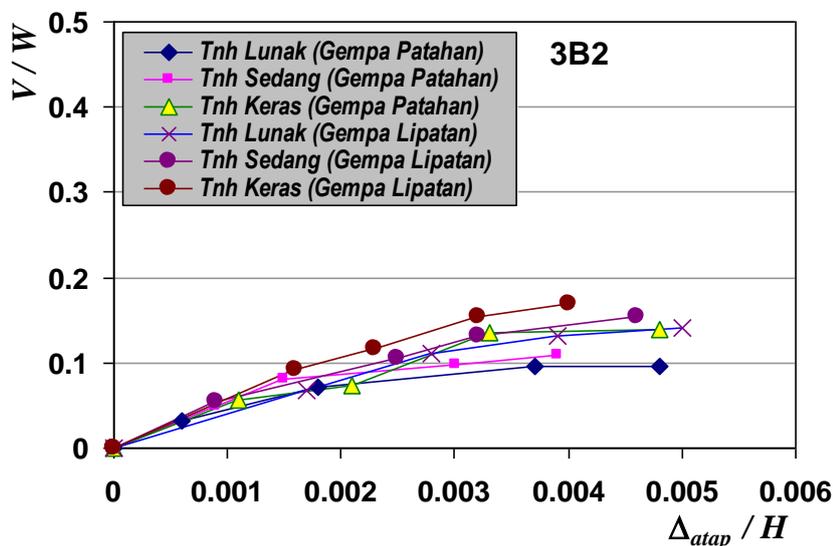
Respon setiap jenis struktur bangunan ruko dalam kurva kapasitas (koefisien gaya geser dasar V/W dan simpangan atap Δ_{atap}/H), yaitu sampai tahap elemen struktur (balok/kolom) mengalami leleh awal, terhadap skenario gempa terburuk ditunjukkan pada Gambar 3. sampai dengan Gambar 4. Di dalam kurva kapasitas ini 3 nilainya masing-masing menunjukkan saat-saat dimana kolom pertama kali retak, balok pertama kali retak dan balok/kolom pertama kali leleh.

Pada Gambar 3 ditunjukkan bagaimana perkiraan perilaku bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) di atas tanah lunak, sedang dan keras dalam menghadapi skenario gempa terburuk. Secara umum bangunan ruko 3B2 hampir sama dalam merespon gempa terburuk dari Renun dan Nias, baik yang dibangun di atas tanah lunak, tanah sedang maupun tanah keras. Nilai gaya geser dasar yang dicapai akibat gempa patahan atau lipatan baik itu untuk bangunan di atas tanah lunak, sedang maupun keras tampak hanya memiliki perbedaan yang sangat kecil.

Respon bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) yang terletak di atas tanah lunak, sedang dan keras untuk dua skenario

gempa yaitu dari kawasan lipatan Nias dan kawasan patahan aktif Renun ditunjukkan pada Gambar 3. Bangunan ini memberikan respon yang cukup bervariasi dibanding dengan bangunan ruko bergeometri lainnya sebelumnya. Semua kurva kapasitas tampak cenderung tidak linear. Kurva kapasitas struktur bangunan yang berdiri di atas jenis tanah dan gempa yang berbeda tampak menyebar secara jelas. Namun demikian, bangunan ruko 3B2 di atas tanah lunak tetap memberikan respon yang paling signifikan dalam hal simpangan atap khususnya terhadap gempa lipatan. Kolom

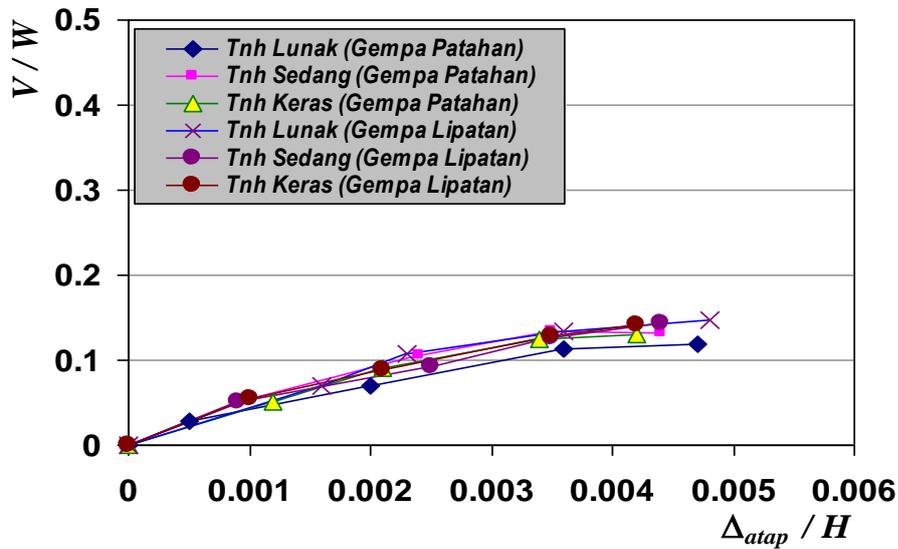
pertama kali akan mengalami retak pada rentang simpangan atap 0,0006-0,0011 untuk akibat gempa patahan dan 0,0009-0,0017 untuk akibat gempa lipatan. Sedangkan balok mengalami retak untuk pertama kali pada saat simpangan atap mencapai 0,0023-0,0028 untuk akibat gempa lipatan dan 0,0015-0,0021 untuk akibat gempa patahan. Untuk leleh awal, balok dan kolom akan mengalaminya pada rentang simpangan atap 0,0030-0,0048 akibat gempa patahan dan 0,0032-0,0050 akibat gempa lipatan.



Gambar 3. Respon bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) dalam kurva kapasitas

Gambar 4 menunjukkan perilaku respon struktur bangunan ruko 3 lantai 3 pintu (3B3) di atas 3 jenis tanah dan akibat gempa-gempa dari patahan dan lipatan. Kurva tampak tidak begitu menyebar seperti kurva kapasitas bangunan ruko 3B2. Struktur kolom bangunan ruko 3B3 mengalami retak pertama kali akibat gempa lipatan pada simpangan atap 0,0009-0,0016 sedangkan baloknya pada simpangan atap 0,0021-0,0025. Kemudian keduanya meleleh

pertama kali pada rentang simpangan atap 0,0035-0,0048. Untuk kasus akibat gempa patahan, struktur kolom bangunan ruko ini baru akan retak pertama kali pada nilai simpangan atap 0,0005-0,0012 sedangkan baloknya pada simpangan atap 0,0020-0,0024. Keduanya kemudian meleleh pertama kali pada simpangan atap 0,0034-0,0047. Nilai leleh awal ini tampak hampir sama (sedikit lebih kecil) dengan nilai leleh akibat gempa lipatan.

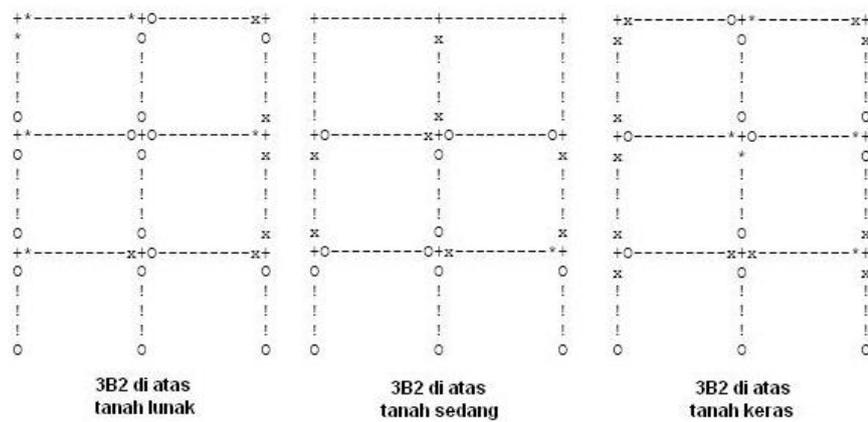


Gambar 4. Respon bangunan ruko 3 lantai 3 pintu (3B3) dalam kurva kapasitas

b. Analisa Kehancuran

Pada bagian ini dijelaskan hasil analisa struktur untuk kehancuran bangunan rumah toko jenis 3 lantai 2 pintu (3B2) dan 3 lantai 3 pintu (3B3) dengan menggunakan alat bantu program IDARC2D. Kinerja bangunan dalam hal ini diukur melalui mengetahui kehancuran yang terjadi akibat sebuah gempa. Gempa dari kawasan patahan aktif Renun ternyata sangat berpengaruh terhadap bangunan ruko 3B2 dibanding dari kawasan lipatan. Pengaruh yang dimaksud tampak secara jelas sangat berbahaya pada Gambar 5,

dimana hampir semua ujung-ujung kolom pada lantai dasar mengalami sendi plastis. Bahkan ada ujung kolom yang mengalami gagal struktur seperti yang terjadi pada kolom luar bagian sebelah kiri lantai 3 yang berdiri di atas tanah lunak dan kolom tengah lantai 2 bangunan yang berdiri di atas tanah keras. Banyak balok pada ujungnya mengalami gagal struktur seperti yang terjadi pada bangunan ruko 3B2 di atas tanah lunak dan keras. Pada bangunan ini balok mengalami kerusakan parah terlebih dulu dari pada kolom.

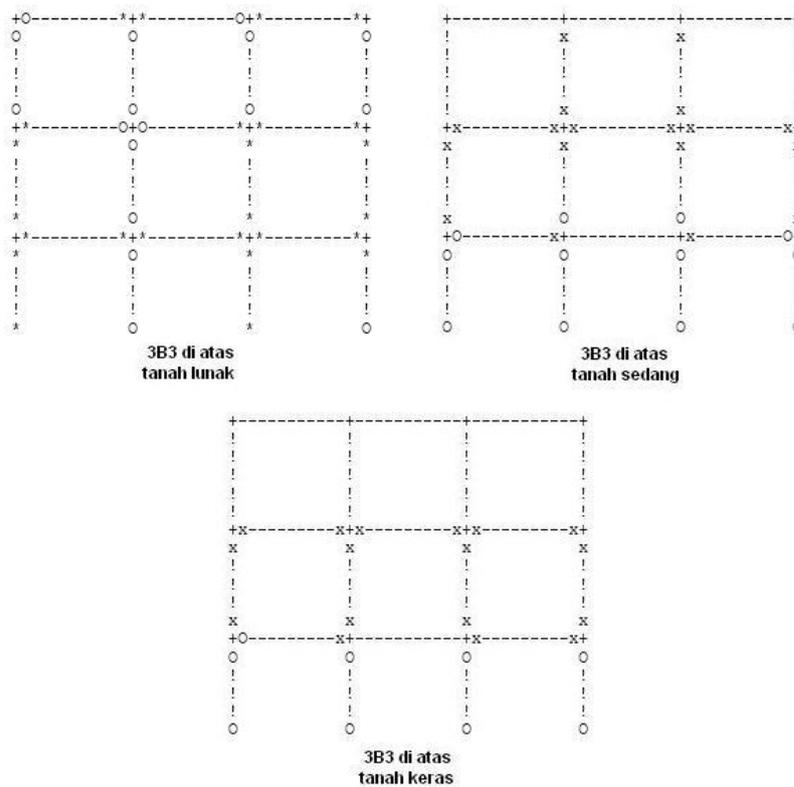


- x = beton retak dan tulangan leleh awal
- o = sendi plastis
- * = gagal struktur lokal

Gambar 5. Mekanisme kehancuran bangunan ruko 3B2 akibat gempa patahan aktif *strike-slip* $m_b = 6,8$ dari kawasan Renun berjarak 50 km dari P. Siantar.

Bangunan ruko 3B3 adalah salah satu bangunan ruko pada studi ini yang mengalami kondisi kehancuran terburuk akibat skenario gempa jauh dari kawasan lipatan Nias, khususnya bangunan yang terletak di atas tanah lunak (Gambar 6). Ujung-ujung ketiga kolom pada lantai dasar dari 4 kolom yang ada mengalami gagal struktur. Sebagian besar ujung kolom pada lantai 2 juga mengalami hal yang serupa sedangkan kolom-kolom lain sisanya mengalami sendi plastis. Balok pada lantai 2 dan sebagian besar di lantai 3 dan atap juga

mengalami gagal struktur. Dengan kata lain bangunan 3B3 yang berada di atas tanah lunak ini sebagian besar diperkirakan akan rubuh bila skenario gempa lipatan Nias terjadi. Sementara itu bangunan 3B3 di atas jenis tanah yang lain tidak sama parahnya seperti yang di atas tanah lunak namun demikian masih dianggap dalam kondisi yang tidak aman karena semua ujung-ujung kolom lantai dasarnya mengalami sendi plastis. Hanya balok atap yang tidak mengalami retak pada bangunan tersebut.



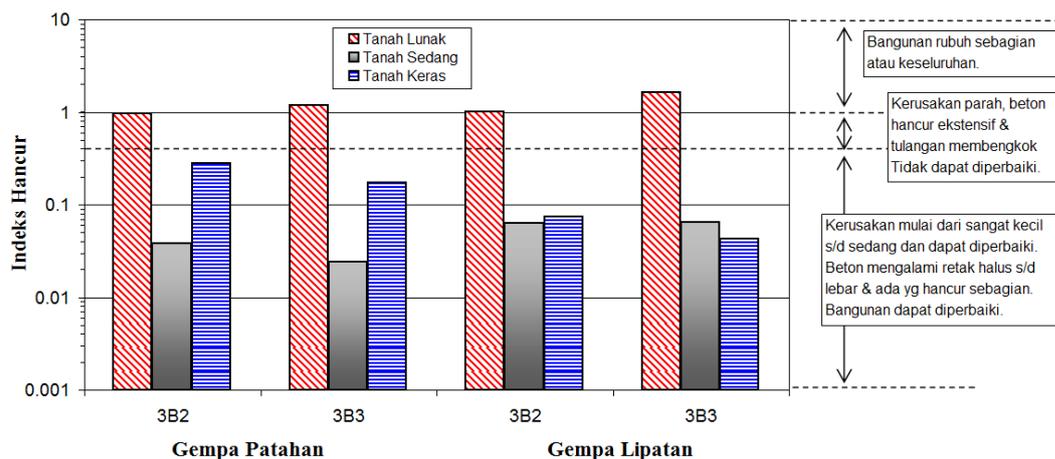
- x = beton retak dan tulangan leleh awal
- o = sendi plastis
- * = gagal struktur lokal

Gambar 6. Mekanisme kehancuran bangunan ruko 3B3 akibat gempa lipatan $M_w=9,3$ dari kawasan Nias berjarak 165 km dari P. Siantar.

c. Tingkat kehancuran dan Kinerja struktur

Dari hasil analisa tingkat kehancuran dengan menggunakan alat bantu program analisa tidak elastik struktur beton bertulang IDARC2D diperoleh simpangan maksimum dan indeks kehancuran seperti yang ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12. Diperkirakan bangunan

yang paling parah kerusakannya akibat skenario gempa lipatan terburuk berkekuatan $M_w=9,3$ berasal dari Nias yang berjarak 165 km dari kota P. Siantar adalah bangunan ruko 3 lantai 2 pintu yang terletak di atas tanah sedang dan bangunan ruko 3 lantai 3 pintu yang terletak di atas tanah lunak. Kedua bangunan ini diperkirakan akan mengalami rubuh pada sebagian strukturnya atau bahkan seluruh strukturnya.



Gambar 7. Indeks kehancuran dan kinerja bangunan rumah toko di Kota Pematang Siantar di atas 3 jenis tanah terhadap gempa dari segmen Renun dan segmen lipatan Nias

Sementara itu bangunan ruko 3 lantai 2 pintu yang terletak di atas tanah lunak diperkirakan akan mengalami kerusakan yang sangat parah, seperti terjadi leleh yang hebat pada besi tulangan. Kondisi bangunan ruko ini secara keseluruhan diperkirakan tidak dapat diperbaiki lagi. Sedangkan bangunan ruko lainnya diperkirakan akan mengalami retak-retak dan hancur sebagian kecil namun demikian kondisi ini kiranya sangat dapat untuk diperbaiki.

Bangunan ruko 3 lantai, baik itu yang 3 pintu maupun yang memiliki 2 pintu, yang terletak di atas tanah lunak akan mengalami kerubuhan pada sebagian atau keseluruhan strukturnya akibat skenario gempa patahan aktif *strike-slip* berkekuatan $m_b=6,8$ di Renun yang berjarak 50 km dari kota Pematang Siantar. Bangunan ini diperkirakan tidak dapat dipergunakan dan diperbaiki lagi. Bangunan-bangunan ruko yang lain diperkirakan masih dapat dipergunakan karena hanya akan mengalami kerusakan-kerusakan kecil sampai sedang seperti retak-retak di banyak tempat.

Secara umum dapat diperkirakan bahwa bangunan ruko dengan 3 lantai di

kota Pematang Siantar lebih berbahaya terhadap gempa-gempa terburuk dari kawasan Nias ataupun dari kawasan patahan aktif Renun dibanding dengan bangunan ruko lainnya.

Gambar 3 sampai dengan Gambar 7 menjelaskan betapa beresikonya bangunan-bangunan ruko yang dianalisa pada studi ini merespon gempa-gempa jauh dari kawasan lipatan Nias dan patahan Renun. Gambar-gambar tersebut menjelaskan kondisi paling kritis yang diberikan sebuah skenario gempa jauh dari dua skenario gempa yang diberikan. Sebagian kolom pada semua bangunan yang dianalisa mengalami kondisi sendi plastis akibat gempa-gempa jauh ini. Gempa lipatan Nias sebesar $M_w=9,3$ yang berjarak 165 km dari P. Siantar diperkirakan secara keseluruhan yang paling mempengaruhi bangunan ruko yang dianalisa pada studi ini kecuali bangunan ruko 3B2.

Kesimpulan

Dari hasil survey di lapangan ditarik kesimpulan bahwa bangunan rumah toko di kota Pematang Siantar yang ditinjau jelas sekali tidak direncanakan dengan baik. Ini ditunjukkan dengan proses pembesian dan

pengecoran yang tidak sesuai dengan yang disyaratkan oleh SNI. Hasil-hasil yang diperoleh melalui simulasi dengan program tidak linear beton bertulang menunjukkan bahwa bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) serta 3 lantai 3 pintu (3B3) dimana ketiganya terletak di atas tanah lunak adalah bangunan-bangunan ruko yang paling berbahaya untuk didiami bila skenario gempa lipatan Nias $M_w=9,0$ terjadi. Bangunan-bangunan ruko 3 lantai 2 pintu (3B2) di atas tanah lunak adalah sangat berbahaya bagi keselamatan jiwa dan harta bila skenario gempa patahan aktif $m_b=6,8$ dari kawasan Renun terjadi.

Kedua jenis bangunan ini diperkirakan mengalami kerusakan parah yang tidak dapat diperbaiki, bahkan sebagian diperkirakan rubuh. Kerusakan tersebut berupa gagal struktur pada kolom dasar dan balok, Kerusakan lain yang terjadi juga berupa sendi plastis di hampir semua ujung elemen struktur. Untuk bangunan lainnya umumnya semua ujung elemen struktur mengalami retak-retak dan sendi plastis dalam batas yang bisa diperbaiki. Namun tidak sedikit pula yang mengalami sendi plastis, khususnya pada bagian-bagian ujung elemen struktur penting seperti kolom bagian dasar. Perilaku leleh awal kemudian sendi plastis dan gagal struktur sering ditemui terjadi pada elemen kolom terlebih dahulu baru kemudian elemen balok. Perilaku seperti telah diketahui bersama tidak boleh terjadi pada konsep strong column weak beam.

Saran

Sebuah hunian yang aman dan nyaman sangat diperlukan oleh penduduk Kota Pematang Siantar. Untuk itu sudah seharusnya Pemerintah Daerah memperketat dalam proses mendapatkan perizinan pembangunan sebuah rumah

hunian ataupun rumah toko. Berdasarkan studi ini disarankan agar Pemerintah Daerah Kota Pematang Siantar dapat melakukan evaluasi ulang terhadap kinerja-kinerja bangunan ruko yang ada di Kota Pematang Siantar. Evaluasi ini harus menggunakan skenario gempa seperti yang dipakai dalam studi ini. Dilanjutkan dengan melakukan studi terhadap batas-batas penampang kolom dan balok minimum yang diperlukan oleh sebuah bangunan ruko. Pemerintah Kota Pematang Siantar kemudian harus mensosialisasikan hasil studi tersebut kepada pihak-pihak yang terlibat dalam sebuah proses pengembangan bangunan ruko harus dilaksanakan. Sehingga dengan hal ini diharapkan tidak akan terjadi kesalahan teknis yang diakibatkan oleh manusia sehingga menyebabkan bangunan tersebut rusak akibat sebuah gempa kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Balendra, T., Lam, N. T. K., Wilson, J. L. & Kong, K. H. (2002). Analysis of long-distance earthquake tremors and base shear demand for buildings in Singapore. *Journal of Engineering Structures*. 24, 99-108.
- BMG (2000). Daftar gempa merusak di Sumatra. Medan: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Chandler, A.M., & Lam, N.T.K. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: a multi disciplinary review. *Engineering Structures*. 23, 1525-1543.
- Chandler, A.M., & Mendis, P.A. (2000). Performance of reinforced concrete frames using force and displacement

- based seismic assessment methods. *Engineering Structures*. 22, 352-363.
- Chopra, A. K. (1995). *Dynamic of structures, theory and applications to earthquake engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Dymiotis, C., Kappos, A.J., Chryssanthopoulos, M.K., (1999). Seismic reliability of RC frames with uncertain drift and member capacity. *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 125(9).
- DPU (1987). *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung SNI 1727-18F*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU.
- DPU (1991). *Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, SKSNI T-15-1991-P03*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- SNI-1726 (2003). *Peraturan perencanaan gempa untuk bangunan gedung SNI 1726-2003*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Faisal, A. (2003). *Response spectrum acceleration in Kuala Lumpur and Pulau Pinang due to Sumatran earthquakes and its effect on a tall reinforced concrete building*, M.Sc. Thesis, Universiti Sains Malaysia.
- Faisal, A. (2005). *Skenario terburuk gempa Sumatera dan respon tanah di Kota Medan*. Laporan Penelitian UMSU. ADB Loan 1729-INO.
- Firmansyah, J. (1999). *Usulan structural reduction factor, R dan structural overstrength, ϕ untuk SNI-1726-1998*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kegempaan. Bandung, Indonesia, November 4-5, 1999.
- Fukushima, Y. & Tanaka, T. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of Seismological Society of America*. 84, 757-783.
- Ghobarah, A. (2001). *Performance-based design in earthquake engineering: state of development*. *Engineering Structures*. 23, 878-884.
- Kappos, A., Antoniadis, K., & Kostantinides, D. (1994). Seismic behaviour evaluation of RC buildings designed to the Eurocode 8. In *Earthquake Resistant Construction and Design*. (Savidis, S.A. ed.). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Kappos, A., & Manafpour, A. (2001). Seismic design of R/C buildings with the aid of advanced analytical techniques. *Engineering Structures*. 23, 319-332.
- Krawinkler, H., & Seneviratna, G.D.P.K. (1998). Pros and cons a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*. 20, Nos 4-6, 452-464.
- Medhekar, M.S., & Kennedy, D.J.L. (2000). Displacement-based seismic design of buildings-theory. *Engineering Structures*. 22, 201-209.

- Naeim, F. (1989). *The seismic design handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Negro, P., Pinto, A.V., Verzeletti, G., Magonette, G.E. (1996). PsD test on four-story R/C building designed according to Eurocode. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. 122(12).
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. 105, 28,295-28,326.
- Soetardjo, Untung, M., Arnold, E. P., Soetadi, R., Ismail, S., & Kertapati, E. K. (1985). In *Series on seismology, volume V: Indonesia*. (Arnold, E.P., ed.), Southeast Asia association of seismology and earthquake engineering (SEASEE). Denver: USGS press.
- Valles, R. E., Reinhorn, A. M., Kunnath, S. K., Li, C., & Madan, A. (1996). *IDARC2D Version 4.0: Computer Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings*. National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-96-0010. New York: The State University of New York at Buffalo.
- Wangsadinata, W. (1999). Capacity design, a concept to ensure seismic resistant of building structure. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kegempaan*. Bandung, Indonesia, November 4-5, 1999.