

RESIKO GEMPA BUMI PADA BANGUNAN-BANGUNAN SEKOLAH DI INDONESIA

Slamet Widodo

Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

ABSTRACT

Many school buildings are affected by destructive earthquake in Indonesia. This paper presents the current conceptions relevant to seismic risk for construction in urban centre that depends on seismic hazard, vulnerability and building value. School building as an important education facility is being analyzed here, the analysis including social economics value, school buildings structures in Indonesia, construction norms and damage to school buildings in the past.

Keywords: Earthquake, school bulidings

PENDAHULUAN

Pada umumnya penilaian tentang tingkat resiko gempa bumi terhadap keberadaan struktur bangunan sipil lebih ditujukan pada jenis bangunan tertentu tidak hanya pada satu bangunan secara individual. Resiko gempa bumi memberikan gambaran tentang kuantitas yang memberikan gambaran tentang kemungkinan kerusakan yang dapat terjadi akibat adanya bencana gempa bumi dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang terkait. Menurut Gavarini (2001), faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam penilaian resiko gempa bumi terdiri dari 3 faktor utama yaitu, tingkat bahaya gempa pada suatu lokasi, tingkat kerawanan struktur bangunan serta nilai sosial ekonomi yang melekat pada bangunan tersebut. Bangunan-bangunan sekolah yang merupakan prasarana pendidikan dalam rangka peningkatan kualitas generasi muda, sangat penting untuk dikaji keberadaannya terhadap kemungkinan bencana gempa bumi yang sering terjadi di Indonesia sebagai wilayah kepulauan dengan aktifitas *seismic* dan vulkanik yang cukup tinggi.

Menurut Surono (2005), masalah-masalah utama dalam bidang kegempaan yang saat ini dihadapi oleh masyarakat Indonesia antara lain: (1) Tingkat kerentanan kejadian dinamika geologi destruktif di suatu wilayah (letusan gunung api, gempa bumi, tsunami serta gerakan tanah) dapat dipelajari dan diketahui (dengan pasti), tetapi hingga saat ini belum tersedia teknologi yang mampu menjawab dengan pasti perkiraan waktu kejadian dan besarnya daya rusak yang dapat ditimbulkan, (2) Tanggapan masyarakat terhadap bencana alam masih cenderung bersifat reaktif (bereaksi setelah terjadinya bencana) dari pada preventif, demikian pula kecenderungan penanggulangan bencana di Indonesia, (3) Masih banyak masyarakat yang bertempat tinggal di daerah rawan bencana, tetapi belum memahami tata cara penanggulangan dan mitigasinya, (4) Sosialisasi tentang penanggulangan dan mitigasi bencana (sebelum terjadi bencana) di wilayah yang tergolong rawan tetapi belum pernah mengalami bencana, kurang mendapatkan respon yang positif dari masyarakat setempat.

Tingkat Bahaya Gempa Bumi

Gambaran tentang aktifitas *seismic* yang terjadi pada suatu wilayah dapat dilihat pada peta pembagian wilayah gempa yang dikeluarkan oleh badan yang berkompeten misalnya Badan Meteorologi dan Geofisika. Peta tersebut membagi-bagi wilayah berdasarkan satu atau lebih parameter yang menunjukkan tingkat kerusakan yang terjadi pada suatu lokasi dengan kala ulang tertentu. Tingkat kerusakan akibat bencana gempa bumi dapat dinyatakan dalam bentuk fenomena kerusakan secara fisik (skala Mercalli, *Modified Mercalli*), atau parameter yang mewakili aktifitas getaran tanah. Tinjauan kekuatan gempa bumi untuk keperluan perancangan struktur mengacu pada percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) sebagai parameter tunggal yang mewakili tingkat kerusakan terjadi pada sistem struktur, sehingga pemetaan yang diperlukan adalah pembagian wilayah menurut besarnya PGA dengan kala ulang tertentu.

Tingkat Kerawanan Struktur

Tingkat kerawanan yang dimaksud adalah tingkat kerusakan yang mungkin terjadi pada suatu jenis struktur bangunan akibat pergerakan tanah yang ditimbulkan oleh adanya gempa bumi. Pada dasarnya struktur bangunan dapat dibagi dalam dua kelompok besar yaitu *Non Engineered Structures* (NES) dan *Engineered Structures* (ES). NES adalah jenis bangunan yang didirikan tanpa memperhitungkan beban-beban yang akan bekerja sehingga kekuatan dan kualitasnya tidak dapat dipertanggungjawabkan secara teknis, sedangkan ES merupakan bangunan yang dirancang dan digambar secara detail dengan memperhitungkan berbagai macam beban struktural termasuk di

dalamnya beban gempa, sehingga kelompok ini memiliki tingkat resiko keruntuhan lebih kecil.

Nilai Sosial Ekonomi Bangunan

Faktor resiko yang ketiga ini berhubungan erat dengan jumlah manusia yang melakukan aktifitas di dalam bangunan tersebut, termasuk juga "nilai" yang terkandung di dalamnya, baik ditinjau dari sudut pandang ekonomi/material maupun kebudayaan. Dengan kata lain seberapa besar kontribusi bangunan tersebut bagi kepentingan hidup masyarakat yang ada di sekitarnya ?

DAMPAK GEMPA BUMI

Berbagai fenomena alam yang dapat dijumpai sebagai akibat terjadinya gempa bumi, diantaranya:

Getaran Bumi

Pada saat terjadi gempa bumi, gelombang gempa dirambatkan dari sumber kejadian ke permukaan bumi. Pada saat gelombang ini mencapai permukaan, maka terjadilah getaran-getaran bumi yang berlangsung selama beberapa detik hingga beberapa menit. Kekuatan dan lamanya getaran pada suatu lokasi tertentu, tergantung dari besarnya dan jaraknya ke pusat gempa serta karakteristik lokasi itu sendiri. Meskipun mayoritas gelombang itu dirambatkan melalui batuan, tetapi bagian terakhir pada saat mencapai permukaan, media rambatan yang digunakan adalah tanah sehingga karakteristik tanah tersebut akan berfungsi sebagai "penyaring" dari gelombang gempa. Pada lokasi yang berdekatan dengan pusat gempa, getaran-getaran yang terjadi dapat mengakibatkan kerusakan berat pada struktur sipil di atasnya.

sesar, patahan/Graben

Pada saat gempa dan pelepasan energi, patahan yang telah ada akan bergeser sehingga struktur di atas patahan akan mengalami deformasi yang amat besar. Kadang-kadang menimbulkan graben dan amblesan yang cukup dalam sehingga kerusakan infrastruktur tidak dapat dihindari.

Perubahan Morfologi dan Elevasi Muka Bumi

Gempa tidak jarang menimbulkan perubahan morfologi dan elevasi muka bumi. Terjadinya amblesan dan longsoran besar dapat secara drastis menyebabkan perubahan bentuk muka tanah.

Longsoran

Gempa yang kuat dapat mengakibatkan longsoran pada lereng-lereng yang labil maupun pada konstruksi tanah yang masih baru. Longsoran ini sangat mungkin terjadi dimana lapisan tanah di bagian permukaan berada dalam keadaan lepas.

Liquefaction

Liquifikasi merupakan fenomena terjadinya pembuburan pada tanah, pada peristiwa ini getaran akibat gempa menyebabkan naiknya tekanan air pori di dalam tanah sehingga tanah kehilangan kuat gesernya dengan demikian juga kehilangan daya dukungnya. Tanah akan mengalir ke permukaan menyebabkan bangunan terangkat dan tenggelam setelah peristiwa itu, sedangkan lereng akan mengalir. Karena fenomena ini terjadi pada pasir yang jenuh, maka pada umumnya daerah yang mengalami liquifikasi adalah sekitar sungai atau pantai. Fenomena liquifikasi biasanya disertai dengan *sand boil* di per-

mukaan tanah, hal ini menunjukkan terjadinya tekanan air pori yang sangat tinggi di bawah tanah.

Tsunami

Tsunami merupakan fenomena di permukaan bumi dimana air laut naik akibat pergerakan dasar laut dalam arah vertikal. Pada umumnya saat di laut hanya berkisar satu meter, tetapi bilamana gelombang ini masuk ke daratan yang dangkal dan menyempit maka akan terjadilah tsunami. Gempa di Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 merupakan gempa disertai tsunami yang disebabkan pergerakan lempeng di pantai barat sumatra disertai gelombang pasang air laut yang mengakibatkan jumlah korban jiwa lebih dari 100.000 orang dan merupakan bencana terbesar dalam 100 tahun terakhir ini.

FAKTOR PENYEBAB KERUSAKAN STRUKTUR

Penyebab kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan setelah terjadinya gempa bumi, dapat dikelompokkan ke dalam tiga karakteristik utama yaitu:

Kekuatan dan Durasi Gempa

Ukuran gempa yang dapat langsung mempengaruhi struktur bangunan adalah intensitas lokal gempa, yaitu besarnya percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) di daerah yang dilanda gempa. Besar (intensitas) percepatan tanah pada saat dilanda gempa tidak sama di satu tempat dengan tempat yang lain, karena semakin jauh dari sumber gempa percepatan maksimum permukaan tanah akan semakin kecil. Intensitas lokal gempa di suatu daerah tergantung pada energi gempa dan jarak hiposenter. Terjadinya gempa bumi yang lebih lama durasinya

temu akan menimbulkan kerusakan yang lebih parah pada struktur bangunan.

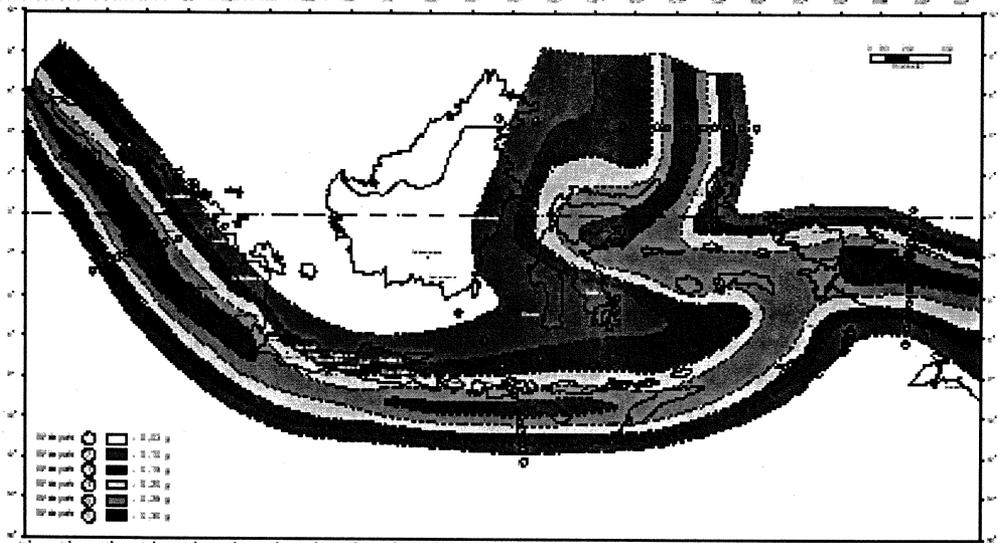
Kondisi Geologi dan Tanah Setempat

Pengalaman menunjukkan bahwa kondisi geologi dan tanah setempat sangat mempengaruhi gerakan permukaan tanah saat dilanda gempa. Wilayah Indonesia secara geologis merupakan pertemuan empat lempeng utama lapisan lithosphere yaitu lempeng Pasifik, India-Australia, Eurasia dan lempeng lautan philipina, selain itu Indonesia juga menjadi daerah bertemunya dua jalur gempa, yaitu *Circum Pasific Earthquake Belt* dan *Trans Asiatic Earthquake Belt*, dengan tingginya aktifitas *seismic* dan vulkanik maka kepulauan Indonesia termasuk salah satu

wilayah dengan tingkat resiko gempa cukup tinggi di dunia. Peta pembagian wilayah gempa di Indonesia disusun berdasarkan kemungkinan besarnya percepatan tanah maksimum dengan kala ulang tertentu. Dalam tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 03-1726-2002), Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	



Gambar 1. Peta Pembagian Wilayah Gempa dengan Kala Ulang 500 Tahun
sumber: SNI-1726-2002

Respon spektrum pada suatu wilayah gempa selain dipengaruhi oleh kondisi geologis juga sangat tergantung pada kondisi tanahnya, semakin keras lapisan tanah yang ada maka akan semakin kecil percepatan permukaan tanah yang terjadi

sehingga semakin kecil juga resiko kerusakan pada struktur bangunan. Pembagian tanah menurut tingkat kekerasannya berdasarkan rata-rata N-SPT dan kedalamannya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pembagian Kategori Kekerasan Tanah

Kedalaman Tanah Keras (m)	Kategori Tanah		
	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
5	$N > 20$	$10 < N < 20$	$N > 10$
10	$N > 30$	$20 < N < 30$	$N > 20$
15	$N > 40$	$30 < N < 40$	$N > 30$
20	$N > 50$	$40 < N < 50$	$N > 40$

sumber: Wangsadinata, 2000

Sistem Struktur dan Kualitas Bangunan

Struktur tahan gempa merupakan struktur yang terletak di daerah rawan gempa yang dirancang untuk mampu menahan beban lateral-inersial yang mungkin terjadi, dalam perancangan struktur juga perlu diperhitungkan keseimbangan antara kekakuan dan pelepasan energi. Filosofi bangunan tahan gempa adalah pada saat terjadi gempa kecil tidak boleh terjadi kerusakan apapun pada bangunan, pada saat gempa berkekuatan menengah bagian non struktur boleh terjadi kerusakan tetapi tidak boleh terjadi kerusakan pada bagian struktural, sedangkan pada saat terjadi gempa besar boleh terjadi kerusakan pada bagian struktur tetapi tidak boleh terjadi keruntuhan agar tidak terdapat korban jiwa.

Bangunan berbentuk asimetris yang tidak direncanakan dengan baik untuk menghadapi gempa, bisa dipastikan akan mengalami kerusakan cukup parah. Penambahan *bracing* pada suatu bangunan bisa membantu kestabilan bangunan pada saat terjadi gempa, sedangkan bangunan yang memiliki *soft storey* terutama pada lantai pertama dapat dipastikan akan mengalami kerusakan yang parah karena tidak memiliki cukup kekuatan untuk menahan gaya horisontal yang terjadi. Adanya *short columns* yang disebabkan kekangan dalam arah horisontal akan menyebabkan struktur menjadi getas dalam menahan gaya geser yang terjadi. Kualitas bahan bangunan dan pelaksanaan konstruksi juga perlu diperhatikan setelah dilakukannya perhitungan dan perancangan struktur secara detail. Pada struktur beton bertulang penggunaan mutu baja yang lebih tinggi pada saat pelaksanaan tidak selalu menjamin struktur lebih aman, karena jika

melewati batasan tertentu struktur akan bersifat *over reinforced* sehingga beton bertulang menjadi getas dan mekanisme keruntuhan terjadi secara mendadak, hal seperti ini tidak diinginkan pada struktur tahan gempa.

BANGUNAN SEKOLAH DI INDONESIA

Bencana gempa bumi yang hampir terjadi setiap tahun di Indonesia selalu menimbulkan kerusakan parah pada bangunan-bangunan *non engineered structures*. Rumah-rumah sederhana milik penduduk berpenghasilan rendah dan bangunan-bangunan sekolah merupakan jenis bangunan yang sering ditemui mengalami keruntuhan atau tingkat kerusakan yang parah.

Struktur bangunan sekolah perlu dirancang dengan kekuatan yang memadai terhadap bahaya gempa bumi mengingat: (1) Keruntuhan bangunan sekolah dapat mengakibatkan jatuhnya korban jiwa, terutama jika gempa bumi terjadi pada saat aktifitas pembelajaran berlangsung, (2) Bangunan sekolah merupakan prasarana pendidikan yang memegang peranan penting dalam meningkatkan kualitas generasi penerus, (3) Bangunan sekolah bisa digunakan sebagai tempat penampungan sementara bagi para korban bencana alam, (4) Biaya konstruksi untuk membuat struktur menjadi tahan gempa hanya berkisar 1,5 % dari biaya pembangunan gedung yang baru.

Tata Ruang dan Struktur Bangunan Sekolah

Perencanaan tata ruang bangunan sekolah di Indonesia mengacu pada Petunjuk Teknis untuk Konstruksi

Bangunan Pemerintah No. 295/KPTS/CK/1997 oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum. Dalam peraturan tersebut dijelaskan bahwa ukuran ruang kelas dan fasilitas lain untuk berbagai tingkatan sekolah dasar dan menengah disajikan dalam Tabel 3 berikut ini:

struktural, beton dengan kuat tekan sekitar 175 kg/cm^2 dan tulangan baja yang memiliki tegangan leleh 2400 kg/cm^2 digunakan sebagai kolom praktis berukuran $15 \times 20 \text{ cm}$ atau $12 \times 12 \text{ cm}$ dan balok ring atau lantai berukuran $15 \times 20 \text{ cm}$, sedangkan penutup atap pada umumnya terbuat dari bahan zinc-aluminium atau

Tabel 3. Tata Ruang Bangunan Sekolah Dasar dan Menengah.

	SEKOLAH DASAR	SEKOLAH LANJUTAN PERTAMA	SEKOLAH MENEGAH UMUM
KELAS	54 m^2	63 m^2	72 m^2
KANTOR	100 m^2	150 m^2	184 m^2
TOILET	$3 \text{ m}^2/\text{Kelas}$	$3 \text{ m}^2/\text{Kelas}$	$3 \text{ m}^2/\text{Kelas}$
LABORATORIUM	-	120 m^2	144 m^2
AULA	-	144 m^2	288 m^2
PERPUSTAKAAN	90 m^2	105 m^2	144 m^2

sumber: Boen, 2001

Kebanyakan bangunan sekolah dibangun satu lantai (lebih dari 85%), bangunan dua lantai berkisar 10% dan kurang dari 5% dibangun tiga lantai. Tinggi setiap lantai pada umumnya 3 meter untuk sekolah dasar dan 3,0 sampai 3,5 meter untuk sekolah lanjutan.

Bahan dan Teknologi Konstruksi

Bangunan-bangunan sekolah di Indonesia pada umumnya menggunakan bahan bangunan berupa kayu, batu-bata, beton bertulang, baja dan mortar. Kayu kelas kuat II banyak digunakan pada bagian atap dan bagian-bagian non-

asbestos. Dinding bangunan terbuat dari batu-bata berukuran $5 \times 10 \times 20 \text{ cm}$ atau $6 \times 12 \times 22 \text{ cm}$ dan mortar dengan perbandingan semen: pasir berkisar 1:5 sampai 1:10. Menurut Boen (2001), analisis 3D pada bentuk tipikal sekolah dasar (satu lantai, berdinding batu bata dengan kolom beton bertulang, kuda-kuda kayu dengan atap seng) menunjukkan hasil struktur dengan bentuk geometri dengan bahan seperti di atas akan mampu menahan gaya gempa pada percepatan muka tanah (PGA) maksimum 0,22 g yang berarti gaya gempa pada daerah gempa 4 dengan jenis tanah keras pada kala ulang 500 tahunan sesuai SNI-1726-2002.

Kerusakan pada Masa Lalu

Kerusakan pada bangunan-bangunan sekolah selalu terjadi pada saat bencana gempa bumi melanda berbagai tempat di Indonesia. Gambar 2. menunjukkan kerusakan-kerusakan yang terjadi di berbagai lokasi gempa.

Kerusakan-kerusakan pada bangunan sekolah pasca gempa bumi di Indonesia banyak disebabkan karena lemahnya sambungan pada struktur kayu, penulangan kolom dan balok yang kurang memadai, lemahnya detail sambungan beton bertulang, terlalu besarnya luasan dinding tanpa perkuatan struktural serta terjadinya *short coloumn effect*.



a. Liwa, 16 Februari 1994



b. Biak, 17 Februari 1996



c. Bengkulu, 4 Juni 2000



d. Pandeglang, 25 Oktober 2000

Gambar 2. Kerusakan Bangunan Sekolah Akibat gempa Bumi di Indonesia

KESIMPULAN

1. Kerusakan dan keruntuhan bangunan-bangunan sekolah pasca gempa bumi di Indonesia bukan disebabkan oleh lemahnya perencanaan bangunan namun lebih cenderung pada lemahnya pengawasan terhadap kualitas pekerjaan, sehingga banyak dijumpai pemakaian bahan bangunan yang tidak sesuai bestek serta kecermatan tukang yang tidak memadai dalam mewujudkan bangunan sesuai dengan dokumen perencanaan.
2. Pemeliharaan bangunan (*building maintenance*) kurang diperhatikan sehingga terjadi degradasi kekuatan struktur, misalnya terjadinya korosi pada baja struktur atau baut yang digunakan sebagai penyambung struktural.
3. Terdapat kesenjangan yang mencolok antara penguasaan ilmu dan kemampuan pelaksana di lapangan terutama buruh bangunan dan tukang yang ada di daerah terpencil, sehingga dokumen perencanaan tidak dapat diwujudkan dengan baik.
4. Perlu diberikan pelatihan pada para buruh bangunan dan tukang yang ada di daerah untuk meningkatkan kualitas hasil pekerjaannya.
5. *Rapid seismic assesment* perlu dilakukan untuk menilai tingkat kerawanan struktur terhadap bahaya gempa berdasarkan kondisi *existing structures*.

PUSTAKA

- Anonim, 1996, *The Assesment and Improvement of the Structural performance of Earthquake Risk Buildings*, New Zealand National Society for Earthquake Engineering.
- Anonim, 2002, SNI-1726-2002: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional.
- Benny Puspantoro, 2000, Bahaya Gempa: Resiko dan Penanggulangannya, *SIGMA*, XX (23), 11-13.
- Dott Sampurno dan Paulus P. Rahardjo, 2005, Pokok-Pokok Bahasan Gempa Bumi dan Tsunami Kasus Nanggroe Aceh Darussalam, *Prosiding: Diskusi Mitigasi pasca Bencana Alam Gempa Bumi dan Tsunami Aceh*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 18 Januari 2005.
- Gavarini, C., 2001, Seismic Risk in Historical Center, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, XXI, 459-466.
- Kardiyono Tjokrodijuljo, 1997, *Teknik Gempa*, Naviri, Yogyakarta.
- Surono, 2005, Mitigasi Bencana Geologi di Indonesia, Studi Kasus Hasil Pemeriksaan Bencana Gempa Bumi-Tsunami di Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam Tanggal 26 Desember 2004, *Prosiding: Diskusi Mitigasi pasca Bencana Alam Gempa Bumi dan Tsunami Aceh*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 18 Januari 2005.

Teddy Boen, 2001, Impact of Earthquake on School Buildings in Indonesia, *UNCRD International Workshop and Symposium: Earthquake Safer World in the 21*, Kobe.

Wiratman Wangsadinata, 1999, Capacity Design, a Concept to Ensure Seismic Resistance of Building Structures, *First National Conference on Earthquake Engineering*, ITB.

