

TANTANGAN DAN PELUANG RISET STRUKTUR ANTISIPASI GEMPA TEPAT GUNA di INDONESIA

Abdul Haris

Prodi Teknik Sipil, Universitas Mulawarman

Samarinda, Indonesia

omharis65@gmail.com

Abstrak

Sebagai negri *Ring of Fire* para peneliti di Indonesia mempunyai tantangan sekaligus peluang untuk melakukan penelitian-penelitian tepat guna terkait usaha-usaha mitigasi bencana. Saat ini, peraturan ketahanan gempa untuk bangunan gedung misalnya, merujuk nyaris 100% ke standar di Amerika Serikat yang umumnya dikembangkan dari kebutuhan untuk yang dominan untuk bangunan-bangunan tinggi. Sedang disisi lain, fakta-fakta di lapangan menunjukkan bahwa permasalahan di Indonesia masih banyak yang perlu didalami justru pada bangunan-bangunan bertingkat rendah atau sedang yang sering mempunyai karakteristik yang lebih variatif dan juga digunakan secara luas oleh masyarakat di negri berkembang seperti Indonesia. Penelitian-penelitian tepat guna akan memberi manfaat yang luas sehingga layak menjadi prioritas penelitian nasional. Permasalahan-permasalahan di lapangan perlu diinventarisir dan didalami melalui penelitian awal ini untuk mendapatkan masukan sedemikian peta-peta jalan-peta jalan penelitian yang bersifat tepat guna yang memberi manfaat langsung kepada masyarakat yang lebih luas dapat disusun.

Kata Kunci : Bangunan Bertingkat Rendah, Tepat Guna

Pendahuluan

Sejak tahun 1989 Indonesia terus memperbarui standar-standar terkait antisipasi bencana untuk struktur-struktur yang menopang bangunan gedung, jembatan dan instalasi teknik sipil lainnya. Standar Perencanaan Ketahanan Gedung yang terakhir merujuk sepenuhnya ke standar serupa di Amerika (ASCE). Standar Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung terakhir mengatur lebih banyak variasi bentuk bangunan gedung. Walaupun demikian, berbagai riset dan penjelasan dari teks-teks standar tersebut masih dominan berorientasi kepada bangunan-bangunan tinggi atau menengah.

Pola-pola analisis struktur yang dipaparkan peraturan atau standar umumnya lebih mudah dipahami jika merujuk ke bangunan-bangunan tinggi atau paling tidak bangunan-bangunan menengah. Disamping itu, asumsi-asumsi mengenai kualitas material dan metode konstruksi umumnya dapat dipenuhi oleh kontraktor-kontraktor besar maupun menengah dan dipersyaratkan jelas oleh konsultan-konsultan perencana dan dikelola oleh konsultan manajemen konstruksi dengan tenaga-tenaga yang cukup ahli dan terampil. Dengan asumsi-asumsi tersebut bangunan tinggi secara inheren mempunyai perilaku yang cukup antisipatif pada gempa-gempa kuat.

Disisi lain, pengembangan bangunan bertingkat rendah berupa prototipe-prototipe rumah tahan gempa yang dikembangkan terbatas oleh instansi-instansi teknis atau pusat-pusat penelitian di Indonesia pada umumnya masih bersifat eksklusif yang berbiaya tinggi untuk kantong masyarakat bawah dan bahkan untuk program-program masal rekonstruksi pasca bencana kuat.

Masyarakat di pedesaan yang justru banyak mengalami guncangan gempa-gempa kuat umumnya mempunyai kapasitas ekonomi seperti piramida sedemikian inisiatif mitigasi tidak dapat diharapkan segera tumbuh setelah program-program sosialisasi yang tidak memperhatikan kondisi nyata di masyarakat. Keluaran dari sosialisasi gempa pada tingkat antisipasi gempa melalui upaya-upaya fisik mempersenjatai bangunan-bangunan eksisting atau membangun baru menjadi tidak layal ditindaklanjuti jika melihat realita kapasitas ekonomi masyarakat akar rumput.

Tantangan Mitigasi Gempa Struktur Bangunan Bertingkat Rendah di Indonesia

Sementara ini DKI Jakarta yang dipenuhi bangunan-bangunan tinggi adalah daerah yang tidak berada dalam radius terdekat dari sumber-sumber gempa pada patahan-patahan aktif, kecuali kemudian dideteksi hidupnya sumber-sumber gempa pada patahan-patahan di daratan di sekitar DKI. Diskursus mengenai penerapan standar masih berpusat di DKI Jakarta dan Kota-kota besar lainnya yang memang dipenuhi gedung-gedung tinggi dan pencakar langit yang memang menjadi sasaran utama standar.

Seperti yang telah banyak didiskusikan oleh para peneliti dan insinyur, gedung-gedung tinggi mempunyai potensi lebih dimana

standar dapat diterapkan dengan konsisten. Semua pihak yang terlibat dalam pembangunan suatu gedung-gedung tinggi umumnya mempunyai kompetensi yang cukup, baik konsultan maupun kontraktornya. Termasuk didalamnya adalah cukup tersosialisasikannya SNI-SNI terkait struktur antisipasi gempa.

Di sisi lain, untuk struktur-struktur gedung tinggi umumnya juga mempunyai bentuk dan tipe struktur yang inheren dengan persyaratan-persyaratan pada standar. Sebagai contoh adalah perilaku struktur bangunan tinggi dengan konfigurasi standar yang didisain hanya untuk menerima beban grafitasi, umumnya secara otomatis akan menghasilkan proporsi sedemikian struktur rangka yang digunakan memenuhi persyaratan kolom kuat balok lemah sebagai persyaratan awal sebelum masuk ke pendetailan elemen-elemen struktur, jika struktur didisain menggunakan sistem rangka penahan momen. Gedung-gedung tinggi juga relatif sulit dijadikan obyek ekspresi arsitektural yang mengandung ketidakberaturan struktur yang signifikan dibanding bangunan-bangunan berlantai rendah.

Dinding-dinding nonstruktural pada bangunan tinggi relatif tidak mengganggu perilaku struktural yang diasumsikan sesuai dispesifikasikan pada standar. Berbeda dengan struktur-struktur bertingkat menengah dimana dinding-dinding yang diasumsikan dalam perhitungan tidak berkontribusi pada ketahanan struktur terhadap gempa pada kenyataan sering berkontribusi cukup signifikan sedemikian detail perilaku struktur menjadi berbeda antara kenyataan dengan perhitungan.

Untuk daerah-daerah yang beresiko berdampak signifikan, semakin dekat dengan sumber-sumber gempa dan semakin lemah kondisi tanah maka akan semakin ketat persyaratan-persyaratan dari standar. Untuk pendekatan yang 3 ditandai oleh persyaratan pendetailan yang semakin rumit yang umumnya tidak familiar dengan kompetensi kontraktor dan bahkan konsultan yang berhubungan dengan bangunan-bangunan rendah terlebih di daerah-daerah. Sebagai contoh, sistem struktur penahan momen yang populer digunakan pada struktur gedung-gedung tinggi di Indonesia, baik yang dikombinasikan dengan sistem dinding penahan maupun tidak, mensyaratkan detail penulangan cukup rumit berikut spesifikasi tulangan baja tertentu jika menggunakan material beton bertulang konvensional. Persyaratan-persyaratan standar yang dapat dipenuhi oleh kontraktor-kontraktor pembangunan gedung-gedung tinggi belum tentu dapat dilaksanakan oleh pemborong atau tukang-tukang bangunan tingkat rendah yang keahliannya dikembangkan dominan dari pengalaman-pengalaman selama di lapangan ketimbang melalui jalur pendidikan formal. Disisi lain, struktur bangunan rendah atau menengah banyak yang mempunyai konfigurasi sedemikian dinding bangunan dapat dimobilisasi sehingga mempunyai kontribusi cukup besar kepada ketahanan gedung terhadap gempa. Besarnya kontribusi tergantung bagaimana konfigurasi dinding sehingga pada suatu variasi konfigurasi dinding malah dapat memicu keruntuhan struktur. Kondisi buruk dalam usaha antisipatif terhadap gempa-gempa kuat suatu konfigurasi sudah dimuat secara detail pada

standar-standar yang ada. Walaupun demikian, persyaratan tersebut tidak tersosialisasikan dengan efektif ke masyarakat luas di daerah, bahkan termasuk pada dinas-dinas terkait. Gambar 1 menunjukkan fenomena keruntuhan getas struktur karena konfigurasi struktur yang tidak pas.

Untuk memberikan gambaran bagaimana struktur bangunan rendah di Indonesia dalam menghadapi gempa kuat, penulis mencoba menginventarisir beberapa kejadian gempa kuat kondisi beberapa diantaranya. Terdapat bangunan bertingkat rendah yang tetap berdiri kokoh, rusak minor atau bahkan rusak berat dan runtuh. Pendekatan yang dilakukan dibatasi hanya mengevaluasi dari aspek ketahanan gempa dari struktur-struktur yang ditinjau.

Evaluasi pertama adalah Desa Kuala Lempuing di Kota Bengkulu pasca gempa kuat yang terjadi di Bengkulu dengan magnitudo 7.3. Pada 4 Juni 2000. Saat itu gempa yang terjadi merupakan gempa terbesar selama 20 tahun terakhir, yaitu sejak gempa tahun 1979. Pusat gempa berada pada zona tumbukan lempeng Jawa-Sumatera. Akibat gempa itu, 85 orang dinyatakan tewas. Kampung Kuala Lempuing yang terletak di daerah pantai menderita kerusakan yang parah, termasuk diantaranya adalah Masjid desa dan Puskesmas setempat.





Gambar 1. Keruntuhan getas struktur bangunan bertingkat rendah (sumber : Koleksi pribadi)

Diduga terjadi likuafaksi terbatas di area tersebut dimana tiang-tiang yang merupakan struktur utama masjid setempat turun bervariasi 0.6 sekitar 1 meter sedemikian banyak bagian masjid runtuh dan tidak dapat digunakan kembali pasca gempa. Struktur Masjid Kuala Lempuing merupakan struktur bertiang empat dengan dinding-dinding para perimeter ruang utama masjid, tipe struktur yang banyak ditemukan di Indonesia. Fenomena likuafaksi terbatas di desa tersebut ditandai oleh keruntuhan-keruntuhan perumahan dan gedung-gedung di sekitar lokasi karena penurunan daya dukung pondasi pada saat gempa. Ditemukan jalan-jalan lingkungan di kampung tersebut mengalami kerusakan dengan pola seperti bergelombang.

Pembangunan kembali masjid dan puskesmas yang runtuh mengikuti pola struktur yang lama tetapi dengan kolom-kolom yang dipersenjatakan dengan pendetailan tulangan khusus untukantisipasi gempa kuat di lokasi yang memang sangat rawan gempa seperti Kota Bengkulu. Dinding-dinding masjid dan puskesmas juga dikeang sedemikian rupa untuk meningkatkan kinerja untuk mengantisipasi gempa ke depan. Untuk

mengantisipasi dugaan likuafaksi terbatas, pondasi telapak yang ada diperkuat dengan pondasi sumuran. Pengamatan lapangan di sekitar lokasi menunjukkan bahwa struktur bangunan atau gedung dengan pondasi sumuran yang masiv umumnya berkinerja baik saat gempa kuat datang.

Evaluasi kedua adalah Kota Banda Aceh dimana ditemukan bahwa diantara puing-puing reruntuhan, Masjid Baitur Rahman pasca gempa sangat kuat yang diikuti tsunami di Aceh (2004) masih tegak berdiri. Masjid ini menjadi pusat perhatian karena kinerja strukturnya. Observasi penulis menunjukkan masjid ini nyaris tidak mengalami kerusakan struktur kecuali beberapa bagian minor seperti pasangan diatas balok lintel.. Kerusakan cukup signifikan hanya pada menaranya saja. Kalau kita batasi pembahasan pada sistem struktur penahan gempa, dari inspeksi visual dapat ditemukan bahwa sistem struktur penahan gempa ditopang oleh dinding dan tiang-tiang dengan dimensi sangat besar. Selama gempa kuat, dengan magnitudo sekitar 9 dapat diprediksi bahwa elemen-elemen struktur yaitu dinding-dinding utama tidak mengalami plastifikasi atau tetap elastis. Hanya menara yang mengalami platifikasi yang ditandai oleh deformasi permanen yang cukup besar serta diikuti kerusakan elemen-elemen dari struktur menara.

Perbaikan hanya terpusat pada rekonstruksi menara masjid. Struktur dari bangunan utama masjid hanya mendapat perbaikan minor. Kasus struktur gigantik dan masiv Masjid ini juga terlihat saat penulis dan tim menginspeksi Benteng Malborough di Bengkulu. Seperti masjid Baitur Rahman, benteng juga ditemukan nyaris tanpa kerusakan berarti saat gempa di Bengkulu

tahun 2000 karena strukturnya yang juga sangat masiv.

Evaluasi yang ketiga adalah sebuah masjid di Kabupaten Lombok Utara saat Gempa bumi ini berpusat di sekitar wilayah perbatasan Kabupaten Lombok Utara dengan Kabupaten Lombok Timur. Guncangan gempa bumi dirasakan di seluruh Pulau Lombok, Pulau Bali, Pulau Sumbawa, Pulau Madura, Pulau Jawa bagian timur serta sebagian Pulau Sumba dan Pulau Flores. Guncangan gempa bumi terkuat berada di seluruh wilayah Pulau Lombok berupa guncangan VI-VIII MMI terutama Lombok Utara. Sedangkan di Pulau Bali dan Pulau Sumbawa bagian barat dirasakan kuat berupa V-VI MMI. Setelah gempa utama 7,0 M_w pada pukul 19.4 WITA hingga tanggal 10 Agustus 2018 pukul 07.00 WITA telah terjadi 447 gempa bumi susulan, 18 diantaranya dirasakan dengan gempa susulan terbesar 6,2 M_w pada 9 Agustus 2018, pukul 13.25 WITA.

Gempa bumi ini berpusat di darat utara Gunung Rinjani, tak jauh dari pusat gempa awalan 6,4 M_w akhir Juli lalu. Dengan memperhatikan lokasinya dan kedalaman hiposenter, maka gempa bumi ini merupakan jenis gempa bumi dangkal akibat aktivitas Sesar Naik Busur Belakang Flores (*Flores Back Arc Thrust*) dengan mekanisme pergerakan naik (*thrust fault*)^[8]. Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyebutkan 259 orang meninggal dunia,^{[9][10]} 1.033 luka berat dan 270.168 warga mengungsi.. Kerugian rumah mencapai 22.721 unit yang rusak.



Gambar 2 Lokasi Masjid Runtuh yang rata dengan tanah di Lombok Utara. (Sumber : Koleksi pribadi)

Gempa di Lombok ini mempunyai karakter khusus dimana gempa susulan yang terjadi intensif dan beberapa gempa masuk katagori gempa kuat. Pola umum yang tercatat dari gempa-gempa kuat di Nusantara adalah gempa kuat yang diikuti oleh gempa-gempa susulan yang lebih lemah dan berangsur melemah. Pola gempa seperti ini yang menjadikan butir butir filosofi disain gempa tersebut di atas perlu dikembangkan lebih lanjut dalam menanggapi fenomena gempa repetitiv. Laporan dari para relawan pasca gempa Lombok 2018 menunjukkan bahwa banyak bangunan yang akhirnya roboh setelah mendapat guncangan gempa repetitiv dalam rentang waktu yang masih dalam periode tanggap gempa. Guncangan gempa kuat pertama membuat bangunan-bangunan rusak. Guncangan kuat selanjutnya membuatnya roboh.

Butir ketiga dari filosofi disain menjadi dipertanyakan kembali untuk kasus gempa repetitiv yang masih dalam rentang waktu tanggap bencana. Seberapa jauh struktur dapat rusak tetapi tidak membahayakan jiwa manusia jika sesaat setelah gempa kuat terjadi lagi gempa yang tidak kalah kuat. Masjid yang runtuh dibangun kembali dari nol dengan pendekatan yang perlu

dimodifikasi menyesuaikan ancaman gempa kuat yang bersifat reptitiv.

Obeservasi ke empat adalah Masjid Agung Darusssalam di Kota Palu, Sulawesi Tengah, saat diguncang gempa dengan Magnitudo 7,4 yang berpusat di Donggala pada Jumat taggal 28 September 2018. Struktur masjid tidak mengalami keruntuhan tetapi kubah Masjid roboh akibat guncangan gempa kuat. Robohnya kubah, jembatan, dan bangunan lain yang posisinya di tepi Pantai Talise dikarenakan kekuatan gempa, bukan diakibatkan oleh tsunami setinggi 1,5 sampai dengan 3.0 meter di Kota Palu. Gempa yang cukup tinggi mencapai 7,4 diikuti dengan puluhan gempa susulan yang mengguncang Sulawesi Tengah.

Pemetaan Riset Tepat Guna

Salah satu bentuk usaha mitigasi bencana adalah perencanaan struktur antisipativ terhadap probabilitas fenomena gempa kuat. Kegiatan perencanaan struktur antisipativ pada gempa dapat dikatagorisasikan sebagai berikut

1. Mereduksi efek dari gempa dengan mengatur persentuhan struktur ke tanah yang menjadi sumber percepatan gempa dengan menginstalasi *base isolator* atau instrumen-instrumen lainnya yang sejenis.Reduksi juga dapat dilakukan dengan menggunakan elemen-elemen struktur dari material yang ringan atau didisain menjadi ringan.
2. Menahan gempa dengan mengembangkan struktur secara maksimal dengan pendekatan kekuatan elastis
3. Merekayasa struktur sedemikan dapat lincih dalam mengantisipasi gempa tanpa harus mengerahkan kekuatan maksimal, cukup dengan membuat struktur dapat menyerap energi secara efektif.

Diskusi dan riset-riset terbatas terkait antisipasi gempa di Indonesia pada umumnya didominasi oleh pendekatan yang ketiga. Penugasan suatu bagian dari elemen struktur sebagai *fuses* dalam rangka menyerap energi menjadi perhatian utama kalangan riset antisipasi gempa, termasuk di Indonesia.

Sendi-sendid plastis pada elemen-elemen struktur sistem panahan momen, daerah-daerah plastis pada sistem dinding geser serta link adalah contoh-contoh fuses dalam rangka disipasi energi. Riset terkait topik-topik *fuses* diwakili oleh kinerja yang direpresentasikan oleh *hysteresis loop* dari *fuses* yang ditinjau. Sebagai contoh, hasil-hasil riset elemen-elemen pada material beton bertulang pada daerah sendi plastis pada umumnya akan menghasilkan detail penulangan yang lebih kompleks yang tidak familiar dengan praktek-praktek penulangan konvensional dan juga meningkatkan biaya cukup signifikan bagi kalangan masyarakat berpenghasilan rendah yang sensitif pada biaya.

Semakin tinggi KDS (Katagori Disian Struktur) akan diikuti oleh bertambah ketatnya persyaratan yang juga meliputi detail penulangan. Sejak SNI 2012, KDS diintrodusir agar persyaratan-persyaratan yang diterapkan proporsional dengan level resikonya untuk menghindari penanganan yang berlebihan.

Pada daerah-daerah dengan KDS tinggi, persyaratan-persyaratan *detailing* relatif dapat diterima jika diterapkan pada gedung-gedung tinggi. Disisi lain, daerah-daerah yang berada pada kontur gempa yang tinggi umumnya bukan kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan Medan tetapi justru banyak yang merupakan kota-kota yang tidak

terlalu besar seperti Banda Aceh, Padang, Bengkulu di Barat sampai Palu dan Nabire di timur Indonesia.

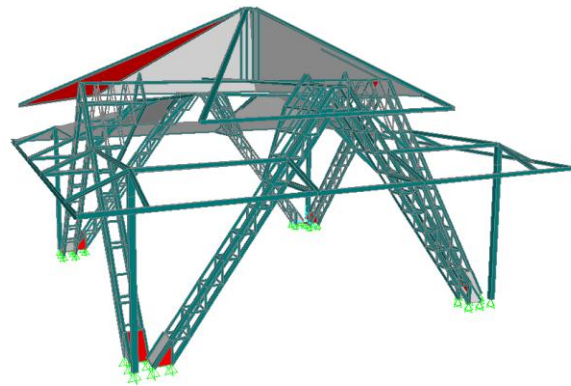
Kondisi di atas membutuhkan penyikapan yang tepat dengan mengembangkan penelitian-penelitian tepat guna yang memanfaatkan semaksimal mungkin potensi daerah-daerah rawan atau sangat rawan gempa. Sebagai contoh, persyaratan-persyaratan *detailing* pada bangunan rangka penahan momen dapat dihindari dengan menggunakan sistem kolom dan balok merupakan bagian tidak terpisahkan dari sistem dinding penahan yang dimodifikasi sedemikian rupa dapat mempunyai perilaku lebih detail dengan sejumlah inovasi. Daktilitas dinding ditingkatkan tetapi dengan usaha kuat untuk tidak terjebak pada keluaran yang membutuhkan *detailing* yang ketat dan sulit diimplementasikan di lapangan.

Sejalan dengan tersedia material berlimpah di daerah-daerah tersebut di atas, sistem struktur antisipasi gempa dapat dikembangkan dengan mendorong struktur ke sisi perilaku elastik pada saat gempa yang bersifat repetitiv seperti di Lombok. Perilaku sistem penahan tidak berupa sistem rangka penahan momen yang membutuhkan detail-detail khusus yang rumit tetapi menjadi perilaku rangka batang dengan bentuk dasar segitiga sedemikian dinding menjadi tidak terlalu masiv walaupun material tersedia melimpah.

Kinerja struktur dikembangkan berdasarkan standar tingkatan kinerja struktur yang diilustrasikan oleh FEMA P-750 2009. Selama tanggap darurat pasca gempa dibutuhkan struktur-struktur yang tetap dapat beroperasi mulai aktifitas terkait periode

tanggap darurat, mulai dari fungsi pusat pengendalian sampai sebagai gudang logistik, tempat pengungsian dan lain-lain

Gambar 3 menunjukkan prototipe struktur bangunan serba guna tidak bertingkat untuk kepentingan tanggap darurat pada daerah yang mengalami gempa repetitiv. Struktur mengkombinasikan sistem panahan dengan bentuk dasar segitiga sedemikian deformasi dapat dikontrol untuk kemudian dikombinasikan dengan material batu gunung atau kali yang dikekang.



Gambar 2 Prototipe Struktur Bangunan serba Guna untuk aktifitas tanggap darurat (Sumber : Koleksi pribadi)

Penelitian-penelitian tepat guna seyogyanya juga mempertimbangkan aspek-aspek non teknis yang juga meliputi transportasi elemen-elemen yang perlu pabrikasi berikut instalasi di lapangan. Perlu dikembangkan metode-metode yang dapat dikerjakan di lokasi dengan fasilitas minim dan keterampilan tukang atau pekerja yang juga terbatas.

Kesimpulan

Dari paparan di atas dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. Selain penelitian-penelitian yang mengikuti *trend* penelitian-penelitian internasional perlu juga diusahakan penelitian-penelitian yang bersifat tepat guna, khas untuk permasalahan-permasalahan di Indonesia.
2. Penelitian-penelitian tepat guna ditujukan pada bangunan-bangunan tingkat rendah sampai dengan menengah termasuk rumah sederhana dan juga sarana dan prasarana wilayah seperti jembatan-jembatan pedesaan atau daerah terpencil.
3. Fokus penelitian juga dialokasikan untuk bangunan-bangunan vital saat pasca gempa seperti sekolah-sekolah, masjid-masjid dan rumah ibadah lainnya serta bangunan-bangunan yang diharapkan menjadi tempat aktivitas tanggap darurat.
4. Sesuai dengan terminologi tepat gunanya, penelitian diharapkan dapat memanfaatkan komponen-komponen material yang melimpah di daerah-daerah rawan atau sangat rawan gempa, tidak terpaku pada material-material yang akrab dengan dunia konstruksi di kota-kota besar. Walaupun demikian penggunaan elemen-elemen yang strategis dapat digunakan agar kinerja antisipasi gempa dapat dikontrol dengan ketat sambil dikombinasikan dengan elemen-elemen yg menggunakan material setempat.
5. Kegiatan penelitian juga termasuk mengembangkan pedoman-pedoman teknis yang mempunyai kelayakan tinggi untuk diterapkan di daerah-daerah terpencil. Pedoman teknis yang disediakan perlu disajikan dalam bentuk yang lebih sederhana dan dapat dikembangkan dan diturunkan menjadi sejumlah prototipe-prototipe struktur yang dapat diterapkan

langsung oleh tenaga-tenaga di pelosok yang banyak diantaranya adalah daerah yang sangat rawan gempa.

Pustaka

- Anonim. (2012). ASCE/SEI 7-10, *Minimum design loads and other structure*.
- Anonim. (2012). FEMA P-750 2009, *National earthquake hazards reduction program (NEHRP)*
- Anonim. (2012). SNI-1726-2012 : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.