

...towards a safe and just world



New Zealand's International  
Aid & Development Agency

# **MENINGKATKAN DAYA TAHAN TERHADAP GEMPA PADA GEDUNG KECIL, RUMAH, DAN PRASARANA DAERAH**

**Gregory A. J. Szakats**

BE(Civil), MIPENZ (Civil & Struktural), MIStructE, IntPE

**AC Consulting Group Limited**

Consulting Engineers,

P.O. Box 2934,

Wellington,

New Zealand.

[www.acconsulting.co.nz](http://www.acconsulting.co.nz)

Tel: (64 4) 472 3377

## ***Siapakah yang mensponsori buklet ini?***

Bank Dunia, melalui kantor Dana Bantuan Multi-Donor mereka di Banda Aceh, Indonesia, melihat perlu adanya sebuah “Pedoman Lapangan” untuk membantu para insinyur KDP meningkatkan standar ketahanan terhadap gempa pada rumah2 dan prasarana daerah.

Persiapan buklet ini didanai oleh The New Zealand Agency for International Development (NZ Aid).

## **Pemberitahuan**

Pengetahuan dan naishat yang terdapat dalam buklet ini disediakan untuk membantu melatih insinyur professional dalam meningkatkan standar ketahanan terhadap gempa. Semua keterangan yang terdapat di dalam buku ini telah diteliti secara seksama untuk menjamin ketepatan. Informasi ini dimaksud untuk dipergunakan oleh insinyur professional dan tidak diniatkan untuk menjadi pengganti nasihat langsung dari insinyur di lapangan. AC Consulting Group Ltd tidak bertanggung jawab jika terjadi sesuatu.

## ***Tujuan Buklet Ini***

Buklet ini menyajikan beberapa saran untuk memperbaiki daya tahan bangunan terhadap gempa bumi.

Saran-saran yang dimaksud mencakup hal-hal dibawah ini:

- Prinsip-prinsip dasar pembangunan gedung tahan gempa.
- Panduan untuk memperbaiki dan memperkuat bangunan-bangunan dan prasarana umum yang dibangun oleh arsitek.
- Panduan untuk memperbaiki dan memperkuat bangunan-bangunan dan prasarana umum yang tidak dibangun oleh arsitek
- Panduan untuk memperbaiki kualitas bangunan (bahan baku dan tenaga kerja) dan pemantauan pembangunan (kami sangat mengutamakan kualitas bahan baku dan pengawasan pembangunan yang teliti).

Buku Panduan ini meliputi jenis-jenis bangunan sebagai berikut:

- Rumah tradisional satu lantai (dengan tembok batako dan tiang-tiang praktis).
- Gedung sarana umum skala kecil (maksimal dua lantai, daya tampung maksimal 50 orang).
- Prasaran umu lainnya.

Perbaikan-perbaikan yang disarankan tidaklah sulit dilaksanakan, dan juga tidak mahal. Tapi dibutuhkan perubahan cara berpikir untuk bisa menerima beberapa dari perubahan yang disarankan.

Sebagian besar dari perbaikan tersebut akan dilakukan sedikit demi sedikit; tapi lambat laun, kenutungan dari semua perubahan tersebut akan terlihat dengan jelas.

Saran-saran yang terdapat di dalam buklet ini juga akan membantu anda mendidik para mandor dan tukang bangunan untuk memperbaiki cara kerja mereka dan mengajarkan mereka untuk menolak mutu kerja yang rendah.

KAMI juga mendukung anda untuk mendidik pemilik rumah tinggal maupun pemilik bangunan usaha mengenai pentingnya bangunan tahan gempa.

Salinan dari buklet ini dapat di-download di: [www.acconsulting.co.nz](http://www.acconsulting.co.nz)

**Rancangan Spesifik untuk bangunan yang lebih besar tidak dicakupi buklet ini.**

Walaupun buklet ini tidak mencakupi gedung-gedung yang lebih dari dua lantai dan gedung yang memiliki fungsi khusus, prinsip dasar perancangan gedung tetapa berlaku pada gedung-gedung tersebut.

Kami sangat menyarankan bahwa para pembangun berkonsultasi dengan seorang insinyur yang berpengalaman sebelum dibangunnya gedung-gedung besar di daerah rawan gempa karena banyak sekali aspek lain dalam pembangunan gedung tahan gempa yang harus dipertimbangkan.

Elemen yang akan sangat dipertimbangkan oleh insinyur ahli bangunan tahan gempa adalah prinsip *ductility* (kemampuan sebuah structure untuk berubah bentuk sambil tetap bisa menahan beban yang harus ditahan dan mengurangi pengaruh goncangan pada saat gempa dan setelahnya) dan kemampuan menaati peraturan-peraturan rancangan dengan setepat-tepatnya agar bangunan tersebut memenuhi semua ketentuan prinsip *ductility*. Perancang gedung harus mengikuti peraturan-peraturan yang sudah ada ketika merancang gedung yang lebih besar. Banyak perguruan tinggi yang menawarkan kelas-kelas yang mengajarkan pembangunan gedung tahan gempa.

## ***Prakata***

### ***Tujuan Dari Teknik Pembangunan Anti Gempa***

Berikut ini adalah tujuan dari teknik pembangunan anti gempa:

- Menghindari adanya korban jiwa yang disebabkan oleh runtuh bangunan pada saat terjadinya gempa. (sebuah gempa *design* atau gempa *ultimate limit state*)
- Mengurangi korban luka-luka dan kerusakan bangunan (termasuk isinya) yang disebabkan oleh gempa sedang (gempa *serviceability limit state*).  
Prasarana/Gedung seharusnya bisa dilangsung digunakan setelah dibersihkan.
- Mengurangi kerusakan dan gangguan terhadap penghuni daerah yang dilanda gempa sedang dan ringan.
- Mempertahankan kegunaan utama dari prasarana/gedung.
- Melindungi orang yang berada di luar gedung.
- Melindungi property dan lingkungan di sekitarnya.

Note:

- Cara terbaik untuk melindungi nyawa manusia adalah memastikan bahwa gedung tidak runtuh.
- Kebanyakan bangunan tradisional dibangun menggunakan bahan yang lemah dan kemungkinan akan runtuh secara tiba-tiba.
- Ada pertanda tingkat daya tahan yang jelas untuk bangunan rapuh; paling rendah: sedikit kerusakan yang terlihat; paling tinggi: kemungkinan runtuh total.
- Kerapuhan tiba-tiba adalah penyebab utama dari keruntuhan dan harus dicegah.

### ***Pembangunan Tahan Gempa***

Syarat-syarat yang harus dipenuhi sebuah gedung tahan gempa adalah sebagai berikut:

- Dibentuk dan disusun dengan baik.
- Dirancang secara baik dan teliti.
- Dibangun dengan baik.

Jika salah satu dari elemen diatas lemah, maka bangunan yang dibangun tidak akan menjadi bangunan tahan gempa.

### ***Apakah Gempa Sedang?***

The New Zealand Code menjabarkan sebuah gempa sedang sebagai gempa berskala Richter 6.5 yang terjadi pada jarak 20km dari lokasi.

Kode-kode lain punya definisi yang berbeda. Ini sama dengan This Modified Mercalli Intensity 8, dengan penambahan kecepatan jarak tempuh darat kira-kira 0.50g ( $\pm$  0.15g).

MM8 dijabarkan sebagai berikut: *Kerusakan ringan pada bangunan yang dirancang secara khusus; kerusakan sedang yang disertai oleh beberapa bagian kecil yang runtuh pada sebuah bangunan biasa; kerusakan tingkat tinggi pada bangunan yang dibangun secara sembarangan.*

*Runtuhnya cerobong asap rumah maupun pabrik, tiang-tiang, monument, tembok; perabotan rumah yang berat terpelanting.*

### ***Gempa Besar Sumatra-Andaman (26 Desember 2004)***

**Di Banda Aceh, gempa ini termasuk gempa sedang (hal ini dinilai dari guncangan dan tingkat kerusakan).**

- Gempa 2004 di Banda Aceh dinilai lebih rendah dari pada gempa “design” menurut definisi: SNI 03-1726 (lihat Rekomendasi No. 24)
- Sebagian besar dari bangunan satu dan dua lantai selamat dari gempa, termasuk beberapa yang dibangun secara tradisional.
- Gempa 2004 menyebabkan banyak keretakan serta kerusakan-kerusakan lain pada gedung.
- Gempa 2004 seharusnya dipandang sebagai sebuah peringatan.
- Gedung-gedung yang telah mengalami keretakan tidak akan selamat pada gempa berikutnya.
- Akibat gempa tersebut sebaiknya dipandang sebagai sebuah kesempatan untuk memperbaiki kualitas bangunan tradisional dan non-tradisional.

### **Hasil Pengamatan Gedung-gedung yang Selamat di Aceh:**

Hasil pengamatan dari sejumlah besar bangunan satu dan dua lantai (sebagian selamat, sebagian runtuh) di Aceh menunjukkan bahwa:

- Bangunan kayu dapat bertahan dengan baik.
- Bangunan berkerangka besi dapat bertahan dengan baik (dengan beberapa pengecualian)
- Bangunan semen yang diperkuat dapat bertahan dengan baik
- Bangunan batako dengan sambungan dan rancangan yang tepat dapat bertahan dengan baik.
- Bangunan batako tanpa sambungan dan rancangan yang tepat tidak bertahan dengan baik. – ini mencakupi kebanyakan rumah-rumah kelas menengah yang lumayan baru dibangun.
- Bangunan semen yang tidak diperkuat secara baik tidak bertahan dengan baik.
- Bangunan batako yang tidak dirancang dengan baik tidak bertahan baik.

Kesimpulannya adalah: perubahan kebiasaan dari menggunakan bahan tradisional ke bahan yang lebih modern malah mengurangi daya tahan terhadap gempa.

Jika ingin membangun gedung dengan batako atau semen yang diperkuat kerangka besi, maka perlu adanya pengetahuan mengenai teknik pembangunan yang baik dan benar.

### **Ucapan Terima Kasih**

Kami mengucapkan segenap terima kasih kami kepada the Earthquake Hazard Centre, School of Architecture, Victoria University of Wellington, New Zealand dan the New Zealand Society for Earthquake Engineering karena telah mengizinkan penggunaan materi penelitian mereka dalam buklet ini.

# Saran-saran untuk Memperbaiki Daya Tahan Bangunan Terhadap Gempa

## Prinsip Rancangan secara umum:

Saran No. 1: Bangunan harus bisa menahan tekanan horizontal dari arah mana pun .....	6
Saran No. 2: Tekanan horizontal harus disalurkan ke tanah .....	10
Saran No. 3: Konsep alternatif untuk melawan beban lateral (dari samping) .....	18
Saran No. 4: Merancang bangunan agar dapat menahan tekanan .....	21
Saran No. 5: Pastikan semua unsur bangunan terikat dan tersambung dengan baik. ....	24
Saran No. 6: Hindari kelemahan struktural dalam perancangan gedung .....	25
Saran No. 7: Hindari bahan yang rapuh dan tindakan yang tidak bertanggungjawab .....	28
Saran No. 8: Lokasi bangunan dan fondasi.....	29

## Sistem Struktural Yang Biasa Digunakan Untuk Menahan Tekanan Gempa.

Saran No. 9: Tembok semen yang diperkuat kerangka .....	30
Saran No. 10: Kerangka <i>Penahan momentum</i> .....	32
Saran No. 11: Kerangka Tahan Ketegangan .....	33
Saran No. 12: Kerangka tahan ketegangan dan tekanan .....	35
Saran No. 13: Lantai Diafragma .....	37
Saran No. 14: Perancangan unsur-unsur non-struktural.....	42

## Beberapa Masalah Spesifik Dalam Perancangan

Saran No. 15: Memahami tembok batako .....	44
Saran No. 16: Hindari adanya lantai/tingkat yang lemah .....	48

## Tipe-tipe Bangunan Tertentu

Saran No. 17: Meningkatkan kualitas bangunan komersil dengan bagian depan yang terbuka .....	51
Saran No. 18: Meningkatkan kualitas rumah tradisional .....	53

## Perancangan Bangunan Semen Berkerangka

Saran No. 19: Perancangan Bangunan Semen Berkerangka .....	54
--	----

## Bahan Bangunan dan Kualitas Konstruksi

Saran No. 20: Bahan bangunan harus berkualitas tinggi .....	58
Saran No. 21: Pemeriksaan dan pengawasan konstruksi .....	59
Saran No. 22: Pelatihan Buruh Bangunan .....	60
Saran No. 23: Konstruksi Beton .....	61

## Bacaan Tambahan

Saran No. 24: Referensi serta bahan bacaan tambahan.....	64
--	----

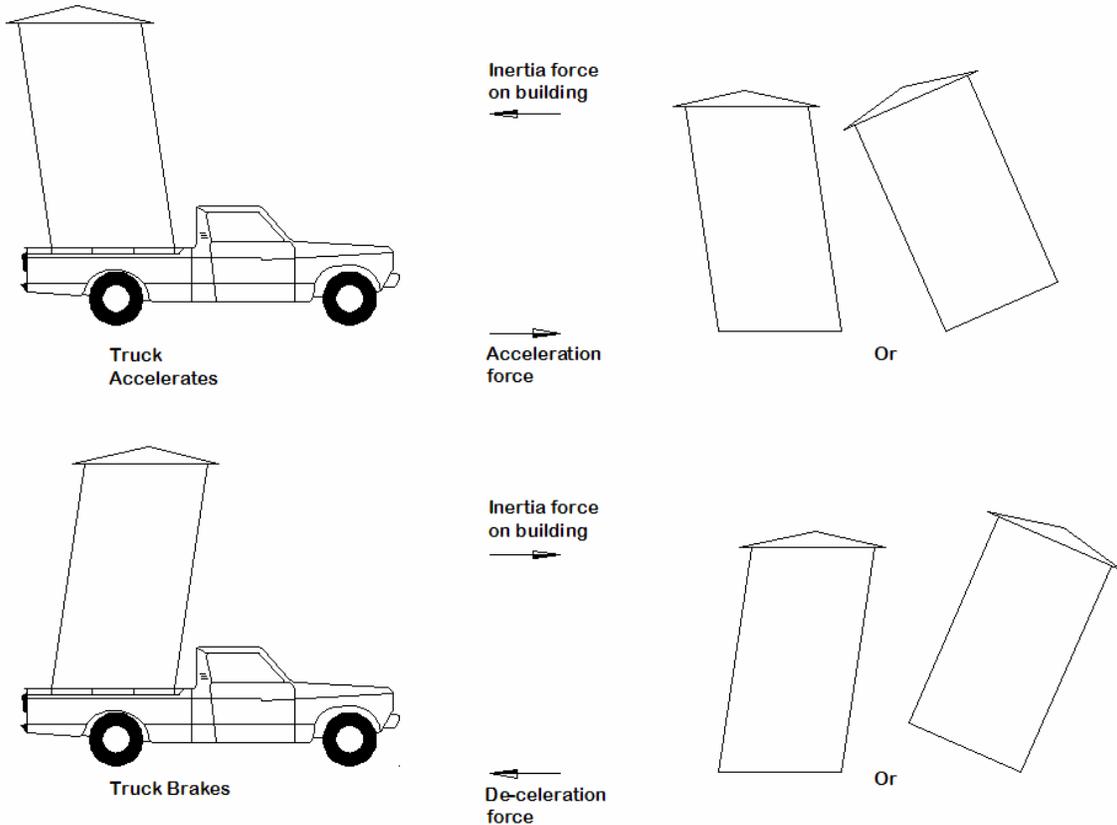
## **Saran No. 1: Bangunan harus bisa menahan tekanan horizontal dari arah mana pun**

### **Beban Gempa**

- Gempa menyebabkan guncangan pada tanah.
- Tingkat keparahan beban gempa tergantung pada lokasi – periksalah peraturan mengenai standar bangunan di daerah anda.
- Guncangan tanah dapat menambah beban pada unsur-unsur bangunan, guncangan tanah yang lebih kuat atau unsur-unsur bangunan yang lebih besar dapat menambah beban.
- Beban gempa cenderung horizontal (walaupun tetap ada komponen vertical)
- Gempa dapat menyerang dari arah manapun.
- Beban gempa akan datang bersiklus.
- Bayangkan jika anda berdiri di bak sebuah truk yang tiba-tiba bergerak cepat, mengerem mendadak, dan bergerak lagi, berulang-ulang kali. Akan sangat sulit untuk tetap bisa berdiri.
- Sekarang coba bayangkan sebuah gedung berada di bak truk tersebut. Kebanyakan bangunan batako dengan semen lemah akan langsung runtuh. Gedung tinggi dan kurus akan langsung rubuh.
- Bangunan yang tak terlalu berat, proporsional, dan dengan sambungan yang baik dengan fondasinya akan tetap utuh.
- Harus diingat bahwa sebuah bangunan yang telah memenuhi semua syarat bangunan tahan gempa belum tentu dapat bertahan melawan tsunami.

### **ILUSTRASI (DARI KIRI KE KANAN)**

- 1. TRUK MENAMBAH KECEPATAN**
- 2. TEKANAN KELEMBAMAN (INERTIA FORCE) PADA GEDUNG**
- 3. TEKANAN KECEPATAN (ACCELERATION FORCE)**
- 4. TRUK MENEREM**
- 5. TEKANAN KELEMBAMAN (INERTIA FORCE) PADA GEDUNG**
- 6. TEKANAN YANG DIAKIBATKAN PENGURANGAN KECEPATAN SECARA TIBA-TIBA (DE-CELERATION FORCE)**



## Menahan Beban Gempa

Agar dapat menahan beban dari arah manapun, bangunan harus bisa menahan beban dari dua sudut orthogonal. Perancang bangunan biasanya akan mempertimbangkan factor x dan y secara terpisah. Beban gempa dari arah manapun dapat dijadikan komponen x dan y yang dapat ditahan oleh bangunan jika beban datang dari dua arah tersebut.

Beban dapat ditahan oleh:

- Kerangka Penahan momentum
- Braced frames
- Tembok kokoh
- Kerangka yang dilapisi batako (metode ini sebaiknya hanya digunakan pada bangunan satu atau dua lantai saja).

Ada gedung yang memiliki *tembok kokoh* dua arah; ada gedung yang menggunakan kerangka *penahan momentum* dua arah; dan ada pula yang menggunakan *tembok kokoh* di satu sisi dan kerangka *penahan momentum* di sisi lainnya.

**Pastikan semua elemen yang dibutuhkan untuk menahan beban dari dua arah orthogonal sudah disiapkan sejak tahap perancangan konsep. Jumlah elemen-elemen yang dibutuhkan harus cukup untuk setiap arah dan sebaiknya tersebar menutupi lebar dan tinggi gedung.**

### **Beban dan Perpindahan Akibat Gempa**

Ketika gempa mengguncang tanah, tanah dibawah sebuah bangunan akan berpindah secara lateral. Beban di bagian atas bangunan disebabkan oleh pengaruh dari perpindahan tersebut. Tekanan terberat dan perpindahan biasanya terjadi sedikit diatas ketinggian fondasi (reaksinya kadang berbeda pada gedung tinggi dan lentur).

### **Beban Gempa Merupakan Fungsi Dari:**

- Zona Seismis – dan jarak ke pusat gempa.
- Berat jenis bangunan
- Masa getaran bangunan – biasanya ditentukan oleh ketinggian bangunan atau elemen yang digunakan untuk menahan beban.
- Bahan-bahan fondasi (tanah atau batu-batuan).
- Perhitungan tipe bangunan (bahan, tingkat *ductility*, peredaman getaran).
- Kategori Bangunan (Faktor Resiko dan Kepentingan)
- Faktor-faktor khusus.

### **Hal-hal Yang Harus Diperhatikan:**

- Bangunan kaku atau bahan kaku seperti ***tembok kokoh*** akan lebih menarik beban daripada elemen-elemen yang lebih lentur seperti kerangka ***penahan momentum***.
- Bahan berat seperti genteng akan menyebabkan beban lebih besar daripada bahan yang lebih ringan.
- Zona Seismis sangat berpengaruh pada beban gempa *design*, begitu pula jarak dari pusat gempa.
- ***Subgrade type*** (Tanah, Batu, dll) juga berpengaruh.
- Hindari penggabungan elemen-elemen berbeda type agar bisa lebih menahan beban dari arah yang sama.
- Kelamahan struktural, bahan yang lemah dan rapuh, sambungan yang kurang baik, dan kesalahan dalam perencanaan dapat mengurangi kemampuan bangunan dalam menahan beban horizontal.
- **Pada saat terjadinya gempa sedang hingga berat, kerusakan pun dapat terjadi pada bangunan-bangunan yang dirancang dengan baik. Bangunan harus dirancang dengan baik sehingga tidak runtuh walaupun mengalami kerusakan.**
- Sangat tidak praktis dan mahal jika kita coba merancang bangunan yang tak akan rusak sedikitpun saat gempa.

## ***Ductility***

*Ductility* adalah kemampuan sebuah bangunan untuk menahan dan mengurangi pengaruh beban yang berulang-ulang setelah tekanan pertama, artinya bangunan tersebut dapat menahan beban gravitasi tanpa mengalami keruntuhan.

Sebuah bangunan atau elemen yang *ductile* biasanya tak kuat menahan tegangan. Perancang harus memastikan bahwa elemen-elemen tersebut disusun dengan baik untuk menghindari keruntuhan akibat tekanan.

Peraturan-peraturan bangunan biasanya memperbolehkan digunakannya beban seismis yang lebih rendah pada saat merancang struktur *ductile* yang disusun dengan baik, hal ini dibanding beban seismis yang boleh digunakan pada bangunan elastis.

Bangunan satu dan dua lantai biasanya dirancang sebagai bangunan elastis.

Bangunan juga harus dirancang agar bisa menahan beban angin. Beban angin harus selalu ditahan secara elastis.

Rancangan *ductile* sebaiknya diaplikasikan pada semua jenis bangunan, termasuk bangunan elastis. Bangunan yang memiliki *ductility* cenderung akan bertahan lebih lama daripada bangunan biasa.

(Catatan: bahan atau unsure yang rapuh bisa hancur tiba-tiba jika sudah melewati batas elastisitasnya.)

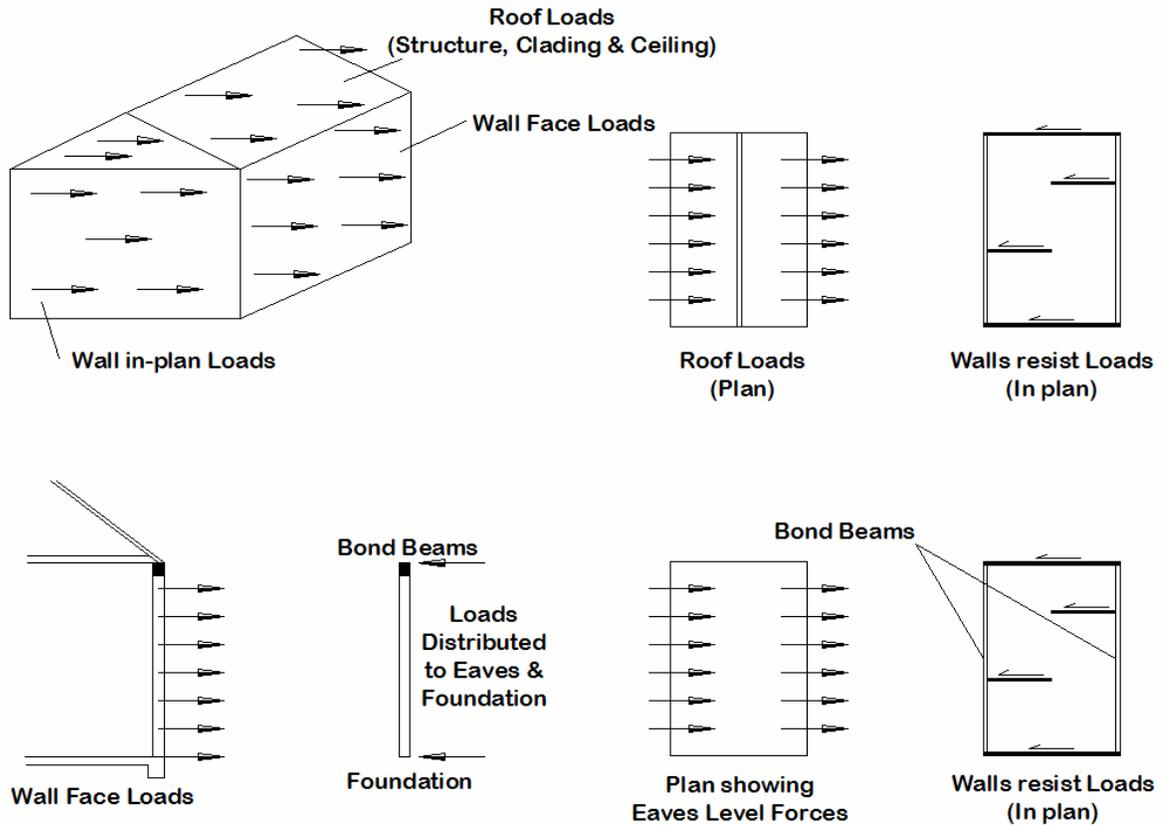
## Saran No. 2: Tekanan horizontal harus disalurkan ke tanah. (Jalur Beban Seismis)

### Memahami Jalur Beban Seismis

- Gempa bumi menghasilkan tekanan lembam pada sebuah bangunan.
- Jalur beban harus dirancang secara jelas untuk meindahkan segala beban langsung ke tanah.
- Jalur beban tidak boleh terputus, semua beban harus dipindahkan ke fondasi.
  
- **Atap** termasuk beban utama.
- Struktur atap harus ditahan agar dapat menyalurkan beban ke tembok (diafragma adalah metode yang biasa digunakan).
- Beban tersebut lalu dibawa menuju fondasi oleh tembok samping atau kerangka *moment resisting*.
  
- **Tembok** termasuk beban utama
- Tembok berbeban depan (tembok yang menghadap beban gempa) akan menyalurkan bebannya keatas menuju palang penahan atau kebawah menuju fondasi.
- Palang penahan mengikuti jalur beban atap seperti yang disebut diatas.
- beban juga bisa dipindahkan secara horizontal lewat tembok dan tiang.
- Tembok samping (paralel terhadap) dapat menahan beban pada tembok kokoh (dan lentur.)
- Beban total lalu dipindahkan ke fondasi dan kembali ke tanah atau batu-batuan dasar.
  
- Segala beban harus disalurkan ke **fondasi**, lalu fondasi harus menyalurkan beban ke tanah atau batu-batuan dasar.
  
- beban lain yang harus dipertimbangkan adalah isi bangunan, khususnya jika gedungnya digunakan sebagai penyimpanan mesin, tanki air, atau peralatan lain.
- Harus diingat bahwa gempa dapat datang dari arah manapun, prinsip-prinsip yang dirincikan diatas harus digunakan untuk mengantisipasi gempa dari segala arah.

### ILUSTRASI 1

- a. beban tembok samping (wall in plan loads)
- b. beban atap (struktur, palang penahan, dan plafon)
- c. beban tembok depan (wall face loads)



### ILUSTRASI 2 & 3

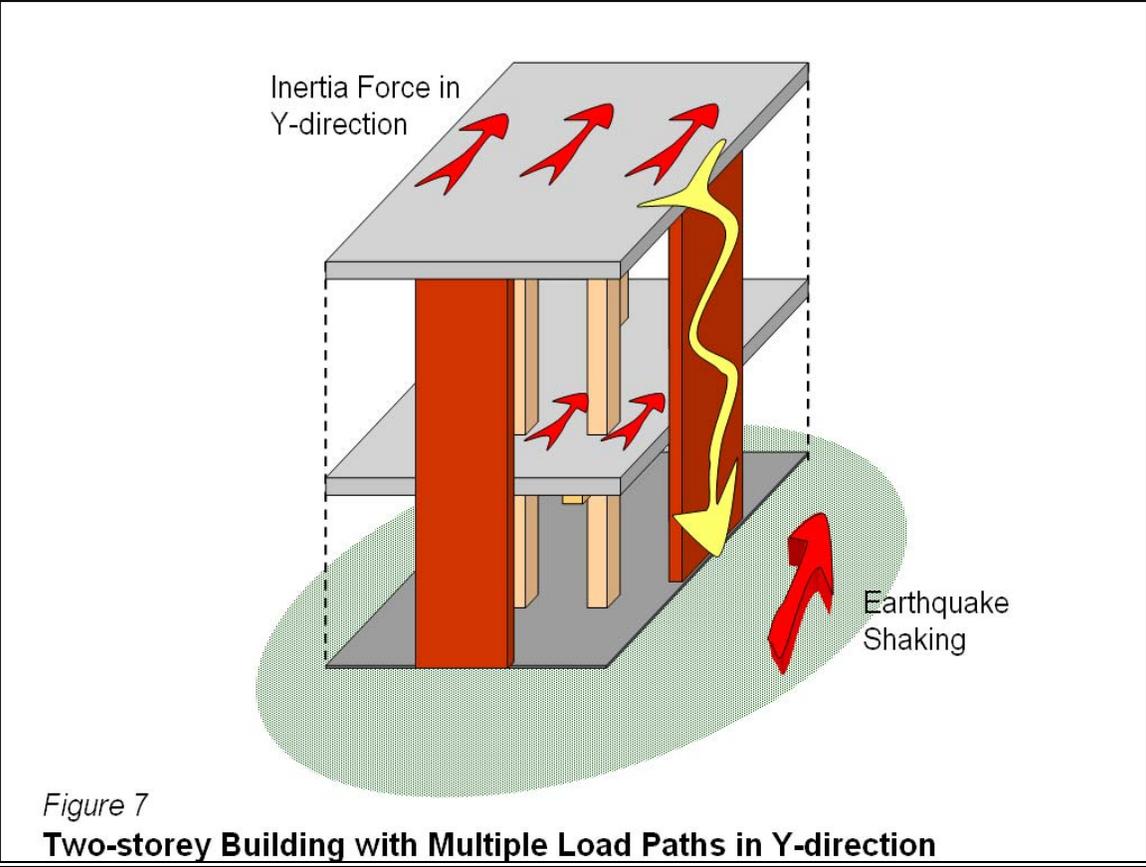
- a. beban atap (roof loads)
- b. beban yang ditahan tembok (wall resists loads)

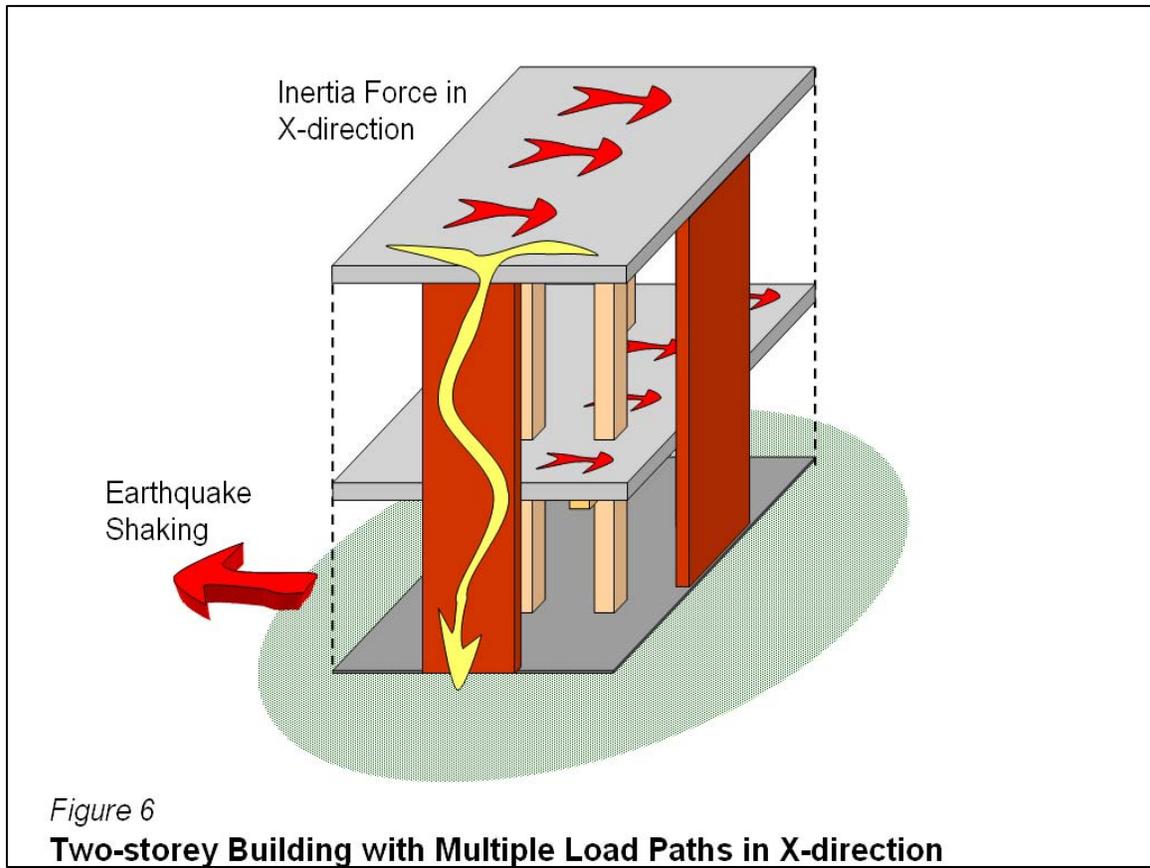
### ILUSTRASI 4

- a. beban tembok depan (wall face loads)

### ILUSTRASI 5

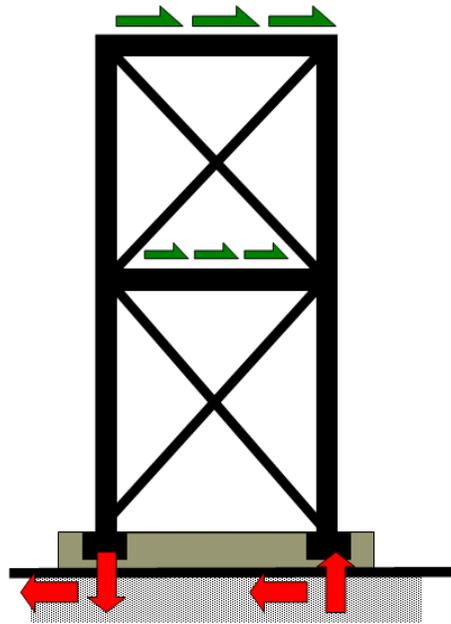
- a. palang penahan (bond beams)
- b. beban disalurkan ke palang dan fondasi
- c. fondasi



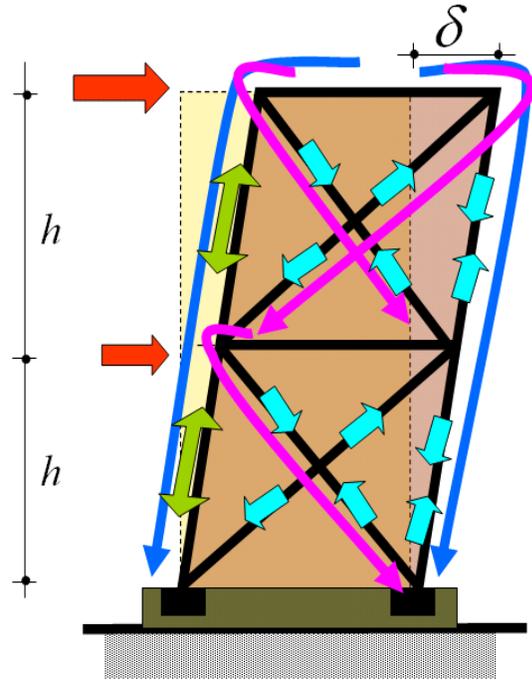


**ILUSTRASI 6&7**

- a. palang penahan
- b. tembok menunjukkan daya tahan palang
- c. beban yang ditahan tembok (wall resists loads)



Inertia forces



Deformed shape

Figure 14

**Load Paths for Inertia Forces in a Moment Resisting Frame**

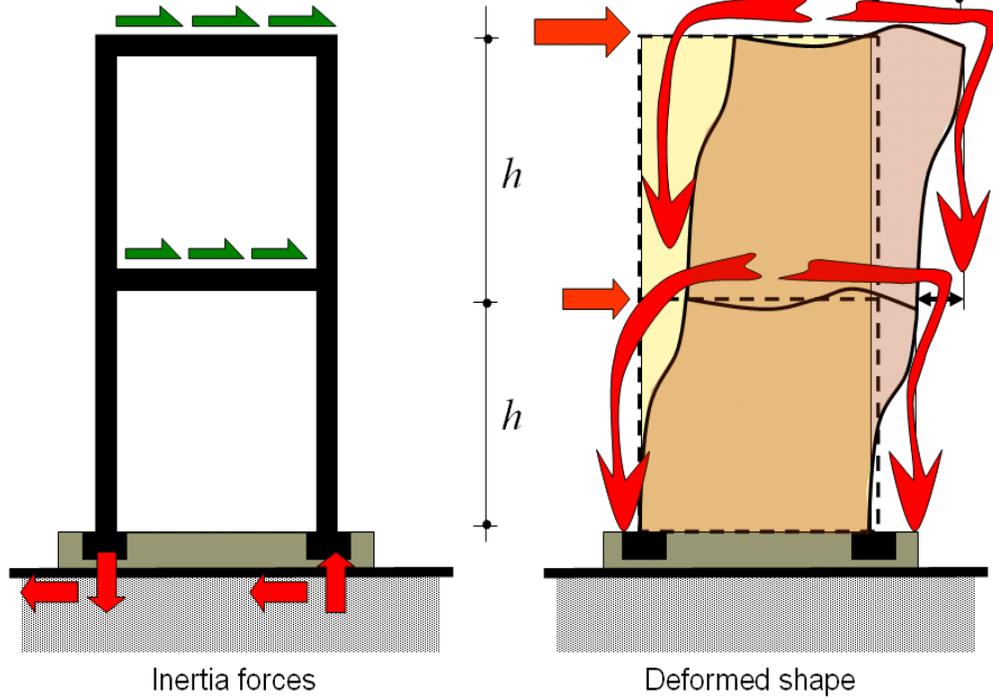


Figure 12

**Load Paths for Inertia Forces in a Moment Resisting Frame**

**GAMBAR 6: Gedung dua lantai yang memiliki lebih dari satu jalur pemindahan beban ke arah x.**

- a. tekanan lembam dari arah x (inertia force from x direction)
- b. guncangan gempa (earthquake shaking)

**GAMBAR 7: Gedung dua lantai yang memiliki lebih dari satu jalur pemindahan beban ke arah y.**

- a. tekanan lembam dari arah y (inertia force from y direction)
- b. guncangan gempa (earthquake shaking)

HALAMAN 12

**GAMBAR 14: Jalur beban untuk tekanan lembam pada kerangka *moment resisting*.**

- a. tekanan lembam (inertia forces)
- b. bentuk cacat/rusak (deformed shape)

**GAMBAR 12: Jalur beban untuk tekanan lembam pada kerangka *moment resisting*.**

- a. tekanan lembam (inertia forces)
- b. bentuk cacat/rusak (deformed shape)

## **Saran No. 3: Konsep alternatif untuk melawan beban lateral (dari samping)**

**Sistem utama untuk menahan beban lateral adalah:**

- Tembok Kokoh
- Kerangka *penahan momentum*
- Kerangka dengan palang penahan
- Sebuah bangunan bisa saja memiliki system yang beda untuk mengantisipasi gempa dari tiap arah.
- Harus diingat bahwa tiang kecil hanya bisa menyalurkan beban gravitasi bumi saja; tiang tersebut terlalu lentur untuk menahan beban lateral.
- Masing-masing system ada keuntungan dan kerugiannya.
- Bahan bangunan juga akan menentukan system mana yang harus digunakan.
- Tembok beton berkerangka besi (tembok kokoh) yang dibangun diatas fondasi yang dirancang dengan baik adalah system terbaik untuk menahan beban seismis pada bangunan rendah hingga sedang. Kebanyakan insinyur biasanya menggunakan tembok kokoh RC.
- Tapi tembok RC mahal dan memerlukan fondasi yang mahal seta membatasi tata letak internal.
- Kerangka moment resisting hanya berfungsi dengan baik jika dirancang dengan tepat (harus diperhitungkan kemungkinan terjadinya keretakan).
- Tembok kaku akan merubah jalur beban dan merusak desain gedung jika tidak dipisah.

**Perancang gedung harus memilih kombinasi dari elemen-elemen diatas agar dapat menciptakan ketahanan terhadap serangan dari dua arah orthogonal.**

### **Pentingnya Adanya Tiang yang Kuat**

Pengalaman telah menunjukkan bahwa tiang atau kolom sangat rentan terhadap gempa. Experience has shown that columns are vulnerable to failure in earthquakes. Beberapa alasan kenapa ini sering terjadi adalah kebiasaan merancang tiang kecil/kurus yang tak terikat dengan baik (atau jarak terlalu lebar antara ikatan tiang).

Jika tiang rusak, makin tinggi kemungkinan bangunan akan runtuh.

### **Saran**

- Pastikan tiang lebih kuat daripada palang penahan.
- Pastikan tiang R.C. memiliki jumlah ikatan yang cukup (lihat saran no. 19)

**ILUSTRASI**

**Konsep alternatif untuk melawan beban lateral**

**TINGKAT KETINGGIAN (ELEVATION)**

**RENCANA (PLAN)**

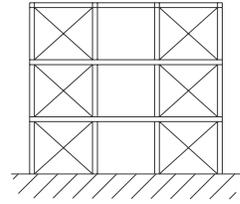
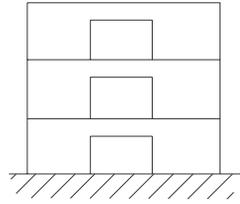
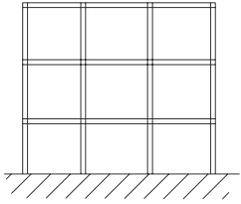
**BENTUK PANTULAN ( TINGKAT KETINGGIAN)**

**KERANGKA *MOMENT RESISTING***

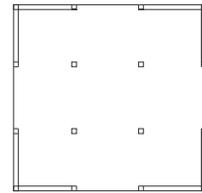
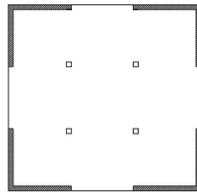
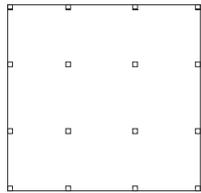
**TEMBOK KOKOH**

**KERANGKA PALANG SILANG (CROSS-BRACED FRAMES)**

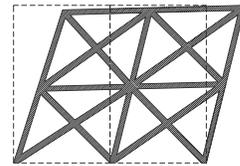
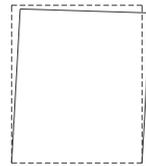
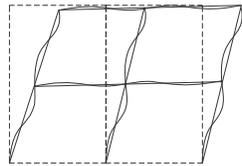
ALTERNATIVE CONCEPTS FOR  
RESISTING LATERAL LOADS



ELEVATION



PLAN



DEFLECTED SHAPES (ELEVATION)

MOMENT RESISTING  
FRAME

SHEAR WALL

CROSS BRACED FRAME

## **Saran No. 4: Merancang bangunan agar dapat menahan tekanan**

### **Rancangan Bangunan**

Bangunan harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini agar dapat bertahan melawan gempa sedang hingga berat:

- Tersusun dengan baik
- Dirancang dengan baik
- Dibangun dengan baik..

Ketiga unsur diatas amatlah penting. Jika susunan gedung tidak tepat maka beban terhadap struktur akan meningkat. Hal ini akan menguak segala kelemahan kualitas bangunan..

Peraturan Bangunan cenderung berkonsentrasi pada rincian desain bangunan; maka dari itu si perancang harus memastikan bahwa susunan dilakukan dengan baik

### **Pentingnya Simetri**

Susunan bangunan harus disetujui oleh klien, arsitek, dan insinyur. Selalu akan ada kesepakatan yang harus dibuat.

Elemen-elemen penahan beban seismis sebaiknya disusun secara simetris. Pentingnya susunan yang simetris meningkat seiring tingginya gedung.

Elemen yang penting untuk menahan beban seismis (contoh: tembok, kerangka) sebainya disebar secara simetris dan teratur menghadap ke dua arah dasar gedung. Tembok dan kerangka sebaiknya dipasang di batas pinggir bangunan. Jika semua elemen tersebut dipusatkan pada satu lokasi, maka elemen-elemen tersebut akan mengakibatkan puntiran pada bangunan; dan puntiran ini bisa mengakibatkan runtuhnya gedung. Simetri sebaiknya diupayakan pada kedua arah orthogonal.

Ketika membangun gedung berbentuk “L” atau “U”, skema gedung sebaiknya dibuat dengan rasio panjang-lebar kurang dari 1 banding 3. Jika ini tak memungkinkan, maka sebaiknya sayap gedung dijadikan bangunan terpisah.

Asimetri vertical juga sangat penting untuk dihindari jika membangun gedung lebih tinggi dari satu lantai. Elemen penaha beban lateral utama harus tersusun secara konsisten dari bawah samapi atas gedung. Hindarilah perubahan berat jenis dianatara lantai (perbedaannya sebaiknya dibawah 50%), dan juga hindarilah perubahan kekakuan lateral.

## **Pertimbangan Lain dalam Merancang Bangunan**

Daya tahan terhadap gempa bukanlah satu-satunya hal yang harus dipertimbangkan oleh si perancang bangunan. Hal-hal dibawah ini juga harus dipertimbangkan.

- Defleksi, termasuk defleksi yang diakibatkan pergantian suhu dan gerakan-gerakan lain.
- Daya tahan terhadap api; perlindungan terhadap petir.
- Daya Tahan terhadap cuaca; pengendalian tingakt air permukaan.
- Daya tahan (termasuk terhadap serangan serangga) / stabilitas bahan bangunan
- Proses pembangunan dan kecepatan pembangunan.
- Daya tahan bangunan terhadap waktu.
- Rancangan khusus untuk daerah tropis.
- Insulasi buat mengendalikan suhu; ventilasi, dan efisiensi energi.
- Cahaya alami
- system saluran pipa.
- Keamanan, keleluasaan pribadi penghuni, insulasi akustik.
- Seiring dengan budaya, agama, dan tradisi local.
- Estetika
- Adanya bahan baku yang memadai.
- Adanya tenaga buruh.

## **ILUSTRASI**

### **SUSUNAN BANGUNAN / KELEMAHAN STRUKTURAL** **CONTOH BAIK** **CONTOH BURUK**

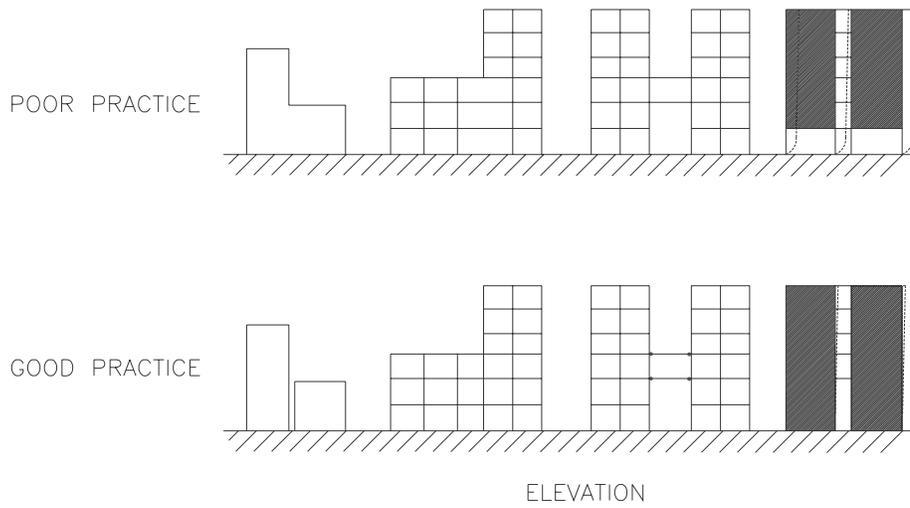
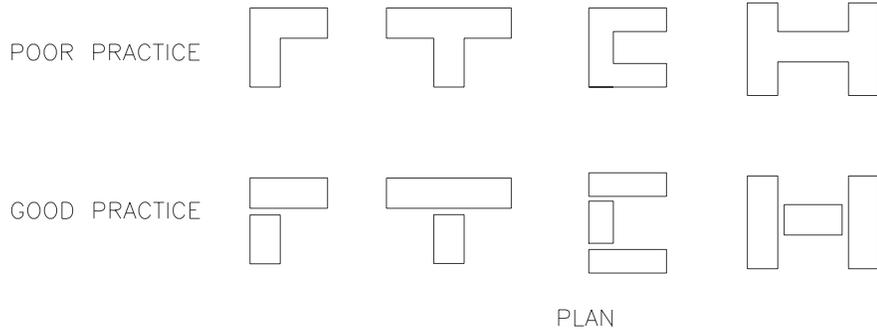
### **CONTOH BAIK** **CONTOH BURUK**

### **TINGKAT KETINGGIAN (ELEVATION)**

### **Elemen penahan beban lateral berat**

#### **a) contoh desain yang kurang memadai**

BUILDING CONFIGURATION/  
STRUCTURAL WEAKNESSES



## **Saran No. 5: Pastikan semua unsur bangunan terikat dan tersambung dengan baik.**

**Semua unsur gedung, termasuk elemen non-struktural harus saling terkait.**

- Jalur beban telah dibahas diatas.
- Beban seismis dapat datang dari segala arah.
- Semua unsure bangunan harus terikat dengan baik untuk mamastikan bahwa beban tersalurkan sebagaimana mestinya, tanpa tergantung dari arah datangnya beban.
- Beban dari arah manapun harus disalurkan
- Beban harus disalurkan lewat beberapa siklus.
- termasuk dasar ke palang, dasar ke tembok, dan tembok serta tiang ke fondasi.
- Kaitan dibutuhkan untuk menjalankan siklus beban; untuk mencapai tujuan ini dibutuhkannya bahan yang tahan tekanan dan tegangan.
- Kelamahan kaitan sebaiknya dihindari.
- Cara mengikat elemen yang paling mudah untuk bangunan beton adalah menggunakan kerangka penyangga yang terbuat dari baja.
- Baja termasuk bahan yang *ductile* material; baja dapat menahan bangunan melewati banyak siklus.
- Penggunaan konektor baja disarankan untuk bahan bangunan yang lain.
- Upaman dan pelapisan luar harus disambung ke bangunan untuk memastikan agar tidak jatuh ke jalan dan melukai pejalan kaki.
- Cerobong asap, sandaran dinding, dan fitur berbahan batako lainnya harus tersambung secara kuat ke bangunan. Lebih baik kalau fitur- fitur tersebut tidak digunakan sama sekali. Bahan rapuh seperti batako dan mortar seringkali tidak bisa bertahan melawan beban bersiklus.

### **Atap sebaiknya terbuat dari bahan ringan**

Jika bahan bangunan yang berat akan digunakan pada tingkat jauh dari tanah, semua sambungan harus dipasang secara kuat dan teliti.

## **Saran No. 6: Hindari kelemahan struktural dalam perancangan gedung**

Konsep rancangan dan susunan bangunan harus menghindari (atau mempertimbangkan) kelemahan struktural seperti asimetri pada rancangan dasar dan tingkat ketinggian.

Bangunan sebaiknya simetris.

- Jalur beban yang tak terputus dari atap hingga fondasi.
- Dimensi unsur struktural sebaiknya moderat. Hindari tiang, penyangga, dan tembok yang tipis.
- Semua elemen, khususnya elemen berat, dipastikan tersambung dengan baik.
- Sambungan yang kuat antara bangunan dan fondasi.
- Atap dan elemen bagian atas bangunan yang lain sebaiknya terbuat dari bahan ringan.
- Pemindahan beban horizontal menggunakan diafragma.
- Jarak yang cukup dari gedung sebelah.
- Hilangkan kelemahan struktural seperti tangga yang juga berperan sebagai penyangga (yang menyalurkan beban seismis).
- Sambungan yang kuat dari bangunan utama ke atap, lorong, dan bagian-bagian lain seperti cerobong asap.

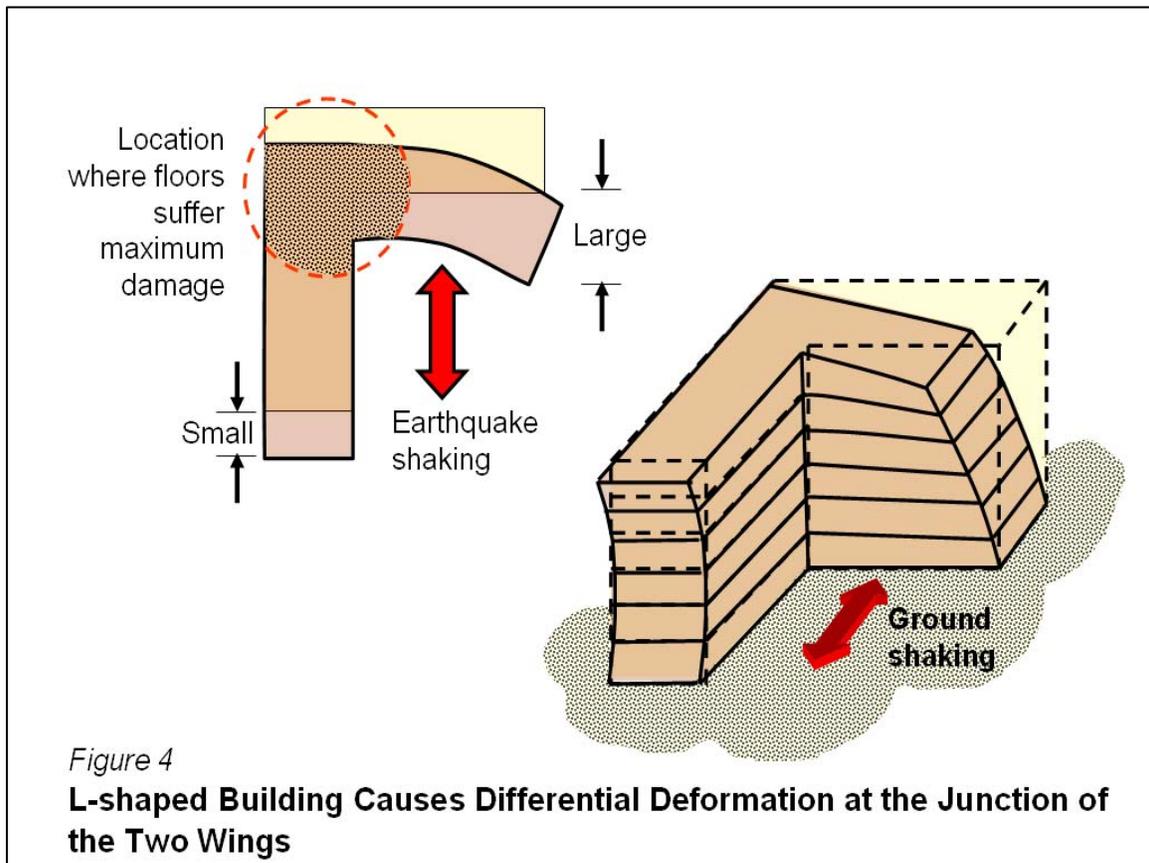
Hindari:

- Lantai lunak, yaitu lantai yang tidak sekokoh lantai yang lain. (lihat saran. No. 16)
- Efek tiang pendek, (lihat saran No. 15)
- Elemen *non-struktural* yang menarik beban – ini akan mengakibatkan munculnya lebih dari satu jalur beban.
- Asimetri pada desain yang mengakibatkan kelainan pilinan.
- Asimetri pada tingkat ketinggian
- Tekanan dari bangunan sekitarnya, terutama jika tinggi tiap lantai pada masing-masing gedung tidak seragam.
- Lubang lebar (pintu dan jendela) dekat pojokan bangunan.
- Lubang lebar pada tembok-tembok diafragma.
- Sambungan lemah antar lapisan lantai dan tiang-tiang penyangga.
- Tangga beton yang terkait pada lapisan semen atap dan lantai; tangga beton sebaiknya terkait pada satu tingkat dan diuat agar bisa meluncur ke level berikutnya.
- Bahan-bahan berat, lemah, dan rapuh pada umumnya.
- Atap berat
- Pipa saluran air yang dipasang didalam tiang kurus; hal ini hanya boleh dilakukan pada tiang yang besar.

Daya tahan sebuah bangunan terhadap gempa harus dipertimbangkan sejak awal proses desain. Sangat susah untuk mencapai daya tahan yang diinginkan setelah proses rancangan. Jika si Arsitek menginginkan bangunan asimetris, bangunan tersebut masih bisa dirancang untuk tahan gempa (walaupun topic ini tak dibahas dalam buklet ini).

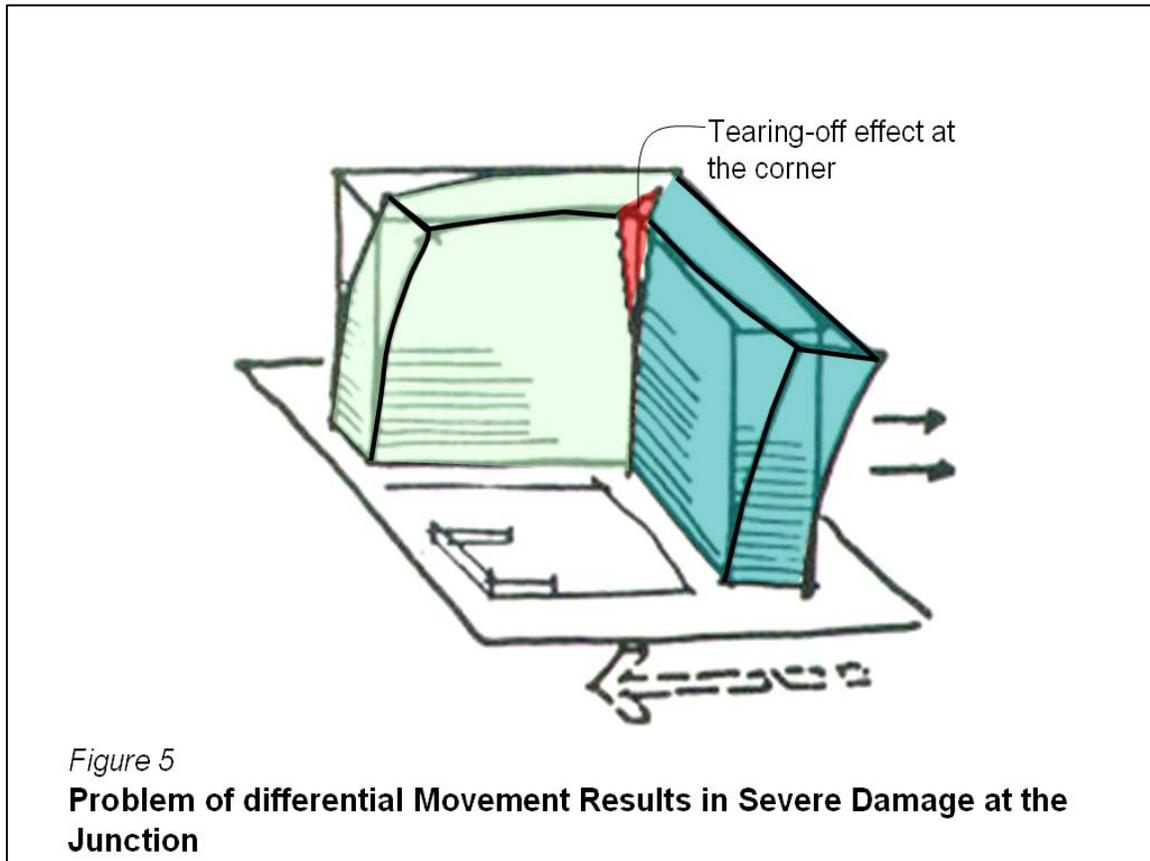
**Gambar 4: Gedung berbentuk L menyebabkan kerusakan di persimpangan dua sayap gedung.**

- a) lokasi dimana lantai mengalami kerusakan maksimal
- b) kecil (small)
- c) guncangan gempa (earthquake shaking)
- d) besar (large)
- e) guncangan tanah (ground shaking)



**Gambar 5: Masalah perpindahan beban mengakibatkan kerusakan berat di persimpangan dua sayap gedung.**

a) efek robekan di ujung gedung



**Pastikan bahwa bangunan yang bersebelahan tidak saling meniban**

Bangunan harus dibangun dengan jarak antara satu sama lain agar tidak saling meniban/membentur pada saat adanya gempa.

Biasanya jika bangunan berkerangka dipisah dengan jarak paling sedikit  $0.01 H$ , tidak akan terjadi pembenturan (misalnya 2 gedung setinggi 6 meter harus dipisahkan dengan jarak 60mm.) jika lantai gedung tidak disejajarkan hingga 20% maka separasi vertical harus ditingkatkan hingga  $0.0125 H$ . Untuk bangunan yang menggunakan tembok kokoh berkerangka, jarak separasi dapat dikurangi hingga masing-masing  $0.005H$  dan  $0.0061H$ .

### **Masalah Lain.**

Masalah lain yang dapat mempengaruhi reaksi bangunan terhadap gempa.

- Semua tembok exterior harus dirancang untuk bisa menahan beban angin.
- Kerangka pintu dan jendela juga harus dirancang dengan baik.

### **Laporan Konsep Rancangan**

Kami menyarankan anda menyiapkan **Laporan Konsep Rancangan**. Laporan ini harus menggambarkan:

- Sistem-sistem struktural utama.
- Sistem penahan beban lateral (tembok kokoh, kerangka penahan momentum atau kerangka dengan penyangga).
- Beban yang digunakan (zona seismis, zona angin, beban hidup.)
- Kondisi tanah.
- Perkiraan terhadap kelemahan struktur dan perbaikan yang bisa dilakukan.

## **Saran No. 7: Hindari bahan yang rapuh dan tindakan yang tidak bertanggungjawab**

Bahan bangunan yang rapuh seperti bata, batako tanpa kerangka besi, dan semen tanpa kerangka sebaiknya tak digunakan untuk menahan beban vertikal dan lateral.

Bahan rapuh biasanya bersifat kaku, lemah, dan berat. Itu berarti bahwa mereka akan lenih menarik beban lateral dibanding bahan fleksibel. Kebanyakan bahan rapuh hanya dapat menahan beban tekanan karena daya rentang mereka rendah.

Bahan rapuh dapat retak pada gempa sedang; ini mengurangi daya tahan mereka terhadap beban lateral susulan.

Bahan rapuh biasanya dapat jatuh seketika tanpa peringatan jika diserang gempa kuat; biasanya setelah itu element tersebut tidak dapat menahan beban gravitasi sekalipun dan aka mengakibatkan bangunan ambruk total.

Bahan *ductile* lebih lentur dan bisa menahan beban gravitasi tanpa mengalami keambukan (dan mengurangi energi beban) walaupun melewati beberapa siklus beban setelah serangan pertama.

Kebanyakan baja modern dengan daya rentang termasuk bahan yang *ductile*. Struktur sambungan dan tiang yang diperkuat baja biasanya menambah *ductility* sebuah bangunan dan menghindari resiko keambukan. Struktur kayu yang dirancang dengan baik juga termasuk bahan *ductile*.

Dibutuhkan design yang spesifik untuk membuat bangunan yang sepenuhnya *ductile*, yang biasanya dibuat oleh beton berkerangka atau baja struktural. Perancangan bangunan *ductile* tak termasuk cakupan buku ini.

Jika penggunaan batu-batuan tanpa kerangka tidak dapat digunakan, pastikan mortar yang digunakan dapat menahan gerakan. Jika mortar dibuat dari semen, batu kapur, dan pasir bisa menahan beban lebih baik daripada campuran semen dan pasir; kelemahan batu kapur tidak akan mempengaruhi, malah akan memperkuat.

## **Saran No. 8: Lokasi bangunan dan fondasi.**

### **Hindari lokasi bangunan yang berbahaya.**

Bangunan sebaiknya tidak dibangun diatas tanjakan tajam yang biasanya tidak stabil, atau dibawah tanjakan yang rawan longsor.

Jangan membangun terlalu dekat pinggir sungai; bangunan sebaiknya berjarak paling dekat 6 meter dari pinggir sungai pada saat banjir, dan lantai sebaiknya paling sedikit 500mm diatas level banjir. Angka2 tersebut bisa lebih tinggi pada sungai-sungai yang besar.

Pertimbangkan juga apa yang bisa terjadi bila hujan jatuh diatas atau dekat bangunan. Cara mengalirnya bagaimana? Apakah pembuangan lain diperlukan? Kalau iya, air yang mnegalir di pipa pembuangan akan dibuang dimana?

### **Bangunan harus mempunyai fodasi yang ditanam di tanah. Fondasi bisa dibilang adalah bagian terpenting dari sebuah bangunan.**

Sebuah bangunan dengan fondasi rapuh tidak akan bisa bertahan dalam gempa.

- Bahan dasar fondais harus bisa menahan beban minimal **100 kPa**
- Tanah yang tidak stabil sebaiknya dihindari.
- Kualitas tanah yang buruk dapat mengakibatkan serangan seismis yang lebih kuat.
- Tanah pada tingkat fondasi harus bebas dari air.
- Jika ada air diatas tanah, pastikan ada system pembuangan air yang baik; level pipanya harus lebih dalam dari fondasi.
- Bangunan sebaiknya tidak dibangun diatas jalur gempa.
- Jika sebuah bangunan harus didirikan di daerah yang telah ditentukan sebagai **daerah rawan gempa**, maka bangunan harus dirancang secara spesifik (diluar cakupan buklet ini.)
- Pemeriksaan situs bangunan adalah langkah terpenting dalam proses perancangan.
- Jenis tanah, perubahan dalam lapisan tanah, jarak kedalaman tanah hingga menyentuh batu, dan jarak kedalaman ke lapisan air terdekat dapat mempengaruhi akibat pengaruh beban.
- **Bangunan harus tersambung pada fondasi (bangunan tak boleh bergeser dari fondasi).**

### **Fondasi**

Fondasi sebaiknya terbuat dari beton – fondasi batu tradisional sebaiknya hanya digunakan untuk bangunan satu lantai dan sebaiknya dibangun oleh ahli bangunan yang berpengalaman.

Untuk semua Fondasi:

- Fondasi harus dirancang agar lebih kuat dari unsur-unsur bangunan yang ditopangnya. Kerusakan fondasi harus dihindari.
- Jika mungkin, gunakanlah satu type fondasi pada tiap gedung: contohnya tumpukan atau pijakan rendah.
- Fondasi harus diikat ke kedua arah.
- Tiang tanah harus ditanam sedalam tiang kolom.
- Pertimbangkanlah perpindahan tanah.
- Pastikan semua penyangga tekanan sama. Ensure
- Pertimbangkanlah konsolidasi atau pencarian tanah di bawah fondasi.

**Kegagalan fondasi dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan.**

## Saran No. 9: Tembok semen yang diperkuat kerangka

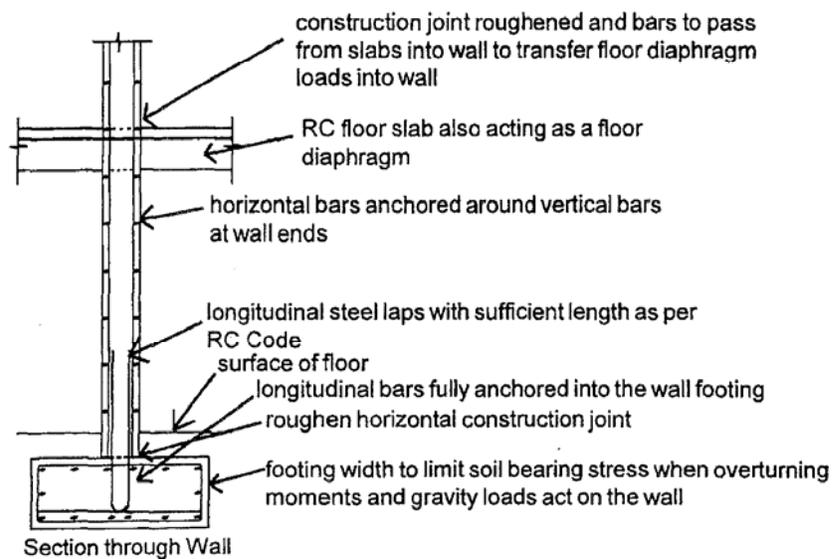
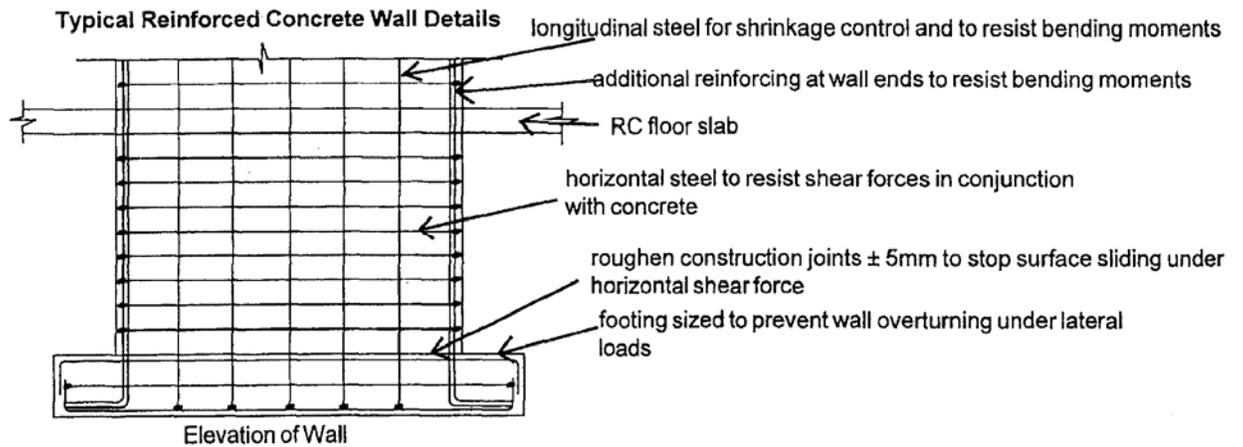
### Tembok semen yang diperkuat kerangka

Tembok semen yang diperkuat kerangka pada bangunan yang dirancang dengan baik adalah system terbaik untuk menahan beban seismis pada bangunan ketinggian rendah hingga sedang.

- Tembok jenis itu tidak sesensitif kerangka *moment resisting*.
- Lebih mudah dikendalikan kualitasnya dibanding tembok bata atau batako.
- Tembok harus disebarakan secara simetris dan merat ke kedua arah (lihat Saran No. 4)
- Tembok harus tersambung terus menerus hingga ke atas gedung (untuk mempermudah jalur pemindahan beban).
- Ukuran pijakan harus dibatasi untuk menghindari pergeseran.
- Tembok harus cukup tebal untuk menahan beban angin.
- Ukuran panel tembok harus dibatasi karena bisa terjadi pengerutan (6 meter adalah panjang maksimal).
- Lubang besar pada tembok-tembok utama sebaiknya dihindari; jika diperlukan maka harus dirancang dengan kerangka *penahan momentum*. Hindarilah lubang-lubang besar yang dekat dengan sudut gedung.

### Perincian – untuk gedung satu atau dua lantai.

- Ketebalan minimal 100mm; tembok lebih tebal lebih baik.
- Besi penyangga harus menghadap dua arah orthogonal dan mencakupi panjang dan tinggi tembok.
- Baja vertical; ukuran minimal 10mm, spasi maksimal 250mm (contoh: D10@250 untuk tembok dengan ketebalan 100mm thick wall, minimum 0.4% dari daerah beton.)
- Penyanggah tambahan untuk tembok dibutuhkan untuk ujung tembok.
- Baja horizontal; ukuran minimal batang 6mm, spasi maksimal 300mm (, minimum 0.4% dari daerah beton)
- Sendi konstruksi yang kasar.
- Pastikan pematang baja terpasang di tiap sendi.
- Pastikan luas lingkaran bangunan cukup dan mengikuti peraturan.
- Pastikan diafragma lantai tersambung ke tembok kokoh.
- Boleh dicatat bahwa tembok kayu lapis dapat digunakan untuk bangunan satu atau dua lantai.



## Tembok Beton Berkerangka yang Tipikal

- Baja longitudinal untuk mengendalikan pengerutan dan tahan bengkok.
- Penguat tambahan di ujung tembok untuk menahan terjadinya pembengkokan.
- Lapisan lantai RC
- Baja horizontal untuk menahan serangan gempa bersama dengan tembok kokoh
- Sendi konstruksi yang kasar  $\pm 5\text{mm}$  agar permukaan tidak bergeser ketika diserang beban horizontal
- Pijakan yang diukur dengan tepat untuk mencegah robohnya tembok akibat beban lateral

## **Tingkat Ketinggian Tembok**

- Sendi konstruksi yang dikasarkan dan batang besi untuk menembusa lapisan tembok agar dapat memindahkan beban dari lantai diafragma ke tembok
- Lapisan lantai RC juga berperan sebagai lantai diafragma
- Baja longitudinal mengitari lingkaran gedung sesuai dengan peraturan RC
- Permukaan lantai
- Batang longitudinal yang ditanam ke dalam pijakan tembok
- Sendi konstruksi horizontal yang dikasarkan
- Lebar pijakan untuk menghindari tekanan terhadap tanah ketika tembok mengalami serangan tekanan gempa.
- 

## **Bagian yang Menembus Tembok**

## Saran No. 10: Kerangka Penahan momentum

### Kerangka penahan momentum yang diperkuat kerangka peton penahan momentum

Agar kerangka tersebut dapat menahan beban gempa, peraturan berikut harus diikuti:

- Kerangka penahan momentum terdiri dari palang dan tiang.
- Sistem tiang – lapisan rata jarang berfungsi pada saat gempa.
- Tiang harus lebih kuat dari palang (pada bangunan yang lebih tinggi dari dua lantai)
- Tiang tak boleh terlalu kurus (kepadatan yang cukup diharuskan)
- Pada umumnya tiang pada kerangka penahan momentum harus ditanam lebih dalam daripada tiang yang dibuat hanya untuk menahan beban gravitasi.
- Tembok yang tak diperkuat harus dipisah dari kerangka.
- Persendian palang-tiang harus termasuk ikatan di pusat-pusat persendian (untuk mencegah keruntuhan diagonal)
- Daya tahan minimal beton harus 20MPa, lebih baik jika 25MPa
- Jika menggunakan baja kekuatan tinggi, pastikan baja itu *ductile* dan ikutilah peraturan pemasangan (jangan di las, dijalin, atau dibengkokkan lebih dari sekali, jangan melewati batas pembengkokkan maksimal).
- Awasi pekerjaan untuk memastikan bahwa palang penahan tidak dilupakan, dan rincian pemasangan diikuti.
- Catatan: sedikit kerusakan masih dapat terjadi pada kerangka *ductile* yang dirancang dengan baik jika diserang gempa sedang hingga berat, tapi kerusakan parah akan terjadi jika kerangka tidak dipasang dengan baik!!

### Praktek pemasangan yang baik:

- Palang sebaiknya tidak diletakkan diatas daerah yang berengsel.
- Palang selalu harus dipasang menembus tiang.
- Ujung palang dibengkokkan agar membentuk kaki vertical.
- Setiap tiang dan palang harus diikat.
- Kurangi jarak antara ikatan yang terletak di permukaan tiang.
- Batang utama tiang harus minimal D12
- Pemotongan batangan tiang harus dilakukan pada setengah panjang tiang
- Ujung batang harus dibengkokkan di dalam tiang.
- Kurangi jarak antara ikatan yang terletak di atas dan di bawah palang.
- Ikatan tiang harus tersambung menembus persendian dengan jarak antar ikatan yang dekat.
- **Ikatan kait harus pada 135°.**

## **Persendian Palang-Tiang pada Kerangka Penahan Momentum yang Diperkuat Beton.**

Persendian Palang-Tiang sering disalahartikan. Persendian lemah adalah alasan sering terjadinya keruntuhan bangunan pada saat gempa.

Perancang bias any ditekan untuk mengecilkan ukuran tiang. Sendi jadi terlalu dipenuhi dengan baja penahan. Lalu pembangun mengurangi jumlah baja yang digunakan.

Sendi harus lebih kuat dari palang dan tiang. Rancang baja sendi sebelum menentukan ukuran tiang.

## **Kerangka Baja Penahan Momentum**

Hal yang sama berlaku pada Kerangka Baja Penahan Momentum, artinya sambungan harus lebih kuat daripada segala unsur struktur.

## **Saran No. 11: Kerangka Penahan Ketegangan**

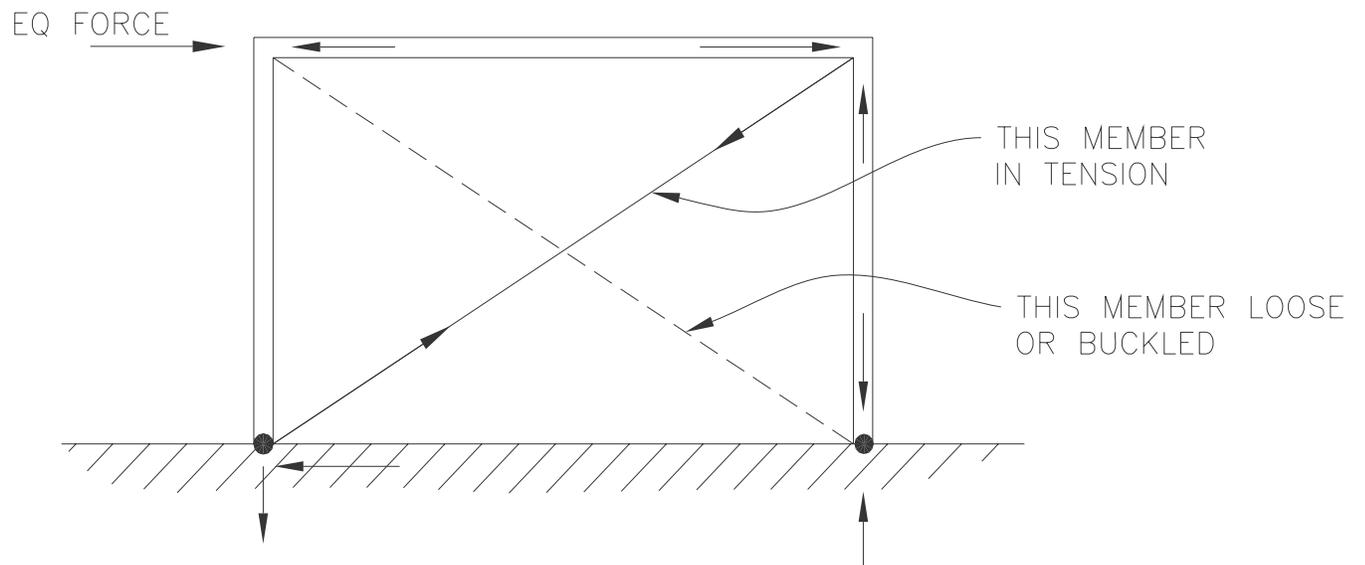
### **Kerangka Penahan Ketegangan**

- Penahan khusus tegangan sering digunakan pada bangunan rendah (maksimal dua lantai)
- Penahan khusus tegangan menggunakan baja secara efisien, menggunakan kekuatan daya rentangnya.
- Jika diserang beban lateral, maka hanya penahan tegangan yang membawa beban; penahan tekanan tidak membawa beban.
- Seperti yang dibicarakan diatas; jika siklus dibalik maka elemen diagonal-lah yang akan membawa beban.

### **Perancang harus:**

- Pastikan jalur beban tak terputus Ensure load paths are continuous
- Pastikan kegagalan adalah kegagalan tekanan pada palang penahan.
- Pastikan semua sambungan lebih kuat dari daya tahan tiap unsur (biasanya 1.25x)
- Pastikan unsur penahan tidak mempengaruhi jalur beban; misalnya jika palang penahan terbuat dari kawat, kabel, atau lempengan tipis, bahan-bahan tersebut dapat bengkok dan tak dapat menahan beban.
- Lantai/atap Diafragma atau penahan pada lapisan dasar sebaiknya digunakan untuk memindahkan beban kembali ke tembok yang diperkuat baja.

GAMBAR:

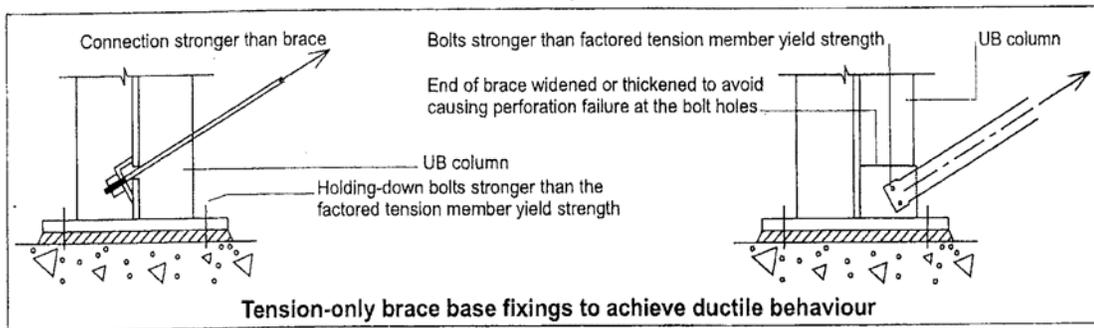


FORCES IN MEMBERS IN TENSION-BRACED FRAME

TEKANAN EQ  
UNSUR TEGANG  
UNSUR BENGKOK  
TEKANAN TERHADAP UNSUR-UNSUR DALAM KERANGKA PENAHAN  
KETEGANGAN.

BOX GAMBAR

Gambar pertama:



- Sambungan lebih kuat dari penahan
- Tiang UB
- Baut penahan lebih kuat dari factor tegangan daya tahan unsur

Gambar kedua:

- Baut penahan lebih kuat dari factor tegangan daya tahan unsure.
- Tiang UB
- Ujung penahan dipertebal dan diperlebar untuk menghindari kegagalan pada lubang baut.

Perincian pemasangan penahan ketegangan untuk mencapai *ductility*.

## **Saran No. 12: Kerangka tahan ketegangan dan tekanan**

### **Kerangka tahan ketegangan dan tekanan**

Dalam hal ini unsure ketegangan dan tekanan membawa beban pada saat bersamaan.

- Kerangka penahan tegangan/tekanan biasa digunakan pada gedung satu atau dua tingkat.
- Penahan biasanya dibuat dari kayu atau baja, atau unsure yang bisa menahan tekanan dan tegangan.
- Penyebab kegagalan biasa adalah pembengkokan pada penahan tekanan yang memindahkan beban ke unsure penahan tegangan.
- sebaiknya perincian pemasangan sambungan dilakukan untuk memastikan kegagalan terjadi di penahan ketegangan.

Palang V, palang K dan palang eksentrik adalah beberapa variasi dari system ini. Ini tidak dibahas dalam buklet ini.

Gambar 6:

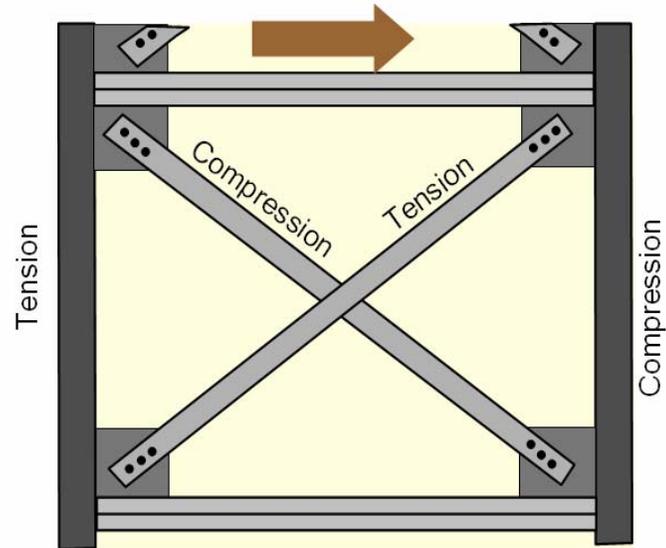


Figure 6  
**Axial Forces in Members of a Braced Frame**

*Tekanan Aksial pada unsur-unsur kerangka penahan*

- Tegangan (tension)
- Tekanan (compression)
- Tegangan (tension)
- Tekanan (compression)

## **Saran No. 13: Lantai Diafragma**

Lantai dan atap diafragma mengumpulkan kekuatan horizontal dan memindahkannya ke elemen vertikal – tembok atau kerangka kokoh.

- Diafragma adalah palang horizontal yang panjangnya mencakupi dua tembok atau kerangka dari ujung ke ujung.
- Diafragma didefinisikan sebagai unsur yang memiliki rasio besar daerah ketebalan yang mendistribusikan beban..
- Hal-hal berikut dapat berfungsi sebagai diafragma:
- Lapisan beton yang diperkuat
- Lantai kayu
- Palang-silang di lantai yang terbuat dari baja atau kayu.

### **Perancang harus memastikan:**

- Diafragma bertindak sebagai satu elemen.
- Beban dari diafragma harus dipindahkan ke tembok atau kerangka dasar.
- Sambungan harus dipasang secara teliti agar sekuat atau lebih kuat dari unsur-unsur lain.
- Lubang, terutama lubang besar dapat mempengaruhi distribusi beban dan harus dirancang secara rinci.

Gambar 3:

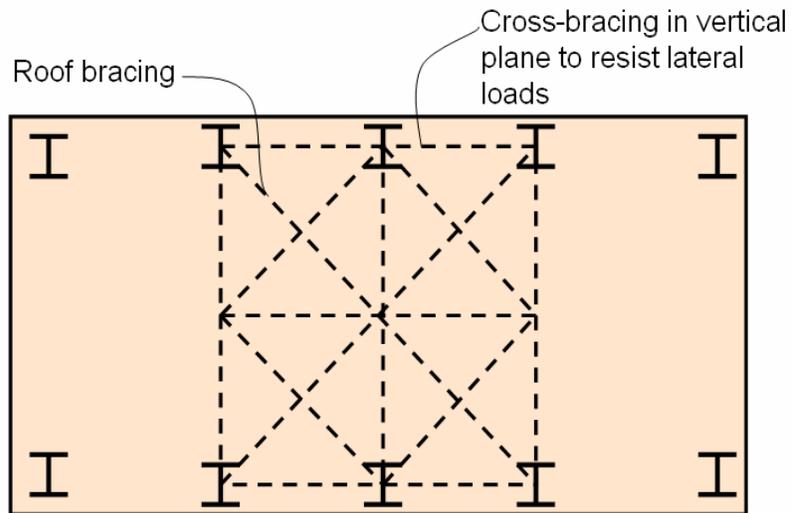


Figure 3

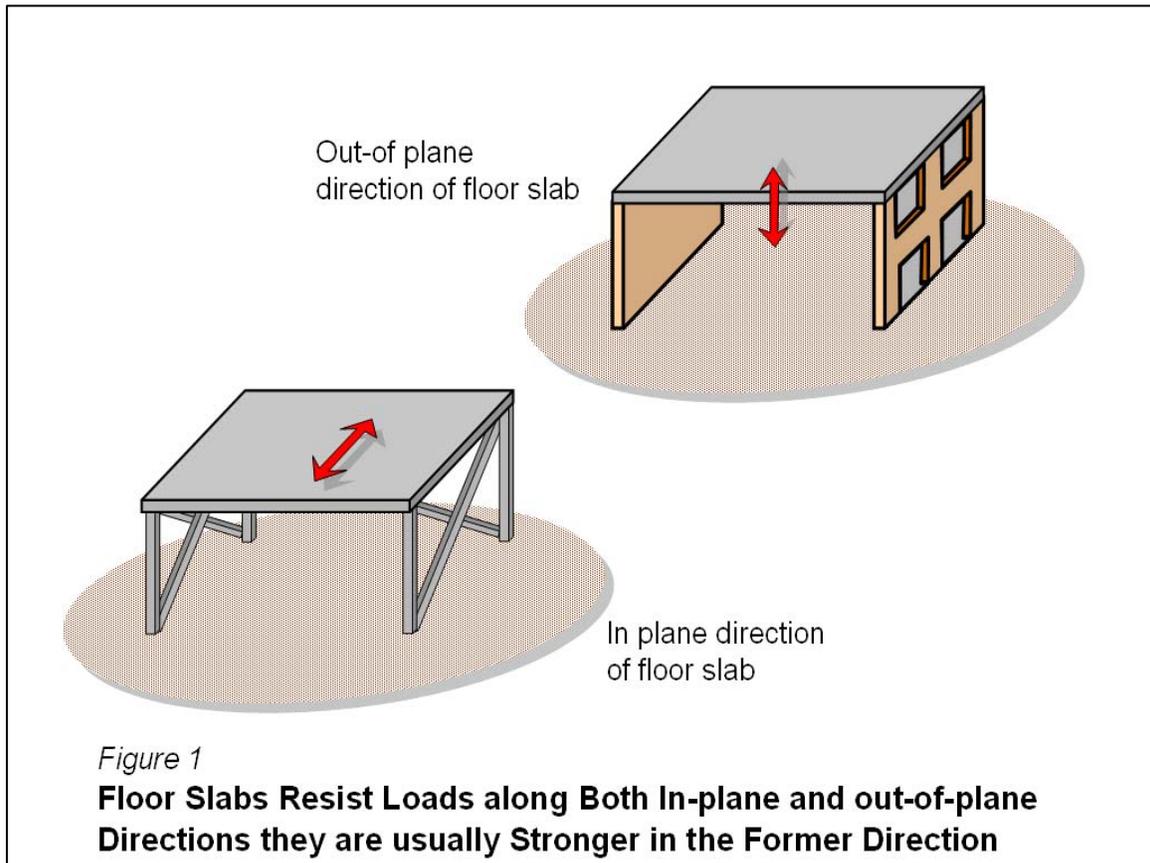
**Plan View of Typical Tension-Only Bracing in Roof to offer diaphragm action**

---

*Gambar atap berkerangka tahan ketegangan dan tekanan yang berfungsi sebagai diafragma*

- **palang atap**
- **palang-silang vertikal untuk menahan beban lateral**

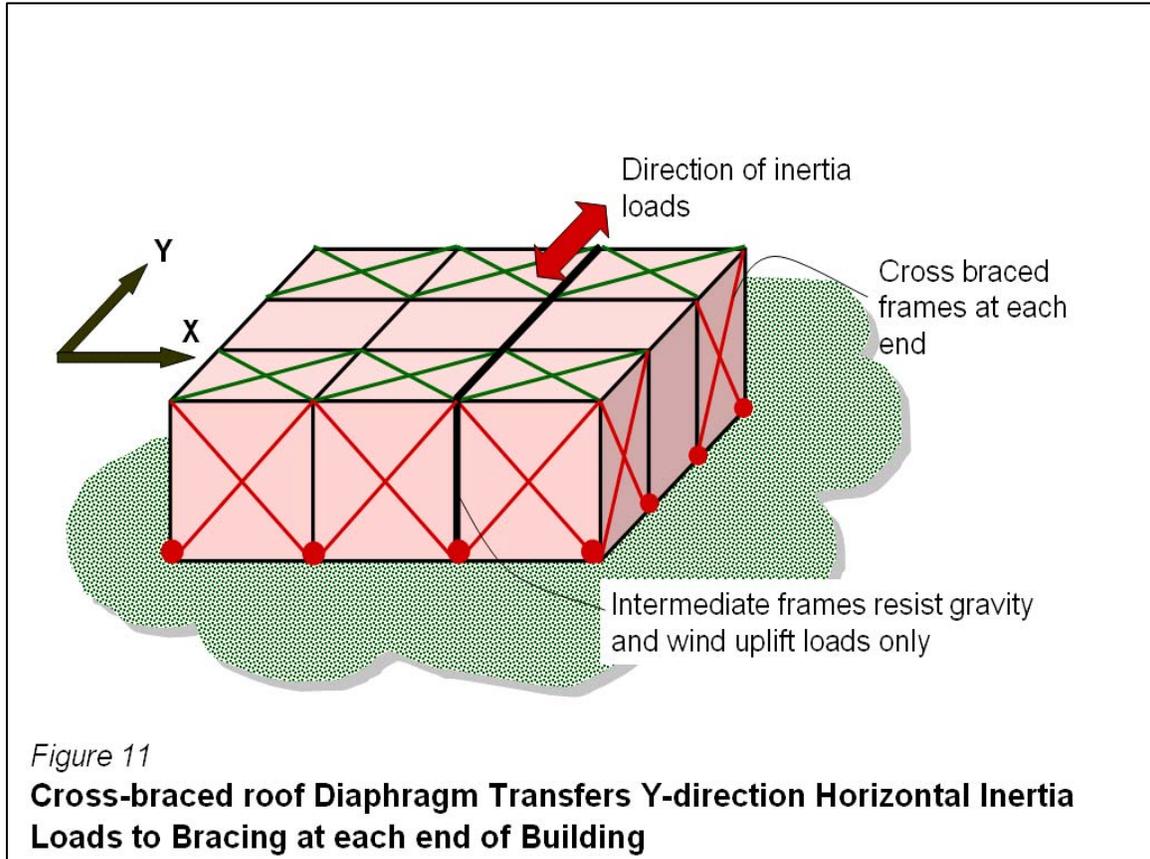
*Gambar 1*



*Lapisan lantai menahan beban arah ke dalam dan ke luar bidang biasanya lebih kuat ke arah luar bidang*

- arah ke luar bidang dari lapisan dasar
- arah ke dalam bidang dari lapisan dasar

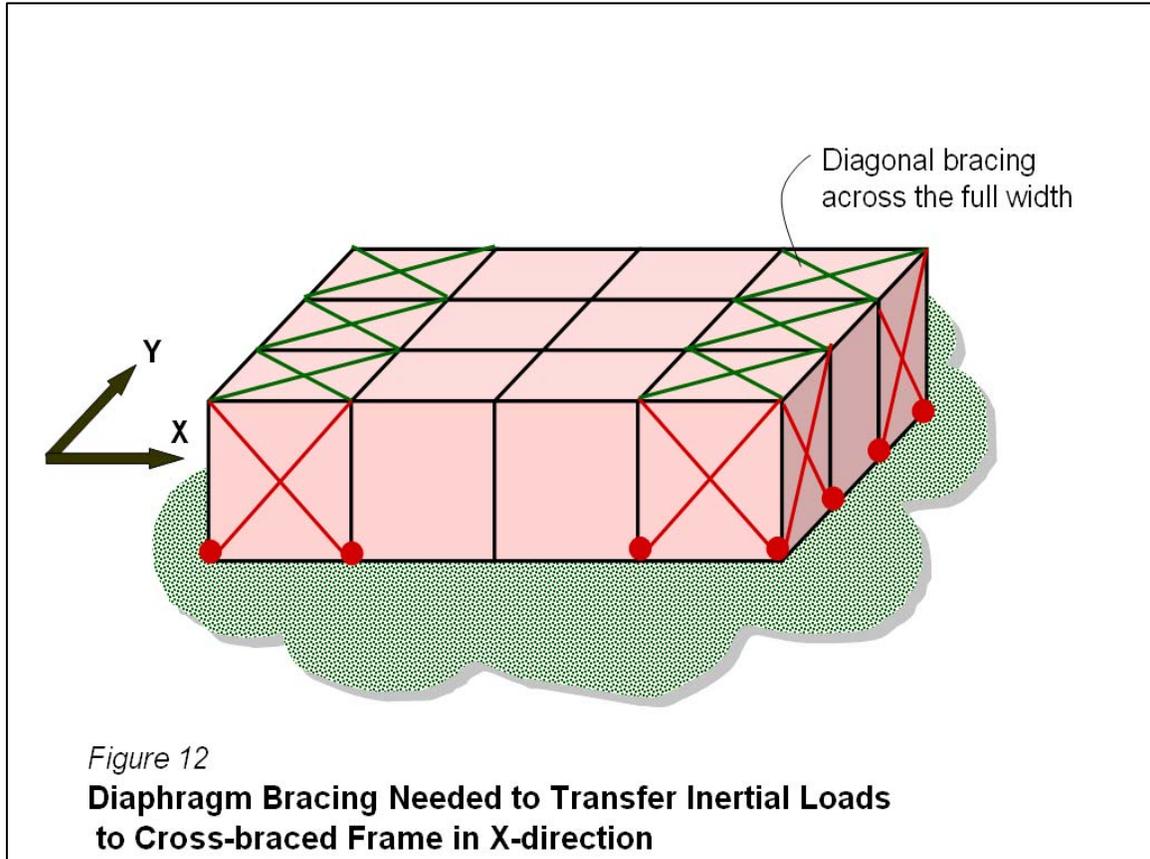
Gambar 11



*Diafragma atap palang-silang memindahkan beban kelembaman horizontal dari arah Y ke palang penahan di tiap ujung bangunan*

- Arah dari beban kelembaman
- Kerangka palang-silang di setiap ujung.
- Kerangka tingkat menengah hanya bisa menahan beban gravitasi dan angin

Gambar 12



*Penahanan diafragma yang dibutuhkan untuk memindahkan beban kelembaman pada kerangka palang-silang ke arah X*

- penahan diagonal yang membentang lebar bangunan

## Saran No. 14: Perancangan unsur-unsur non-struktural

### Unsur-unsur non-struktural tidak boleh mempengaruhi struktur

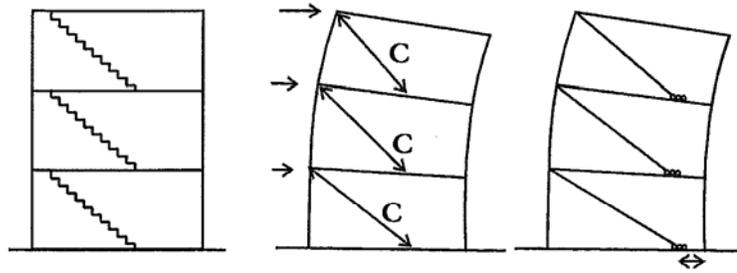
Perancang harus memastikan bahwa unsur non-struktural tidak dapat mempengaruhi jalur beban dan kekakuan seismis.

- **Tembok Batako** (dirancang untuk menjadi bagian struktural atau non-struktural) selalu kaku dan menghadap arah ke dalam bidang dan menarik beban lateral. Jika tembok batako tidak dimaksud untuk menjadi bagian dari struktur penahan beban, maka tembok tersebut harus dipisah dari struktur utama. Lihat Saran No.15 untuk rinciannya.
- **Tangga**, terutama jika terbuat dari beton dan baja selalu kaku dan dapat mempengaruhi jalur beban. Harus dipisah pada salah satu ujungnya.
- **Elemen eksternal arsitektur** seperti jendela mewah, dan unsur-unsur dekoratif lainnya harus disambung ke struktur utama (bayangkan bahwa gedung berada di atas bak truk seperti digambarkan di Saran No.1). Ketika terjadinya gempa sedang sering terjadinya kerusakan elemen-elemen tersebut; kadang-kadang orang diluar gedung dapat terluka atau terbunuh ketiban elemen-elemen yang jatuh.

### Penahanan Elemen Arsitektur dan Mekanis

- Plafon gantung berat dan dapat mengakibatkan kerusakan dan juga kematian, plafon gantung harus diikat ke elemen-elemen struktural utama.
- Peralatan mesin berat, tanki air, pemanas air dll sebaiknya diikat atau dibaut ke lantai.
- Meubel berat dan isi gedung lainnya sebaiknya diikat dengan aman.
- Pelapisan (Glazing) bisa patah dan jatuh ke tanah jika tidak dipasang dengan baik.

Gambar:

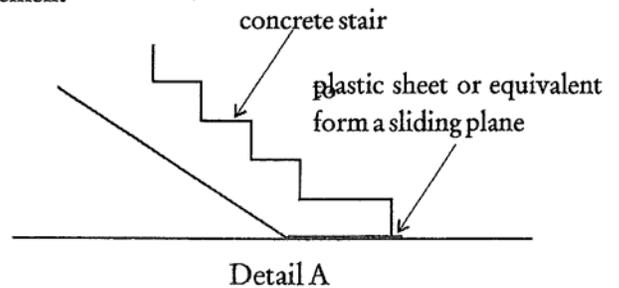


Single flight stairs in a building

Stairs form compression struts

Sliding joints allow free movement

Sliding joints which structurally separate stairs from primary structure can be easily formed by merely breaking the bond between stairs and the bottom support. See detail A.



- satu set tangga dalam gedung
- tangga berfungsi sebagai penyangga tekanan
- sendi bergerak mempermudah gerakan tangga
- sendi bergerak akan memisahkan tangga dari struktur utama. Sendi bergerak dapat dibentuk hanya dengan memisahkan hubungan bagian bawah tangga dengan lantai.
- Tangga beton
- Lapisan plastic atau benda lain yang dapat membantu pergeseran.

## **Saran No. 15: Memahami tembok batako**

### **Tembok Batako**

Tembok batako yang dibangun dengan baik akan bersifat kokoh dan kuat, serta dapat menahan beban vertikal dan horizontal (dalam bidang). Karena massanya yang berat, tembok batako bisa rapuh jika tidak dipasang dengan baik.

Sang perancang harus bisa membedakan antara tembok batako struktural (penahan beban) dan tembok batako non-struktural dan memasang tiap rincian menurut petunjuk. Tembok batako dapat mempengaruhi kekakuan dan penyaluran beban lateral walupun disengaja oleh si perancang atau tidak.

### **Tembok Batako Struktural**

Tembok batako yang menjadi bagian struktur utama harus cukup kuat untuk menahan beban horizontal dan vertikal. Tembok batako struktural dapat dibuat dari batako berkerangka (batako kosong dengan baja penahan vertikal dan horizontal) atau batu bata (bata tanah liat dengan tiang praktis RC).

Fitur-fitur yang diinginkan termasuk:

- Kenormalan horizontal dan vertikal.
- Palang yang diperkuat di bagian atap dan lantai.
- Diafragma struktural pada bagian atap dan lantai dengan sambungan untuk menyalurkan beban ke tembok.
- Tembok struktural tak boleh tipis. Tembok tidak boleh lebih dari 4m vertikal dan 9m horizontal.
- Jika dimensi tembok lebih lebar dari 7 meter, gerakan dan penyusutan thermal harus diperhitungkan.
- panjang tembok bisa dibatasi dengan penggunaan wall returns, pilaster atau tiang praktis.
- Tembok dengan lubang yang lebih besar dari 40% harus dirancang secara khusus.
- Hindari lubang seperti tembok dan jendela dekat sudut dan persimpangan.
- Sudut dan persimpangan harus diikat/ditahan.
- Tembok harus bisa menahan beban angin (lihat rincian di bawah)

### **Tembok Batako Non-Struktural dalam Bangunan Berkerangka**

Jika tembok batako tidak termasuk bagian dari system penahan beban, maka tembok harus dipasang dengan baik dan dipastikan tidak menjadi bagian permanent dari struktur. Tembok biasa (jika tak dipisah) dapat mempengaruhi reaksi seismis dan terlalu membebani elemen-elemen struktural.

Untuk memastikan agar tembok biasa tidak mempengaruhi struktur, tembok harus dipisah dari kerangka struktural.

- Pemisahan elemen non struktural adalah hal yang sangat penting dan harus diingat
- Harus ada jarak vertikal dan horizontal yang jelas antara tembok biasa dan kerangka struktural. Jarak harus tiga kali lebih panjang dari perhitungan defleksi elastis kerangka.
- Perancang juga harus mempertimbangkan daya tahan terhadap beban angin, daya tahan terhadap api, cuaca, dan hal-hal lain.
- Panel harus dipasang pada kerangka dengan batang berdiameter kecil yang dipasang berdekatan.
- Lihat perincian di halaman 54.
- Pemisahan tak terlalu penting jika struktur penahan beban lateral utama terbuat dari tembok kokoh dan kaku.

Tembok batako setengah tinggi (dengan lapisan/glazing) sering menjadi masalah. Jika tembok tak dipisah dari kerangka, tiang akan berkurang kelenturannya. Kelenturannya akan terbatas pada bagian kecil dari tiang yang dekat dengan glazing, dan ini akan menambah beban dia bagian atas tiang dan akan mengakibatkan keruntuhan. Ini dikenal sebagai *efek tiang rendah*.

**Untuk menghindari kelemahan diatas, pastikanlah tembok biasa dipisah sepenuhnya dari kerangka struktural.**

### **Rumah Batako dan Bangunan Batako Biasa (Non-Engineered)**

Ini biasanya dibangun dengan batako tiang praktis. Tembok batakonya akan menahan beban gravitasi dan beban lateral. Pastikan panel tersambung pada tiang dengan sambungan horizontal untuk mencegah keruntuhan akibat beban angin.

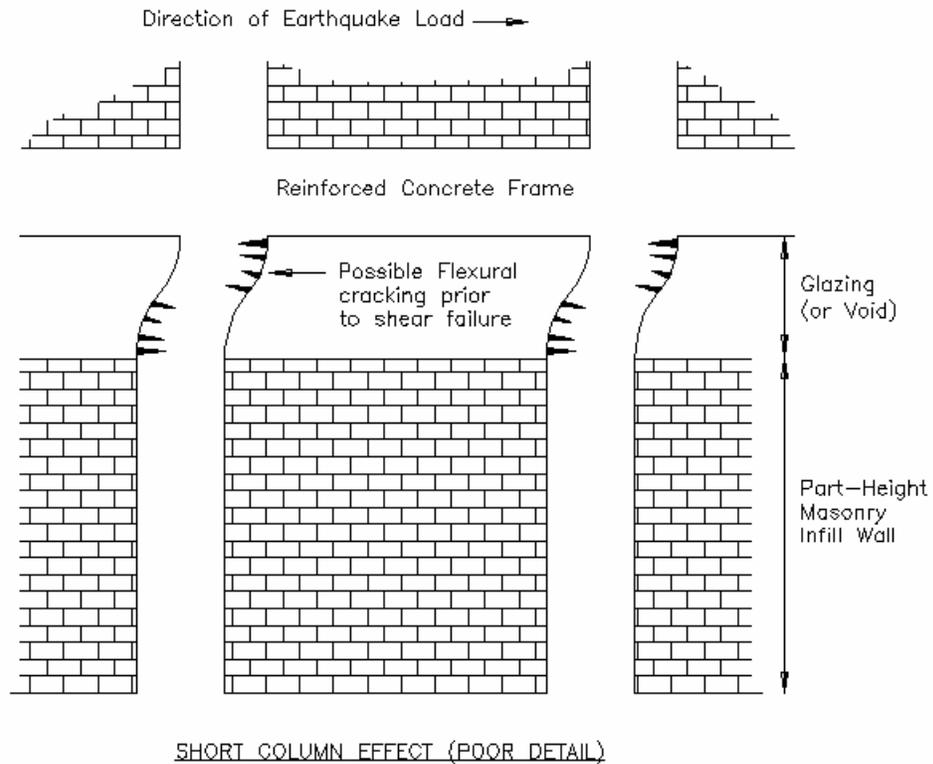
Rincia untuk bangun jenis ini dapat dilihat di bagian A1 hingga A7, B1 dan B4 (lihat Saran No. 24).

### **Bangunan yang harus dirancang secara spesifik.**

Dalam merancang bangunan besar, kadang perancang akan memisahkan system pertahanan beban gravitasi dengan system pertahanan beban seismis. Contohnya, gedung perkantoran dengan banyak lantai sering menggunakan kerangka beton untuk menahan beban gravitasi dan tembok kokoh beton untuk menahan beban lateral. Hal tersebut memerlukan perancangan khusus dan tidak dicakup dalam buklet ini.

Gambar

:



### EFEK TIANG PENDEK (RANCANGAN BURUK)

- Arah beban gempa
- Beton berkerangka
- Keretakan akibat pembengkokan
- Glazing
- Tembok batako setengah tinggi

Gambar (arah jarum jam):

- Penyangga di ujung tiang untuk menyalurkan beban ke tembok, tapi tetap meperbolehkan kerangka bergerak ke arah tembok dan sebaliknya.
- Beton berkerangka
- Jarak 50mm
- Baut baja yang dipasang ke sisi tembok untuk menahan beban angin.
- Saluran yang terkait pada tiang struktural di ujung manapun dirancang untuk menahan beban angina pada tembok

- *Lempengan baja yang dilas ke saluran. Lempengan dirancang untuk menyalurkan beban angin.*
- *Tembok bebas bergeser pada saluran. Tiang beton struktural di atas tembok bisa diganti dengan tiang ikatan.*
- *Rincian penyangga lateral tembok biasa yang dipisah-pisah*
- *Tembok setengah tinggi yang dipisah dari kerangka*
- *Penyangga di kerangka seperti yang sudah diperhitungkan*
- *Elemen kerangka vertikal yang diperkuat seperti yang sudah diperhitungkan*
- *Min. 150mm*
- *Tiang praktis dengan jarak yang sudah diperhitungkan*
- *Min. 150mm*
- *Penguat di palang atap seperti yang sudah diperhitungkan*

## **Saran No. 16: Hindari adanya lantai/tingkat yang lemah**

Definisi tingkat yang lemah dalam gedung bertingkat adalah lantai yang memiliki tingkat kekakuan lateral yang lebih rendah dari lantai di atasnya. Insinyur biasanya mendefinisikan lantai yang lemah sebagai lantai yang hanya memiliki tingkat kekakuan 70% dibanding lantai di atasnya.

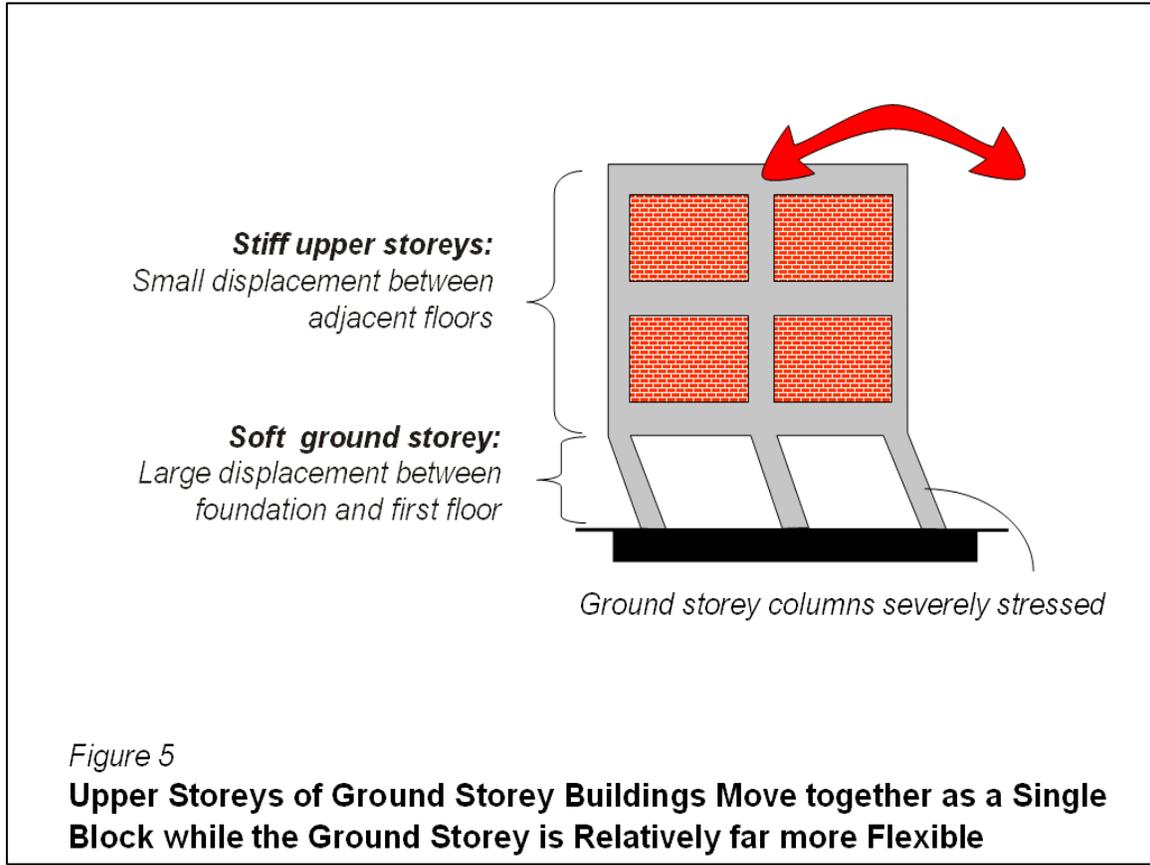
Tingkat lemah biasanya terjadi pada gedung yang menyediakan ruang terbuka untuk pertokoan, parkir, atau foyer.

Gempa akan menyebabkan pergeseran di lantai dasar yang dapat mengakibatkan runtuhnya tiang lantai dasar.

Cara menghindari tingkat yang lemah:

- Lantai dasar harus lebih kokoh dari lantai-lantai di atasnya.
- Ingat bahwa serangan gempa terkuat akan terasa pada tingkat lantai dasar.
- Rencanakan tingkat yang lemah agar bisa menahan beban horizontal 3 hingga 6 kali lebih banyak daripada lantai-lantai atas.
- Pastikan tembok batako non-struktural terpisah dari struktur utama.
- Jika memungkinkan, gunakan tembok kokoh untuk menggantikan peran kerangka sebagai penahan beban horizontal.
- Jika pilihan-pilihan di atas tidak memungkinkan, maka tiang lantai dasar dapat diperkuat (ini adalah solusi kompromi).

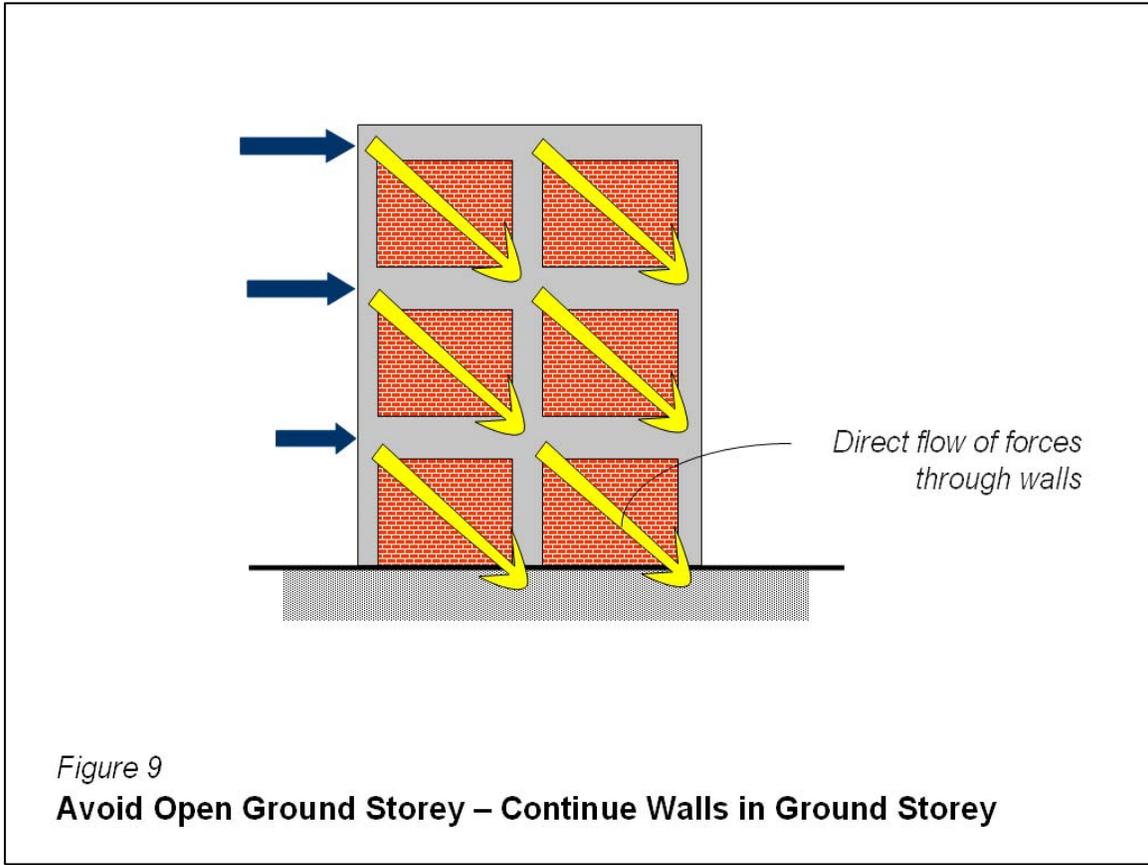
**Gambar 5**



**Lantai atas bergerak sebagai satu blok utuh sementara lantai dasar lebih fleksibel.**

- **Lantai atas yang kokoh dan kaku: sedikit pergeseran diantara tingkat-tingkat yang bersambungan.**
- **Lantai dasar yang lemah: pergeseran besar antara fondasi dan lantai dasar.**
- **Tiang lantai dasar sangat dibebani**

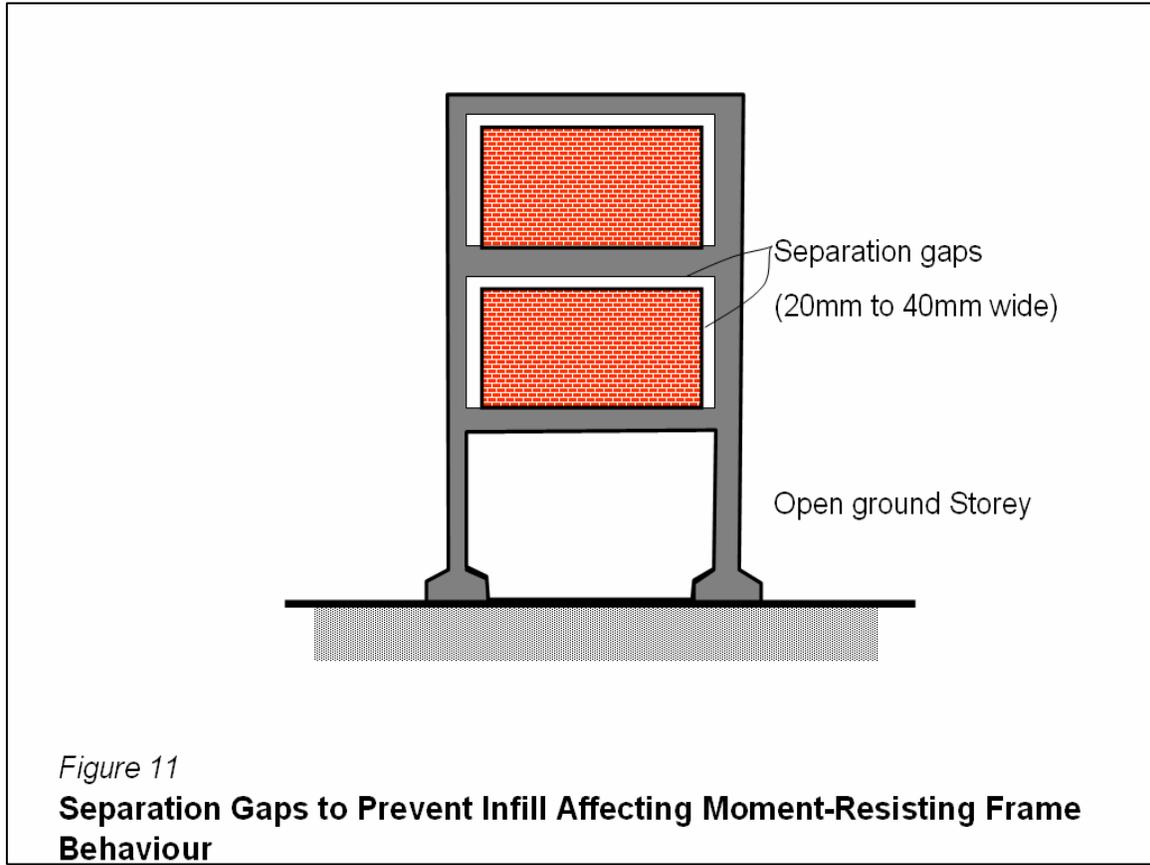
**Gambar 9**



**Hindari lantai dasar yang terbuka, lanjutkan tembok hingga lantai dasar.**

- aliran tekanan melalui tembok

**Gambar 11**



**Jarak pemisah untuk menghindari dipengaruhinya kerangka penahan momentum oleh beton pengisi.**

- **Jarak pemisah (lebar 20-40mm)**
- **Lantai dasar terbuka**

## **Saran No. 17: Meningkatkan kualitas bangunan komersil dengan bagian depan yang terbuka**

### **Bangun komersil dengan bagian depan terbuka**

Penyewa di bangunan komersil biasanya membutuhkan bagian depan bangunan agar terbuka; biasanya untuk garasi dengan pintu besi atau pintu took yang terbuat dari kaca. Tersebut akan membuat bangunan jadi asimetris; kedua tembok samping kaku, tembok belakang juga kaku, sedangkan 'tembok' depan sangat fleksibel.

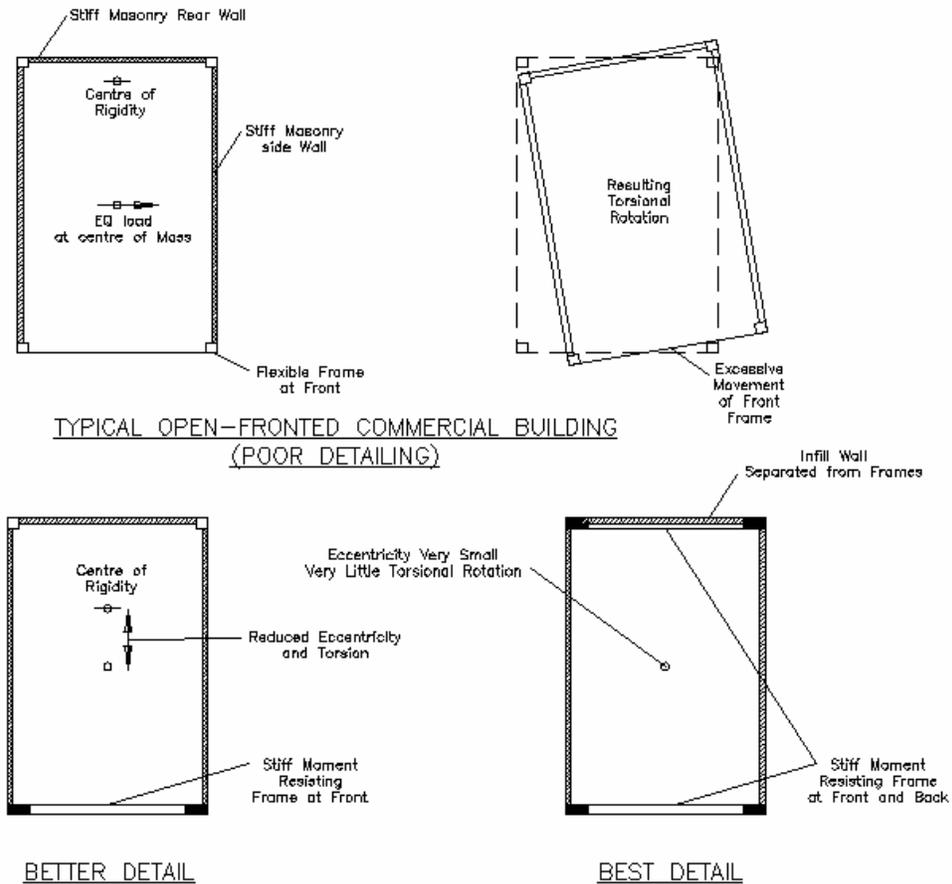
Beban lateral (gempa) dapat menyebabkan puntiran yang bisa menyebabkan pergeseran horizontal skala besar pada bagian depan gedung yang bisa mengakibatkan keruntuhan. Di seluruh dunia, telah banyak sekali bangunan sejenis yang telah hancur akibat gempa.

### **Memperbaiki Kualitas Bangunan Komersil Depan Terbuka**

Ada beberapa cara untuk memperbaiki bangunan:

- Gunakan kerangka penahan momentum pada tembok depan bangunan. Ini hanya solusi kecil, tembok belakang akan tetap lebih kokoh daripada tembok depan. Ini berarti puntiran yang akan dikurangi dan tidak dieliminasi.
- Pastikan lapisan dasar lantai pertama berfungsi sebagai diafragma yang memperkuat gedung.
- Solusi lain adalah dengan membangun tembok depan dan belakang dari bahan penahan momentum yang sama.

*Gambar*



Bangunan komersil depan terbuka biasa

- tembok belakang dari batako kokoh
- -o- pusat rigiditas
- tembok samping dari batako kokoh
- kerangka fleksibel di depan
- -o- beban EQ di pusat massa
- Rotasi puntiran yang terjadi
- Pergerakan berlebihan dari bagian depan

Rincian yang lebih baik

- -o- pusat rigiditas
- Puntiran berkurang
- Kerangka penahan momentum yang kokoh di depan

Rincian terbaik

- tembok beton yang terpisah dari kerangka
- Kerangka penahan momentum yang kokoh di depan dan di belakang
- Ekesentrisitas rendah dan puntiran sangat sedikit

## **Saran No. 18: Meningkatkan kualitas rumah tradisional**

### **Rumah, balai, serta bangunan tradisional Aceh lainnya**

Rumah, balai, bangunan umum serta bangunan komersil satu lantai seringkali dibuat dari batako serta menggunakan tiang praktis RC di sudut dan panel tengah.

Jenis-jenis bangunan diatas akan bertahan dengan baik pada saat gempa jika dirancang dan dikonstruksi dengan baik. Bangunan yang tidak dirancang dan dikonstruksi dengan baik telah runtuh pada saat diterpa gempa akhir-akhir ini.

Jenis-jenis bangunan diatas pun ada yang dua lantai, namun rincian spesifik perancangannya tak dicakup dalam buklet ini.

Untuk memastikan daya tahan bangunan yang maksimal, perancang harus memastikan:

- Jika pijakan batu akan digunakan, harus dibuat dengan standard tinggi oleh tukang yang berpengalaman. (kami melihat banyak variasi kualitas fondasi batu di Aceh)
- Jika tidak ada tukang yang berpengalaman, pijakan sebaiknya dibangun dari beton berkerangka.
- Tembok harus terikat pada fondasi
- Tiang praktis harus dipasang dengan spasi yang disarankan.
- Palang penyambung horizontal harus disediakan untuk menyambung panel tembok ke tiang.
- Jika memungkinkan, atap sebaiknya dibuat dari bahan ringan.
- Prinsip dasar perancangan (Saran no.1 hingga 8) sebaiknya diikuti dengan baik.
- Semua bahan dan pemasangannya harus memenuhi standard. Lihat Saran No. 20 hingga 23. Beton harus digunakan menurut Saran No.23.
- Rincian penggunaan beton berkerangka dari Saran No.19 sebaiknya diikuti (tapi tidak hingga dimensi minimum).

Masalah lain:

- Jika ada cerobong asap, cerobong tersebut harus terikat ke tembok dan atap. Cerobong yang runtuh dapat mengakibatkan kerusakan besar.
- Kami menyarankan digunakannya bahan atap yang ringan. Tapi jika genteng beton atau tanah liat harus digunakan, maka tiap genteng harus diikat ke kerangka atap dengan kawat anti-karat.
- Barang berat seperti tanki dan tabung air panas harus dipasang dengan kuat. Contoh pemasangan yang baik dapat ditemukan di beberapa buku lain termasuk referensi A1 hingga A7, B1, B4 and B10 (lihat Saran No. 24).

## **Saran No. 19: Perancangan Bangunan Semen Berkerangka**

Gempa-gempa yang terjadi belakangan ini mengajarkan kita bahwa daya tahan bangunan beton sangat tergantung pada kualitas rancangan dan kualitas konstruksi.

### **Elemen-elemen yang terbuat dari Beton Berkerangka**

- Palang dan tiang harus berdimensi minimal 200mm in each direction. Jika palang dan tiang lebih kecil, akan lebih sulit untuk menuangkan semen. (Untuk bangunan lebih dari tiga tingkat (10m) tiang harus lebih besar dari 200mm x 200mm.)
- Penyusutan beton dapat terjadi jika pembangun menambah terlalu banyak air ke semen.
- Kedalaman palang pada kerangka penahan momentum harus minimal  $\frac{1}{2}$ .
- Kedalaman tiang pada kerangka penahan momentum harus minimal sedalam palang.
- Bagian tengah palang dan tiang sebaiknya bertemu.
- Lebar tiang dan palang harus sama untuk mempermudah pemasangan yang kuat.
- Palang tanah harus sedalam tiang.

### **Tutup Beton**

- Penutup semua baja penguat harus minimal setebal 25mm. Pada lingkungan yang kasar, misalnya dekat pantai, penutup harus minimal setebal 50mm. Periksa peraturan daerah mengenai hal tersebut.
- Tutup beton akan melindungi baja penguat dari efek negative air laut, polusi, dll. Pastikan semen kualitas tinggi yang digunakan.
- Tutup yang kurang memadai (atau semen kualitas rendah) dapat mengakibatkan korosi/pembusukan baja penguat yang terus dapat mengakibatkan keretakan pada beton penutup dan mengurangi daya tahan.

### **Ukuran Batang Minimal**

Untuk semua bangunan (Kecuali rumah tradisional):

- Batang utama pada palang dan tiang harus minimal 12mm.
- Ikatan harus minimal 6mm. Round bar is preferable for ties.
- Baja penguat harus sesuai standard persentase minimum dan penspasian maksimum.
- Letakkan baja penguat pada daerah yang memiliki potensi terjadinya retakan seismis.; misalnya di sudut lubang.

## Pemasangan ikatan dan penahan pada tiang dan palang beton.

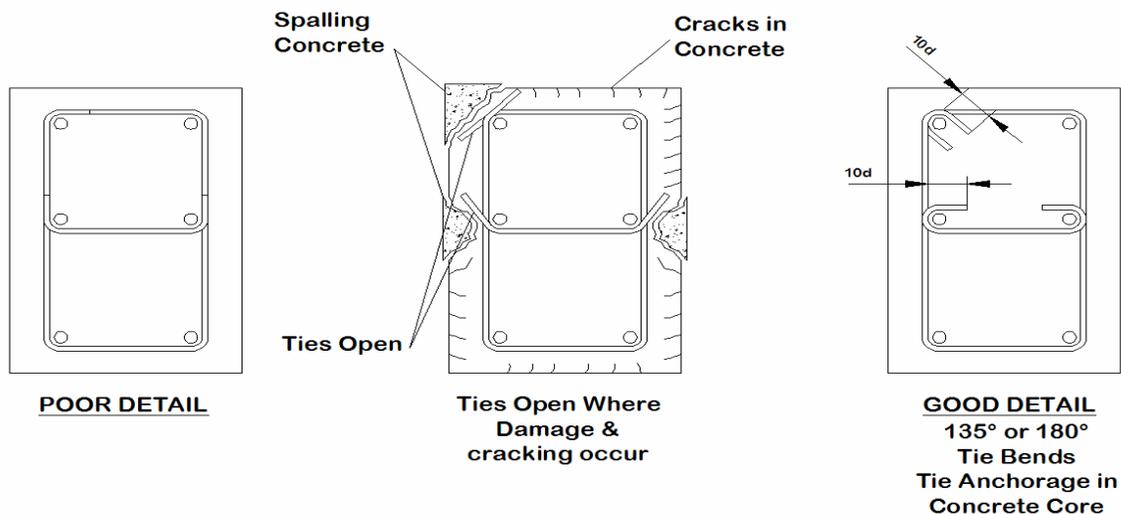
Ikatan dapat memperkuat tiang dan palang beton. Ikatan berfungsi untuk menahan elemen pada saat terjadi pembengkokan. Ikatan berfungsi menahan inti beton dan menghindari patahnya baja utama ketika mengalami tekanan.

Beton penutup dapat retak pada saat gempa. Jika pembengkokan  $90^\circ$  digunakan, maka tiang akan hanya meluruskan diri, mengurangi daya tahan dan mengakibatkan keruntuhan tiang, patahnya baja utama, rusaknya inti beton dan jatuhnya bangunan. Mekanisme diatas telah terlihat pada beberapa gempa dan dikonfirmasi oleh tes-tes di laboratorium

## Saran untuk ikatan dan penahan.

- Ikatan harus dibengkokkan  $135^\circ$  or  $180^\circ$ . Bengkokan  $90^\circ$  tak boleh digunakan
- Bagian yang dibengkokkan harus minimal  $10d$  (sepuluh kali diameter batang)
- Pastikan jangkar ikatan (terutama pada ikatan tiang) dipasang dengan baik. Ini adalah cara paling murah dan mudah untuk meperkuat bangunan beton berkerangka di daerah rawan gempa.
- yang harus dipastikan adalah bahwa ikatan diukur dengan tepat dan jarak antara ikatan tidak terlalu jauh, terutama di daerah dekat persendian.
- Ikatan tiang dan palang harus berjarak dekat dengan persendian.

*Gambar*



## Pemasangan buruk

### Ikatan terbuka ketika terjadi keretakan

- Beton Patah
- Ikatan terbuka
- Beton retak

### ***Laps*, Pemotongan dan Penjangkaran**

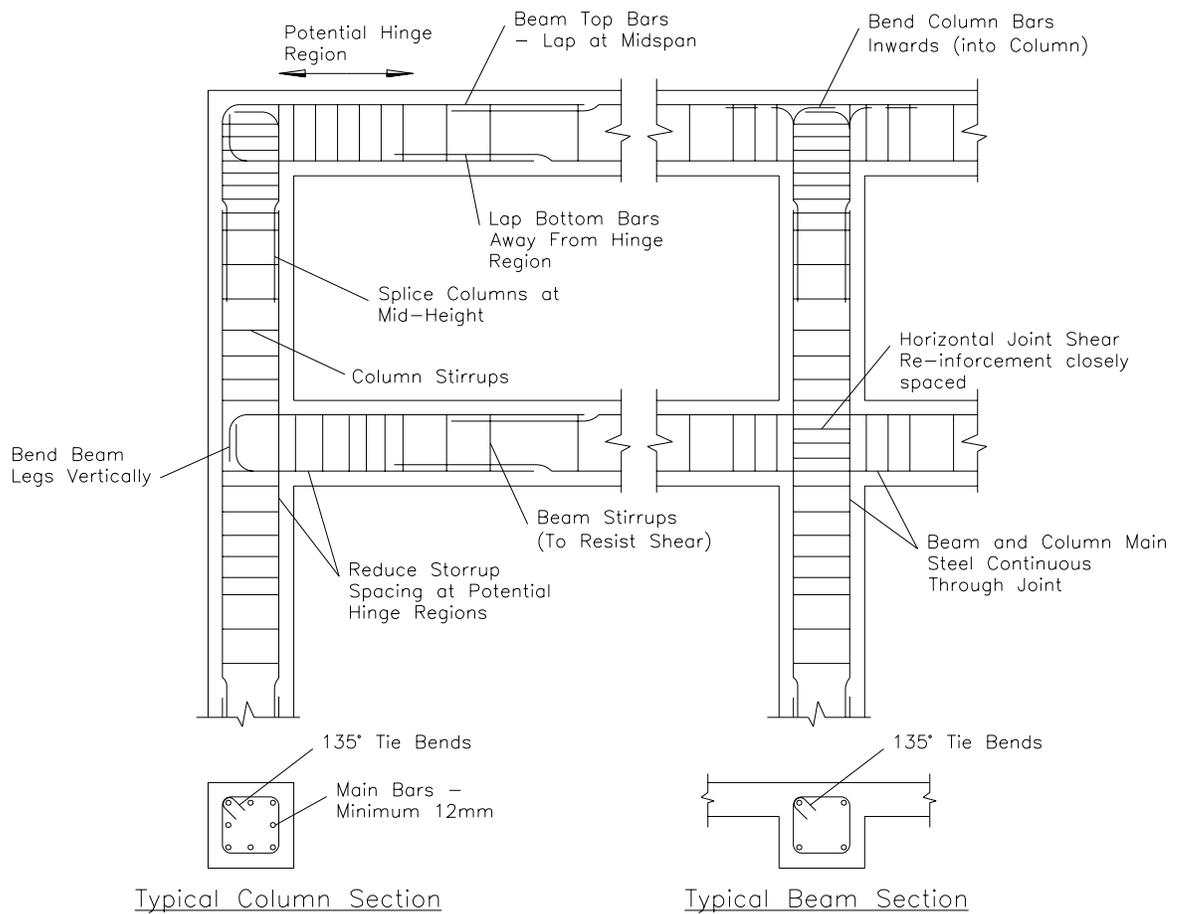
- Penjangkaran dan *laps* harus memperkuat batang.
- *Laps* dan pemotongan pada tiang dan palang harus sesuai atau melebihi standar peraturan.
- Jika panjang *Lap* terlalu pendek, daya tahan terhadap tekanan dan pembengkokan berkurang.
- Ukuran standard untuk lap dan daerah pemotongan adalah 40 kali diameter batang.
- Unukuran pengkaran juga harus minimal 40 kali diameter.

### **Persendian tiang-palang pada kerangka penahan momentum yang diperkuat beton.**

Persendian tiang-palang harus lebih kuat daripada tiang dan palang. Persendian jelek dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan.

Perancang biasanya dipaksa untuk mengurangi jumlah elemen; persendian jadi terlalu ramai; pembangun mengurangi jumlah baja. Pastikan dimensi keseluruhan cukup besar untuk mengakomodasi baja penyangga serta ikatan-ikatannya.

**Saran: Rancanglah sendi baja sebelum menentukan ukuran tiang.**



REINFORCED CONCRETE MOMENT-RESISTING FRAME  
EXAMPLE OF GOOD DETAILING

Pemasangan Baik

- 10d
- *Ikatan dibengkokkan 135° or 180°.*
- *Penjangkaran di inti beton*

## **Saran No. 20: Bahan bangunan harus berkualitas tinggi**

### **Bahan Bangunan**

**Kualitas bahan dan tukang bangunan sangat mempengaruhi kualitas daya tahan bangunan.**

### **Beton berkerangka**

Beton berkerangka adalah bahan yang bagus jika digunakan dengan tepat.

Kualitas beton harus dikendalikan.

Beton harus diuji kualitasnya.

### **Beton**

- Kekuatan beton – minimal 17.5MPa, 25MPa lebih baik
- Beton harus dibuat dari semen kualitas tinggi, batu kapur dan pasir yang telah dicuci, dan air bersih.
- Beton tidak boleh terlalu basah.
- Beton harus dituang, diaduk, dan diselesaikan menurut metode standard.
- beton harus dibiarkan hingga mencapai target daya tahannya. Secara umum, beton harus dibiarkan lembab selama minimal seminggu.
- beton harus diaduk dan dituang ulang, **jangan hanya dioleskan.**

### **Kerangka baja**

- Kerangka baja harus bernilai minimal 250 (250MPa)
- Kerangka baja harus *ductile*; jika bajanya sangat kuat (lebih dari 300MPa) pastikan baja itu *ductile* dan mengikuti peraturan (jangan di las, dijalin, dibengkokkan ulang)
- Baja lunak biasanya *ductile* dan syarat perincian tidak terlalu rumit.
- Semua baja longitudinal harus merupakan batang deformasi; batang bundar kurang kuat.
- Batang bundar disarankan untuk ikatan dan penyangga.

### **Baja Struktural**

Baja structural yang digunakan di system penahan beban lateral utama harus memenuhi standard nasional. Semua baja yang digunakan harus mengikuti spesifikasi yang sama. Jika nilai baja lebih dari 300MPa, pastikan lasnya cocok dengan nilai baja.

## **Kayu**

- Kayu (spesies, kekuatan, daya tahan) dan penggunaannya harus cocok dengan penggunaannya. Beberapa jenis paku dan baut logam tak cocok dengan beberapa jenis kayu, pastikan paku tepat yang digunakan.

## **Saran No. 21: Pemeriksaan dan pengawasan konstruksi.**

Agar dapat menahan gempa, bangunan harus dibangun menurut standard yang tinggi. Pengawas yang baik dapat memastikan bangunan dikonstruksi dengan kualitas yang diinginkan.

### **Umum**

Pengawas harus:

- Pastikan agar lokasi cocok untuk bangunan.
- Pastikan bangunan dikonstruksi di tempat yang sama.
- Pastikan bahwa bahan bangunan dipilih dengan benar, dalam kondisi baik, disimpan dengan baik (tidak diatas tanah, jauh dari matahari dan hujan).
- Pastikan semua pelayanan bangunan yang diperlukan (pembuangan air, dll.) masuk akal dan dapat disambung ke jaringan pipa lain.

Pengawas bangunan harus memastikan bahwa mandor dan tukang memenuhi kualifikasi pekerjaan masing-masing.

### **Keharusan menggunakan tenaga kerja local tidak boleh dijadikan alasan munculnya kualitas rendah!**

Pengawas yang baik akan memeriksa gambar dan spesifikasi sebelum memulai pembangunan. Yang harus diperhatikan adalah:

- Gambar harus menyediakan informasi yang cukup untuk proses pembangunan; termasuk dimensi, spesifikasi bahan bangunan, dll.
- Bangunan yang diperhatikan masuk akal dan cocok dengan fungsi yang ditujukan.
- Bangunan dapat dibangun sesuai dengan gambar.

Jika ada yang tidak cocok, maka pengawas harus menghubungi perancang dan menyelesaikan semua masalah sebelum proses pembangunan dimulai.

### **Pemeriksaan Spesifik**

*Fondasi.* Periksa:

- Fondasi telah digali menurut kedalaman yang tertera pada gambar.
- Bahwa lapisan dasar sekuat perkiraan si perancang (biasanya tingkat ketahanan 300kPa)
- Bahwa lapisan dasar kering. Jika tidak, air yang ada harus dipompa keluar, serta pertimbangkanlah dipasangnya pipa pembuangan air tambahan.

**Beton.** Lihat Saran No. 23.

**Baja Penahan and Baja Struktural.** Periksa bahwa baja:

- Bebas dari karat (karatan sedikit di bagian atas bukan masalah)
- Bebas dari kotoran, oli, dll
- Belum dipotong, dilas, dibengkokkan, dll diluar spesifikasi yang dibutuhkan.

**Kayu.** Periksa bahwa kayu:

- Jenisnya tepat, dan diproses dengan tepat.
- Lurus dan kuat
- Bebas dari kebusukan
- bebas keretakan
- Kering.

**Batako.** Periksa bahwa batako/bata:

- Ukuran, bentuk, dan kualitasnya konsisten.
- Semen batako sudah kering.
- Sebaliknya, bata tak boleh dipasang dalam keadaan kering.

**Baut, Pengikat, Dll.** Periksa bahwa baut, pengikat dan komponen logam lainnya menurut spesifikasi yang ditentukan perancang. Jangan pernah gunakan baja lunak sebagai pengikat. Gunakanlah Stainless Steel.

**Alasan yang sering dipakai untuk menolak saran:**

Pengawas harus sadar bahwa ada beberapa alasan yang sering dipakai untuk menolak saran:

- Kekurangan sumber daya termasuk uang.
- Kebodohan
- Kerakusan/ketidakjujuran
- Keteledoran

Seorang tukang mungkin tak mengerti bahwa tiang harus dibengkokkan ke 135°; seorang tukang yang lain mungkin terlalu malas untuk melakukannya; sepertiga dari tukang bangunan mungkin akan mencuri sebagian dari ikatan tiang. Ketiga kejadian diatas akan menyebabkan gedung mudah runtuh jika diterpa gempa. Pengawas harus memastikan bahwa hal-hal tersebut tidak terjadi.

## **Perawatan**

Pengawasan terhadap perawatan gedung secara berkala. Kurangnya perawatan akan mengakibatkan rusaknya bahan bangunan dan menurunnya daya tahan gedung yang akan menyebabkan kerusakan lebih besar jika ada gempa.

## **Bacaan Lain**

*Easy Way to Inspect Simple Infrastructure*

Cipta Sarana Mandiri

Jalan RajaMantri Wetan No. 9

Bandung 40264

Indonesia

[csm@bdg.centrin.net.id](mailto:csm@bdg.centrin.net.id)

## **Saran No. 22: Pelatihan Buruh Bangunan**

### **Saran Pelatihan Buruh Bangunan yang Lebih Baik**

Selalu ada kekurangan tenaga buruh bangunan yang berpengalaman ketika dilaksanakan proses pembangunan ulang pasca-gempa.

Adalah tanggung jawab pengawas untuk memastikan bahwa buruh bangunan telah memiliki pelatihan yang mencukupi. Tugas pengawas akan menjadi lebih sulit jika buruh tidak berpengalaman!

Jika pelatihan cukup, maka bekerja pada proyek pembangunan bukanlah hal yang sulit. Jauh lebih mudah untuk mengerjakan sesuatu dengan buruk, tapi ini akan mengakibatkan kerapuhan struktur bangunan.

Telah banyak materi pelatihan pembangunan yang diterbitkan oleh LSM-LSM dan organisasi peneliti konstruksi di seluruh dunia. Sebaiknya materi tersebut digunakan jika mungkin. Lihat referensi B5, B6 dan C1 pada Saran No. 24.

### **Poin-Poin Utama**

- Semua pekerja harus dilatih menurut tugas masing-masing.
- Pekerja harus diajarkan mengenai konstruksi yang dirancang.
- Jika terpaksa menggunakan pekerja yang tak berpengalaman, maka mereka harus diajar cara memilih bahan serta mencampur, meletakkan dan mengeringkan beton, dll.
- Ingat bahwa pekerja yang tak terlatih harus lebih diawasi daripada pekerja yang berpengalaman.
- Perancang juga harus mempertimbangkan keberadaan pekerja yang berpengalaman ketika merancang proyek. Contohnya: jangan gunakan fondasi batu tradisional jika tidak ada tukang batu yang berpengalaman di daerah lokasi proyek.

## Saran No. 23: Konstruksi Beton

### Umum

- Beton adalah campuran pasir dan kerikil yang dicampur dengan semen, lalu dibiarkan mengeras.
- Proses yang dijabarkan di bagian ini akan membantu anda membuat beton dengan kekuatan yang memadai.
- Beton adalah bahan permanent – rencanakan pekerjaan anda dengan hati-hati, beton yang tidak diinginkan akan sangat susah dihilangkan.
- Beton tahan tekanan dan tahan lama.

### Persediaan Beton

- Beton bisa diaduk ditempat atau dari pabrik.
- Walaupun beton bisa diaduk dengan tangan, hasilnya biasanya kurang bagus.
- Pabrik pengaduk biasanya menghasilkan beton yang lebih baik.
- Jika keadaan memungkinkan, **kami menyarankan penggunaan beton dari pabrik pengaduk.**

### Campuran Beton

- Beton untuk pembangunan struktural harus minimal 17.5 MPa, lebih baik 20 atau 25MPa.
- Makin banyak semen yang digunakan, maka beton yang dihasilkan akan lebih kuat dan tahan lama.
- Makin banyak Semen yang digunakan, maka makin banyak air yang diperlukan
- Jika campuran tidak diawasi dengan baik, dapat terjadi keretakan yang akan mengurangi daya tahan.
- standar campuran beton baik adalah 275kg/m<sup>3</sup>in beton struktural.

### Bahan Beton – Semen

- Semem adalah bubuk mineral halus.
- Jika dicampur dengan air, semen akan berubah jadi pasta yang akan mengeras jika kering. Jika dicampur dengan pasir dan batu-batuan pada saat basah akan mengeras menjadi beton.
- Jenis semen dibedakan oleh kehalusan bubuk, kecepatan mengering dan faktor lain.
- Beberapa jenis semen mengandung filter.

### *Pada Lokasi Pembangunan Anda harus*

- Gunakan semen paling lambat seminggu setelah kantong semen dibuka.
- Semen baru sebaiknya dikirim tiap minggu.

- Simpan semen jauh dari permukaan tanah dan ditempat teduh. Jangan sampai basah.
- Buang gumpalan-gumpalan semen yang keras.

#### **Pasir dan batu-batuan:**

- hindari batu-batuan besar; 19mm disarankan. Dalam situasi terpaksa, 25mm is boleh.
- Jika beton harus dicampur dengan tangan, 13mm lebih mudah
- cuci batu-batuan – lapisan debu halus pada batu-batuan dapat mengurangi kekuatan beton.
- Bersihkan puing-puing, rumput, dan tanah dari areal penyimpanan. Pastikan areal tersebut tetap kering.
- Pisahkan dan beri label batu-batuan menurut jenis.

#### **Pasir:**

- Pasir untuk beton harus tajam.
- Pasir harus berbagai ukuran. Yang halus sedikit lebih baik. Campuran beton dengan pasir satu ukuran akan memberi hasil yang kurang baik
- Pasir juga harus dibersihkan.

#### **Air:**

- Air harus segar dan bersih.
- Air minum lebih baik.
- Kadar garam dalam air dapat mengakibatkan korosi baja.

#### **Campuran Tambahan**

- Ada banyak campuran tambah yang bisa digunakan untuk memperbaiki kualitas beton.
- Pastikan anda yakin tentang cara menggunakan campuran tambahan sebelum digunakan.

#### **Penyampuran, Peletakan, Penyelesaian, Pengeringan.**

- Beton harus diaduk hingga konsisten.
- Beton adukan tak boleh terlalu kering atau terlalu basah.
- Beton yang terlalu basah memang mudah digunakan, tapi tidak sekuat yang dibutuhkanda dapat mengakibatkan terjadinya keretakan.
- Beton yang terlalu kering susah digunakan dan tak akan sekuat yang dibutuhkan.
- Hati-hati! Cuci semen dan beton basah dari kulit dengan menggunakan air yang banyak.

## **Penyampuran Beton Dengan Tangan**

- Gunakan Kantong semen yang penuh
- Alat pengukur tak boleh diisi penuh!
- Harus diingat bahwa pekerja biasanya bisa mengangkat hingga maksimal 30kg; Jika lebih berat, akan lebih susah diangkat. 30kg.
- Ukur beratnya bukan volumenya.
- Penyampuran beton tangan adalah kerja keras. Kebanyakan pekerja tidak bisa mengaduknya dengan baik, atau menggunakan terlalu banyak air untuk mempermudah pekerjaan mereka.
- Pengadukan harus dilakukan diatas permukaan yang kokoh dan keras.
- Mixing directly on the ground will result in contaminated beton
- Tanah kering dapat menghisap air dari campuran beton.
- Sebar dan aduk bahan-bahan yang telah ditimbang.
- Kosongkan tengahnya dan tambahkan air.
- Aduk dengan cara menyekop bahan dari pinggiran ke tengah, membalikan setiap sekop di tengah.
- Tambah air hingga seluruh campuran memiliki warna dan kekentalan yang sama.
- Jika menggunakan pengaduk beton kecil, jangan lupa untuk memasukkan batu-batuan duluan dengan sedikit air untuk membersihkan drum. Lalu masukkan semen, pasir, dan sisa air.
- Pastikan beton tercampur dengan baik
- Pengaduk beton yang kecil tak bisa mengaduk secepat pengaduk beton besar.
- Mecampur beton di lokasi dapat menyebabkan kebisingan, kekotoran, dan kontaminasi saluran pembuangan air.
- Bahan yang disimpan sering bisa hilang dari lokasi.

## **Peletakkan dan pengepasan**

- Beton tak boleh diletakkan diatas tanah kering karena tanah dapat menyerap.
- Tanah disekitarnya sebaiknya dibasahi
- Beton sebaiknya diletakkan di dekat tempat dimana beton akan gunakan.
- Letakkan beton pada lapisan yang tidak lebih tebal dari 450mm jika menggunakan penusuk yang bergetar.
- Pastikan tidak ada udara yang terperangkap di tempat dimana beton diletakkan.
- Jangan terlalu digetarkan.

## **Penempatan dan Pengerasan**

- Selesaikan lapisan dengan papan kayu.
- atau papan baja.
- sapu yang kaku juga dapat digunakan untuk menyelesaikan.
- Beton aka mengeluarkan panas saat sedang mongering. Ini dapat menyebabkan beton menjadi terlalu kering.
- Pastikan beton tetap lembab hingga sepenuhnya mengeras.

- Tutup beton dengan plastic basah dan dengan memercikkan air
- Jika beton mengering terlalu cepat, maka dapat cepat retak.
- Proses pengerasan akan memakan waktu 7 hari.

### **Pengujian Beton**

- Beton harus diuji beberapa kali di lokasi.
- periksa bahan satu per satu.
- *Slump tests*
- Tes Silinder
- **Tak ada alasan untuk beton berkualitas rendah.**

### **Beton Lemah**

Elemen beton berkerangka yang lemah biasanya terjadi karena:

- Kurangnya pengendalian kualitas
- Campuran beton yang buruk
- Peletakkan beton yang salah
- Bangunan tidak dibangun menurut petunjuk gambar; misalnya ukuran baja dkecilkan atau baja tak digunakan, tiang yang lebih kecil dari seharusnya dll.
- Korosi batang baja.

## Saran No. 24: Referensi serta bahan bacaan tambahan

Bacalah buku-buku berikut yang berkaitan dengan bagian pekerjaan yang ingin anda dalam.

### A. Referensi ( Disebut di Saran-saran)

#	Pengarang/ Penerbit	Judul	Dil.
A1	Teddy Boen	Manual Bangunan Tahan Gempa (Runah Tinggal)	1978, Bahasa
A2	Teddy Boen	Detailers Manual for Small Buildings in Seismic Areas	1978 English
A3	Teddy Boen/YIPD/WSSI	Bangunan Tembokan Bata / Batako Tahan Gempa Dengan Perkuatan, Beton Bertulang	Poster, 2005
A4	Teddy Boen/YIPD/WSSI	Bangunan Tembokan Bata / Batako Tahan Gempa Dengan Perkuatan, Kayu	Poster, 2005
A5	Teddy Boen/YIPD/WSSI	Bangunan Papan Kayu Tahan Gempa Dengan Perkuatan, Kayu	Poster, 2005
A6	Teddy Boen/YIPD/WSSI	Bangunan Papan Kayu Tahan Gempa Dengan Perkuatan, Kayu	Poster, 2005
A7	Teddy Boen/WSSI	Apa Itu Gempa? Komponen Struktur	2005 2005
A8	Departemen Pekerjaan Umum	Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung (Building Code for Aceh) (3 Volumes)	2005
A9	Cipta Sarana Mandiri	Easy Way to Inspect Simple Infrastructure	

**B. Bacaan lain (English)**

#	Pengarang/ Penerbit	Judul	Dll.
<b>B1</b>	Beca Carter Hollings and Ferner Ltd (Wellington, New Zealand) and Indonesian Counterpart Team	Indonesian Earthquake Study – Volume 6 - Manual for the Design of Normal Reinforced Beton and Reinforced Masonry Structures	1981
<b>B2</b>	Beca Carter Hollings and Ferner Ltd (Wellington, New Zealand) and Indonesian Counterpart Team	Indonesian Earthquake Study – Volume 7 - Masonry Testing	1981
<b>B3</b>	Earthquake Hazard Centre, School of Architecture, Victoria University of Wellington, New Zealand	Principles of Building Earthquake Resistance Nos 1 to 30 Also lecture notes from School of Architecture Structures lectures (not publicly available)	1997-2004
<b>B4</b>	Build Change; Tety Sriana & Elizabeth Hausler	Earthquake Resistant Design and Construction Guideline for Single Storey Reinforced Beton Confined Masonry Houses (Aceh Permanent Housing Reconstruction Programme)	2006
<b>B5</b>	Cement and Concrete Institute of South Africa	Concrete – Basics for Building	
<b>B6</b>	Cement and Concrete Institute of South Africa	Fundamentals of Concrete	1998
<b>B7</b>	Cement and Concrete Institute of South Africa	Misc Publications (Several) re concrete construction	
<b>B8</b>	Cement and Concrete Association of New Zealand	Concrete at Home – Bulletin No. IB57	
<b>B9</b>	Cement and Concrete Association of New Zealand	Residential Concrete – Detailing and Specification Guide	2001
<b>B10</b>	Emergency Architects / UN-Habitat	Guidelines for Earthquake Resistant Construction of Non-Engineered Rural and Suburban Masonry Houses in Cement Sand Mortar in Earthquake Affected Areas	2006
<b>B11</b>	Prof Wiratman Wangsadinata (Chairman SNI-1726-2002 Committee)	Indonesian Seismic Resistant Design Standard for Building Structures	2003
<b>B12</b>	New Zealand Society for Earthquake Engineering	Assessment and Improvement of the Struktural Performance of Buildings in Earthquakes	2006

### C. Bacaan Lain (Bahasa Indonesia)

#	Pengarang/ Penerbit	Judul	Dll.
C1	Departemen Pekerjaan Uman	Pusat Pelatihan Keterampilan Jasa Konstruksi – Materi Pembelajaran Jarak Jauh (Construction Industry Training – Distance Learning) Modules 3, 4, 6, 7 & 8.	
C2	Ir. Ign Benny Puspantoro MSc	Konstruksi Bangunan Gedung Tidak Bertingkat	1984-1996
C3	Standar Nasional Indonesia (SNI)	SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung	2002
C4	Standar Nasional Indonesia (SNI)	SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung	2002
C5	Departemen Pekerjaan Uman	SKBI-1.3.53-1987 Pedoman Perencanaan Pembeanaan Untuk Rumah Dan Gedung	1987

### D. Bacaan lain (Bahasa lain)

#	Pengarang/ Penerbit	Judul	Dll.
D1	National Society for Earthquake Technology of Nepal / Beca International	Strengthening Buildings and Structures Against Earthquake Forces	In Nepalese - includes good sketches

*Tamat*

## **Appendix 1 – Photographs**



Photograph 1- Kuala Tripa Hotel, Banda Aceh. An example of a soft storey.  
Refer Recommendation No. 16.



Photograph 2- Reinforced concrete building, Banda Aceh. An example of poor beam-column joints. Refer Recommendation Nos. 10 & 19.



Photograph 3- Confined brick masonry building, Banda Aceh. When walls collapsed practical columns were overloaded. Refer Recommendation Nos. 15 & 18.



Photograph 4- Reinforced concrete building, Banda Aceh. Ties are too small and too widely spaced. Column has failed. Refer Recommendation No. 19.



Photograph 5- Reinforced concrete Hotel, Banda Aceh. Failure of beam column joints.  
Refer Recommendation Nos. 10 & 19.



Photograph 6- Typical Building, Banda Aceh. Failure of heavy architectural elements.  
Refer Recommendation No. 14.



Photograph 7- Reinforced concrete moment resisting frame building, Banda Aceh.  
Failure of beam column joints. Refer Recommendation Nos. 10 & 19.  
Failure of infill wall panels. Refer Recommendation No. 15.