



**PEDOMAN
PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA
UNTUK RUMAH DAN GEDUNG**

**SKBI — 1.3.53. 1987
UDC : 699.841**



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

DITERBITKAN OLEH YAYASAN BADAN PENERBIT PU

KATA PENGANTAR

Kita semua menyadari dan mengetahui, betapa pesatnya ilmu pengetahuan berkembang dan betapa cepatnya teknologi konstruksi melaju.

Kitapun bersepakat bahwa kasus demikian memerlukan tindak lanjut dengan upaya penyesuaian standar-standar konstruksi bangunan yang berlaku di seluruh Indonesia. Dengan demikian, maka akan terwujudlah pembinaan Dunia Usaha Jasa Konstruksi Indonesia.

Dalam hubungan itu maka Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum ingin membantu menyebar luaskan buku-buku SKBI (Standar Konstruksi Bangunan Indonesia) yang telah disahkan dengan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum 378/KPTS/1987.

Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum dengan ini menyampaikan ucapan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan P.U./Ketua Pantap SKBI, yang dengan Surat no. UM 0101-KL/222. 3 - Oktober 1987 telah memberi izin kepada Yayasan Badan Penerbit P.U. untuk menerbitkan serta menyebarluaskan buku-buku SKBI tersebut.

Semoga usaha Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum menyebarluaskan buku-buku SKBI ini dapat diambil kegunaannya oleh khalayak ramai, terutama bagi mereka yang berkepentingan.

Jakarta : 7 - Oktober 1987

Penerbit,

DAFTAR ISI

Halaman :

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
Surat Keputusan Menteri Pekerjaan Umum	vi
Bab I Deskripsi	1
1.1. Maksud dan Tujuan	1
1.2. Ruang Lingkup	1
1.3. Pengertian	2
1.4. Pedoman-pedoman yang berkaitan	4
Bab II Cara Perencanaan Lengkap	8
2.1. Ruang Lingkup	8
2.2. Prinsip-prinsip Perencanaan Struktur Daktail Tahan Gempa dan Pendetailannya	8
2.2.1. Daktilitas	8
2.2.2. Pemencaran Energi	8
2.2.3. Simetri	9
2.2.4. Loncatan Bidang Muka	10
2.2.5. Keceragaman Kekakuan Tingkat	10
2.2.6. Diafragma dan Ikatan Lantai	11
2.2.7. Hubungan Dinding Antar Lantai dan Atap	11
2.2.8. Hubungan Antar Fondasi	12
2.3. Cara Analisis	12
2.3.1. Pemilihan Cara	12
2.3.2. Pengaruh Gempa Horizontal	13
2.3.3. Pengaruh Gempa Vertikal	13
2.3.4. Beban Gravitasi Vertikal	13
2.4. Analisis Beban Statik Ekwivalen	13
2.4.1. Beban Geser Dasar Akibat Gempa	13
2.4.2. Koefisien Gempa Dasar – C	14
2.4.3. Faktor Keutamaan – I	15
2.4.4. Faktor Jenis Struktur – K	18
2.4.5. Waktu Getar Alami Struktur Gedung	20

2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung	22
2.4.7. Momen Puntir	22
2.5. Analisis Dinamik	24
2.5.1. Cara-Cara Analisis	25
2.5.2. Analisa Ragam Spektrum Respons	25
2.5.3. Analisa Respons Integrasi Nomerik	26
2.6. Perubahan Bentuk Akibat Gempa	27
2.6.1. Perubahan Bentuk yang Dihitung	27
2.6.2. Pemisahan Gedung	28
2.6.3. Simpangan Antar Tingkat	28
2.6.4. Pemisahan Unsur-Unsur	29
2.7. Perubahan Struktur	29

Bab III Syarat-syarat Perencanaan Tahan Gempa	
Untuk Unsur-unsur Sekunder, Penyelesaian	
Arsitektur dan Instalasi Mesin dan Listrik	30
3.1. Ruang Lingkup	30
3.2. Hubungan	30
3.3. Hubungan antar Unsur dan Komponen	31
3.4. Pemutusan Operasi Mesin Otomatis	31
3.5. Beban Gempa Rencana	31
3.5.1. Faktor Respons Struktur – Kp	32
3.5.2. Faktor Perilaku terhadap Gempa dari Komponen – P	32

PENJELASAN MATERI PEDOMAN PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK RUMAH DAN GEDUNG

Bab I Deskripsi	37
1.1. Cara-cara Perencanaan	37
1.2. Ruang Lingkup	38
Bab II Cara Perencanaan Lengkap	39
2.1. Ruang Lingkup	39

2.2. Prinsip-prinsip Perencanaan Struktur Daktail	
Tahan Gempa dan Pendetailannya	39
2.2.1. Daktilitas	39
2.2.2. Pemencaran Energi	44
2.2.3. Simetri	46
2.2.4. Loncatan Bidang Muka	47
2.2.5. Keseragaman Kekakuan Tingkat	47
2.2.6. Lantai Diafragma dan Pengaku	50
2.2.7. Hubungan Dinding antar Lantai dan Atap	52
2.2.8. Hubungan antar Pondasi	52
2.3. Cara Analisa	53
2.3.1. Pemilihan Cara	53
2.3.2. Pengaruh Gempa Horisontal	55
2.3.3. Pengaruh Gempa Vertikal	57
2.3.4. Beban Gravitasi Vertikal	57
2.4. Analisa Beban Statik Ekwivalen	58
2.4.1. Beban Geser Dasar Gempa	58
2.4.2. Koefisien Gempa Dasar – C	58
2.4.3. Faktor Keutamaan – I	60
2.4.4. Faktor Jenis Struktur – K	61
2.4.5. Waktu Getar Alami Struktur Gedung	70
2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung	70
2.4.7. Momen Puntir	71
2.5. Analisa Dinamik	75
2.5.1. Cara-cara Analisis	75
2.5.2. Analisis Ragam Spektrum Respons	76
2.5.3. Analisis Respons Riwayat Waktu	79
2.6. Perubahan Bentuk Akibat Gempa	81
2.6.1. Perubahan Bentuk yang Dihitung	81
2.6.2. Pemisahan Gedung	82
2.6.3. Simpangan Antar Tingkat	83
2.6.4. Pemisahan Unsur-Unsur	83
2.7. Perubahan Struktur	86

Bab III Syarat-syarat perencanaan tahan gempa untuk unsur-unsur sekunder, penyelesaian arsitektur dan instalasi mesin dan listrik	87
3.1. Ruang Lingkup	87
3.2. Hubungan	87
3.3. Hubungan antar Unsur dan Komponen	88
3.4. Pemutusan Operasi Mesin Otomatis	88
3.5. Beban Gempa Rencana	89
3.5.1. Faktor Respons Struktur – Kp	89
3.5.2. Faktor Perilaku terhadap Gempa dari Komponen P	90



REPUBLIK INDONESIA
MENTERI PEKERJAAN UMUM

**KEPUTUSAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
NOMOR : 378/KPTS/1987**

**TENTANG
PENGESAHAN 33 STANDAR KONSTRUKSI
BANGUNAN INDONESIA**

Menteri Pekerjaan Umum,

Menimbang :

- a. bahwa pada hakekatnya Standar Konstruksi Bangunan memuat ketentuan-ketentuan teknis konstruksi yang dibakukan dan disusun berdasarkan konsensus semua pihak dengan memperhatikan syarat-syarat kesehatan, keselamatan, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta berdasarkan pengalaman perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya bagi kepentingan umum;
- b. bahwa kepesatan perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi konstruksi, perlu ditindak lanjuti dengan upaya penyesuaian standar-standar konstruksi bangunan yang berlaku di Indonesia sebagai salah satu wujud pembinaan Dunia Usaha Jasa Konstruksi;
- c. bahwa untuk terlaksana maksud tersebut di atas, perlu adanya Keputusan Menteri Pekerjaan Umum mengenai pengesahan Standar Konstruksi Bangunan Indonesia (SKBI) yang dapat memedomani unsur aparatur Departemen Pekerjaan Umum dan unsur masyarakat yang berkepentingan dengan proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

Mengingat :

1. Keputusan Presiden RI No. 44 Tahun 1974;
2. Keputusan Presiden RI No. 45/M Tahun 1983;
3. Keputusan Presiden RI No. 15 Tahun 1984;
4. Keputusan Presiden RI No. 20 Tahun 1984;
5. Keputusan Menteri PU No. 211/KPTS/1984;
6. Keputusan Menteri PU No. 217/KPTS/1986;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : **KEPUTUSAN MENTERI PEKERJAAN UMUM TENTANG PENGESAHAN 33 STANDAR KONSTRUKSI BANGUNAN INDONESIA**

- KE SATU :** Mengesahkan 33 Standar Konstruksi Bangunan Indonesia yang selanjutnya disingkat SKBI berupa buku sebagaimana tercantum dalam daftar lampiran Keputusan Menteri ini dan merupakan bagian tak terpisahkan dari Ketetapan ini.
- KE DUA :** Buku SKBI berlaku bagi unsur aparatur pemerintah bidang pekerjaan umum untuk digunakan dalam perjanjian kerja antar pihak-pihak yang bersangkutan dengan bidang konstruksi, sampai ditetapkannya Standar Nasional Indonesia Bidang Konstruksi.
- KE TIGA :** Buku SKBI disusun berdasarkan matriks hubungan antara Jenis Buku dan Urutan Tahap Pelaksanaan, Yaitu :
- a. Jenis Buku, terdiri dari :
 1. Pedoman;
 2. Petunjuk;
 3. Panduan;
 4. Spesifikasi Produk;
 - b. Urutan Tahap Pelaksanaan merupakan urutan proses konstruksi, terdiri dari :
 1. Perencanaan meliputi kegiatan :
 - 1.1. survai (S);
 - 1.2. investasi (I);
 - 1.3. desain (D);
 2. Konstruksi (K);
 3. Eksploitasi / Operasi (O);
 4. Pemeliharaan (P);

KE EMPAT : Menugaskan kepada Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, untuk :

- a. menyebar luaskan Buku SKBI;
- b. mengawasi penerapan SKBI;
- c. menampung saran penyempurnaan SKBI.

KE LIMA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan, dengan ketentuan bahwa segala sesuatunya akan diadakan perbaikan jika ada kesalahan-kesalahan dan disesuaikan sebagaimana mestinya.

TEMBUSAN Keputusan ini disampaikan kepada Yth. :

1. Sdr. Para Menteri Negara Kabinet Pembangunan IV;
2. Sdr. Ketua Dewan Standarisasi Nasional;
3. Sdr. Ketua Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia;
4. Distribusi A dan B Departemen Pekerjaan Umum;
5. Sdr. Kepala Kantor Wilayah Dep. PU seluruh Indonesia;
6. Sdr. Kepala Dinas PU Propinsi seluruh Indonesia;
7. Arsip.

Ditetapkan di : Jakarta
Pada tanggal : 31 Agustus 1987.



SKBI – 1.3.53. 1987

UDC : 699.841

**PEDOMAN
PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA
UNTUK RUMAH DAN GEDUNG**

**Lampiran nomor 13
Keputusan Menteri Pekerjaan Umum
Nomor 378/KPTS/1987
Tanggal 31 Agustus 1987**

BAB I

DESKRIPSI

1.1. Maksud dan Tujuan

1.1.1. Maksud

- a. Mengadakan peninjauan kembali tentang pembagian Peta "zoning gempa" (peta Wilayah Gempa) yang termuat dalam pedoman perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.
- b. Mengadakan peninjauan kembali Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, yang juga termuat dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.
- c. Menyusun Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung Lengkap dengan Peta Wilayah Gempa yang diperbaharui yang memuat syarat-syarat minimum untuk perencanaan tahan gempa dari struktur-struktur rumah dan gedung yang termasuk dalam ruang lingkup pedoman ini.

1.1.2. Tujuan

Pedoman ini untuk menentukan syarat-syarat dalam perencanaan struktur rumah dan gedung serta fasilitasnya secara umum dan penentuan pengaruh gempa rencana untuk struktur yang direncanakan tersebut.

1.2. Ruang Lingkup

Dalam perencanaan struktur-struktur rumah dan gedung dimaksud dalam buku pedoman ini, ialah struktur-struktur rumah dan gedung yang termasuk dalam salah satu jenis bangunan berikut :

- (a) Semua rumah dan gedung yang mempunyai luas lantai lebih dari 20 m².
- (b) Setiap rumah dan gedung yang tingginya lebih dari 5 m
- (c) Semua dinding pasangan atau beton yang tingginya lebih dari 1,5 m.
- (d) Tangki-tangki yang dinaikkan dengan kapasitas sampai

dengan 200 m³. Tangki-tangki yang lebih besar dari ini hendaknya ditinjau secara khusus.

- (e) Semua rumah dan gedung yang dapat dimasuki oleh umum.

Syarat-syarat tersebut tidak berlaku untuk:

- (a) Gedung-gedung yang tidak umum atau yang memadai struktur-struktur dari jenis lain.
- (b) Bangunan teknik sipil, termasuk jembatan.
- (c) Rumah-rumah tinggal satu atau dua tingkat yang dihuni oleh kurang dari 10 orang.

1.3. Pengertian

Kecuali tidak sesuai dalam hubungannya dengan yang diuraikan, maka dalam pedoman ini berlaku pengertian-pengertian berikut:

ANALISIS

ANALISIS BEBAN STATIK EKWIVALEN adalah suatu cara analisa statik struktur, di mana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horisontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah.

ANALISIS RAGAM SPEKTRUM RESPONS adalah suatu cara analisa dinamik struktur, di dalam mana pada suatu model matematik dari struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana, dan berdasarkan itu ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari respons masing-masing ragamnya.

ANALISIS RESPONS RIWAYAT WAKTU adalah suatu cara analisa dinamik struktur, di dalam mana suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau dari gempa-gempa tiruan, terhadap mana riwayat waktu dari respon struktur ditentukan.

BEBAN HIDUP adalah beban yang dianggap atau diketahui akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung

dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai, beban-beban pada atap-atap selain dari beban angin, beban-beban pada langkan dan beban-beban yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin dan peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai atau atap.

BEBAN MATI adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat permanen termasuk dinding-dinding, pemisah-pemisah, kolom-kolom, lantai-lantai, atap-atap, penyelesaian-penyelesaian dan mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.

DAKTILITAS adalah kemampuan suatu struktur gedung atau unsur struktur itu untuk mengalami simpangan-simpangan plastis secara berulang dan bolak-balik di atas titik leleh pertama sambil mempertahankan sebagian besar dari kemampuan awalnya dalam memikul beban.

DIAFRAGMA adalah suatu bagian struktur gedung yang berupa sekat (seperti pelat lantai atau atap), atau suatu rangka yang berfungsi membagikan beban geser tingkat kepada unsur-unsur penahan gempa dalam tingkat itu.

DINDING GESER KANTILEVER DAKTAIL adalah suatu dinding tanpa lubang-lubang yang membuat pengaruh penting terhadap perilaku dari struktur gedung yang bersangkutan, dan yang baru akan runtuh secara daktail setelah beberapa dari tulangan vertikalnya meleleh dalam tarikan akibat momen yang bekerja padanya (tidak seperti halnya akibat tekuk atau geser). Perbandingan antara tinggi dan lebar dinding demikian tidak boleh kurang dari 2 dan lebar dinding tersebut tidak boleh kurang dari 1.5 m.

DINDING GESER BERANGKAI DAKTAIL adalah dua buah atau lebih dinding geser kantilever yang dak-tail yang dirangkaikan satu dengan lainnya oleh balok-balok yang mempunyai perbandingan antara bentang dan tinggi tidak lebih dari 4.

DINDING GESER KANTILEVER DENGAN DAKTI-LITAS TERBATAS adalah suatu dinding geser yang tidak memenuhi ketentuan dari kedua jenis tersebut di atas.

LONCATAN BIDANG MUKA (set-back) adalah setiap loncatan dari bidang muka suatu struktur gedung ke arah horisontal.

PERENCANAAN adalah pengetrapan cara-cara perhitungan atau percobaan yang rasional sesuai dengan prinsip-prinsip mekanika struktur yang lazim berlaku.

PORTAL adalah suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling berhubungan yang berfungsi menahan beban sebagai suatu kesatuan lengkap yang berdiri sendiri dengan atau tanpa dibantu oleh diafragma-diafragma horisontal atau sistem-sistem ikatan lantai.

PORTAL DAKTAIL adalah suatu portal penahan gempa di dalam mana energi gempa dipencarkan melalui pelelehan akibat lentur di dalam sendi-sendi plastis pada sejumlah besar balok, kecuali pada struktur-struktur satu atau dua tingkat pelelehan di dalam sendi-sendi plastis tersebut dapat terjadi pada kolom-kolom.

PORTAL PENAHAN MOMEN adalah portal penahan beban di dalam mana bagian-bagian struktur dan titik-titik pertemuannya mampu menahan pengaruh dari beban-beban yang bekerja sebagai lentur.

SISTEM PENAHAN GEMPA adalah bagian dari sistem struktur gedung yang berfungsi menahan gempa yang disyaratkan dalam pedoman ini.

TARAF PENJEPITAN LATERAL adalah taraf pada mana gerakan tanah akibat gempa dipindahkan kepada struktur gedung melalui interaksi antara bahan-bahan fondasi dan unsur-unsur fondasi melalui gesekan dan dukungan. Apabila tidak ditentukan lain, tetapi atas fondasi dapat dianggap sebagai penjepitan lateral.

UNSUR-UNSUR, yang mencakup unsur primer dan sekunder:

UNSUR-UNSUR PRIMER adalah unsur-unsur yang merupakan bagian dari struktur utama pemikul beban, seperti balok-balok, kolom-kolom, diafragma-diafragma atau dinding-dinding geser yang diperlukan bagi ketahanan gedung apabila mengalami pembebanan-pembebanan yang disyaratkan.

UNSUR-UNSUR SEKONDER adalah unsur-unsur seperti dinding-dinding pemisah, panel-panel atau penyekat-penyekat yang tidak diperlukan bagi ketahanan gedung secara keseluruhan, tetapi dapat mengalami tegangan-tegangan akibat beban yang bekerja langsung padanya atau akibat perubahan bentuk dari unsur-unsur primer.

Dalam pedoman ini kata "HARUS" menunjukkan suatu syarat yang diwajibkan oleh pedoman ini, sedangkan kata "HENDAKNYA" menunjukkan suatu anjuran untuk diikuti.

Dalam pedoman ini istilah "BEBAN" berarti aksi dari luar yang bekerja pada struktur, sedangkan istilah "GAYA" adalah aksi di dalam penampang unsur struktur yang diakibatkan oleh aksi dari luar.

Lambang-lambang yang dipakai dalam pedoman ini mempunyai arti sebagai berikut:

A lebar denah struktur gedung.

- A' faktor skala dalam analisis respons dinamik dengan cara analisa respons riwayat waktu untuk memperoleh gaya geser di tingkat dasar yang benar.
- B panjang denah struktur gedung.
- b ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada taraf yang ditinjau diukur tegak lurus pada arah pembebanan.
- C koefisien gempa dasar untuk Cara Perencanaan Lengkap.
- C_d koefisien gempa dasar yang dimodifikasikan sehubungan dengan keutamaan dan jenis struktur gedung (= CIK).
- C_p koefisien gempa untuk unsur atau komponen.
- d_i simpangan horisontal pusat masa pada tingkat i .
- e_c eksentrisitas teoretis pusat masa terhadap pusat kekakuan pada taraf yang ditinjau.
- ed, ed_1, ed_2 eksentrisitas rencana titik tangkap beban geser tingkat gempa terhadap pusat kekakuan pada tingkat yang ditinjau.
- F_i beban gempa horisontal yang dikerjakan pada tingkat i .
- F_p beban gempa rencana untuk unsur atau komponen.
- H ketinggian sampai puncak dari bagian utama struktur gedung atau sampai lis atap dari gedung diukur dari tingkat penjepitan lateral.
- h_i ketinggian sampai tingkat i diukur dari tingkat penjepitan lateral.
- I faktor keutamaan dari gedung.
- K faktor jenis struktur.
- K_p faktor respons struktur untuk menghitung beban gempa rencana pada unsur atau komponen.
- K_1, K_2 panjang-panjang dari tonjolan-tonjolan dalam denah struktur gedung.

- M_{leleh} kapasitas momen dari unsur struktur gedung.
- P faktor perilaku terhadap gempa dari unsur atau komponen: gaya aksial dalam kolom-kolom dalam hubungannya dengan efek P-delta.
- P' jarak antara tepi atas dinding dengan tinggi sebagian dan tepi bawah balok.
- T waktu getar alami ragam pertama dari struktur gedung (waktu getar alami).
- V beban geser dasar akibat gempa.
- V_i' gaya geser kolom akibat gempa dengan adanya efek kolom pendek pada dinding dengan tinggi sebagian.
- V_i beban geser akibat gempa yang bekerja dalam suatu tingkat i .
- W_i bagian dari W_t yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat i .
- W_n bagian dari W_i yang disangga oleh lajur Portal n .
- W_t beban-beban vertikal total yang bekerja di atas tingkat penjepitan lateral.
- 1.4. Pedoman-Pedoman Yang Berkaitan**

Syarat-syarat yang ditentukan dalam pedoman ini harus dipakai bersama-sama dengan pedoman-pedoman yang disebut di bawah ini.

Peraturan-peraturan tersebut memuat syarat-syarat minimum yang disesuaikan oleh peraturan ini guna pemakaiannya dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa.

Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

Pedoman beton

Spesifikasi bahan bangunan

Pedoman perencanaan konstruksi kayu untuk rumah dan gedung.

Kecuali ditentukan lain, semua unsur beton bertulang penahan gempa harus direncanakan dengan cara perencanaan kekuatan batas.

BAB II

CARA PERENCANAAN LENGKAP

2.1. Ruang Cakup

Semua struktur rumah dan gedung yang tercakup dalam pedoman ini harus direncanakan menurut Cara Perencanaan Lengkap, kecuali bila struktur rumah dan gedung yang bersangkutan memenuhi pembatasan-pembatasan yang memperkenankan penggunaan cara-cara perencanaan yang dimuat Buku Petunjuk Perencanaan Beton Bertulang dan Struktur Dinding Bertulang untuk Rumah dan Gedung.

2.2. Prinsip-Prinsip Perencanaan Struktur Daktilil Tahan Gempa Dan Pendetailannya

2.2.1. Daktilitas

Rumah dan gedung dan semua unsur penahan gempa harus direncanakan dan diberi pendetailan sedemikian rupa, sehingga berperilaku secara daktilil.

Suatu struktur gedung dapat dianggap daktilil apabila memenuhi syarat-syarat yang ditentukan dalam bab ini dan direncanakan menurut prinsip-prinsip perencanaan kapasitas, sejalan dengan pedoman perencanaan Beton dalam hal ini struktur-struktur beton bertulang. Salah satu alternatif cara perencanaan kapasitas untuk struktur gedung beton bertulang, adalah seperti yang diberikan dalam Lampiran A1 dan A2 dari Petunjuk Perencanaan Beton Bertulang dan Struktur Dinding Bertulang untuk Rumah dan Gedung. Untuk gedung-gedung dengan struktur baja, perencanaannya hendaknya mengikuti ketentuan-ketentuan dari Lampiran A3 dari Buku Petunjuk tersebut.

2.2.2. Pemencaran Energi

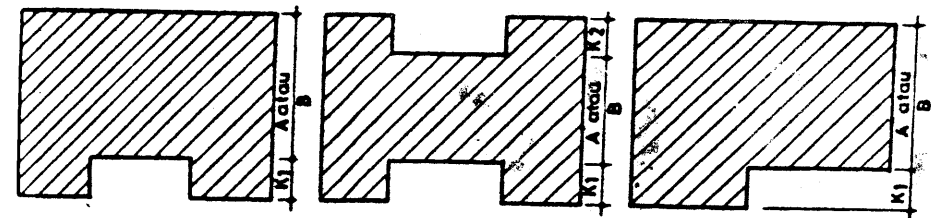
Apabila suatu sistem struktur gedung telah dipilih, maka tempat-tempat sendi plastis yang disyaratkan untuk pemencaran energi harus dipilih dan diberi pendetailan se-

mikian rupa, sehingga unsur struktur tersebut berperilaku daktilil. Unsur-unsur lainnya selanjutnya harus diberi cadangan kekuatan yang cukup untuk menjamin agar mekanisme pemencaran energi yang telah dipilih benar-benar terbentuk dan berfungsi terus selama gempa berlangsung.

2.2.3. Simetri

Unsur-unsur penahan gempa dari suatu struktur gedung sejauh keadaan memungkinkan hendaknya diletakkan se-simetris mungkin terhadap pusat masa dari gedung tersebut.

Tonjolan-tonjolan dalam bentuk denah struktur gedung hendaknya dihindari. Apabila hal ini tidak mungkin dan panjang dari tonjolan-tonjolannya melampaui seperempat dari ukuran terbesar bagian inti dari denah strukturnya, maka struktur gedung demikian harus dianggap sangat tidak beraturan. Dalam gambar 2.1. yang menunjukkan beberapa bentuk denah struktur gedung, struktur-struktur yang bersangkutan harus dianggap sangat tidak beraturan apabila k_1 dan k_2 adalah lebih besar dari $0,25 A$ atau $0,25 B$. Dalam hal ini lebar dari tonjolan-tonjolan tersebut harus dibatasi seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Struktur-struktur gedung yang sangat tidak beraturan harus direncanakan berdasarkan analisa dinamik tiga dimensi menurut pasal 2.5.2 atau pasal 2.5.3 dengan mencakup peninjauan responsnya terhadap puntir.



Gambar 2.1.

Bentuk denah struktur gedung yang mempunyai sayap, dengan bentuk U, H dan L

2.2.4. Loncatan Bidang Muka (Set.Back)

Untuk gedung-gedung yang mempunyai loncatan-loncatan bidang muka, di mana ukuran denah dari bagian yang menjulang dalam masing-masing arah adalah paling sedikit 75% dari ukuran terbesar denah yang bersangkutan untuk bagian sebelah bawahnya, maka pengaruh gempa rencana dapat ditentukan dengan cara beban statik ekwivalen menurut Pasal 2.4.

Untuk gedung-gedung dengan loncatan-loncatan bidang muka yang tidak memenuhi pembatasan ini, maka pembagian gaya-gaya geser tingkat sepanjang tinggi gedung harus ditentukan dengan cara analisa dinamik menurut Pasal 2.5. Cara beban statik ekwivalen tidak boleh dipakai.

Suatu struktur rumah atap (penthouse) yang tidak lebih dari 2 tingkat tingginya tidak perlu dianggap sebagai suatu loncatan bidang muka.

2.2.5. Keseragaman Kekakuan Tingkat

2.2.5.1 Perbandingan antara berat lantai dan kekakuan dari suatu tingkat tertentu dari suatu gedung tidak boleh berselisih lebih dari 50% terhadap nilai rata-rata perbandingan tersebut untuk struktur gedung itu, kecuali untuk struktur gedung yang memakai dinding geser. Yang dimaksud dengan kekakuan tingkat adalah gaya geser yang bila terjadi di dalam struktur tingkat tersebut menimbulkan satu satuan simpangan horisontal dari tingkat itu relatif terhadap tingkat di bawahnya.

Suatu analisa dinamik menurut Pasal 2.5. harus dilakukan untuk menentukan pembagian gaya-gaya geser tingkat sepanjang tinggi gedung untuk semua struktur gedung di mana perbandingan antara berat lantai dan kekakuan suatu tingkat tertentu berselisih lebih dari 25% terhadap nilai rata-rata perbandingan tersebut untuk struktur gedung itu.

Ruang mesin, rumah atap dan ruang sejenisnya pada puncak suatu struktur gedung dibebaskan dari syarat ini apabila luas lantainya adalah kurang dari 25% dari luas lantai di bawahnya.

2.2.5.2 Kekakuan struktur-struktur beton bertulang dari suatu gedung harus dihitung berdasarkan sifat-sifat penampang yang ditentukan menurut pedoman beton.

Reduksi dari momen inersia yang disebabkan oleh pere-takan harus ditinjau. Suatu pendekatan yang sederhana untuk portal-portal beton bertulang terbuka dapat ditem-puh dengan mengambil momen inersia tersebut sebesar 75% dari momen inersia bruto penampang utuh.

Kekakuan struktur-struktur gedung yang memakai portal baja (komposit) dapat dihitung dengan meninjau reduksi dalam momen inersia sampai 75% dari momen inersia pe-nampang komposit utuh. Perubahan bentuk dari pertemu-an unsur-unsur portal baja tidak perlu ditinjau dalam per-hitungan kekakuan.

2.2.6. Diafragma dan Ikatan Lantai

Sistem ikatan horisontal atau diafragma pada tiap-tiap lan-tai tingkat harus direncanakan untuk membagi beban-beban geser tingkat kepada unsur-unsur penahan gempa dalam tingkat itu sebanding dengan kekakuan lateral ma-sing-masing. Yang dimaksud dengan kekakuan lateral un-sur adalah gaya geser yang bila terjadi di dalamnya menim-bulkan satu satuan simpangan horisontal dari ujung unsur yang atas relatif terhadap ujung unsur yang bawah.

2.2.7. Hubungan Dinding Antar Lantai dan Atap

Dinding-dinding beton dan dinding pasangan harus dijang-kar kepada semua lantai dan atap, yang diperlukan untuk menghasilkan dukungan atau stabilitas horisontal kepada dinding-dinding tersebut. Penjangkaran demikian harus di-

rencanakan terhadap beban-beban yang ditentukan menurut Bab 3 dengan minimum beban sebesar 300 kg per m dinding.

Jarak antara jangkar-jangkar tersebut tidak boleh lebih dari 1 m, kecuali apabila dinding yang bersangkutan direncanakan untuk membentang di antara jangkar-jangkar tersebut.

2.2.8. Hubungan Antar Fondasi

Fondasi-fondasi setempat dari suatu gedung harus saling berhubungan dalam dua arah yang pada umumnya saling tegak lurus oleh unsur-unsur penghubung yang direncanakan terhadap gaya aksial tarik dan tekan sebesar 10% dari beban vertikal maksimum pada pembebanan dengan gempa pada salah satu fondasi yang dihubungkan.

Apabila beban vertikal pada salah satu fondasi yang dihubungkan berselisih lebih dari 20% dari beban fondasi lainnya, maka gaya aksial rencana tersebut harus diambil 10% dari nilai rata-rata kedua beban fondasi tersebut pada pembebanan dengan gempa.

2.3. Cara Analisis

2.3.1. Pemilihan Cara

Untuk struktur gedung beraturan sampai tinggi 40 m yang memenuhi syarat menurut Pasal 2.2. pengaruh gempa rencana dapat ditentukan dengan cara analisis beban statik ekuivalen menurut Pasal 2.4. Untuk semua struktur gedung lainnya penentuan pengaruh gempa harus didasarkan atas suatu analisis dinamik menurut Pasal 2.5. Gaya-gaya dalam (momen, gaya normal, gaya geser) selanjutnya dapat ditentukan dengan menggunakan cara-cara analisis elastik yang lazim, seperti cara Muto (lihat K. Muto: "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings").

2.3.2. Pengaruh Gempa Horizontal

Pengaruh komponen horizontal dan gerakan gempa yang menurut peraturan ini dianggap ekuivalen dengan beban-beban statik horizontal harus ditinjau bekerja bersamaan pada setiap tingkat lantai dan atap dari gedung.

Masing-masing unsur struktur dari suatu gedung harus direncanakan terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja di dalamnya akibat pengaruh gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam satu arah utama dikombinasikan dengan akibat 0,3 pengaruh gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam arah tegak lurus pada arah yang pertama. Kombinasi yang menghasilkan pengurangan kekuatan unsur yang maksimum adalah yang ditinjau.

Apabila dilakukan suatu analisa statik 3 dimensi, beban gempa penuh menurut pedoman ini harus dianggap bekerja dalam masing-masing arah utama dengan di kombinasi dengan 0,3 beban gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam arah tegak lurus pada arah utama yang ditinjau.

2.3.3. Pengaruh Gempa Vertikal

Pengaruh komponen vertikal dari gerakan gempa tidak perlu ditinjau dalam perencanaan suatu struktur gedung, kecuali seperti yang disyaratkan dalam Bab 3.

2.3.4. Beban Gravitasi Vertikal

Beban Gravitasi vertikal harus mengikuti ketentuan-ketentuan menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

2.4. Analisis Beban Statik Ekuivalen

2.4.1. Beban Geser Dasar Akibat Gempa

Setiap struktur gedung harus direncanakan dan dilaksana-

kan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V) dalam arah-arrah yang ditentukan dalam Pasal 2.3.2. menurut rumus sebagai berikut:

$$V = C_d W_t$$

di mana $C_d = C I K$
dan W_t adalah kombinasi dari beban mati seluruhnya dan beban hidup vertikal yang direduksi yang bekerja di atas taraf penjepitan lateral seperti yang ditentukan dalam pasal 2.3. Beban mati dan beban hidup adalah seperti yang ditentukan dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Lambang-lambang lainnya ditentukan dalam pasal-pasal berikut.

2.4.2. Koefisien Gempa Dasar – C

Koefisien gempa dasar harus ditentukan dari Gambar 2.3. untuk wilayah gempa yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2. dengan memakai waktu getar alami struktur gedung seperti ditentukan menurut Pasal 2.4.5. Di mana suatu lokasi gedung terletak pada suatu batas wilayah sehingga kepastian wilayahnya tidak jelas, maka gedung tersebut harus dianggap terletak di dalam yang mensyaratkan nilai koefisien gempa dasar yang lebih besar.

Dua jenis tanah bawah harus dibedakan dalam memilih nilai C, yaitu tanah keras dan tanah lunak. Untuk pemakaian pedoman ini suatu struktur gedung harus dianggap berdiri di atas tanah bawah yang lunak, apabila struktur gedung tersebut terletak di atas endapan-endapan tanah dengan kedalaman-kedalaman yang melampaui nilai-nilai yang disebut di bawah ini:

Untuk tanah, kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$
: 6 m

Untuk setiap tempat di mana lapisan yang menutupi-

nya terdiri dari tanah kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari 1 kg/cm^2 atau terdiri dari tanah butiran yang sangat padat : 9 m

Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari 2 kg/cm^2 : 12 m

Untuk tanah butiran terikat yang sangat padat : 20 m

Ketentuan-ketentuan ini hendaknya diikuti tanpa memperhatikan adanya tiang-tiang fondasi yang menyalurkan beban kepada lapisan keras yang lebih dalam.

Kedalaman harus diukur dari tingkat di mana tanah mulai memberikan penjepitan lateral yang efektif kepada struktur gedung.

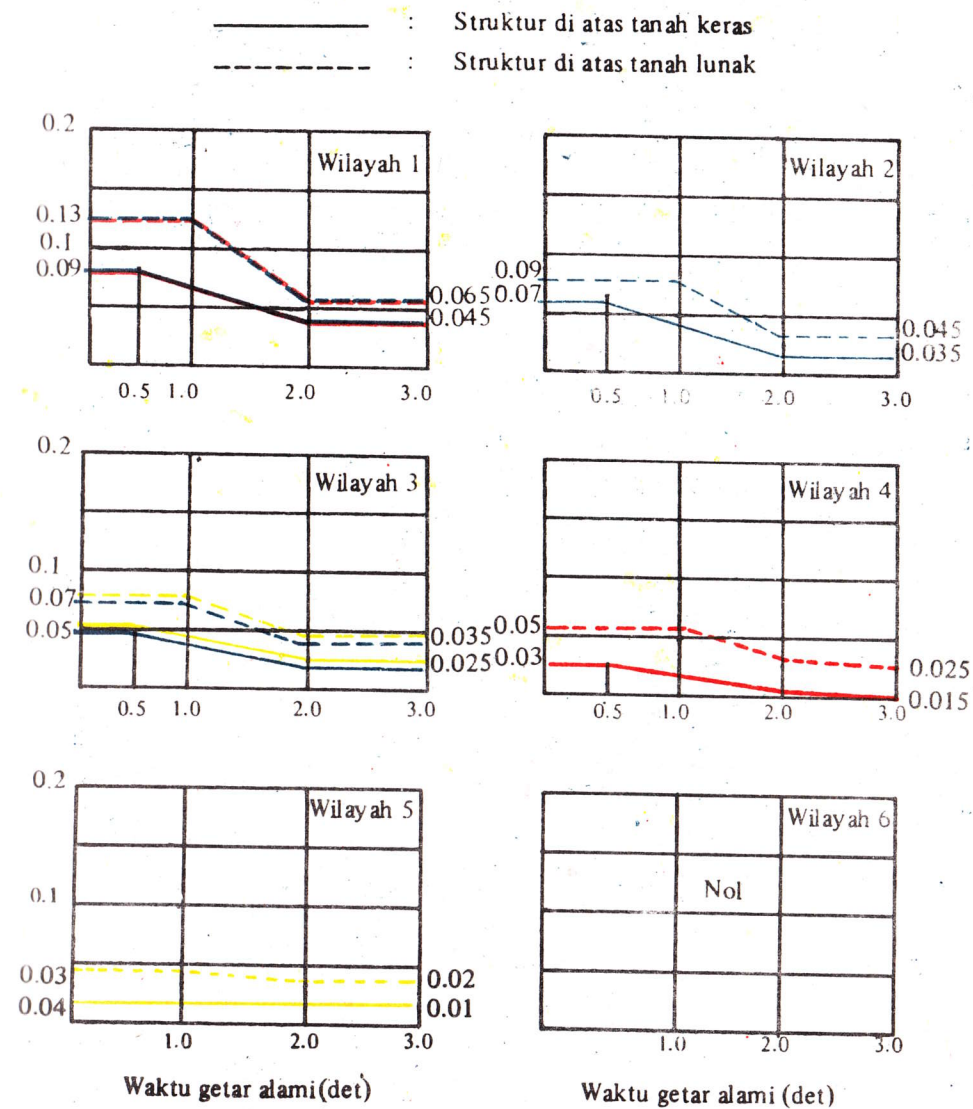
Tanah bawah yang lebih dangkal dari pembatasan-pembatasan di atas harus dianggap sebagai tanah keras.

2.4.3. Faktor Keutamaan – I

Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu Faktor Keutamaan yang lebih besar dari 1.0. Suatu faktor yang lebih besar harus dipakai pada gedung-gedung pusat pelayanan utama yang penting bagi usaha penyelamatan setelah suatu gempa terjadi, gedung-gedung monumental dan gedung-gedung yang dapat mendatangkan bahaya luar biasa kepada umum. Faktor keutamaan untuk berbagai-bagai jenis gedung harus diambil menurut Tabel 2 – 1.



Gambar 2.2.
Pembagian wilayah gempa untuk Indonesia



Gambar 2.3.
Koefisien gempa dasar untuk berbagai wilayah gempa

Tabel 2.1.
FAKTOR KEUTAMAAN I BERBAGAI JENIS GEDUNG

	Jenis Gedung	Faktor Keutamaan I
(a)	Gedung-gedung monumental	1,5
(b)	Fasilitas-fasilitas penting yang harus tetap berfungsi sesudah suatu gempa terjadi: Contoh fasilitas demikian adalah: Rumah sakit Bangunan sekolah Bangunan penyimpanan bahan pangan Pusat penyelamatan dalam keadaan darurat Pusat pembangkit tenaga Bangunan air minum Fasilitas radio dan televisi Tempat orang berkumpul	1,5
(c)	Fasilitas distribusi bahan gas dan minyak bumi di daerah perkotaan	2,0
(d)	Gedung-gedung yang menyimpan bahan-bahan berbahaya (seperti asam, bahan beracun, dan lain-lain).	2,0
(e)	Gedung-gedung lain	1,0

2.4.4. Faktor Jenis Struktur – K

Apabila dipakai lebih dari satu sistem struktur di dalam suatu gedung, maka yang dipakai adalah faktor jenis struktur untuk sistem yang dominan dalam menghasilkan ketahanan terhadap gempa, tetapi kombinasi sistem-sistem struktur tersebut harus tetap ditinjau dalam perhitungan waktu getar alami dari struktur gedung tersebut. Faktor jenis struktur untuk berbagai-bagai jenis struktur gedung harus diambil menurut Tabel 2 – 2.

Tabel 2.2.
FAKTOR JENIS STRUKTUR K UNTUK BERBAGAI STRUKTUR JENIS GEDUNG

Jenis Struktur Rumah/Gedung	Bahan bangunan dari unsur-unsur pemencar energi gempa	Faktor jenis struktur K
Portal daktail	Beton bertulang	1,0
	Beton pratekan (3)	1,4
	Baja	1,0
	Kayu	1,7
Dinding geser berangkai daktail (1)	Beton bertulang	1,0
Dinding geser kantilever daktail (1)	Beton bertulang	1,2
	Dinding berongga bertulang	2,5
	Kayu (2)	2,0
Dinding geser kantilever dengan daktilitas terbatas (1)	Beton bertulang	1,5
	Dinding berongga bertulang	3,0
	Kayu (2)	2,5
Portal dengan ikatan diagonal	Beton bertulang	2,5
	Baja	2,5
	Kayu	3,0
	Beton bertulang	2,5
Struktur kantilever tak bertingkat (5)	Baja	2,5
	Beton bertulang	3,0
Cerobong, tangki kecil	Baja	3,0
	Beton bertulang	3,0
Struktur lain		Lihat catatan (4)

Catatan: (Lihat Penjelasan Pasal 2.4.4. untuk lebih jelasnya)

1. Dinding geser daktail adalah yang mempunyai perbandingan antara tinggi dan lebar lebih dari 2. Dinding geser dengan daktilitas terbatas adalah yang tidak memenuhi pembatasan perbandingan ini.
2. Dinding geser kayu adalah di mana bingkai kayu ditutup dengan lapisan papan kayu, sedemikian rupa sehingga membentuk suatu dinding yang mampu menahan beban horisontal.
3. Untuk struktur-struktur gedung dengan bagian-bagian yang memakai prategang dan tulangan biasa untuk menahan gempa, nilai faktor K-nya harus ditentukan dengan interpolasi antara nilai-nilainya untuk beton pratekan dan beton bertulang biasa, dengan memperhatikan perbandingan pemikulan gempa oleh kedua bahan tersebut.
4. Struktur-struktur gedung yang tidak termasuk ke dalam jenis yang tercantum dalam tabel ini dapat diberikan nilai faktor K dengan interpolasi nilai-nilainya di antara nilai-nilai yang tercantum dalam tabel dengan membandingkan daktilitas struktur dan kemampuan pemencaran energi. Suatu nilai faktor K = 4,0 hendaknya dipakai untuk struktur-struktur gedung yang getas (umpamanya Konstruksi Bata).
5. Nilai faktor K ini dipakai di mana ketahanan horisontal dihasilkan oleh satu atau dua kolom saja atau di mana tidak ada diafragma atap yang mampu membagikan beban horisontal di antara unsur-unsur vertikal. Apabila terdapat tiga atau lebih kolom dan terdapat diafragma atap, struktur tersebut dapat dimasukkan ke dalam jenis portal daktail.

2.4.5. Waktu Getar Alami Struktur Gedung

Untuk keperluan analisis pendahuluan struktur dan pendimensian pendahuluan dari unsur-unsurnya, waktu getar alami struktur gedung T dalam detik dapat ditentukan dengan rumus-rumus pendekatan seperti berikut ini:

- (a) Untuk struktur-struktur gedung berupa portal-portal tanpa unsur-unsur pengaku yang membatasi simpangan:

$$T = 0,085 H^{3/4} \text{ untuk portal baja}$$

$$T = 0,06 H^{3/4} \text{ untuk portal beton}$$

- (b) Untuk struktur-struktur gedung yang lain:

$$T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}}$$

di mana H adalah ketinggian sampai puncak dari bagian utama struktur gedung di ukur dari tingkat penjepitan lateral (dalam m). Seperti ditentukan dalam Pasal 1.3.

B adalah panjang seluruhnya dari denah struktur pada alasnya dalam arah yang ditinjau (dalam m).

Waktu getar alami struktur gedung setelah direncanakan dengan pasti harus ditentukan dari rumus:

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i d_i^2}{g \sum F_i d_i}}$$

di mana W_i adalah bagian dari seluruh beban vertikal yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat i (dalam kg) pada peninjauan gempa.

F_i adalah beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat i (dalam kg) yang ditentukan menurut Pasal 2.4.6.

d_i adalah simpangan horisontal pusat masa pada tingkat i akibat beban gempa horisontal F_i (d_i dinyatakan dalam mm).

g adalah percepatan gravitasi dalam mm/det².

Apabila waktu getar alami tersebut adalah kurang dari 80% nilai yang dipakai pada perhitungan pendahuluan, maka beban-beban gempa harus dihitung kembali.

2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung

Beban geser dasar akibat gempa (V) harus dibagikan sepanjang tinggi gedung menjadi beban-beban horisontal terpusat yang bekerja pada masing-masing tingkat lantai tingkat menurut rumus berikut:

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V$$

di mana h_i adalah ketinggian sampai tingkat i diukur dari tinggi penjepitan lateral seperti ditentukan dalam Pasal 1.3. dengan ketentuan sebagai berikut:

- Di mana perbandingan antara tinggi dan lebar sistem penahan beban gempa adalah sama atau lebih besar dari 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban terpusat di lantai puncak dan 0,9 V sisanya harus dibagikan menurut rumus di atas.
- Untuk cerobong-cerobong yang berdiri di atas tanah, 0,2 V harus dianggap sebagai beban terpusat di puncaknya dan 0,8 V sisanya harus dibagikan menurut rumus di atas.
- Untuk tangki-tangki yang dinaikkan, beban F_i adalah sama dengan V dan bekerja pada titik berat seluruh struktur berikut isinya.

2.4.7. Momen Puntir

2.4.7.0. Momen Puntir Tingkat

Untuk memperhitungkan gerakan memuntir, yang menimbulkan

gaya geser tambahan pada unsur-unsur vertikal (kolom-kolom dan dinding-dinding) dari suatu tingkat, maka beban geser tingkat itu akibat gempa ($\sum F_i$ di atas tinggi tingkat yang ditinjau) harus dikerjakan dengan suatu eksentrisitas rencana e_d menurut Pasal 2.4.7.2. terhadap pusat kekakuan Momen dalam bidang horisontal yang terjadi akibat bekerjanya beban geser tingkat yang eksentris terhadap pusat kekakuan disebut momen puntir tingkat. Eksentrisitas teoritis e_c adalah jarak antara pusat masa dan pusat kekakuan menurut Pasal 2.4.7.1. yang diukur tegak lurus pada arah pembebanan.

2.4.7.1 Pusat kekakuan dan pusat masa

Pusat kekakuan suatu lantai adalah titik tangkap resultante gaya geser gempa yang bekerja di dalam semua penampang unsur vertikal (kolom-kolom dan dinding-dinding) yang terdapat pada lantai tingkat yang bersangkutan.

Pusat masa adalah titik tangkap teoritis dari beban geser tingkat dan harus dihitung sebagai titik pusat dari semua beban gravitasi yang bekerja di atas lantai tingkat yang ditinjau (kumulatif) dan yang ditumpu pada tingkat lantai itu. Titik tangkap rencana ditentukan berikut ini.

2.4.7.2 Eksentrisitas rencana

Apabila e_c adalah eksentrisitas teoritis antara pusat masa dan pusat kekakuan, maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut:

- Apabila e_c adalah kurang dari 0,1 b dan gedung yang bersangkutan adalah bertingkat 4 atau kurang, maka e_d dapat diambil sama dengan nol.
- Apabila e_c adalah kurang dari 0,3 b dan tidak berlaku Pasal 2.4.7.2. (a), maka beban geser tingkat akibat gempa harus dikerjakan dengan suatu eksentrisitas rencana e_d terhadap pusat kekakuan, di mana e_d harus dihitung dengan rumus:

$$e_d = 1,5 e_c + 0,05 b$$

atau

$$e_d = e_c - 0,05 b$$

dan dipilih yang nilainya paling berbahaya untuk unsur struktur yang ditinjau. Pengaruh momen puntir tingkat harus ditinjau untuk masing-masing arah pembebanan gempa secara terpisah.

- (c) Apabila e_c adalah lebih besar dari 0,3 b, maka struktur gedung yang bersangkutan harus dianalisa berdasarkan analisa dinamik tiga dimensi menurut Pasal 2.5.2.3. atau Pasal 2.5.3.4., dengan mencakup responsnya terhadap puntir.

Lambang b di dalam rumus-rumus di atas adalah ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada tingkat yang ditinjau diukur tegak lurus pada arah pembebanan.

2.5. Analisis Dinamik

Analisa dinamik harus dilakukan untuk struktur gedung-gedung berikut:

- gedung-gedung yang strukturnya sangat tidak beraturan (seperti ditentukan dalam Pasal 2.2.3.).
- gedung-gedung dengan loncatan-loncatan bidang muka yang besar (seperti ditentukan dalam Pasal 2.2.4.).
- gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata (lihat Pasal 2.2.4. dan 2.2.5.)
- gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 m.
- gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

Analisis dinamik yang ditentukan dalam peraturan ini didasarkan atas perilaku struktur yang bersifat elastik penuh dan dengan meninjau gerakan gempa dalam satu arah saja.

2.5.1. Cara-cara Analisis

2.5.1.1 Umum

Analisis dinamik adalah untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respons menurut Pasal 2.5.3. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian yang didapat berdasarkan Pasal 2.4.6. untuk gedung-gedung yang tidak memerlukan analisis dinamik.

2.5.2. Analisis Ragam Spektrum Respons (Spectral Modal Analysis)

2.5.2.1 Spektrum respons gempa rencana

Sebagai spektrum percepatan respons gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar C menurut Gambar 2.3., untuk masing-masing wilayah gempa. Berhubung nilai C adalah tidak berdimensi, maka respons masing-masing ragam yang ditentukan dengan cara ini merupakan respons relatif.

Untuk struktur-struktur gedung yang beraturan dengan e_c kurang dari 0,1 b jumlah ragam translasi yang harus ditinjau tidak boleh kurang dari 3, sedangkan untuk struktur-struktur gedung lainnya jumlah ragam yang harus ditinjau itu tidak boleh kurang dari 5.

2.5.2.2 Kombinasi ragam

Kombinasi respons dari semua ragam yang berperan harus ditentukan dengan mengambil akar kwadrat dari jumlah kwadrat dari respons masing-masing ragam yang berperan itu seperti ditentukan menurut Pasal 2.5.2.1. Namun demikian, apabila dua buah ragam mempunyai waktu getar alami yang hampir sama besarnya, cara di atas dapat kurang konservatif dan untuk itu hendaknya dipakai cara lain da-

lam mengkombinasikan ragam-ragam yang khusus itu, seperti dengan penjumlahan nilai multak dari respons masing-masing ragam.

Dalam kondisi bagaimanapun, gaya geser di tingkat dasar yang ditentukan dengan cara-cara di atas, nilainya tidak boleh kurang dari beban geser dasar $0,9 C_d W_t$, di mana C_d ditentukan sesuai dengan nilai waktu getar alami ragam yang pertama dari model struktur gedung yang ditinjau (lihat Pasal 2.4.1.).

2.5.2.3 Pengaruh momen puntir tingkat.

2.5.2.3.1. Untuk struktur-struktur gedung di mana jarak antara pusat masa dan pusat kekakuan tidak melampaui $0,3 b$, maka gaya-gaya geser yang ditimbulkan oleh momen puntir tingkat dapat ditentukan dengan cara analisa statik menurut Pasal 2.4.7.

2.5.2.3.2. Untuk struktur-struktur gedung dengan e_c yang melampaui $0,3 b$ seperti disebut dalam Pasal 2.4.7.2, pengaruh momen puntir tingkat harus ditentukan di dalam suatu analisa ragam spektrum respons tiga dimensi dengan meninjau paling sedikit 3 ragam getaran yang pertama.

Pengaruh dari suatu eksentrisitas tak terduga tambahan dari pusat masa dari masing-masing lantai sebesar $\pm 0,1 b$ terhadap pusat kekakuan lantai yang bersangkutan harus disertakan dalam analisa (hal ini adalah sebagai tambahan daripada eksentrisitas teoretis e_c).

2.5.3. Analisis Respons Integrasi Nomerik. (— Numerical Integration Response Analysis)

2.5.3.1 Hasil pencatatan gempa

Analisis respons riwayat waktu harus dilakukan dengan memakai paling sedikit empat riwayat waktu dari gempa

hasil pencatatan untuk menentukan riwayat waktu respons struktur terhadap gempa-gempa tersebut.

2.5.3.2 Kombinasi dari respons

Respons struktur gedung terhadap masing-masing gempa hasil pencatatan harus dikalikan dengan suatu faktor skala A' menurut pasal 2.5.3.3. Kemudian gaya-gaya geser tingkat maksimum sebagai respons terhadap keempat gempa yang ditinjau yang diperoleh dengan cara demikian dirata-ratakan untuk mendapatkan gaya-gaya geser tingkat rencana.

2.5.3.3 Faktor Skala

Respons struktur gedung yang ditentukan menurut Pasal 2.5.3.1. harus dikalikan dengan suatu faktor skala A' yang nilainya adalah sedemikian rupa, sehingga gaya geser maksimum di tingkat dasar akibat gempa yang ditinjau, nilainya tidak boleh kurang dari beban geser dasar $0,9 C_d W_t$, di mana C_d ditentukan menurut Pasal 2.4.1. untuk nilai waktu getar alami T dari model struktur gedung yang ditinjau.

2.5.3.4 Pengaruh momen puntir tingkat.

Pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat harus ditinjau dengan cara yang sama seperti menurut Pasal 2.5.2.3. dengan catatan, bahwa analisa dinamik tiga dimensi yang dilakukan di sini berupa analisa respons riwayat waktu.

2.6. Perubahan Bentuk Akibat Gempa

2.6.1. Perubahan Bentuk yang Dihitung

Perubahan bentuk struktur gedung akibat gempa harus dihitung dari perubahan bentuk akibat gempa menurut Pasal 2.4. atau 2.5. dengan mengalikannya dengan faktor C_I/C_d untuk analisis beban statik ekuivalen atau $C_I/0,9$

C_d untuk analisis dinamik, di mana lambang-lambang dalam faktor-faktor tersebut ditentukan dalam Pasal 2.4.

2.6.2. Pemisahan Gedung

Di atas permukaan tanah setiap gedung harus mempunyai jarak pemisahan terhadap perbatasan lahan sebesar 4 kali simpangan maksimum yang dihitung atau 0,02 kali tinggi gedung, bergantung yang mana yang terbesar, tetapi tidak boleh kurang dari 3,75 cm. Ketentuan ini tidak berlaku apabila gedung tersebut berbatasan dengan jalan yang direncanakan atau dengan jalan umum yang ada.

Bagian-bagian dari gedung atau beberapa gedung di tempat yang sama, yang tidak direncanakan untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan, harus dipisahkan yang satu terhadap yang lainnya dengan suatu jarak pemisah yang besarnya adalah paling sedikit 4 kali jumlah simpangan masing-masing yang dihitung atau 0,004 kali tinggi gedung, bergantung yang mana yang terbesar, tetapi tidak boleh kurang dari 7,5 cm.

Sela-sela pemisah harus direncanakan detailnya dan dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga tetap bebas dari kotoran atau benda-benda penghalang. Lebar sela-sela tersebut harus memenuhi semua toleransi pelaksanaan.

2.6.3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan-simpangan antar tingkat antara dua lantai berturut-turut harus dihitung menurut Pasal 2.6.1. Sifat-sifat penampang yang dipakai dalam perhitungan simpangan-simpangan harus menurut Pasal 2.5.2.3.

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horisontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai di bawahnya.

Perbandingan antara simpangan antar tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melampaui 0,005,

dengan ketentuan bahwa dalam segala hal simpangan tersebut tidak boleh lebih dari 2 cm.

2.6.4. Pemisahan Unsur-unsur

Unsur-unsur non struktur yang kaku seperti tangga beton bertulang, dinding tembok dan lain sebagainya, dianjurkan untuk dipisahkan dari strukturnya.

Apabila unsur-unsur non-struktur tersebut tidak dipisahkan dari strukturnya, maka harus dibuktikan dengan suatu analisa rasional, bahwa tidak terjadi pola keruntuhan struktur yang menyimpang dari pada yang disyaratkan, yang dapat menyebabkan keruntuhan yang lebih awal.

Apabila unsur-unsur non-struktur yang kaku dipisahkan secara nyata dari strukturnya, maka harus diadakan jarak pemisah sebesar 4 kali perubahan bentuk yang dihitung menurut Pasal 2.6.1. dengan minimum sebesar 1 cm. Pemisahan unsur-unsur non-struktur dari strukturnya tidak perlu diadakan apabila perbandingan antara simpangan antar-tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak melebihi 0,0003.

2.7. Perubahan Struktur

Perencanaan struktur harus menyadarkan pelaksana atau kontraktor akan bahaya-bahaya yang dapat timbul apabila unsur-unsur atau detail-detail struktur gedung diganti atau dirubah tanpa persetujuan khusus dari perencanaan struktur. Setiap perubahan yang disetujui oleh perencana struktur harus memenuhi syarat-syarat pedoman ini.

BAB III

SYARAT-SYARAT PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK UNSUR-UNSUR SEKUNDER, PENYELESAIAN ARSITEKTUR DAN INSTALASI MESIN DAN LISTRIK

3.1 Ruang Lingkup

Syarat-syarat yang ditentukan dalam bab ini harus dipenuhi dalam perencanaan unsur-unsur sekunder, penyelesaian arsitektur dan sistem-sistem instalasi mesin dan listrik, karena hal-hal tersebut dapat menimbulkan bahaya pada waktu terjadi gempa atau disyaratkan untuk tetap dapat berfungsi segera setelah peristiwa gempa tersebut terjadi.

Benda-benda yang disimpan dalam museum dan barang-barang sejenis yang mempunyai nilai sejarah atau nilai kebudayaan yang tinggi, yang tidak merupakan unsur-unsur struktur, hendaknya ditambat dan diamankan terhadap pengaruh gempa. Untuk detail dari tambatan-tambatan demikian harus dimintakan nasehat dari ahlinya yang khusus.

3.2 Hubungan

Setiap unsur, komponen atau peralatan yang dicakup oleh bab ini harus dihubungkan dengan erat kepada struktur gedungnya untuk menahan pengaruh gempa yang disyaratkan. Gesekan akibat gravitasi tidak boleh diperhitungkan dalam merencanakan ketahanan yang disyaratkan terhadap pengaruh gempa horisontal.

Alat-alat penambah (ornamen), unsur penutup (veneer), benda-benda tambahan (appendages), panel-panel luar, termasuk baut-baut jangkar, harus tahan karat dan daktail dengan dayaambat yang cukup. Dalam hal panel-panel beton pracetak, jangkar-jangkarnya harus dilas atau dikaitkan kepada penulangan panel.

3.3 Hubungan Antar Unsur dan Komponen

Hubungan antar unsur antar komponen dan pengaruhnya yang satu terhadap yang lain harus ditinjau. Kegagalan suatu sistem atau komponen arsitektur, mesin atau listrik yang direncanakan dengan suatu nilai koefisien gempa tertentu, tidak boleh menyebabkan kegagalan dari suatu sistem atau komponen arsitektur, mesin atau listrik yang direncanakan dengan nilai koefisien gempa yang lebih tinggi. Bila disyaratkan, interaksi dengan sistem strukturnya harus dicegah dengan mengadakan pemisahan-pemisahan yang cukup menurut Pasal 2.6.

3.4 Pemutusan Operasi Mesin Otomatis

Apabila pelanjutan operasi suatu mesin atau alat selama gerakan gempa berlangsung dapat mengakibatkan bahaya yang berarti, maka hendaknya diadakan suatu sistem pemutusan operasi mesin yang bekerja otomatis, jika suatu percepatan tanah tertentu yang ditetapkan mulai bekerja.

3.5 Beban Gempa Rencana

Setiap unsur dan komponen harus direncanakan terhadap suatu beban gempa F_p yang berupa beban statik ekuivalen yang bekerja dalam arah yang ditetapkan dan yang besarnya ditentukan menurut rumus:

$$F_p = C_p K_p P W_p$$

di mana:

W_p adalah berat dari unsur, komponen atau peralatan.
 C_p adalah koefisien gempa yang nilainya sama dengan C (Pasal 2.4.2.) dan merupakan fungsi dari waktu getar alami unsur untuk unsur-unsur yang berdiri di atas tanah dan bebas dari struktur gedung. Untuk unsur-unsur yang ditunjang oleh struktur ge-

dung maka C_p adalah sama dengan C_d (Pasal 2.4.1) untuk strukturnya.

K_p dan P ditentukan dalam pasal-pasal berikut.

3.5.1. Faktor Respons Struktur – K_p

Faktor ini mencerminkan pembagian dan pembesaran dari gerakan tanah oleh struktur gedung yang menunjang komponen yang bersangkutan, dan yang besarnya ditentukan menurut rumus:

$$K_p = 1,0 + \frac{h_i}{H}$$

di mana h_i adalah ketinggian sampai tempat di mana unsur atau komponen tersebut berada dan di ukur dari tingkat penjepitan lateral seperti ditentukan dalam Pasal 1.3. dan H adalah tinggi struktur gedung seluruhnya diukur dari tingkat penjepitan lateral yang sama.

K_p harus diambil sama dengan 1,0 untuk struktur-struktur yang langsung berdiri di atas tanah.

Faktor K_p untuk unsur-unsur yang lebih penting harus dihitung berdasarkan analisa yang lebih tepat.

3.5.2. Faktor Perilaku Terhadap Gempa dari Komponen – P

Faktor ini adalah untuk memperhitungkan baik perilaku yang diperkirakan dari unsur atau komponen, maupun pentingnya perilaku itu selama gempa berlangsung atau segera setelah itu. Untuk berbagai-bagai unsur dan komponen faktor perilaku terhadap gempa harus diambil menurut Tabel 3.1.

Apabila waktu getar alami suatu unsur yang terpasang pada struktur gedung adalah hampir sama dengan waktu ge-

tar alami strukturnya, maka dapat terjadi pembesaran yang berarti (resonansi). Apabila perbandingan antara waktu getar alami struktur dan waktu getar alami unsur adalah antara 0,6 dan 1,4, maka nilai dari P harus dikalikan 2, kecuali apabila dilakukan suatu analisa khusus.

Tabel 3.1.
FAKTOR PERILAKU TERHADAP GEMPA DARI UNSUR ATAU KOMPONEN STRUKTUR

Unsur atau komponen	P
KELOMPOK A	
Unsur atau komponen sekunder:	
1. Dinding dan dinding pemisah:	
(a) Dinding yang berbatasan dengan jalan keluar, jalan atau tempat umum atau disyaratkan untuk mempunyai suatu ketahanan tertentu terhadap kebakaran.	: 4
(b) Dinding kantilever dan dinding sandaran (parapet)	: 4
(c) Semua dinding yang lain daripada menurut 1(a), 1 (b) atau 2.	: 2,5
2. Tangga dan dinding koker tangga, dinding koker untuk lift	: 4
3. Unsur penutup (veneer), panel luar beton pracetak dan benda-benda ornamen berikut alat-alat penambatnya.	: 8
4. Langit-langit dengan lempengan penutup yang beratnya melampaui 2 kg per buah (Lihat Catatan 5).	:
(a) Langit-langit untuk suatu jalan keluar atau yang disyaratkan untuk mempunyai suatu ketahanan tertentu terhadap kebakaran.	: 3
(b) Langit-langit lain yang tidak termasuk dalam 4 (a)	: 2

Lanjutan Tabel 3.1.:

Unsur atau komponen	P
5. Perabot rumah tangga. Perabot rumah tangga pada suatu jalan keluar atau yang dapat membahayakan apabila mengalami pengaruh gempa.	: 2
6. Menara dan cerobong yang beratnya tidak melampaui 10% dari berat gedungnya (lihat Catatan 3).	: 2,5
7. Struktur rumah atap atau ruang mesin pada puncak suatu gedung.	: 2,5
8. Lantai, balok, pelindung sinar matahari, dan lain-lain yang berupa kantilever horisontal, di mana bebannya harus ditinjau bekerja vertikal dengan arah ke atas atau ke bawah.	: 5

KELOMPOK B**Komponen instalasi mesin dan listrik**

9. Ketel uap, tungku, pembakar, pemanas air atau alat lain yang menggunakan sumber energi pembakaran atau dengan suhu yang tinggi. Tangki tekanan tinggi. (Lihat Catatan 1).	: 6
10. Tangki dan struktur penunjangnya untuk (Lihat Catatan I)	: 6
(a) Cairan dan gas beracun, alkohol, asam, alkali, logam pijar, atau bahan lain serupa yang berbahaya.	: 6
(b) Sistem penyemprot air kebakaran (sprinkler)	: 6
(c) Lain-lain.	: 4
11. Pengatur roda gigi (switchgear), transformator, gardu listrik, alat-alat kontrol motor listrik.	: 6
12. Gantungan atau tambatan lampu	:
(a) Tambatan erat	: 2,5
(b) Gantungan yang dapat berayun (lihat Catatan 2)	: 3,5

Lanjutan Tabel 3.1.:

Unsur atau komponen	P
13. Sistem pipa distribusi (lihat Catatan 1)	
(a) Yang ditambah erat:	
(i) untuk cairan beracun dan berbahaya	: 6
(ii) untuk lainnya	: 3
(b) Yang ditambah fleksibel:	
(i) untuk cairan beracun atau berbahaya	: 8
(ii) untuk lainnya	: 5
14. Rak-rak untuk menyimpan batere dan barang-barang berbahaya (lihat Catatan 4).	: 4
15. Mesin lift, rel pengarah, dan lain-lain.	: 3
16. Peralatan yang siap jalan pada keadaan darurat, yang harus segera berfungsi setelah terjadi gempa.	: 6

Catatan:

- 1 Ke dalam berat tangki dan tempat penyimpanan sejenis pada peninjauan gempa harus termasuk berat isinya.
- 2 Lampu-lampu yang menggantung atau berayun harus mempunyai kabel penambat pengaman yang ditambatkan kepada struktur yang harus dapat memikul 4 kali beratnya.
- 3 Apabila menara dan cerobong beratnya melampaui 10% dari berat gedungnya, maka strukturnya harus dianalisa dengan mengikutsertakan unsur-unsur tersebut.
- 4 Rak-rak yang disebut pada butir 14 harus dapat memberikan tahanan positif terhadap gerakan-gerakan dari barang-barang yang disimpan di dalamnya akibat pengaruh gempa horisontal.

5. Langit-langit yang digantung:

Langit-langit pada ruang-ruang penting (seperti ruang bedah di rumah sakit), di mana jatuhnya bagian-bagian langit tidak boleh terjadi, harus ditambah erat dan langsung kepada struktur gedungnya.

Langit-langit dengan lempengan penutup yang beratnya kurang dari 2 kg perbuah tidak perlu direncanakan terhadap syarat-syarat di atas.

- (a) Sistem penyangga untuk langit-langit yang digantung harus direncanakan dan dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga dapat dicegah terjadinya keruntuhan mendadak atau berangsur-angsur atau lendutan-lendutan yang berlebihan yang dapat melepaskan komponen-komponen langit-langit.
- (b) Unsur-unsur langit-langit, gantungan-gantungan lampu dan penambat-penambat benda berat lainnya yang dihubungkan kepada langit-langit, harus dijangkar erat kepada penyangganya, sehingga dapat menahan gaya bersih ke atas sebesar sepertiga dari beratnya.
- (c) Langit-langit harus direncanakan terhadap pengaruh gempa horisontal termasuk bagian-bagian penyangganya, yang harus dihubungkan erat satu kepada lainnya dan kepada struktur gedungnya atau kepada unsur penahan gempa yang ada.

PENJELASAN

BAB I DESKRIPSI

1.1. Cara-cara Perencanaan

Melihat kepada praktek perencanaan tahan gempa dan cara-cara pelaksanaan di Indonesia pada waktu pedoman ini disiapkan, maka ternyata bahwa penyusunan pedoman dengan secara langsung mengambil alih peraturan-peraturan pembebanan mutakhir yang terdapat di luar negeri tidaklah sesuai untuk diberlakukan pada banyak jenis struktur gedung di Indonesia. Syarat-syarat yang ditentukan dalam kebanyakan peraturan di luar negeri itu ditujukan kepada gedung-gedung tinggi, yang tidak merupakan bagian yang penting dari gedung-gedung di Indonesia.

Untuk perencanaan gedung-gedung kecil atau sedang, asal memenuhi pembatasan-pembatasan tertentu, dapat diikuti cara-cara perencanaan yang dimuat dalam Petunjuk Perencanaan Beton Bertulang dan Struktur Dinding Bertulang untuk Rumah dan Gedung. Hal ini akan mengurangi lingkup dan perencanaan dan akan menyederhanakan pula pendetailan dari struktur gedung terutama yang menyangkut komponen non-struktur.

Namun demikian syarat-syarat perencanaan yang berlaku untuk gedung-gedung dengan struktur-struktur besar dan rumit diberikan juga di dalam pedoman ini sejalan dengan peraturan-peraturan perencanaan tahan gempa lainnya di luar negeri. Kemutakhiran dalam syarat-syarat perencanaan tahan gempa tetap diusahakan dalam peraturan ini untuk menjamin agar gedung-gedung dengan struktur besar memperoleh ketahanan terhadap gempa yang memadai. Telah diusahakan untuk dicapai suatu kompromi untuk syarat-syarat perencanaan tersebut, sehingga di satu pihak dapat

dihasilkan struktur gedung yang memuaskan dan di lain pihak sesuai pula dengan praktek perencanaan dan pelaksanaan di Indonesia dewasa ini.

1.2. Ruang Lingkup

Bab ini menegaskan bahwa pedoman ini tidak dimaksudkan untuk diterapkan pada struktur bangunan-bangunan teknik sipil seperti jembatan dan bendung, dan juga tidak berlaku untuk struktur gedung-gedung yang tidak umum seperti gedung instalasi tenaga nuklir.

PENJELASAN

BAB 2

CARA PERENCANAAN LENGKAP

2.1. Ruang Lingkup

Cara yang diberikan ini adalah sesuai dengan yang diberikan di dalam peraturan-peraturan perencanaan tahan gempa lainnya di luar negeri. Struktur-struktur gedung yang ditinjau direncanakan untuk tahan terhadap gempa-gempa sedang tanpa mengalami kerusakan, sedangkan gempa-gempa kuat dapat mengakibatkan kerusakan, tetapi karena terjadinya dalam suatu pola yang terkontrol tidak menyebabkan keruntuhan struktur.

2.2. Prinsip-prinsip Perencanaan Struktur Daktail Tahan Gempa dan Pendetailannya.

2.2.1. Daktilitas

Telah diterima sebagai suatu kenyataan bahwa secara ekonomis tidaklah layak untuk merencanakan struktur-struktur gedung sedemikian rupa kuatnya, sehingga tahan menahan gempa secara elastik. Sebagai contoh, suatu struktur gedung yang mempunyai suatu redaman sebesar 10% dari redaman kritis dan suatu waktu getar 0,5 detik bila dikenakan gempa El Centro 1940 akan memberikan respons percepatan elastik sebesar kira-kira 600 gal (0,6 g) (Lihat Penjelasan Gambar 2.2.).

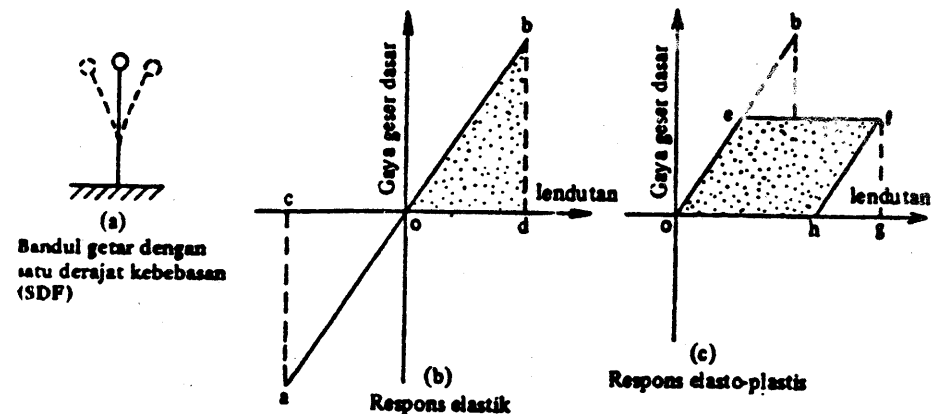
Berhubung dengan itu, ditetapkanlah suatu taraf gempa rencana di dalam peraturan yang menjamin suatu struktur gedung untuk tidak rusak dalam gempa-gempa kecil atau sedang, tetapi dalam gempa yang kuat yang jarang terjadi, struktur tersebut mampu melakukan perubahan bentuk secara daktail, dengan memencarkan energi gempa dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur.

Untuk menggambarkan prinsip ini tinjaulah perilaku suatu struktur yang berupa suatu sistem dengan satu derajat kebebasan seperti ditunjukkan dalam penjelasan Gambar 2.1. (a). Responnya yang bersifat elastik murni ditunjukkan dalam Gambar 2.1. (b), di mana bidang obd yang digelapkan di bawah grafik merupakan suatu ukuran dari energi potensial yang tersimpan bila struktur menyimpang sampai mencapai nilai d. Sambil struktur tersebut bergejar dari kedudukan b melalui kedudukan awal o seluruh energi potensial tadi dirubah menjadi energi kinetik dan kembali disimpan lagi sebagai energi potensial pada kedudukan a.

Tinjau sekarang perilaku bandul getar yang sama tetapi di mana suatu 'sendi plastis' boleh terjadi, sehingga struktur tersebut berperilaku yang jika diidealisasikan dan disederhanakan coraknya adalah seperti yang ditunjukkan dalam penjelasan gambar 2.1. (c). Titik e menunjukkan gaya geser yang berhubungan dengan kapasitas momen dari sendi plastis. Struktur tersebut tidak memberikan respons dengan menyimpang sampai mencapai simpangan elastik penuh yang ditunjukkan oleh B, tetapi akan mengikuti garis e-f sampai struktur tersebut berhenti pada kedudukan f. Energi kinetik di o dirubah menjadi energi potensial seperti yang ditunjukkan oleh bidang oefg, dan gaya gesernya telah dibatasi oleh terbentuknya sendi plastis itu.

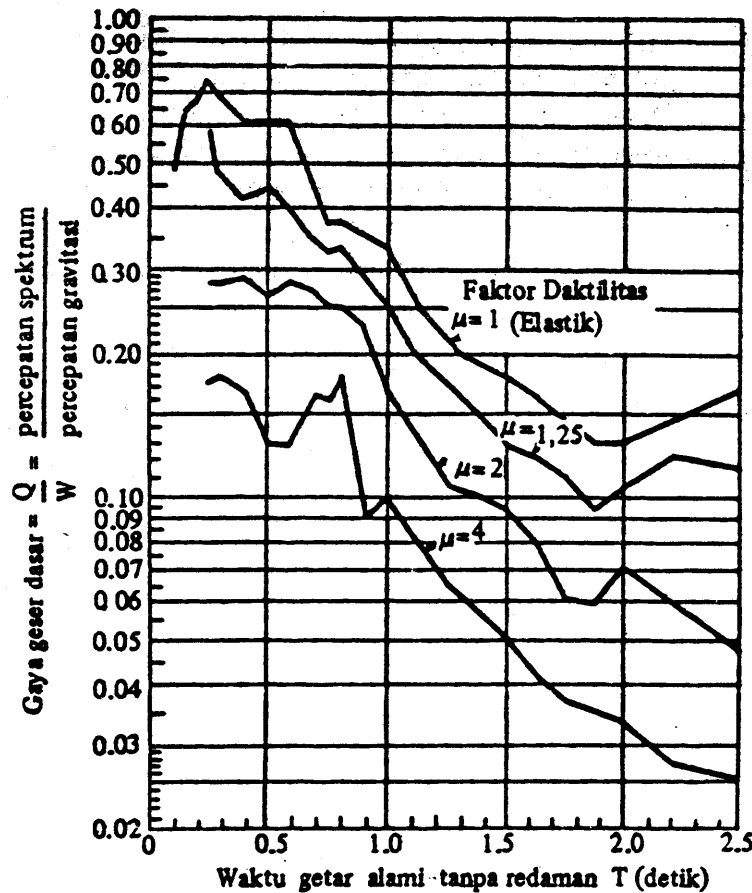
Suatu ukuran bagi perilaku ini dan bagi kemampuan struktur untuk menyimpan dan memancarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maksimum f dan simpangan pada leleh pertama e, hal mana diistilahkan sebagai 'faktor daktilitas'. Energi total yang disimpan pada kedudukan simpangan maksimum adalah oefg, tetapi bila struktur kembali ke kedudukan 'tanpa gaya' hanya bagian hfg dari energi yang dikembalikan sebagai energi kinetik.

Hal ini berlainan sama sekali dari pada respons elastik, di mana seluruh energi potensial yang tersimpan dikembalikan menjadi energi kinetik. Kelakuan elasto-plastis ini merupakan dasar bagi teknik pencadangan energi yang dipakai dalam perencanaan struktur yang daktail. (J.P. Hollings, "Reinforced Concrete Seismic Design", Seismic Problems the Structural Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1968.



Gambar 2.1.
Perilaku suatu struktur gedung terhadap gaya gempa.

Pentingnya suatu struktur untuk berperilaku secara daktail ditunjukkan dalam penjelasan Gambar 2.2., yang menunjukkan perilaku sebuah bandul getar sederhana dengan satu derajat kebebasan yang elasto-plastis dengan redaman sebesar 10% dari redaman kritis, jika mengalami gempa El Centro 1940. Pengurangan menyolok dari gaya geser dasar yang terjadi terbukti dengan jelas.



Gambar 2.2.
Spektrum percepatan untuk sistem elasto-pastis dengan 10%
rendaman kritis untuk gempa El Centro 1940.

(New mark, Velexos "Effect of inelastic Behaviour in the Response of systems" second Word Conference an Earthquake Engineering, 1960).

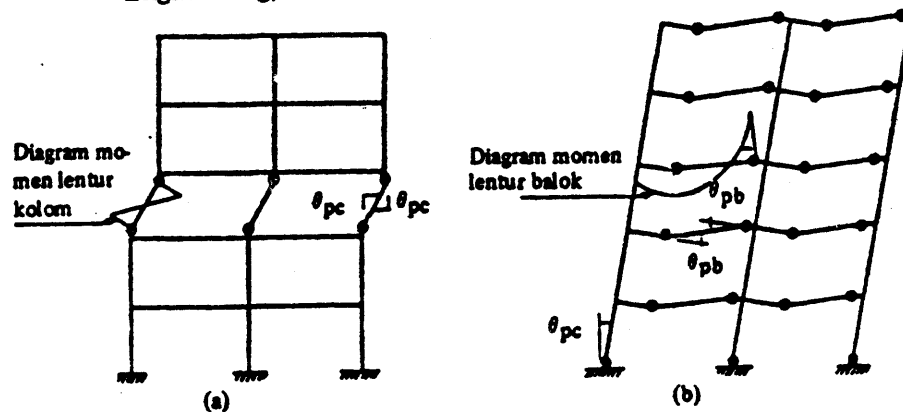
Filsafah ini berlaku untuk semua struktur gedung (walau pun coraknya lebih rumit) dengan pembentukan banyak sendi plastis yang menyebar ke seluruh struktur apabila struktur tersebut mengalami pengaruh-pengaruh gempa yang melampaui pengaruh gempa rencana menurut peraturan.

Telah disepakati secara umum bahwa suatu struktur gedung hendaknya mempunyai kemampuan untuk menyimpan paling sedikit 4 kali dari simpangannya pada leleh pertama (jadi mempunyai faktor daktilitas sebesar 4) tanpa kehilangan kekuatan yang berarti. Dalam hal ini perlu disadari bahwa daktilitas yang dituntut dari unsur-unsur struktur gedung secara sendiri-sendiri nyatanya jauh melampaui daktilitas struktur gedung secara keseluruhan. Park & Laulay dalam bukunya "Reinforced Concrete Structures", Wiley Interscience Publication, 1975 menunjukkan bahwa daktilitas komponen struktur dalam portal-portal beraturan, dapat mencapai nilai paling sedikit 4 atau 5 kali daktilitas struktur. Syarat-syarat pendetailan bagi unsur-unsur struktur gedung yang diberikan dalam peraturan ini telah memperhitungkan hal itu untuk menjamin agar dalam keadaan umum tersedia daktilitas unsur yang cukup di dalam struktur gedung yang memungkinkan struktur tersebut memenuhi daktilitas yang dituntut untuk mengatasi gempa-gempa kuat yang melampaui taraf gempa yang ditetapkan dalam peraturan.

Dari uraian di atas jelas kiranya, bahwa para perencana harus merencanakan struktur - struktur gedung yang memenuhi daktilitas tersebut di atas. Untuk itu perencanaan struktur gedung harus didasarkan atas prinsip-prinsip perencanaan kapasitas, di samping harus memenuhi Pedoman Perencanaan Beton. Pada waktunya Pedoman Perencanaan Beton akan disempurnakan, sehingga prinsip-prinsip tersebut sudah tercakup sepenuhnya.

2.2.2. Pemencaran Energi

Dalam mentrapkan konsep respons suatu bandul getar tunggal kepada suatu struktur gedung dengan banyak derajat kebebasan, kita tinjau mekanisme sendi plastis yang dapat terjadi pada struktur tersebut. Dua jenis mekanisme yang khas dapat terjadi pada portal-portal ditunjukkan dalam penjelasan Gambar 2.3. (Park, "Ductility of Reinforced concrete Frames under seismic Loading" N.Z. Engineering, November 1968).



Gambar 2.3.

Mekanisme goyang dengan pembentukan sendi plastis dalam kolom (gambar a) mekanisme goyang dengan pembentukan sendi plastis dalam balok (gambar b).

- Sendi plastis
- θ_{pb} Rotasi sendi plastis balok
- θ_{pc} Rotasi sendi plastis kolom

Mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis yang terbentuk di dalam kolom-kolom dari satu tingkat penjelasan (Gambar 2.3. (a) akibat penggunaan balok-balok yang kuat dan kaku pada umumnya hanya dapat diizinkan untuk struktur-struktur rendah, karena alasan-alasan berikut:

- (a) Pemencaran energi terjadi terpusat di dalam sejumlah kecil kolom-kolom struktur, yang mungkin tidak memiliki cukup daktilitas karena besarnya gaya-gaya aksial yang bekerja di dalamnya.
- (b) Daktilitas yang dituntut dari kolom-kolom untuk mencapai daktilitas struktur sebesar 4 akan sangat tinggi sehingga sulit dipenuhi.
- (c) Simpangan yang besar yang terjadi pada struktur menyebabkan timbulnya efek P-delta yang merupakan bahaya bagi ketidaksetabilan struktur. Yang dimaksud dengan efek P-delta adalah pembesaran pengaruh gaya aksial (P) yang bekerja dalam kolom-kolom akibat pembesarnya eksentrisitas gaya-gaya aksial tersebut karena adanya simpangan (delta) pada struktur.

Mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis yang terbentuk di dalam balok-balok penjelasan Gambar 2.3. (b) akibat penggunaan kolom-kolom yang kuat yang memaksa sendi-sendi plastis untuk terjadi di dalam balok-balok hendaknya selalu diusahakan sejauh keadaan memungkinkan, karena hal tersebut memberikan keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- (a) Pemencaran energi terjadi di dalam banyak unsur.
- (b) Bahaya ketidakstabilan akibat efek P-delta lebih kecil.
- (c) Sendi-sendi plastis di dalam balok-balok dapat berfungsi dengan sangat baik, yang memungkinkan terjadinya rotasi-rotasi plastis yang besar.
- (d) Daktilitas yang dituntut dari balok untuk menghasilkan daktilitas struktur sebesar 4 pada umumnya mudah dipenuhi.

Perilaku struktur yang memuaskan setelah melampaui batas elastis harus terjamin dengan baik. Untuk itu mekanisme sendi plastis perlu dikendalikan terjadinya, di mana

sendi-sendi plastis tersebut dapat dipaksakan untuk terjadi di tempat yang diinginkan dengan cara meningkatkan kekuatan unsur-unsur yang berbatasan. Sebagai contoh, di dalam suatu mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis yang terbentuk di dalam balok-balok jumlah kekuatan kolom-kolom pada suatu titik pertemuan harus dibuat lebih besar daripada kekuatan baloknya untuk memaksa terjadinya sendi plastis di dalam balok.

Walaupun di sini hanya prinsip-prinsip umum mengenai mekanisme sendi plastis untuk portal-portal saja yang diuraikan, namun pada dasarnya mekanisme demikian hendaknya ditentukan untuk setiap bentuk struktur gedung dan semua unsur-unsurnya direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat terjamin terbentuknya sendi-sendi plastis di tempat-tempat yang diinginkan.

2.2.3. Simetri

Pengalaman dari banyak gempa di waktu yang lalu telah menunjukkan bahwa struktur-struktur gedung yang sederhana dan simetris mempunyai ketahanan yang paling baik terhadap gempa. Sebab utama dari hal ini adalah dapat diperkirakan dengan lebih baik perilaku struktur dan lebih rendahnya daktilitas struktur yang dituntut bila dibandingkan dengan struktur-struktur gedung yang memberi respons yang kuat dalam puntir. Berhubung dengan itu, maka struktur-struktur gedung hendaknya dibuat se-simetris mungkin dalam kedua arah.

Respons dari sayap-sayap pada gedung-gedung dengan tonjolan-tonjolan (seperti pada gedung-gedung dengan denah berbentuk H atau berbentuk salib) dapat berbeda dari respons struktur gedung tersebut secara keseluruhan, hal mana menimbulkan gaya-gaya setempat yang besar. Hal ini mungkin tidak dapat terungkap dengan baik dari suatu analisa beban statik ekwivalen. Karena itu peraturan ini mensyaratkan dilakukannya suatu analisa dinamik ti-

ga dimensi. Dalam hal ini kiranya akan lebih memuaskan apabila bagian-bagian gedung tersebut saling dipisahkan untuk mencegah terjadinya interaksi.

2.2.4. Loncatan Bidang Muka

Analisa beban statik ekwivalen hanya dapat dipakai untuk struktur-struktur gedung yang beraturan. Adanya loncatan-loncatan bidang muka merubah sifat-sifat dinamik dari struktur dan karena itu merubah pula pembagian gaya geser tingkat akibat gempa yang ditentukan berdasarkan Pasal 2.4.6.

Hal ini mengakibatkan diperlukannya suatu analisa dinamik untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gempa sepanjang tinggi gedung.

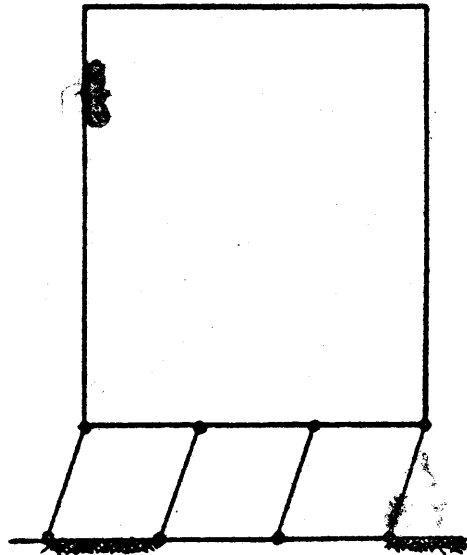
Perlu diperhatikan secara khusus pemindahan gaya geser dan pembagian kembali gaya-gaya aksial kolom pada tempat-tempat loncatan bidang muka itu. Gaya-gaya geser yang besar dapat terjadi di dalam diafragma lantai dan balok-balok di tempat-tempat tersebut.

2.2.5. Keseragaman Kekakuan Tingkat

2.2.5.1. Telah dibuktikan secara analitik dan terbukti dalam praktek pada banyak peristiwa gempa, bahwa perubahan-perubahan menyolok dalam kekakuan di dalam suatu struktur gedung menjurus kepada pembentukan mekanisme sendi plastis dengan sendi-sendi plastis terbentuk di dalam kolom-kolom, yang berakibat dituntutnya daktilitas yang sangat tinggi dari unsur-unsur struktur di tempat itu yang tak dapat dipenuhi.

Suatu contoh khusus mengenai pembentukan suatu mekanisme sendi plastis yang harus dihindarkan ialah apabila tingkat yang paling bawah dari suatu struktur gedung adalah lebih fleksibel dari pada tingkat-tingkat di atasnya seperti ditunjukkan dalam Gambar

Penjelasan 2.4. Dalam gambar tersebut bagian struktur yang berada di atas tingkat bawah hanya memungkinkan adanya pemencaran energi gempa secara terbatas, sehingga pemencaran energi gempa tersebut praktis terpusat seluruhnya pada sendi-sendi plastis yang terjadi pada kolom-kolom tingkat bawah. Keadaan demikian dapat terjadi akibat tinggi tingkat yang lebih besar di tingkat bawah itu atau akibat interaksi yang tak terduga antara dinding-dinding non-struktur dan bagian-bagian portal yang berada di atas tingkat bawah tersebut.



Gambar 2.4.
Sendi plastis terjadi pada kolom,
akibat kekakuan tingkat yang tidak
seragam (soft storey effect).

Park & Paulay, dalam bukunya "Reinforced concrete structure". menunjukkan bahwa di dalam suatu struktur gedung 10 tingkat yang membentuk mekanisme seperti itu, daktilitas yang dituntut dari kolom-kolom bawah dapat mencapai 5 sampai 10 kali dari pada apa yang dapat dikerahkan oleh kolom-kolom struktur gedung yang direncanakan dan dilaksanakan secara biasa.

T. Kelly, dalam bukunya "Some communiti on Reinforced Concrete structure forming Colema Hiage mechanisms." Bulletin fo the New Zealand Society for Earthquake Engineering, December 1977 membenarkan hasil-hasil tersebut dan pada suatu struktur gedung 8 tingkat yang dianalisa secara elastoplastis telah terungkapkan bahwa keruntuhan sudah akan terjadi pada gempa yang tidak terlalu kuat, lebih-lebih apabila pengaruh-pengaruh dari eksentrisitas-eksentrisitas tambahan dari gaya-gaya aksial di dalam kolom ikut diperhitungkan.

Akibat lain dari pada penyimpangan-penyimpangan dalam keseragaman kekakuan tingkat adalah menurunnya ketelitian cara analisa beban statik ekwivalen sampai di luar batas-batas yang dapat diterima.

Karena itu diadakan 2 pembatasan mengenai perubahan kekakuan di dalam pasal ini:

- (a) pembatasan 25%, yang bila dilampaui harus dilakukan suatu analisa dinamik untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gempa karena timbulnya ketidaktelitian dalam analisa beban statik ekwivalen.
- (b) pembatasan 50% untuk mencegah kemungkinan terjadinya mekanisme sendi plastis yang tidak diinginkan.

- 2.2.5.2. Retaknya penampang-penampang beton bertulang dan perubahan-perubahan bentuk di sekitar titik-titik pertemuan dari struktur-struktur baja akan menyebabkan peningkatan dalam simpangan struktur bila mengalami pengaruh gempa yang berarti. Peningkatan simpangan ini adalah penting khususnya dalam menentukan simpangan antar tingkat untuk pemakaian Pasal 2.6.

Untuk struktur-struktur gedung yang memakai dinding geser pendekatan yang serupa dapat ditempuh, di mana prosentase dari momen inersia bruto penampang utuh dinding geser dapat diambil sebagai berikut:

Dinding geser kantilever	60%
Dinding geser berangkai:	
Dinding yang mengalami tarikan aksial	50%
Dinding yang mengalami tekanan	80%
Balok-balok perangkai beton dengan tulangan diagonal	40%
Balok-balok perangkai beton bertulang biasa	20%

Nilai modulus elastisitas E yang dipakai dalam perhitungan harus sesuai untuk keadaan pembebanan dengan gempa.

2.2.6. Lantai Diafragma dan Pengaku

Diafragma dan pengaku berfungsi pembagi beban-beban geser tingkat kepada unsur-unsur vertikal dan miring dalam tingkat tersebut dan membagikan kembali gaya-gaya geser yang bersangkutan di tempat loncatan-loncatan bidang muka dan di tempat-tempat perubahan mendadak dalam kekakuan unsur-unsur struktur serta memungkinkan berlangsungnya interaksi antara dinding geser dan portal-portal penahan momen.

Pola pembagian dari beban geser tingkat dan momen pun-

tir tingkat kepada unsur-unsur vertikal dari sistem penahan gempa bergantung pada perbandingan kekakuan dari diafragma lantai terhadap kekakuan dari diafragma lantai terhadap kekakuan unsur-unsur vertikal tersebut.

Di mana kekakuan diafragma di dalam bidangnya adalah cukup besar dibandingkan dengan kekakuan dari unsur-unsur vertikal dari sistem penahan gempa, maka untuk pemakaian pasal ini diafragma tersebut dapat dianggap mempunyai kekakuan di dalam bidangnya yang tak terhingga besarnya. Kemudian sesuai dengan syarat-syarat kompatibilitas dan keseimbangan, beban geser di dalam setiap tingkat harus dibagikan di antara unsur-unsur vertikal sebanding dengan sumbangan masing-masing kepada kekakuan tingkat yang bersangkutan, sedangkan momen puntir tingkat mengakibatkan gaya-gaya geser tambahan di dalam unsur-unsur tersebut sebanding dengan sumbangan masing-masing kepada kekakuan puntir dari tingkat tersebut terhadap pusat kekakuannya. Sumbangan ini dari suatu komponen struktur adalah perkalian dari kekakuan lateralnya dan kwadrat dari jaraknya ke pusat kekakuan dari tingkat itu. Cara lain yang dapat ditempuh untuk membagikan beban-beban geser tingkat dan momen-momen puntir tingkat kepada unsur-unsur struktur adalah berdasarkan suatu analisa tiga dimensi dari struktur dengan teori elastisitas.

Di mana diafragma atau ikatan lantai adalah sangat fleksibel di dalam bidangnya terhadap unsur-unsur vertikal, beban-beban geser tingkat harus dibagikan kepada unsur-unsur vertikal dengan menyinggung unsur-unsur tersebut sebagai tumpuan-tumpuan kaku dan momen-momen puntir kebetulan dalam hal ini diabaikan.

Suatu analisa dari diafragma yang bekerja sebagai suatu balok atau rangka menerus di atas tumpuan-tumpuan kaku akan menghasilkan pembagian beban geser tersebut. Karena sifat-sifat dari balok atau rangka itu pada umumnya tidak dapat ditentukan secara tepat, maka dianjurkan

agar jumlah gaya geser di dalam unsur-unsur vertikal tidak diambil kurang daripada beban geser dalam lajur portal yang bersangkutan. Dalam penjelasan Gambar 2.5. ditunjukkan sebuah denah struktur gedung pada suatu tingkat dengan lajur-lajur lantai yang disangga oleh portal-portalnya. Apabila beban geser yang bekerja pada tingkat tersebut adalah V_i dan beban yang ditumpu oleh Portal n adalah W_n , maka beban geser yang bekerja pada portal tersebut di tingkat itu hendaknya tidak diambil kurang dari $(W_n/\Sigma W) V_i$. Di mana diafragma tersebut adalah sangat fleksibel masing-masing unsur vertikal akan bertindak sebagai unsur-unsur yang bebas terhadap unsur lainnya. Dalam hal ini momen puntir kebetulan menjadi sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

2.2.7. Hubungan Dinding antar Lantai dan Atap

Banyaknya keruntuhan dinding beton dan dinding tembok terjadi dalam gempa karena kurangnya penjangkaran kepada lantai atau atap yang diperlukan untuk memberikan dukungan horisontal.

Dinding-dinding menderita pengaruh dari gempa baik tegak lurus pada bidangnya maupun di dalam bidangnya, dan gaya-gaya yang bersangkutan harus dipindahkan kepada struktur dengan pola yang terencana dan terkendali dengan baik. Syarat-syarat penjangkaran ini berlaku baik untuk dinding struktur maupun dinding non struktur, kecuali apabila menurut Pasal 2.6.4. dinding-dinding non-struktur tersebut harus dipisahkan dari strukturnya.

2.2.8. Hubungan Antar Fondasi

Adanya hubungan antar fondasi disyaratkan dalam pasal ini untuk menjamin agar struktur gedung bekerja sebagai satu kesatuan pada waktu gempa berlangsung. Bekerjanya struktur gedung sebagai suatu kesatuan ini memberikan

tambahan keamanan pada waktu terjadi gerakan tanah, karena fondasi adalah sangat peka terhadap kerusakan akibat pergerakan tanah yang tidak seragam.

Balok-balok penghubung yang direncanakan terhadap gaya-gaya aksial yang disyaratkan dalam pasal ini harus direncanakan pula terhadap momen-momen yang timbul karena balok-balok penghubung tersebut merupakan bagian dari portal, tetapi terjadinya momen dan gaya aksial secara bersamaan tidak perlu ditinjau.

2.3. Cara Analisa

2.3.1. Pemilihan Cara

Cara yang paling sederhana dan langsung dapat dipakai untuk menentukan pengaruh gempa terhadap struktur gedung adalah analisa beban statik ekuivalen yang ditentukan dalam Pasal 2.4. Jenis analisa demikian hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur gedung sederhana dan beraturan yang tidak menunjukkan perubahan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya (seperti dibatasi dalam Pasal 2.2.3. sampai dengan 2.2.5.), karena cara beban statik ekuivalen hanyalah suatu pendekatan yang meniru pengaruh dinamik dari gempa yang sesungguhnya.

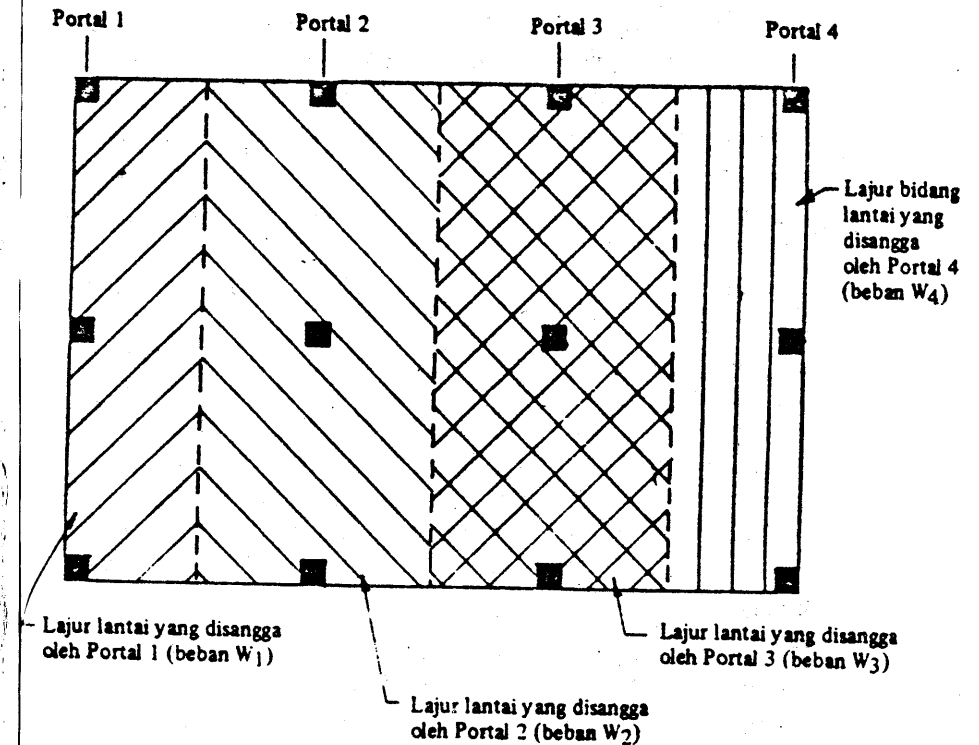
Struktur-struktur gedung lain yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap gempa harus dianalisa dengan cara analisa dinamik. Perubahan-perubahan dalam bentuk struktur menyebabkan simpangan simpangan dari lantai-lantainya yang tidak beraturan sehingga juga gaya-gaya inersia yang timbul oleh gempa menjadi tidak beraturan.

Karena itu tidaklah mungkin untuk memperkirakan dengan tepat pembagian gaya-gaya gempa di dalam struktur yang demikian dengan menggunakan pembagian beban tingkat secara empiris. Struktur-struktur gedung yang ber-

aturan dapat dianalisa dengan cara-cara analisa dinamik apabila diinginkan.

Dalam beberapa keadaan tertentu tidak jelas apakah suatu diafragma dapat dianggap kaku atau fleksibel di dalam bidangnya untuk perhitungan pembagian beban geser tingkat dan momen puntir tingkat. Sebagai contoh misalnya sebuah pelat beton bertulang utuh dan monolit dengan bentuk bujur sangkar di dalam suatu gedung dengan portal-portal penahan momen yang langsing dapat dianggap kaku; suatu lantai kayu yang menumpu pada dinding-dinding tembok pemikul dapat dianggap sangat fleksibel. Dalam keadaan di antaranya, dianjurkan agar beban geser rencana pada masing-masing unsur-struktur di dalam suatu tingkat ditentukan berdasarkan suatu analisa yang mengikutsertakan perubahan bentuk diafragma dan memenuhi syarat-syarat keseimbangan dan kompatibilitas, atau beban-beban geser rencana tersebut diambil sebagai selakup dari pada beban-beban geser yang didapat dari kedua anggapan yang ekstrim mengenai diafragma tersebut: kaku tak terhingga atau sangat fleksibel.

Dianjurkan agar digunakan diafragma yang kaku, karena diafragma demikian memaksa semua portal-portal untuk bekerja bersama-sama sebagai suatu kesatuan, hal mana menjamin pembentukan sendi-sendi plastis dengan pola yang lebih merata dan dengan begitu memungkinkan pemencaran energi yang lebih memuaskan.



Gambar 2.5.
Pembagian lajur beban gravitasi pada lantai yang didukung oleh portal-portal.

2.3.2. Pengaruh Gempa Horizontal

Pengaruh gempa bekerja dalam kedua arah utama dari gedung secara bersamaan. Peraturan ini menetapkan bahwa struktur-struktur daktail direncanakan terhadap suatu bagian kecil saja dari pengaruh gempa yang kuat, dan karenanya banyak unsur-unsur struktur sudah akan mencapai taraf-taraf pelelehan apabila suatu percepatan gempa dalam suatu arah tertentu baru mencapai sebagian saja dari percepatan maksimum gempa kuat tersebut. Karena itu,

kemungkinannya adalah besar, bahwa selama suatu jangka waktu yang pendek selama gempa berlangsung, unsur-unsur struktur dalam kedua arah utama gedung (seperti balok-balok dari portal 2 arah) mencapai taraf-taraf pelelehan secara bersamaan.

Dalam keadaan demikian gaya-gaya aksial di dalam kolom-kolom ditimbulkan oleh pelelehan dari semua balok di tingkat itu. Kemungkinan-kemungkinan melelehnya semua balok pada semua tingkat secara bersamaan ini, pada saat ini masih merupakan bahan-bahan penelitian yang memerlukan analisa-analisa dinamik 3 dimensi dengan time-history dari gempa-gempa sebagai masukannya. Penelitian ini, terutama untuk portal-portal beton bertulang, masih dalam taraf perkembangan. Pertimbangan-pertimbangan di atas dewasa ini terwujudkan di dalam konsep perencanaan struktur yang dikenal dengan nama perencanaan kapasitas.

Hal-hal di atas perlu kiranya disadari dalam perencanaan suatu struktur dan bila diinginkan dapat ditrapkan dalam perencanaan sesungguhnya, terutama untuk struktur-struktur gedung yang sangat penting. Penggunaan perencanaan kapasitas telah diterima secara luas sebagai suatu alternatif yang praktis, walaupun masih ditunggu hasil-hasil penelitian lebih lanjut.

Sehubungan dengan hal tersebut, pasal ini mensyaratkan agar unsur-unsur primer direncanakan terhadap pengaruh 100% dari gempa rencana dalam satu arah utama yang dikombinasikan dengan pengaruh 30% dari gempa rencana dalam arah tegak lurus padanya. Berhubung dengan itu, kombinasi-kombinasi pengaruh beban gravitasi, gempa dalam arah-x dan gempa dalam arah-y (tegak lurus pada arah-x) berikut harus ditinjau dalam perencanaan unsur-unsur struktur (artinya: pengaruh gempa arah-x dikerjakan pada unsur dalam arah itu dikombinasikan dengan penga-

ruh gempa arah-y dikerjakan dengan arah tegak lurus pada arah x).

gravitasi $\pm 100\%$ gempa arah-x $\pm 30\%$ gempa arah-y

gravitasi $\pm 30\%$ gempa arah-x $\pm 100\%$ gempa arah-y

Kombinasi pembebanan (dengan memperhatikan tanda yang sesuai) yang menghasilkan keadaan yang paling berbahaya bagi suatu unsur adalah yang dipakai untuk perencanaan. Pada umumnya, peninjauan pengaruh gempa dalam dua arah yang saling tegak lurus ini hanya diperlukan untuk kolom-kolom atau unsur-unsur vertikal dari sistem penahan gempa. Pengaruhnya terhadap balok-balok, pelat-pelat lantai dan unsur-unsur horisontal lainnya adalah kecil sekali dan pada umumnya dapat diabaikan. Unsur-unsur tersebut cukup direncanakan terhadap pengaruh gempa dalam satu arah saja.

2.3.3. Pengaruh Gempa Vertikal

Walaupun percepatan-percepatan vertikal yang besar telah dicatat dekat pada pusat dari banyak gempa, respons dari struktur-struktur gedung terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Karena itu, dianggap bahwa sampai tersedianya hasil penelitian lebih lanjut mengenai respons dari struktur-struktur gedung terhadap gerakan vertikal, hanya beberapa bagian yang kritis dari struktur gedung seperti ditentukan dalam Bab 3 yang perlu direncanakan terhadapnya.

2.3.4. Beban Gravitasi Vertikal

Beban-beban hidup pada struktur gedung pada umumnya direduksi pada waktu dilakukan analisa gempa pada struktur tersebut, sehubungan dengan kecilnya kemungkinan bekerjanya beban hidup penuh dan pengaruh gempa penuh secara bersamaan pada struktur secara keseluruhan. Pe-

2.4. Analisis Beban Statik Ekwivalen

2.4.1. Beban Geser Dasar Akibat Gempa

Beban geser dasar akibat gempa (yang secara numerik sama besarnya dengan gaya geser di tingkat dasar) yang bekerja pada suatu struktur gedung ditentukan dengan mengalikan beratnya yang efektif dengan faktor-faktor modifikasi yang akan diuraikan lebih lanjut di bawah ini. Perlu kiranya disadari, bahwa beban-beban statis ekwivalen yang ditentukan dengan cara begitu bukanlah beban-beban yang menyebabkan gaya-gaya di dalam struktur pada waktu gempa kuat. Gaya-gaya yang terjadi pada waktu gempa kuat, seperti telah diuraikan dalam Pasal 2.2.1. dapat mencapai nilai-nilai yang jauh lebih besar daripada yang didapat dari rumus tersebut. Taraf-taraf beban geser dasar yang ditetapkan dalam peraturan telah ditentukan sedemikian rupa, sehingga gempa-gempa sedang dapat dipikul dengan aman tanpa timbul kerusakan yang berarti. Ketahanan struktur pada gempa yang lebih kuat selanjutnya proses pelelehan dan dipencarkannya energi oleh struktur melalui perubahan bentuk plastis.

2.4.2. Koefisien Gempa Dasar – C

Filsafah dasar dari perencanaan tahan gempa modern adalah suatu proses 2 tahap, yang tujuannya dapat disimpulkan sebagai berikut:

- (a) Struktur gedung hendaknya memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk menahan gempa-gempa sedang sehingga frekwensi terjadinya kerusakan pada unsur-unsur primer dan sekunder adalah cukup rendah.
- (b) Dapat dipastikan bahwa sepanjang masa manfaat (masa pakai)nya, gedung tidak akan runtuh bila dilanda gempa yang sangat kuat.

Tujuan yang kedua dicapai dengan memberikan daktilitas yang cukup di dalam struktur gedung seperti telah dibahas dalam Penjelasan Pasal 2.2.1.

Tujuan yang pertama dicapai dengan menetapkan pengaruh beban gempa rencana pada taraf yang tepat. Hal ini dilakukan dengan menentukan koefisien gempa dasar yang telah dikembangkan untuk berbagai-bagai wilayah, jenis tanah dan waktu getar alami struktur gedung sedemikian rupa sehingga terdapat tingkat bahaya yang setaraf terhadap kerusakan oleh gempa di seluruh Indonesia.

Grafik C yang diberikan di dalam pasal ini telah dijabarkan dari sejumlah besar spektrum percepatan respons hasil pengolahan data kegempaan dan geologi yang dilaporkan dalam Beca Carter Hollings and Ferner Limited. dengan penyesuaian sebagai berikut:

- (a) Untuk struktur gedung dengan waktu getar alami pendek:

Koefisien geser dasar direduksikan nilainya terhadap nilai-nilai teoritis yang didapat dari spektrum, sehingga beban geser dasar yang bersangkutan berkaitan dengan prosentase redaman yang relatif tinggi dibandingkan dengan di bagian-bagian lain dari spektrum. Reduksi tersebut dimaksudkan untuk mengurangi pengaruh dari ragam-ragam yang lebih tinggi dari struktur-struktur di daerah spektrum ini. Penyesuaian ini telah dilakukan karena hasil-hasil penelitian tentang perilaku elastoplastis struktur-struktur telah menunjukkan, bahwa respons dari ragam pertama adalah sangat dominan bila dibandingkan dengan respons ragam-ragam yang lebih tinggi apabila terjadi pelelehan di dalam struktur.

- (b) Untuk struktur gedung dengan waktu getar alami panjang:

Untuk struktur-struktur gedung yang lebih tinggi, responsnya terhadap gempa menjadi lebih rumit, di mana lebih banyak ragam getaran turut berperan dan dengan kemungkinan yang lebih besar dituntutnya daktilitas yang tinggi yang terpusat di beberapa tingkat saja. Di samping itu terdapat bahaya yang lebih besar pula yang berkaitan dengan pengaruh eksentrisitas gaya-gaya aksial kolom (efek $P - \delta$), disebabkan oleh lebih besar gaya-gaya aksial tersebut di dalam unsur-unsur vertikal dari struktur yang tinggi. Karena itu, nilai C telah dinaikkan untuk waktu-waktu getar yang lebih panjang terhadap nilai-nilai teoritis yang didapat dari spektrum-spektrum percepatan respons.

2.4.3. Faktor Keutamaan – 1

Faktor keutamaan adalah suatu koefisien yang diadakan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan struktur-struktur gedung yang relatif lebih utama untuk mengamankan penanaman modal yang relatif lebih besar pada gedung tersebut. Gedung-gedung demikian adalah gedung-gedung monumental yang hidup yang jauh lebih panjang daripada masa pakai (masa manfaat) yang biaya dianggap bagi gedung-gedung pada umumnya atau gedung-gedung yang diperuntukkan penyediaan fasilitas-fasilitas yang harus tetap berfungsi setelah suatu gempa terjadi.

Juga gedung-gedung yang bila rusak berat dalam suatu gempa akan menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat luas (seperti fasilitas-fasilitas distribusi bahan gas atau minyak bumi) harus direncanakan dengan nilai faktor keutamaan yang tinggi.

Walaupun pemakaian nilai faktor keutamaan yang lebih tinggi akan mengurangi bahaya terhadap kerusakan struktur, akan tetapi perhatian para perencana tetap harus dipusatkan pada pendetailan unsur-unsur sekunder dalam gedung-gedung tersebut, sebab kerusakan unsur-unsur itu

justeru yang dapat menghalang-halangi fungsi gedung tersebut setelah suatu gempa terjadi. Gedung-gedung demikian tetap harus direncanakan untuk dapat berperilaku secara daktil, sebab pengaruh gempa rencana mungkin saja dapat dilampaui.

2.4.4. Faktor Jenis Struktur – K

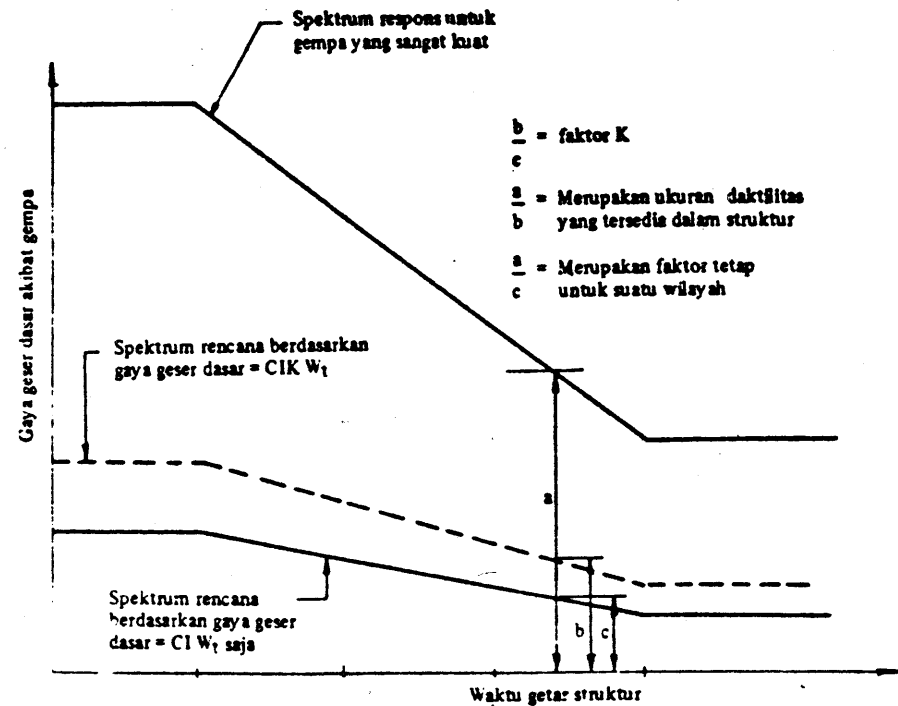
Faktor jenis struktur K dimaksudkan untuk menampung perbedaan dalam perilaku terhadap gempa dari sistem struktur gedung yang berbeda. Besarnya nilai K yang disyaratkan pertama-tama memperhitungkan kemampuan dari sistem struktur dan bahan bangunan yang bersangkutan untuk memencarkan energi di dalam sejumlah siklus pembebanan, jadi memperhitungkan daktilitasnya, dan keduanya memperhitungkan derajat kehiperstatikan struktur dengan anggapan bahwa sebagian besar dari unsur-unsur pemencar energi yang telah dipilih di dalam sistem penahan gempa dari jenis struktur yang diberikan akan berpartisipasi dalam pemencaran energi gempa. Seperti telah diuraikan dalam penjelasan Pasal 2.2.1. pada umumnya tidaklah layak untuk merencanakan suatu struktur gedung terhadap pengaruh gempa maksimum secara elastik. Karena itu ditetapkanlah suatu taraf gempa yang lebih rendah, seperti diuraikan dalam penjelasan Pasal 2.4.2. yang menjamin struktur gedung untuk tidak rusak pada gempa-gempa sedang. Untuk memastikan bahwa struktur tersebut tidak akan runtuh dalam gempa-gempa yang sangat kuat, struktur tersebut haruslah berperilaku secara daktil untuk mengimbangi selisih dalam pengaruh gempa antara yang terjadi dalam struktur elastik pada gempa yang sangat kuat dan yang ditentukan sebagai pengaruh gempa rencana di dalam peraturan. Filsafah ini ditunjukkan dalam Penjelasan Gambar 2.6. Berhubung dalam gambar tersebut perbandingan a/c merupakan bi-

langan yang tetap untuk suatu wilayah gempa tertentu, maka semakin kecil daktilitas (perbandingan a/b) yang tersedia, semakin besarlah perbandingan b/c (faktor K) harus diberikan sebagai pengimbangnya.

Beberapa jenis struktur gedung tertentu seperti portal-portal daktil, memiliki daktilitas yang cukup untuk sepenuhnya mengimbangi selisih dalam pengaruh gempa tersebut. Akan tetapi, struktur-struktur gedung dengan daktilitas yang lebih rendah seperti struktur-struktur dinding pasangan, tidak memiliki daktilitas yang cukup besar untuk dapat mengimbangi sepenuhnya selisih dalam pengaruh itu. Maka untuk menampung hal itu, nilai C-nya diperbesar oleh faktor K untuk memastikan dalam daktilitas yang lebih rendah yang tersedia di dalam struktur masih dapat mengamankan struktur terhadap keruntuhan.

Filsafah di atas diuraikan secara terperinci di dalam Beca Canterrs Hollings and Ferner Limited.

Apabila ketahanan terhadap gempa dari suatu gedung direncanakan untuk disediakan oleh suatu kombinasi dari jenis-jenis struktur, maka perencana diharuskan untuk memilih suatu nilai K yang sesuai dengan pertimbangan-pertimbangan yang rasional.



Gambar 2.6.
Hubungan antara spektrum respons untuk gempa kuat terhadap spektrum respons gempa rencana

Hal ini harus didasarkan atas peninjauan dari berbagai-bagai unsur struktur yang dihadapi, seberapa jauh peranan masing-masing dalam pemencaran energi dalam peristiwa gempa yang sangat kuat.

Untuk membantu para perencana dalam memilih nilai faktor K yang sesuai untuk suatu jenis struktur tertentu, di bawah ini akan diuraikan corak perilaku terhadap gempa dari beberapa jenis struktur gedung. Para perencana juga diingatkan untuk memperhatikan beberapa ketentuan pendetailan khusus untuk masing-masing jenis.

(a) Portal daktail:

A. Mekanisme pemencaran energi:

Suatu portal daktail adalah suatu sistem yang terdiri atas unsur-unsur yang saling berhubungan, yang menahan gempa melalui pemikulan momen-momen lentur dan memiliki kemampuan untuk memencarkan energi gempa dengan perubahan bentuk lentur dalam sejumlah besar sendi-sendi plastis balok, kecuali bila pemencaran energi gempa di dalam sendi-sendi plastis kolom dapat diizinkan seperti dicatat dalam butir (iv) di bawah ini. Penjelasan dalam Pasal 2.2.2. . menekankan pentingnya pemakaian mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis di dalam balok.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus:

- (i) Keruntuhan yang tidak daktail di dalam balok-balok harus dicegah. Momen leleh dari balok-balok harus ditentukan berdasarkan sifat-sifat bahan-bahan yang sesungguhnya terdapat di dalam balok-balok, dan setiap bagian pelat yang berbatasan yang sekiranya akan ikut bekerja harus diperhitungkan. Harus diikutsertakan pula kemungkinan-kemungkinan adanya kekuatan berlebihan dari bahan-bahan terhadap kekuatan rencana atau pengaruh pengerasan regangan pada baja. Kapasitas geser dari balok-balok dan kapasitas kolom-kolom harus sedemikian rupa, sehingga pada pembentukan sendi-sendi plastis di dalam balok-balok kapasitas-kapasitas tersebut tidak dilampaui.
- (ii) Keruntuhan yang tidak daktail dari kolom-kolom harus dicegah. Kolom-kolom harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga memiliki kelebihan kapasitas yang mencukupi untuk

mencegah pembentukan sendi-sendi plastis di dalamnya dan terjadinya mekanisme goyang dengan sendi plastis di dalam kolom, kecuali bila dapat diizinkan menurut butir (iv). Kecuali dalam hal struktur-struktur gedung yang rendah, mekanisme goyang dengan sendi plastis di ujung atas dan bawah kolom-kolom dari satu tingkat yang sama akan menuntut daktilitas yang sangat tinggi kepada kolom-kolom, oleh karena itu sebaiknya dihindarkan.

- (iii) Kehancuran pada daerah pertemuan antara balok dan kolom dan pembentukan sendi-sendi plastis di dalam daerah itu harus dicegah.
- (iv) Dalam struktur-struktur gedung yang mempunyai kehiperstatikan yang cukup, pembentukan suatu sendi plastis kolom akibat momen lentur dan gaya aksial tarik, atau akibat momen lentur dan gaya aksial tekan yang rendah, dapat diizinkan asal kapasitas geser dari kolom tetap dijamin. Suatu struktur gedung dapat dianggap mempunyai kehiperstatikan yang cukup, apabila untuk setiap kolom yang mengandung sendi plastis paling sedikit tiga buah kolom lainnya dari sistem utama penahan gempa yang saling berhubungan melalui diafragma kaku dan terletak dalam tingkat yang sama, dapat tetap bersifat elastik selama gempa bekerja. Selain dari pada itu gempa tersebut mengakibatkan pembentukan sendi-sendi plastis di dalam balok-balok.

Dalam struktur-struktur gedung satu atau dua tingkat dan dalam tingkat paling atas dari suatu gedung bertingkat banyak, mekanisme goyang dengan pembentukan sendi-sendi plastis di dalam kolom-kolom dapat diizinkan.

(b) Dinding geser berangkai dengan dinding daktail:

A. Mekanisme pemencaran energi:

Dinding-dinding geser berangkai daktail harus terdiri dari dua atau lebih dinding geser kantilever yang daktail yang mempunyai kemampuan untuk membentuk suatu mekanisme pelelehan akibat lentur pada alasnya (lihat (c)).

Dinding-dinding ini harus saling dirangkaikan oleh balok-balok yang harus mempunyai kapasitas yang tinggi untuk memindahkan gaya-gaya geser dari satu dinding ke dinding yang lain.

Perencanaannya harus sedemikian rupa, sehingga balok-balok perangkai akan meleleh sebelum dinding-dindingnya. Dan pedimensian balok-balok perangkai tersebut harus sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan sebagian besar dari energi gempa. Hasil-hasil penelitian dewasa ini menunjukkan, bahwa persyaratan ini dapat dipenuhi apabila dinding-dinding di setiap taraf direncanakan terhadap gaya-gaya aksial yang terjadi untuk mengimbangi paling sedikit dua pertiga dari momen guling total, yang bekerja pada sistem berangkai.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus:

Balok-balok perangkai beton bertulang pada umumnya memerlukan penulangan diagonal yang mempunyai kemampuan untuk meleleh dalam tarikan dan tekanan dalam sejumlah siklus pembebanan.

(c) Dinding-dinding geser kantilever daktail

A. Mekanisme pemencaran energi

Dinding-dinding geser kantilever daktail harus direncanakan dan diberi pendetailan yang cermat

untuk memastikan bahwa pemencaran energi akan terjadi akibat pelelehan lentur secara daktail dan bahwa dindingnya tidak akan runtuh terlalu cepat secara tidak daktail.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus

Perbandingan antara tinggi dan lebar dinding tidak boleh kurang dari 2, dan setiap lubang harus sedemikian rupa letak dan besarnya, sehingga tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap perilaku dinding terhadap gempa. Corak perilaku tidak daktail yang harus dicegah termasuk kegagalan dalam geser, lekatan dan penjangkaran, dan penggelinciran sepanjang siar pelaksanaan. (Lihat lampiran A buku Petunjuk Perencanaan Beton Bertulang dan Struktur Dinding Bertulang untuk Rumah dan Gedung).

(d) Dinding-dinding geser kantilever dengan daktilitas terbatas:

A. Mekanisme pemencaran energi

Dinding-dinding geser kantilever dengan daktilitas terbatas adalah dinding-dinding geser yang tidak direncanakan untuk dapat meleleh dalam lentur secara daktail, tetapi mempunyai kemampuan untuk memencarkan sejumlah besar energi gempa dengan pembentukan suatu pola keretakan yang terkontrol dan mencegah terjadinya corak-corak perilaku yang tidak diinginkan seperti keruntuhan dalam geser.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus

Dinding-dinding ini harus, diberi pendetailan yang cermat untuk memastikan hal-hal berikut:

- (i) Pengekangan beton pada tempat-tempat di mana sendi-sendi plastis dapat terjadi harus cukup untuk memungkinkan adanya pelelehan lentur walaupun dengan daktilitas terbatas.
- (ii) Pada dinding-dinding dengan perbandingan antara tinggi dan lebar sama dengan atau kurang dari 2, akibat gempa harus dapat terbentuk suatu pola keretakan yang tersebar sedemikian rupa, sehingga tidak dapat terjadi keruntuhan geser yang terlalu cepat.
Struktur-struktur dinding yang berbentuk L atau T yang terpaksa mengandung sejumlah besar tulangan, harus diberi pendetailan khusus seperti pengekangan beton di daerah-daerah kritis untuk mencegah kegagalan tekan yang terlalu cepat, menekuknya penulangan atau terjadinya efek fondasi yang tidak dikehendaki.

(e) Portal-portal dengan ikatan pengaku silang

A. Mekanisme pemencaran energi

Portal-portal dengan ikatan diagonal ternyata telah menunjukkan perilaku yang buruk dalam gempa-gempa di waktu yang lalu. Gaya-gaya yang berlebihan pada komponen struktur vertikal yang biasa terjadi dalam gempa-gempa yang sangat kuat, telah menyebabkan keruntuhan dalam tekuk yang tidak daktil dan sejumlah besar pelelehan di dalam ikatan diagonal telah menjurus kepada ketimpangan dalam puntir, yang keseluruhannya itu menjurus kepada keruntuhan struktur gedung. Oleh sebab itu jenis struktur demikian diberi nilai K yang tinggi untuk tidak terlalu mengandalkan pada kemampuan daktilitasnya dan agar pemencaran energi hanya terjadi pada tingkat pelelehan yang terbatas di dalam ikatan diagonalnya.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus

Untuk memastikan perilaku yang sebaik-baiknya, portal-portal ini harus diberi pendetailan yang cermat untuk memastikan hal-hal sebagai berikut:

- (i) Unsur-unsur vertikal harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga selalu tetap elastik, untuk memaksa agar pelelehan terjadi lebih dahulu di dalam ikatan-ikatan diagonalnya.
- (ii) Semua sambungan ikatan pengaku silang harus mempunyai kemampuan untuk meleleh penuh di dalam batangnya di luar tempat sambungan. Syarat ini harus dipenuhi mengingat sifat yang tidak daktil dari sambungan-sambungan.

(f) Struktur kantilever bertingkat tunggal.

A. Mekanisme pemencaran energi

Faktor K yang diberikan dipakai untuk hal-hal sebagai berikut:

- (i) Untuk keadaan di mana hanya terdapat satu atau dua kolom kantilever yang menahan gaya-gaya gempa, sehingga terdapat kehiperstatikan yang sangat terbatas di dalam struktur, atau
- (ii) Untuk keadaan di mana tidak terdapat diafragma yang menghubungkan kantilever-kantilevernya yang dapat membagikan beban gempa horisontal dan memastikan pola pemencaran energi yang merata.

B. Syarat-syarat pendetailan khusus

Hubungan-hubungan kepada kolom-kolom harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga mampu memindahkan gaya geser yang terjadi akibat pembentukan sendi-sendi plastis di dalam kolom. Ka-

pasitas geser dari kolom harus direncanakan lebih besar daripada gaya geser yang terjadi pada pembentukan sendi-sendi plastis di dalam kolom itu.

(g) Cerobong dan tangki kecil

A. *Pemencaran energi*

Struktur-struktur ini adalah dari jenis yang mempunyai kemampuan yang terbatas untuk memencarkan energi secara daktail, karena itu diberi nilai faktor K yang tinggi.

2.4.5. Waktu Getar Alami Struktur Gedung

Tidak ada cara-cara mekanika yang dapat dipakai untuk menghitung waktu getar alami suatu struktur gedung sebelum struktur itu diketahui ukuran-ukurannya. Karena itu, di sini diberikan rumus-rumus empiris sederhana dengan mana waktu getar alami struktur gedung dapat diperkirakan berdasarkan ukuran denah dan tinggi gedung itu. Rumus-rumus tersebut pada umumnya menghasilkan nilai waktu getar alami yang kecil, sehingga dengan demikian memberikan nilai koefisien gempa dasar yang konservatif. Waktu-waktu getar alami yang dihitung dengan rumus-rumus tersebut telah dibandingkan dengan waktu-waktu getar alami yang dihitung dari beberapa hasil rekaman beberapa gedung selama gempa San Fernando 1971 dan ternyata menunjukkan nilai-nilai waktu getar alami yang cukup memuaskan sebagai perkiraan. ATC 3 "Recommended Comprehension Seismic Design Provision for Building", Applied Technology Council, California. Akan tetapi pada gedung-gedung yang sangat kaku atau sangat ringan rumus-rumus tersebut memberikan nilai waktu getar alami yang terlalu panjang.

2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa (Sepanjang Tinggi Gedung).

Pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada umumnya tidak sederhana, karena gaya-gaya geser sepanjang tinggi gedung itu merupakan hasil superposisi gaya-gaya geser dari sejumlah ragam getaran. Sumbangan relatif dari masing-masing ragam getaran itu terhadap gaya-gaya geser total bergantung pada sejumlah faktor, termasuk bentuk dari spektrum respons gempa yang ditinjau, waktu getar alami dari struktur gedungnya, bentuk dari ragam getarannya yang mana bergantung lagi pada pembagian massa dan kekakuan struktur sepanjang tinggi gedung. Pasal ini memberikan suatu cara yang sederhana untuk menentukan cukup baik pembagian beban gempa statik ekwivalen horisontal untuk gedung-gedung dengan massa dan kekakuan struktur yang tidak menunjukkan perubahan-perubahan yang mendadak sepanjang tinggi gedung.

Pada struktur-struktur gedung untuk mana rumus tersebut dapat dipakai, pengaruh dari ragam-ragam getaran yang lebih tinggi dari ragam pertama adalah kecil, sehingga ragam getaran yang pertama itu mendekati garis lurus bila strukturnya beraturan. Karena itu, dapatlah dipakai suatu pembagian linier sederhana dari beban geser dasar sepanjang tinggi struktur. Untuk struktur-struktur gedung yang lebih fleksibel, di dalam mana ragam-ragam getaran yang lebih tinggi akan lebih berperan, penyimpangan pembagian beban geser dasar dari garis lurus diimbangi oleh pemasangan suatu beban terpusat di puncak struktur tersebut.

Untuk penentuan pembagian gaya-gaya geser akibat gempa dalam struktur-struktur menara air, di mana struktur penyangga mempunyai berat yang berarti, dapat ditempuh suatu analisa dinamik, karena analisa beban statik ekwivalen mungkin akan terlalu konservatif.

2.4.7. Momen Puntir

Pengaruh-pengaruh dari momen puntir tingkat merupakan hal-hal yang sulit diperkirakan. Baik getaran memuntir

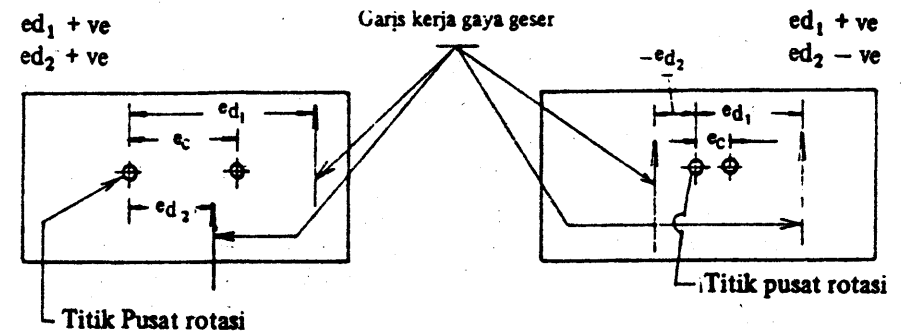
dari gempa maupun respons terhadapnya hanya diketahui dengan sangat terbatas bila dibandingkan dengan apa yang diketahui mengenai getaran translasi. Namun demikian, pengaruh-pengaruh tersebut tidak boleh diabaikan, mengingat momen puntir tingkat telah menyebabkan keruntuhan dari banyak gedung dalam gempa-gempa di waktu yang lalu, terutama di ujung-ujung dan sudut-sudut gedung serta pada tonjolan-tonjolan. Dari pada berusaha memperhitungkan pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat yang sulit diperkirakan itu, lebih baik kiranya bila para perencana berusaha menciptakan struktur-struktur gedung yang simetris.

Momen puntir tingkat yang harus ditinjau dalam perencanaan unsur-unsur di dalam suatu tingkat terdiri dari 2 bagian:

- Momen puntir tingkat yang diakibatkan oleh eksentrisitas yang terdapat antara pusat masa dan pusat kekakuan (pusat ketahanan) dalam arah tegak lurus pada arah beban gempa.
- Momen puntir tingkat tak terduga yang diperhitungkan dengan menganggap adanya eksentrisitas tambahan antara pusat masa dan pusat kekakuan sebesar 0,05 b. Eksentrisitas tambahan ini adalah untuk memperhitungkan bermacam-macam hal yang tak terduga seperti penyimpangan dalam masa dan pelaksanaan, ketidaktelitian dalam perhitungan pusat kekakuan dan pengaruh gerakan tanah yang memuntir.

Pengaruh pembesaran akibat interaksi antara ragam-ragam puntir dan translasi diperhitungkan dengan mengalihkan nilai eksentrisitas teoretis e_c dengan faktor 1.5. Dalam menghitung momen puntir tingkat pada suatu lantai tingkat, semua masa di atas tingkat itu berpindah dalam arah perputaran yang sama terhadap pusat kekakuan tingkat itu. Karena itu, momen puntir tingkat di sini dihitung se-

bagai hasil kali dari beban geser tingkat (jumlah kumulatif beban gempa di atas tingkat itu) dan eksentrisitas rencana antara pusat masa dan pusat kekakuan. Pusat masa teoritis dihitung sebagai titik berat jumlah kumulatif masa yang berada di atas tingkat tersebut dan pusat kekakuan dihitung sebagai titik tangkap resultante gaya geser unsur-unsur vertikal di tingkat itu. Untuk lebih jelasnya, dalam Gambar 2.7. ditunjukkan kemungkinan-kemungkinan kedudukan beban geser tingkat dalam salah satu arah terhadap pusat perputaran (pusat kekakuan) berikut eksentrisitas-eksentrisitas rencana e_{d1} dan e_{d2} yang harus ditinjau dalam perencanaan. Dalam arah yang lain peninjauannya adalah serupa.



Gambar 2.7.

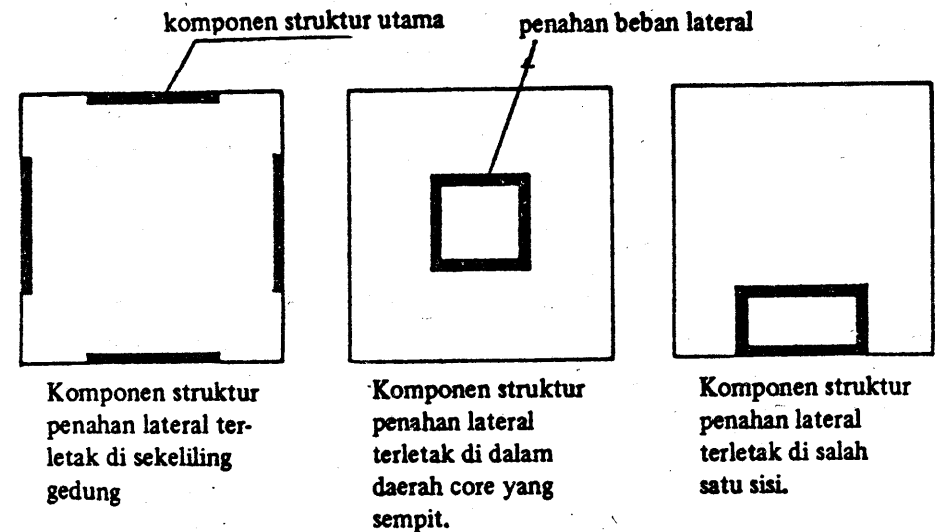
Hubungan posisi titik pusat kekakuan (rotasi) terhadap titik pusat massa struktur.

Hasil-hasil analisa (dinamik 3 dimensi berdasarkan riwayat waktu) dengan menganggap perilaku elastik dari struktur telah menunjukkan, bahwa momen puntir tingkat yang terjadi dapat mencapai nilai-nilai yang melampaui nilai-

nilai menurut rumus-rumus yang diberikan. Namun demikian, pembesaran dinamik seperti itu tidak dimasukkan di dalam peraturan ini, antara lain karena peranannya belum dimengerti betul dalam hal struktur-struktur yang direncanakan untuk bekerja melampaui batas elastisitas.

Unsur-unsur penahan momen puntir tingkat sebagai bagian dari sistem penahan gempa hendaknya sedapat mungkin ditempatkan sepanjang keliling gedung dan lebih jauh letaknya terhadap pusat kekakuan daripada pusat massanya. Pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat terutama berperan di dalam jenis-jenis struktur gedung yang memakai core di mana sebagian besar dari komponen struktur penahan gempa terpusat di bagian core yang jauh letaknya dari keliling gedung.

Contoh-contoh lain di mana pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat dapat membahayakan adalah pada gedung-gedung dengan bentuk struktur yang tidak beraturan dan gedung-gedung dengan inti struktur yang terletak pada satu tepi atau sudut dari gedung tersebut. Dalam Gambar 2.8.(a) ditunjukkan denah struktur gedung yang mempunyai ketahanan yang baik terhadap puntir, sedangkan dalam Gambar 2.8. (b) dan (c) ditunjukkan denah struktur gedung yang mempunyai ketahanan yang buruk terhadap puntir.



Gambar 2.8.

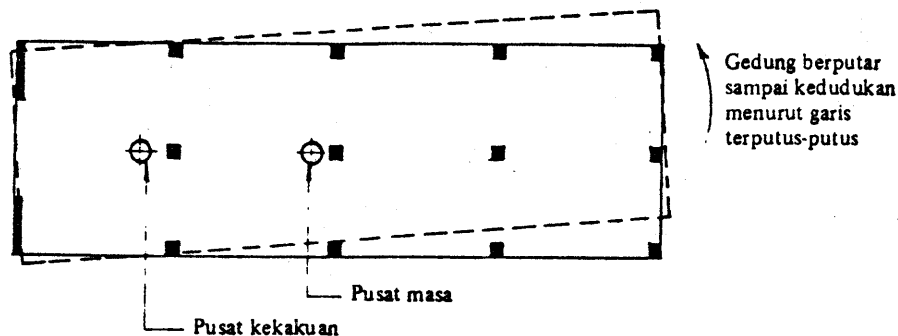
Denah perletakan komponen struktur penahan gaya lateral.

Perlu diingat, bahwa perilaku gerakan memuntir dapat menyebabkan pembagian yang tidak merata dalam pemencaran energi. Sebagai akibatnya, untuk daktilitas struktur yang sama, daktilitas unsur yang diperlukan dari bagian-bagian tertentu dari struktur dapat menjadi sangat besar dan berlebihan. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2.9. yang memperlihatkan sebuah denah struktur gedung yang berotasi akibat momen puntir tingkat horisontal. Pada ujung sebelah kiri dari gedung tersebut hanya terjadi simpangan yang kecil, sehingga daktilitas yang diperlukan di situ adalah kecil. Sebaliknya, pada ujung sebelah kanan simpangan yang terjadi adalah besar, sehingga daktilitas yang diperlukan di situ adalah lebih besar pula.

2.5. Analisis Dinamik

2.5.1. Cara-cara Analisis

Dua cara analisis dinamik dapat dipakai menurut peraturan ini, yaitu analisis ragam spektrum respons yang merupakan cara yang paling sederhana, dan analisis respons riwayat waktu. Kedua cara ini telah biasa dipakai dalam perencanaan gedung-gedung di Indonesia.



Gambar 2.9.

Denah struktur gedung yang mengalami rotasi akibat momen puntir tingkat horisontal.

2.5.2. Analisis Ragam Spektrum Respons

2.5.2.1. *Spektrum respons gempa rencana*

Analisis modal (Modal analysis) pada umumnya dapat dipakai untuk menentukan respons elastik dari struktur-struktur gedung dengan banyak derajat kebebasan MDOF yang didasarkan atas kenyataan bahwa respons suatu struktur merupakan superposisi dari respons masing-masing ragam getaran. Masing-masing ragam tersebut memberikan respons dengan sifat-sifatnya tersendiri, seperti yang ditentukan oleh bentuk simpangan, frekwensi getaran dari redaman yang bersangkutan. Karena itu, respons dari suatu struktur yang dimodelkan sebagai bandul majemuk, dapat dianggap sebagai super-

posisi dari respons sejumlah bandul sederhana dengan satu derajat kebebasan SDOF. Masing-masing respons bandul sederhana ini mewakili respons ragam-ragam getaran dari struktur dengan masing-masing tingkat partisipasinya dalam memberikan respons terhadap gerakan gempa yang ditinjau. Untuk struktur-struktur gedung, sejumlah besar hasil percobaan berskala penuh dan analisa respons riwayat waktu terhadap gerakan tanah akibat gempa telah menunjukkan, bahwa penggunaan analisa ragam spektrum respons dengan meninjau bandul-bandul getar sederhana dengan derajat kebebasan tunggal dan redaman yang dianggap sebagai redaman cairan untuk oksilator.

SDOF (berderajat kebebasan tunggal) untuk mewujudkan respons dari masing-masing ragam struktur, merupakan pendekatan yang cukup tepat untuk menentukan respons elastik dari struktur terhadap gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Untuk analisa ragam spektrum respons dari struktur-struktur gedung yang tidak beraturan atau yang mempunyai tonjolan-tonjolan yang menyolok, jumlah ragam yang ditinjau tidak kurang dari 5, tetapi sebagai pedoman jumlah tersebut tidak perlu lebih dari jumlah tingkatnya, atau jumlah ragam yang ditinjau itu adalah sedemikian rupa, sehingga sudah mengandung paling sedikit 90% dari energi gempa.

2.5.2.2. *Kombinasi ragam*

Kombinasi dari respons masing-masing ragam untuk mendapatkan respons struktur gedung secara keseluruhan, telah ditetapkan sebagai akar dari jumlah kuadrat SRSS respons masing-masing ragam ini. Cara kombinasi demikian adalah sederhana dan diterima secara luas, akan tetapi tidak selalu menghasilkan jawaban yang konservatif. Apabila dua buah ragam mempunyai

waktu-getar alami yang hampir sama nilainya, cara kombinasi tersebut mungkin tidak konservatif, dan dengan begitu perencana harus mengkombinasikan respons masing-masing ragam tersebut dengan cara lain. (seperti dengan menjumlahkannya secara aljabar nilai mutlak dari respons masing-masing ragam).

Berbeda dengan analisis ragam spektrum respons yang biasa dipakai dalam perencanaan struktur gedung-gedung tinggi di Indonesia di waktu yang lalu, menurut pedoman ini gaya geser di tingkat dasar yang didapat dari analisis ragam ini tetap dikaitkan dengan nilainya yang secara numerik didapat dari beban geser dasar menurut cara analisa beban statik ekuivalen menurut Pasal 2.4. Dalam hal ini suatu reduksi sebesar 10% dari beban geser dasar tersebut telah ditetapkan dengan dilakukannya analisa ragam spektrum respons, karena dengan cara ini diperoleh pembagian yang lebih tepat dari gaya geser tingkat sepanjang tinggi gedung. Karena kemungkinan adanya daktilitas yang perlu yang berlebihan dari komponen struktur di sini menjadi terbatas, maka komponen struktur dapat direncanakan lebih ekonomis dengan adanya reduksi beban sebesar 10% itu. Dengan demikian, maka maksud utama dari analisa ragam spektrum respons menurut peraturan ini adalah untuk mencari pembagian gaya geser tingkat sepanjang tinggi gedung yang lebih tepat.

2.5.2.3. *Pengaruh momen puntir tingkat*

Untuk struktur-struktur gedung yang cukup beraturan seperti yang pembatasan-pembatasannya ditentukan dalam pasal ini, pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat diperhitungkan dengan mengoreksi pembagian gaya-gaya geser gempa yang didapat dari hasil analisa ragam spektrum respons dengan cara analisa statik menurut Pasal 2.4.7 Untuk struktur-struktur gedung

yang tidak beraturan, pengaruh momen puntir tingkat harus ditentukan dengan analisa dinamik tiga dimensi. Akan tetapi perlu dicatat, bahwa dalam struktur-struktur gedung yang sangat tidak beraturan analisa dinamik ini pun dapat menghasilkan jawaban respons yang terlalu kecil. Dalam keadaan demikian di mana terdapat momen-momen puntir tingkat yang besar, pemencaran energi dapat hanya terpusat pada sejumlah kecil komponen struktur yang memerlukan daktilitas yang besar sekali, yang tak mungkin dapat dipenuhi.

2.5.3. *Analisis Respons Riwayat Waktu*

Analisis respons riwayat waktu telah biasa dilakukan dalam perencanaan struktur gedung-gedung tinggi di Indonesia di waktu yang lalu, walaupun dengan cara yang sedikit berlainan daripada menurut pedoman ini. Seperti halnya dengan cara analisis ragam spektrum respons juga di sini analisa respons riwayat waktu dimaksudkan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat yang lebih tepat sepanjang tinggi gedung. Nilai gaya geser maksimum di tingkat dasar yang didapat dari hasil analisis respons riwayat waktu, nilai numeriknya tetap harus diambil sama dengan beban geser dasar yang didapat menurut cara beban statik ekuivalen menurut Pasal 2.4. dengan suatu reduksi sebesar 10 %. Dalam cara yang lalu respons struktur diambil langsung dari hasil analisis yang didasarkan atas riwayat waktu gempa yang dipilih dengan menskalakan percepatan maksimum gempa itu menjadi percepatan tanah maksimum setempat yang dapat diharapkan.

Dalam cara terakhir ini terdapat ketidakpastian dalam memilih riwayat waktu gempa yang paling sesuai. Karena itu, sebelum tersedia hasil pencatatan gempa setempat yang memuaskan, besarnya gaya-gaya geser tetap harus dikaitkan dengan yang didapat berdasarkan cara beban statik ekuivalen.

2.5.3.1. Hasil Pencatatan gempa

Untuk mendapatkan pembagian gaya geser tingkat yang representatif, 4 buah hasil pencatatan gempa perlu ditinjau.

Untuk mencakup kemungkinan-kemungkinan respons yang luas, disarankan untuk digunakan hasil pencatatan dari 4 gempa berikut ini:

El Centro	15 Mei 1940	N - S
Taft	21 Juli 1952	N - S
Almedo Park	19 Mei 1962	E - W
Aomori	16 Mei 1968	E - W

Hasil-hasil pencatatan di atas hendaknya diganti dengan hasil-hasil pencatatan gempa di Indonesia, apabila hal itu sudah tersedia.

2.5.3.2. Kombinasi dari respons

Respons yang didapat terhadap masing-masing gempa masukan harus diskalakan menurut Pasal 2.5.3.2. dan gaya-gaya geser tingkat maksimum sebagai respons terhadap keempat gempa masukan yang didapat dengan cara demikian kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan gaya-gaya geser tingkat rencana.

Apabila pembagian gaya geser tingkat akibat salah satu gempa masukan berbeda dengan sangat menyolok dari pembagian-pembagian gaya geser tingkat yang lain, maka pembagian tersebut hendaknya dikesampingkan. Dalam hal itu maka pembagian yang keempat dari gaya geser tingkat sebagai penggantinya hendaknya diambil menurut hasil analisa ragam spektrum respons menurut Pasal 2.5.2.

2.5.3.3. Faktor skala

Faktor skala sudah dijelaskan dalam Penjelasan umum 2.5.3.

2.5.3.4. Pengaruh momen puntir tingkat.

Penjelasan pasal 2.5.2.3. mengenai pengaruh momen puntir tingkat pada analisis ragam spektrum respons, berlaku pula untuk analisis respons riwayat waktu.

2.6. Perubahan Bentuk Akibat Gempa

2.6.1. Perubahan Bentuk Yang Dihitung

Perubahan bentuk struktur hendaknya dihitung untuk taraf gempa di mana unsur-unsurnya telah mengalami tegangan-tegangan yang tinggi yang sudah mendekati titik lelehnya. Setiap cara yang rasional dapat ditempuh, termasuk dengan memperhitungkan semua parameter yang berperan dalam menentukan perubahan bentuk seperti taraf peretakan dalam unsur-unsur portal beton bertulang, perubahan bentuk daerah pertemuan dan peretakan penutup beton pada unsur-unsur portal baja. Dalam hal ini, nilai modulus elastisitas E yang dipakai dalam perhitungan harus sesuai untuk pembebanan dengan gempa, satu dan lain seperti ditentukan dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

Sebagai alternatif perhitungan kekakuan struktur gedung dapat dipakai cara sederhana menurut Pasal 2.2.5.2. yang memberikan hasil yang cukup tepat (lihat penjelasan Gambar 2.2.5.2.).

Perubahan bentuk struktur gedung yang harus ditinjau adalah yang telah diperoleh dari hasil analisa struktur dengan beban statik ekuivalen atau dari hasil analisa dinamik struktur menurut peraturan ini dengan mengalikannya dengan suatu faktor koreksi. Faktor koreksi ini adalah CI/C_d dalam hal perubahan bentuk dihitung dengan analisa beban statik ekuivalen dan $CI/0,9 C_d$ dalam hal perubahan bentuk itu dihitung dengan analisa dinamik. Faktor-faktor koreksi ini maksudnya tak lain adalah untuk menghapuskan

faktor jenis struktur K dan faktor reduksi 0,90 terhadap beban geser dasar statik ekwivalen pada analisa dinamik.

Perbandingan antara taraf gempa rencana yang ditentukan oleh koefisien C dan taraf yang berkaitan dengan gempa kuat dengan waktu ulang sekitar 300 sampai 400 tahun nyatanya adalah tetap (lihat penjelasan Gambar 2.6.). Perbedaan di antara kedua taraf ini ditampung oleh daktilitas dari struktur. Apabila sebagai contoh disyaratkan suatu daktilitas sebesar 4 untuk menampung perbedaan tadi, hal ini berarti terjadinya simpangan struktur sebesar 4 kali simpangan pada leleh pertama (lihat penjelasan Pasal 2.2.1.). Apabila daktilitas yang tersedia adalah lebih rendah, misalnya 2, maka suatu faktor K sebesar 2 ditetapkan agar hasil perkaliannya mencapai nilai 4 yang sama, akan tetapi simpangan akibat gempa kuat adalah tetap 4 kali simpangan yang dihitung untuk taraf gempa yang ditentukan tanpa memperhatikan faktor K. Karena itu, sebagai kesimpulan dapat dikatakan, bahwa faktor K harus dihapuskan dari perhitungan perubahan-perubahan bentuk, sehingga baik struktur daktail maupun tidak daktail simpangannya dihitung untuk taraf gempa yang sama.

Perubahan bentuk struktur gedung akibat gempa yang didapat dari hasil analisa dinamik hanyalah merupakan 90% dari nilai yang seharusnya, karena telah diizinkan untuk diadakan reduksi 10% terhadap pengaruh gempanya. Reduksi ini diadakan agar unsur-unsur struktur yang direncanakan dengan analisa dinamik dapat lebih ekonomis, mengingat analisa dinamik telah membatasi kemungkinan adanya keharusan daktilitas yang berlebihan dari unsur-unsur struktur. Akan tetapi perubahan bentuk struktur gedung tetap harus dihitung untuk gempa rencana penuh, sehingga faktor reduksi 0,90 harus dihapuskan dari perhitungan, di sampingnya faktor jenis struktur K.

2.6.2. Pemisahan Gedung

Struktur-struktur gedung yang memencarkan energi dengan cara yang daktail setelah dilampauinya batas elastisitas, memerlukan pemisahan dari struktur gedung lain yang berbatasan, untuk mencegah terjadinya benturan. Benturan-benturan antara struktur-struktur gedung yang berbatasan tidak saja dapat mengakibatkan kerusakan yang berat, tetapi dapat merubah pula respons yang diperhitungkan. Karena itu, perubahan-perubahan bentuk yang dihitung dikalikan dengan faktor 4, untuk menampung kemungkinan adanya gempa-gempa yang lebih kuat daripada yang berkaitan dengan gempa rencana.

2.6.3. Simpangan Antar Tingkat

Terhadap simpangan antar tingkat telah diadakan pembatasan-pembatasan untuk menjamin agar kenyamanan bagi para penghuni gedung tidak terganggu dan juga untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang disebut efek P-delta). Hal ini khususnya penting dalam unsur-unsur yang langsing dengan gaya aksial yang berat. Walaupun simpangan antar tingkat telah dibatasi, namun dianjurkan untuk melakukan pemeriksaan terhadap efek P-delta di mana hal itu kritis.

2.6.4. Pemisahan Unsur-Unsur

Unsur-unsur non-struktur hendaknya dipisahkan dari strukturnya, kecuali pada unsur-unsur yang sangat kaku, karena 2 alasan berikut ini:

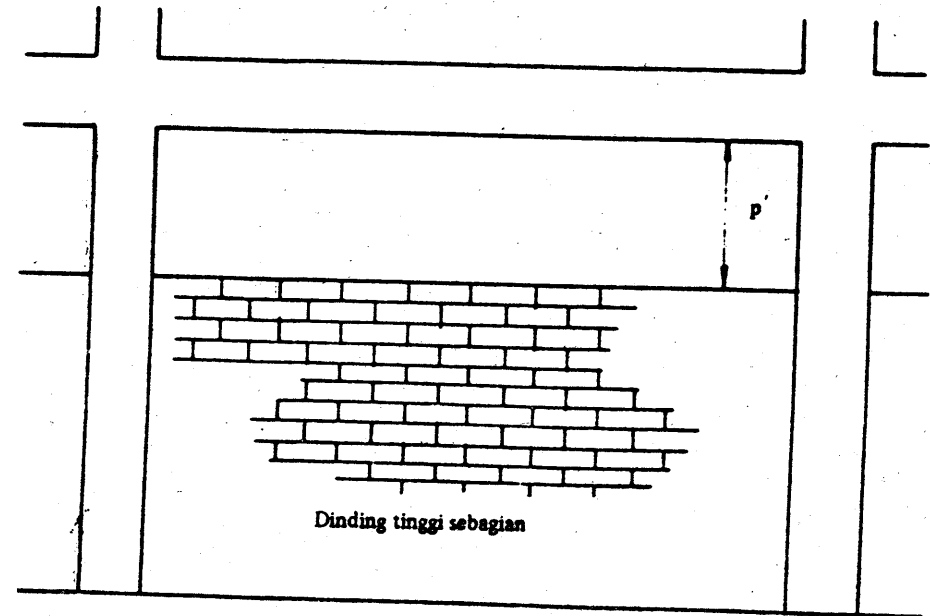
- (a) Unsur non-struktur yang cukup kaku dan kuat dapat merubah respons struktur gedung yang telah dihitung tanpa memperhatikan unsur-unsur tersebut. Sebagai contoh, tangga-tangga dan dinding tembok pemisah yang berhubungan erat kepada lantai-lantai tingkat atau yang mengisi penuh ruang di antara kolom-kolom, merupakan unsur-unsur yang memperkaku

strukturnya. Pada umumnya hal ini berarti, bahwa respons struktur itu terhadap gempa menjadi lebih kuat. Penempatan unsur-unsur tersebut secara tidak simetris dapat menimbulkan (momen puntir tingkat yang besar. Semua hal ini dapat menyebabkan pelelehan) yang terlalu cepat dalam beberapa bagian dari struktur, yang memerlukan daktilitas yang berlebihan pada unsur-unsurnya. Hal ini telah menjadi penyebab dari banyak kegagalan dari komponen maupun struktur-struktur gedung dalam banyak gempa yang kuat di waktu yang lalu. Dinding-dinding tembok dengan tinggi sebagian di antara kolom-kolom Penjelasan Gambar 2.10. telah terbukti merupakan pendetailan dalam praktek yang sangat berbahaya. Dinding-dinding itu mengurangi tinggi efektif dari kolom-kolom sehingga menerbitkan gaya-gaya geser yang sangat besar ketika kolom-kolom mengalami pelelehan. Hal ini pada umumnya menyebabkan keruntuhan geser yang getas dari kolom.

Apabila dalam penjelasan Gambar 2.10. P' adalah jarak antara tepi atas dinding dengan tinggi sebagian dan tepi bawah balok, maka gaya geser maksimum yang terjadi di dalam bagian kolom di atas dinding adalah $V_i = 2 M_{leleh}/P'$, di mana M_{leleh} adalah kapasitas momen dari kolom. Apabila P' berkurang, maka gaya geser akan meningkat dan kolom akan runtuh secara tidak daktil akibat geser sebelum runtuh akibat lentur.

- (b) Apabila komponen non struktur tersebut adalah lemah dan tidak mempunyai kemampuan menahan gaya-gaya yang bekerja padanya akibat pergerakan dari strukturnya, unsur tersebut akan jatuh atau roboh yang membahayakan para penghuni gedung atau orang-orang yang berada di dekatnya. Contoh-contoh unsur demikian adalah jendela-jendela, dinding-dinding, non-struktur dan penutup-penutup luar yang kaku.

Para perencana juga perlu memperhatikan penambatan dari unsur-unsur penutup (veneer) kepada strukturnya. Unsur-unsur non struktur tersebut hendaknya ditambat erat kepada bagian-bagian struktur gedung sedemikian rupa, sehingga dapat mencegah terlepasnya unsur-unsur tersebut, dan walaupun sampai terlepas unsur-unsur tersebut tidak akan jatuh.



Gambar 2.10.

Dinding pasangan dengan tinggi tidak penuh di antara kolom-kolom, merupakan pendetailan yang sangat berbahaya.

Perlu dicatat bahwa pembatasan simpangan yang ditentukan dalam pasal ini bukan merupakan jaminan yang pasti dan mungkin hanya memadai untuk peristiwa-peristiwa gempa sedang (dengan percepatan tanah maksimum sekitar 110 cm/det^2) dalam struktur-struktur portal. Komponen non-struktur fleksibel yang dibebaskan dari syarat pemi-

sahan adalah antara lain bingkai-bingkai pemisah ringan dari kayu atau baja.

Untuk memperhitungkan pengaruh komponen non-struktur seperti dinding-dinding pasangan terhadap kekakuan struktur, dapat ditempuh cara seperti diberikan dalam Stafford-Smith & Carter. "A Method of Analysis for infilled Frames", Dioc Institute of Civil Engineering. September 1969 dan Beca Carter Hollings and Ferner Limited Volume 7.

Berdasarkan kekakuan ini, maka harus dibuktikan bahwa tidak akan terjadi mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis yang terbentuk di dalam kolom-kolom seperti ditunjukkan dalam Penjelasan Gambar 2.3.(a) dan Gambar 2.4. dan/atau tidak akan terjadi perputaran akibat momen puntir tingkat horisontal yang berlebihan seperti ditunjukkan dalam Penjelasan Gambar 2.9. Perputaran tersebut dapat dianggap tidak berlebihan, apabila eksentrisitas teoritis e dari pusat masa terhadap pusat kekakuan tidak melampaui 0,2b.

2.7. Perubahan Struktur

Tidak tertutup kemungkinan bahwa di dalam pelaksanaan ukuran dari unsur-unsur struktur gedung diperbesar atau diperkecil oleh pelaksanaannya tanpa disadari akan pengaruh-pengaruhnya yang merugikan terhadap perilaku struktur gedung tersebut terhadap gempa. Sebagai contoh, menambah ukuran dari suatu unsur struktur gedung dapat merubah pusat kekakuan suatu lantai, sehingga merubah momen puntir tingkat yang telah diperhitungkan oleh rencana. Perubahan detail-detail penulangan tanpa persetujuan dari rencana juga dapat menyebabkan keadaan-keadaan yang berbahaya. Rencana struktur dari pengawas ahli harus bertanggungjawab menyadarkan pelaksana akan pentingnya arti pelaksanaan yang tepat sesuai dengan dokumen-dokumen kontrak.

PENJELASAN

BAB III

SYARAT-SYARAT PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK UNSUR-UNSUR SEKUNDER, PENYELESAIAN ARSITEKTUR DAN INSTALASI MESIN DAN LISTRIK

3.1. Ruang Lingkup

Perilaku yang memuaskan dari unsur-unsur non-struktur terhadap gempa adalah sama pentingnya dengan perilaku strukturnya itu sendiri. Ada 2 alasannya yang dapat dikemukakan. Pertama, harga unsur-unsur non-struktur yang mengisi suatu gedung dapat merupakan bagian yang penting dari harga gedung itu, dan karenanya layaklah apabila unsur-unsur tersebut diamankan terhadap kerusakan akibat gempa.

Kedua, gagalnya atau runtuhnya benda-benda tersebut dapat merupakan bahaya langsung terhadap keselamatan penghuni gedung, atau dapat menghambat usaha pengungsian dari gedung itu atau menghalang-halangi bekerjanya alat-alat penyelamat (seperti penyemprot air kebakaran, dan lain-lain) segera setelah suatu gempa terjadi.

3.2. Hubungan

Kekurangan utama dalam banyak perencanaan gedung untuk tahan terhadap gempa terletak dalam kurang memadainya detail-detail dari hubungan-hubungan, yang harus diperhitungkan tidak saja terhadap gaya-gaya yang langsung diakibatkan oleh gempa, tetapi juga terhadap pengaruh-pengaruh interaksi dengan unsur-unsur lain dari struktur. Pergerakan ke samping dari struktur gedung dapat menimbulkan gaya-gaya tambahan pada unsur-unsur yang berhubungan, kecuali apabila diadakan pemisahan-pemisahan

menurut Bab 2. Dalam hal ini perlu diingat, bahwa pemisahan-pemisahan yang disyaratkan itu tidak akan cukup untuk mengatasi gempa-gempa yang sangat kuat.

Karena itu, dari pengalaman dalam gempa-gempa kuat di luar negeri dianggap perlu bahwa alat-alat penambat ornamen, unsur penutup, benda-benda tambahan (appendages) dan panel-panel luar dibuat daktail dan ditambat erat pada panelnya, untuk mengatasi menutupnya sela pemisah. Menutupnya sela pemisah ini dapat menimbulkan gaya-gaya tambahan yang berarti yang dapat melelehkan alat-alat penghubung.

Gesekan tidak boleh diandalkan untuk menahan gaya-gaya gempa, karena mungkin adanya komponen gerakan gempa yang berarah vertikal ke bawah yang dapat menghapuskan tahanan gesekan, sehingga unsur yang ditinjau dapat bergerak akibat gerakan horisontal yang bekerja bersamaan dengan gerakan vertikal itu.

3.3. Hubungan Antar Unsur dan Komponen

Apabila suatu unsur penting direncanakan untuk tahan terhadap gempa yang relatif kuat, maka perlu diperhatikan perencanaan dari unsur-unsur yang berbatasan, yang dapat gagal atau runtuh pada taraf gempa yang lebih rendah, dan karenanya menyebabkan gagalnya atau runtuhnya unsur yang lain. Sebagai contoh, sebuah dinding yang berdiri di samping sebuah alat siap jalan dalam keadaan darurat dapat sudah roboh pada taraf gempa yang jauh lebih rendah daripada yang disyaratkan untuk alat tersebut, sehingga menghalang-halangi operasi dari alat itu.

3.4. Pemutusan Operasi Mesin Otomatis

Beberapa proses industri seperti yang terdapat pada proses kimia atau yang menggunakan aliran gas atau arus listrik tegangan tinggi, dapat menimbulkan bahaya yang berarti

kepada masyarakat umum, apabila tidak dihentikan, dalam gempa-gempa kuat. Penguasa Bangunan hendaknya menetapkan bersama-sama dengan Pemilik, suatu taraf intensitas gempa pada mana suatu mesin secara otomatis akan diputuskan operasinya. Sebagai pedoman, peraturan ATC3 menetapkan agar pemutusan operasi mesin secara otomatis, terjadi pada percepatan tanah $0,2 g$ untuk wilayah gempa yang paling berat di California (setaraf dengan Wilayah 2 di Indonesia). Pemutusan operasi mesin otomatis juga harus terjadi apabila di dalam sistem ditemukan suatu kelainan yang berbahaya, misalnya membumbungnya tekanan cairan atau tekanan gas di dalam suatu proses.

3.5. Beban Gempa Rencana

Beban gempa rencana yang berupa beban statik ekuivalen dapat dengan mengalikan berat suatu unsur dengan beberapa faktor yang akan dibahas di bawah ini.

Koefisien gempa C_p ditentukan dari sifat-sifat unsur itu sendiri apabila disangga langsung di atas tanah, atau dari sifat-sifat struktur penyangganya dalam hal-hal lain. Dengan memasukkan koefisien gempa, maka perencanaan unsur yang ditinjau disesuaikan dengan wilayah gempa yang bersangkutan.

Cara penentuan beban gempa rencana telah disederhanakan sejauh mungkin, dengan menghapuskan sejauh mungkin ketergantungan dari data yang didapat dari perencanaan struktur gedung. Hal ini adalah untuk memungkinkan dilakukannya perencanaan langsung oleh para perencana instalasi mesin dan listrik. Di mana koefisien gempa tidak diketahui untuk strukturnya, maka hal itu dapat ditentukan dari Gambar 2.2. dan Gambar 2.3. dengan mengangap waktu getar alami dari struktur gedung kurang dari $0,5$ detik.

3.5.1. Faktor Respons Struktur - K_p

Faktor respons struktur dimaksudkan antara lain untuk memperhitungkan pembesaran gerakan tanah oleh struktur. Beberapa studi telah menunjukkan, bahwa pembesaran yang kuat dapat terjadi, bergantung pada respons dari strukturnya.

Sampai hasil penelitian mengenai masalah ini tersedia dengan lebih lengkap, dianggap bahwa rumus yang diberikan dalam pasal ini memberikan hasil yang cukup memuaskan. Para perencana dalam hal ini perlu menyadari, bahwa benda-benda berat di puncak sebuah struktur dapat mengalami percepatan-percepatan yang besar, dan di mana mungkin benda-benda demikian hendaknya ditempatkan di tingkat-tingkat lebih bawah.

3.5.2. Faktor Perilaku Terhadap Gempa Dari Komponen – P

Faktor ini dimaksudkan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan komponen yang ditinjau, hal mana mencerminkan pentingnya komponen itu untuk berperilaku dengan baik bila mengalami pengaruh gempa dan pentingnya komponen itu dirawat daya pelayanannya. Sebagai contoh, peralatan yang siap jalan dalam keadaan darurat mempunyai faktor perilaku yang tinggi, karena alat tersebut harus segera dapat bekerja setelah suatu gempa terjadi.

Faktor tersebut juga dimaksudkan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan alat-alat yang dapat membahayakan seperti ketel uap dan tangki tekanan tinggi.

Suatu unsur yang terpasang pada suatu struktur, di mana waktu getar alaminya mendekati waktu getar alami strukturnya, hendaknya dihindari, karena dapat menghasilkan pembesaran yang sangat kuat, yang pada sekitar titik resonansi pembesaran tersebut dapat mencapai 25 kali. Akan tetapi dalam peraturan ini pembesaran yang ditinjau adalah hanya sampai 2 kali karena dalam prakteknya selalu ada redaman yang memperkecil pembesaran tersebut.

PENJELASAN DARI CATATAN

Catatan 2 : Lampu-lampu yang menggantung atau berayun merupakan bahaya, karena segera akan digoncangkan dalam suatu gempa dan bergerak dengan hebat. Bila gerakan ini menyebabkan gagalnya penambatan, maka kabel penambat pengaman diperlukan untuk mencegah jatuhnya benda, sehingga melindungi para penghuni gedung.

Catatan 3 : Di mana berat menara atau cerobong melampaui 10% dari berat gedung, unsur-unsur tersebut akan mempengaruhi dengan berarti perilaku struktur gedungnya, oleh karena itu harus ditinjau di dalam analisa struktur gedung tersebut.

Catatan 4 : Pengalaman dari gempa-gempa kuat di waktu yang lalu telah menunjukkan, bahwa adalah penting untuk menambat benda-benda yang disimpan di dalam rak-rak, karena tidak banyak manfaatnya merencanakan raknya sendiri tahan terhadap gempa, tetapi isinya dapat terguling jatuh dan menjadi rusak. Hal ini khususnya penting pada rak-rak batere yang melayani alat-alat komunikasi dan penerangan darurat.

Catatan 5 : Runtuhnya sistem-sistem yang digantung telah terjadi dalam banyak gempa di waktu yang lalu. Jenis kerusakan ini dapat membahayakan jiwa bagi para penghuni dan dapat merupakan sumber kepanikan. Lempengan langit-langit yang ringan, yang tidak akan menciderakan penghuni gedung bila jatuh dalam suatu gempa kuat, dibebaskan dari syarat-syarat ini.

Fungsi dari gedung-gedung penting, misalnya kantor-kantor telepon, telah terganggu dalam gempa-gempa yang lalu oleh jatuhnya langit-langit dan a-

lat-alat penerangan serta lampu-lampu gantung. Karena itu, dianjurkan agar di ruangan-ruangan penting di mana jatuhnya langit-langit tidak boleh terjadi (seperti pada ruang bedah rumah sakit), langit-langit tersebut ditambat secara kuat kepada strukturnya.

Jatuhnya sistem-sistem langit-langit yang digantung tidak saja dapat terjadi oleh gagalnya alat-alat penambat, tetapi jika oleh perubahan-perubahan bentuk kumulatif setempat yang memungkinkan unsur-unsur untuk jatuh dari tumpuan-tumpuannya.

Percepatan-percepatan tanah dalam arah vertikal yang kekuatannya hampir sama dengan percepatan-percepatan horisontalnya telah tercatat dalam beberapa gempa di waktu yang lalu. Gerakan-gerakan ini, bila diperkeras oleh strukturnya dan pembingkaiannya langit-langit, dapat menghasilkan gaya-gaya bersih yang berarah ke atas.

Pembingkaiannya langit-langit harus dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga semua sambungan dan tambatannya dibuat sangat erat dan kuat, untuk mencegah terlepasnya hubungan-hubungan tersebut akibat pengaruh-pengaruh dinamik dari gerakan gempa. Hubungan tersebut sedapat mungkin harus sedemikian rupa, sehingga komponennya yang akan gagal terlebih dahulu sebelum sambungannya.

Alat-alat penambat unsur-unsur dari langit-langit hendaknya mudah dapat dilepaskan dan diganti agar memudahkan orang masuk ke dalam ruang langit-langit bila diperlukan.

Di mana sistem yang digantung ini mengandalkan dukungan horisontal dari strukturnya, unsur-unsur

yang tergantung di atasnya haruslah terpasang pada suatu sambungan yang kuat dan dapat diganti. Sambungan tersebut haruslah terpasang pada suatu sambungan yang kuat dan dapat diganti. Sambungan tersebut haruslah terpasang pada suatu sambungan yang kuat dan dapat diganti.

Alat-alat tergantung harus selalu ditempatkan, untuk dapat dapat terpasang pada-pada suatu tempat yang ditambat kepada langit-langit dan struktur gedung dengan cara yang memungkinkan adanya pergerakan relatif ke arah vertikal tanpa terlepasnya tambatannya.