

Pedoman Praktis bagi Perencana dan Praktisi Struktur Beton Bertulang

# **Evaluasi Cepat** **Sistem Rangka** **Pemikul Momen** **Tahan Gempa**

(Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002)

Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc.  
Ir. Tavio, MS., Ph.D



INKINDO JATIM



KOMDA JATIM

Teguh Sandojo SPd  
20 Desember 2010

## **Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa**



**Cetakan Kedua, Maret 2010**

**ISBN 978-979-8897-21-4**

# **EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA**

*Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc.  
Ir. Tavio, MS., Ph.D*



Purwono, R., dan Tawio  
Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa / Rachmat Purwono, dan  
Tawio.  
viii + 51 halaman. 16,5 x 23,5 cm

Termasuk referensi, lampiran, dan indeks.  
ISBN 978-979-8897-21-4

1. Beton bertulang.      2. Evaluasi cepat.      3. SRPM.      I. Judul

693.5

Editor eksekutif: Tawio  
Pendesain sampul: Rachmat Purwono dan Tawio  
Pendesain isi: Rachmat Purwono dan Tawio

 2010 oleh ITS Press  
ITS Press  
Kampus ITS, Keputih-Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

All rights reserved. Hak cipta (ada pada penulis) dilindungi oleh Undang-Undang. Tidak ada bagian dari buku ini yang dapat dicetak ulang dalam bentuk apapun atau dengan cara apapun, tanpa ijin secara tertulis dari penulis dan penerbit.

Publikasi ini dimaksud untuk dipakai hanya oleh personil profesional yang berkompentensi dalam menilai signifikansi, dan keterbatasan informasi yang tersedia dalam buku ini, dan yang akan menerima tanggung jawab sepenuhnya atas pemakaian informasi tersebut.

Penulis dan penerbit buku ini telah melakukan usaha yang terbaik di dalam mempersiapkan buku ini. Penulis dan penerbit tidak menjamin segala macam, baik yang dinyatakan maupun diterapkan, yang berkaitan baik dengan semua kerusakan yang penting maupun yang tidak disengaja yang berhubungan dengan kekuatan, kinerja, keawetan serta penyelesaian, atau yang ditimbulkan oleh pemakaian buku ini.

ITS Press® adalah sebuah penerbit dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

Dicetak di Surabaya Indonesia

10 9 8 7 6 5 4 3 2

ISBN 978-979-8897-21-4

Cetakan Kedua, Maret 2010

Copyright © 2007

Sanksi Pelanggaran Pasal 44 Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 6 Tahun 1982 tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi ijin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)

2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah).

# EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA

## KATA PENGANTAR

Banyak peserta Seminar HAKI tanggal 21 dan 22 Agustus 2007 yang lalu menilai isi makalah kami yang berjudul “Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa” itu sangat sesuai dengan Tema HAKI tahun 2007. Karena itu tergerak oleh keinginan untuk menyebarkan lebih luas lagi ilmu yang praktis ini kepada kolega-kolega perencana dan praktisi konstruksi lain, kami memberanikan diri untuk menerbitkan buku kecil ini.

Isi buku ini kami pandang cukup praktis, namun mungkin masih banyak terdapat kekurangannya. Oleh karena itu masukan perbaikan dan diskusi lebih lanjut dari pembaca dan pemakai buku ini, sangat kami harapkan dan hargai.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)-Surabaya, INKINDO Jatim, serta HAKI Komda Jatim atas dukungan penuhnya sehingga memungkinkan penerbitan dan publikasi buku ini.

Surabaya, September 2007

Rachmat Purwono & Tawio  
Penulis

Jurusan Teknik Sipil-FTSP  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS, Sukolilo  
Surabaya 60111

E-mail: [tawio@its.ac.id](mailto:tawio@its.ac.id)

Telp: 031-5946094

Fax: 031-5947284

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>vii</b>
<b>EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA.....</b>	<b>1</b>
Abstrak .....	1
Abstract .....	1
1. Pendahuluan.....	2
2. Manfaat Evaluasi .....	2
3. SRPM Tahan Gempa .....	3
4. Checklist Kriteria SRPM Yang Tahan Gempa .....	3
5. Penjelasan Kriteria SRPM Yang Tahan Gempa .....	9
6. Kesimpulan dan Saran .....	18
7. Referensi .....	18
<b>LAMPIRAN: RINGKASAN EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA .....</b>	<b>20</b>
Slide No. 1 — Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa .....	20
Slide No. 2 — Manfaat dan Tujuan .....	20
Slide No. 3 — Kriteria SRPM Tahan Gempa RT & RM .....	21
Slide No. 4 — Checklist Kriteria SRPMK .....	21
Slide No. 5 — Makna Evaluasi .....	22
Slide No. 6 — Siapa yang Mengisi Checklist.....	22
Slide No. 7 — Prinsip Dasar Kriteria SRPMK .....	23

Slide No. 8 — Prinsip Dasar Kriteria SRPMK (Lanjutan).....	23
Slide No. 9 — Checklist #1 — Alur Beban .....	24
Slide No. 10 — Checklist #2 — Jarak Bangunan.....	24
Slide No. 11 — Checklist #3 — Mesanin .....	25
Slide No. 12 — Checklist #4 — Perbedaan Kekuatan SPBL .....	25
Slide No. 13 — Checklist #5 — Perbedaan Kekakuan .....	26
Slide No. 14 — Checklist #6 — Perubahan Dimensi .....	26
Slide No. 15 — Checklist #7 — Kesenambungan Vertikal .....	27
Slide No. 16 — Checklist #8 — Perbedaan Masa.....	27
Slide No. 17 — Checklist #9 — Puntir.....	28
Slide No. 18 — Checklist #10 — Redundansi.....	28
Slide No. 19 — Checklist #11 — Dinding.....	29
Slide No. 20 — Checklist #12 — Batas Tegangan Geser.....	29
Slide No. 21 — Checklist #13 — Batas Tegangan Aksial .....	30
Slide No. 22 — Checklist #14 — Flat Slab.....	30
Slide No. 23 — Checklist #15 — Komponen Prategang .....	31
Slide No. 24 — Checklist #16 — Penjangkaran Tulangan.....	31
Slide No. 25 — Checklist #17 — Kolom Pendek.....	32
Slide No. 26 — Checklist #18 — Kuat Geser.....	32
Slide No. 27 — Checklist #19 — Strong Column .....	33
Slide No. 28 — Checklist #20 — Tulangan Minimum Balok .....	33
Slide No. 29 — Checklist #21 — Column Bar Splices .....	34
Slide No. 30 — Checklist #22 — Beam Bar Splices .....	34
Slide No. 31 — Checklist #23 — Pengekangan Kolom.....	35
Slide No. 32 — Checklist #24 — Pengekangan Balok.....	35
Slide No. 33 — Checklist #25 — Tulangan HBK.....	36
Slide No. 34 — Checklist #26 — Eksentrisitas HBK .....	36
Slide No. 35 — Checklist #27 — Sengkang & Pengikat Silang Gempa... 37	37
Slide No. 36 — Checklist #28 — Kompatibilitas Simpangan .....	37
Slide No. 37 — Checklist #29 — Mutu Tulangan .....	38
Slide No. 38 — Checklist #30 — Hubungan Pancang-Poer .....	38
Slide No. 39 — Kesimpulan dan Saran.....	39
Slide No. 40 — Gambar 1 — Bangunan dengan Tinggi Berbeda.....	39
Slide No. 41 — Gambar 2 — Tingkat Tinggi.....	40

Slide No. 42 — Gambar 3 – Ketidakteraturan Geometri.....40

Slide No. 43 — Gambar 4 – Lantai Berat.....41

Slide No. 44 — Gambar 5 – Kolom Dipasak Ke Dalam Fondasi .....41

Slide No. 45 — Gambar 6 – Pembentukan Sendi Plastis .....42

Slide No. 46 — Gambar 7 – Syarat Tulangan Balok SRPMK .....42

Slide No. 47 — Gambar 8 –  $A_{sh}$  di Penampang  $\ell_0$  .....43

Slide No. 48 — Gambar 9 – Penampang di Sendi Plastis Balok .....43

Slide No. 49 — Gambar 10 – Skematik Detailing SRPMK .....44

**INDEKS .....45**

**DAFTAR TABEL**

Label 1 — Checklist Dasar ..... 4

Label 2 — Checklist Pelengkap..... 6

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 — Bangunan dengan Tinggi Berbeda .....	10
Gambar 2 — Tingkat Tinggi.....	11
Gambar 3 — Ketidakteraturan Geometri .....	11
Gambar 4 — Lantai Berat.....	12
Gambar 5 — Kolom Dipasak Ke Dalam Pondasi .....	14
Gambar 6 — Pembentukan Sendi Plastis .....	15

## DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN

Gambar 1 — Bangunan dengan Tinggi Berbeda .....	39
Gambar 2 — Tingkat Tinggi.....	40
Gambar 3 — Ketidakteraturan Geometri .....	40
Gambar 4 — Lantai Berat.....	41
Gambar 5 — Kolom Dipasak Ke Dalam Pondasi .....	41
Gambar 6 — Pembentukan Sendi Plastis .....	42
Gambar 7 — Syarat Tulangan Balok SRPMK .....	42
Gambar 8 — $A_{sh}$ di Penampang $\ell_o$ .....	43
Gambar 9 — Penampang di Sendi Plastis Balok .....	43
Gambar 10 — Skematik Detailing SRPMK.....	44

## DAFTAR NOTASI

$A$	= penjumlahan luas penampang semua kolom di suatu tingkat yang ditinjau, mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	= luas penampang total tulangan transversal (termasuk sengkang pengikat) dalam rentang spasi $s$ dan tegak lurus terhadap dimensi $h_c$ , mm <sup>2</sup>
$A$	= luas tulangan geser dalam rentang spasi $s$ , mm
$b$	= dimensi lebar penampang kolom, mm
$d$	= jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik, mm
$d_n$	= diameter nominal batang tulangan, mm
$f_c$	= kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$f_t$	= kuat tarik tulangan non-prategang ultimat, MPa
$f_y$	= kuat leleh tulangan non-prategang yang disyaratkan, MPa
$h_1$	= tinggi tingkat di tingkat 1, mm
$h_c$	= dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu-ke-sumbu tulangan pengeang, mm
$h_e$	= tinggi efektif kolom, mm
$h_n$	= tinggi tingkat di suatu tingkat tertentu, mm
$h_t$	= tinggi dari dasar sampai atap bangunan, mm
$l$	= panjang rangka total, mm
	= panjang bersih balok, mm
	= panjang penyaluran, mm

# EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA

Rachmat Purwono\*  
Tavio\*

## ABSTRAK

*Newsletter* HAKI Volume 12, Januari 2007, menyatakan bahwa pada tahun 2007 HAKI akan memfokuskan diri pada berbagai program yang bertujuan membantu masyarakat, khususnya para pelaku teknik bangunan untuk lebih memahami teknik tahan gempa dan mampu menghadirkan bangunan tahan gempa di Indonesia, maka makalah ini menyajikan suatu *Checklist* yang dikembangkan oleh FEMA (*Federation Emergency Management Agency*), khususnya FEMA 310 dan 356 yang setelah dimodifikasi dapat dipakai sebagai kegiatan preventif untuk mengurangi kemungkinan pembangunan struktur beton bertulang (khususnya SRPM) yang kurang tahan terhadap beban gempa. *Checklist* tersebut berisi 30 kriteria, dilengkapi penjelasan singkat, yang akan dipakai sebagai bahan evaluasi oleh perencana/pengawas/pelaksana konstruksi, untuk menjawab apakah struktur beton bertulang yang akan/dibangun antara lain sudah sesuai tata cara SNI yang terbaru. Tiap hasil evaluasi harus dijawab OK atau NG. Pendapat NG diteruskan pada perencana untuk diperiksa/dievaluasi ulang. Diharapkan kegiatan preventif ini akan memasyarakat sehingga dapat berkontribusi mewujudkan sebagian dari cita-cita HAKI di atas.

**KATA KUNCI:** Tahan gempa; SRPM; kriteria; beton bertulang.

## ABSTRACT

*Newsletter* HAKI Volume 12, January 2007, declares that, in 2007, HAKI will be focussing on several programs with an intention to help the public, particularly the structural engineers, to better understand the seismic-resistant engineering and to be able to come up with the seismic-resistant buildings in Indonesia. This paper presents a *Checklist* developed by FEMA (*Federation Emergency Management Agency*), FEMA 310 and 356 in particular, which after being modified, is applicable as a preventive step to avert the possibility of constructing a reinforced concrete structure (particularly MRFS), that is not seismic resistant. The *Checklist* comprises 30 criteria accompanied with brief explanations. They can be used as an evaluation material by the designers/supervisors/construction engineers in deciding if the reinforced concrete structures, which are going to be built or being built, are, among others, meeting the latest SNI code or not. Each evaluation item must be filled with OK or NG. Answer NG will be extended further to the designer for rechecking/re-evaluation. It is hoped that this preventive step will becoming familiar to actualize the above HAKI's aspiration.

**KEY WORDS:** Seismic resistant; MRFS; criteria; reinforced concrete.

 $\ell_{dh}$ 

= panjang penyaluran kait standar tarik, diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan), mm

 $m$ 

= faktor modifikasi komponen struktur, diambil sama dengan 2,0 untuk Keamanan Jiwa (*Life Safety*)

 $M_b$ 

= momen pada muka HBK, yang berhubungan dengan kuat lentur nominal balok (termasuk pelat yang berada dalam kondisi tarik) yang merangka pada HBK tersebut, N-mm

 $M_{pr}$ 

= kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen struktur pada muka hubungan balok kolom (HBK) dengan menganggap kuat tarik pada tulangan longitudinal sebesar minimum  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kekuatan  $\phi = 1$ , N-mm

 $n_c$ 

= jumlah kolom total

 $n_f$ 

= jumlah rangka total dalam arah pembebanan

 $P$ 

= beban aksial kolom, N

 $R$ 

= faktor reduksi beban gempa

 $s$ 

= jarak maksimum dari tulangan transversal sepanjang  $\ell_d$  dari sumbu-ke-sumbu, mm

 $V$ 

= gaya gempa dasar, N

 $V_j$ 

= gaya geser tingkat, N

 $V_u$ 

= gaya geser terfaktor pada penampang, N

 $\Delta$ 

= perpindahan lateral kolom, mm

 $\delta_u$ 

= perpindahan rencana, mm



## 1. PENDAHULUAN

Tertarik pada Kata Pengantar Ketua HAKI di *Newsletter* HAKI Volume 12, terbit bulan Januari 2007 [1] yang lalu, yang menyatakan "...melihat keruntuhan yang terjadi pada gedung-gedung di Yogyakarta saat gempa Mei 2006, seluruh tatanan yang ada ternyata belum mampu menghadirkan konstruksi tahan gempa yang kita inginkan. Pada tahun 2007 HAKI akan memfokuskan diri pada berbagai program yang bertujuan membantu masyarakat, khususnya para pelaku teknis bangunan untuk lebih memahami teknik tahan gempa dan mampu menghadirkan bangunan tahan gempa di Indonesia", maka tulisan ini menyajikan suatu *Checklist* evaluasi cepat salah satu sistem bangunan tahan gempa yang banyak dipakai di Indonesia, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), untuk menjawab apakah SRPM itu sudah dapat dikatakan tahan gempa. Sistem evaluasi ini diambil dari FEMA 310 [2] dan 356 [3] yang aslinya bertujuan untuk mengevaluasi apakah suatu bangunan itu setelah terkena gempa resiko menengah atau tinggi dapat langsung dihuni kembali dan aman bagi jiwa penghuninya. Evaluasi FEMA 310 [2] dan 356 [3] itu setelah diadakan modifikasi seperlunya dipandang cocok pula untuk dipakai mengevaluasi bangunan SRPM baru yang sedang dibangun, yaitu dengan mengadakan evaluasi cepat apakah syarat dan perangkat-perangkat yang dibutuhkan oleh sistem dan komponen struktur tahan gempa sudah terdapat dalam gambar atau terlihat pada kerangka tulangan yang sedang terpasang. Makalah ini membatasi pada penilaian ketahanan sistem struktur beton terhadap beban gempa, belum mencakup penilaian pada bagian bangunan yang bersifat non-struktural.

## 2. MANFAAT EVALUASI

Tulisan ini ditujukan pada para pelaku industri konstruksi beton bertulang, yaitu perencana, pengawas konstruksi bangunan dan praktisi atau pelaksana struktur beton bertulang tahan gempa, khususnya SRPM, untuk bersama-sama berpartisipasi dalam mewujudkan bangunan tahan gempa itu. Dengan memperhatikan atau mempelajari gambar-gambar pelaksanaan, *Checklist* di Tabel 1 dan 2 harus diisi seluruhnya oleh masing-masing pelaku tersebut di atas dengan melingkari pernyataan OK atau NG. OK menunjukkan kriteria dalam *Checklist* sudah dipenuhi dan NG (*No Good*) menyatakan pendapat sebaliknya. Pernyataan dalam *Checklist* ini merupakan masukan yang berharga bagi Perencana SRPM tersebut.

Walaupun tiap kriteria *Checklist* tersedia penjelasan singkat, namun strategi perbaikan dari *item* NG tidak termasuk dalam tulisan ini. Selanjutnya, untuk kelancaran pengisian *Checklist* ini, diharapkan isi SNI 03-1726-2002 [4] dan SNI 03-2847-2002 [5] sudah cukup dipahami dan semua dokumen

perhitungan, spesifikasi teknik, dan gambar pelaksanaan bangunan telah terkumpul dan selesai dipelajari.

## 3. SRPM TAHAN GEMPA

SRPM ini mengembangkan kemampuan menahan beban gempa melalui kuat lentur dari komponen-komponen struktur balok dan kolom. Menurut SNI 03-2847-2002 [5] Pasal 23, SRPM yang tahan terhadap beban gempa resiko tinggi dan menengah, harus berturut-turut didesain yang memenuhi persyaratan desain SRPMK yang kena beban gempa nominal dengan  $R = 1.5$ , yaitu suatu rangka struktur dengan pendetailan yang secukupnya sehingga dapat terbentuk sendi-sendi plastis di ujung-ujung balok dan kolom yang akan menyerap energi dan memungkinkan rangka tetap berdiri pada penyimpangan (*displacement*) yang jauh lebih besar dari kemampuan berdasarkan desain elastis. Karena itu, persyaratan *fundamental* dalam *Checklist* untuk SRPMK yang daktail adalah:

- Sedapatnya menjaga keteraturan sistem struktur.
- Cukup kuat menahan gempa normatif yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
- Cukup kaku untuk membatasi penyimpangan (*displacement*).
- Hubungan balok-kolom cukup daktail menahan rotasi yang terjadi.
- Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti.
- Balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar di seluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom (konsep kolom kuat-balok lemah).
- Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan pembentukan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain di tingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.
- Mencegah pembentukan "kolom pendek" tak terduga yang menjurus pada kegagalan getas kolom.

Isi pada di atas akan dicantumkan lebih mendetail di *Checklist* bernomor 1 sampai 30.

## 4. KRITERIA CHECKLIST SRPM YANG TAHAN GEMPA

*Checklist* ini harus dilakukan pada tiap struktur SRPM yang akan dibangun dan yang berlokasi di daerah gempa beresiko menengah dan/atau resiko tinggi. Patut dicatat, perencana yang menyatakan struktur telah didesain sesuai persyaratan SRPMK sesungguhnya sudah cukup memberi garansi

atas *performance* bangunan terhadap *life safety*, namun demikian instansi pemberi ijin bangunan dan pengawas pembangunan, dipandang bijaksana bersikap hati-hati sebelum ikut berpendapat bahwa semua kriteria yang menjamin struktur benar-benar tahan gempa telah dievaluasi secara seksama.

Sebagaimana diharapkan, tiap pernyataan hasil evaluasi kriteria dalam *Checklist* ini harus dilingkari tanda OK atau NG. Pernyataan yang melingkari NG berarti pendapat bahwa kriteria yang dimaksud diperkirakan belum cukup memadai atau memenuhi syarat yang tercantum dalam kolom kriteria *life safety*. Penjelasan latar belakang penetapan kriteria ini sesuai FEMA 310 dan/atau SNI 2847 dan 1726 diberikan di Butir 5. Informasi NG ini dimaksud untuk disampaikan pada perencana guna memperoleh evaluasi lebih lanjut. Ada dua kelompok *Checklist* untuk evaluasi SRPM. Yang pertama adalah *Checklist* Dasar yang terdiri dari Sistem Bangunan, Sistem Penahan Gaya Lateral, dan Hubungan Kolom-Fondasi; sedangkan yang kedua adalah *Checklist* Pelengkap yang mengevaluasi kelengkapan dan keberadaan pendetailan komponen-komponen struktur. *Checklist* Dasar harus dilengkapi sebelum melengkapi *Checklist* Pelengkap. *Checklist* Dasar dan Pelengkap yang dimaksud masing-masing diberikan dalam Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 – Checklist Dasar

SISTEM BANGUNAN			
Check list #	Kriteria Keamanan Jiwa ( <i>Life Safety</i> )	Hasil Evaluasi	
1	<b>ALUR BEBAN:</b> Struktur harus mempunyai sebuah alur beban untuk pengaruh gaya gempa dari segala arah horisontal yang berfungsi untuk menyalurkan gaya inersia dari masa bangunan ke fondasi (lihat Butir 5.1.1).	OK	NG
2	<b>BANGUNAN BERSEBELAHAN:</b> Bangunan bersebelahan tidak boleh berada di dekat bangunan yang dievaluasi dengan jarak kurang dari 4% tinggi bangunan (lihat Butir 5.1.2 dan Gambar 1).	OK	NG
3	<b>MESANIN:</b> Tingkat mesanin interior harus diperkaku ( <i>braced</i> ) dan bebas dari struktur utama, atau harus diangkur ke komponen struktur utama penahan gaya lateral (lihat Butir 5.1.3).	OK	NG
4	<b>TINGKAT LEMAH:</b> Kekuatan sistem penahan gaya lateral di semua tingkat harus tidak kurang dari 80% kekuatan di tingkat yang berdekatan di atas atau di	OK	NG

	bawahnya (lihat Butir 5.1.4).		
5	<b>TINGKAT LUNAK:</b> Kekakuan sistem penahan gaya lateral di semua tingkat harus tidak kurang dari 70% kekakuan di tingkat yang berdekatan di atas atau di bawahnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atas atau di bawahnya (lihat Butir 5.1.5 dan Gambar 2).	OK	NG
6	<b>GEOMETRI:</b> Perubahan dimensi horisontal dari sistem penahan gaya lateral tidak boleh ada yang lebih dari 30% di suatu tingkat relatif terhadap tingkat-tingkat yang berdekatan, kecuali untuk griya tawang ( <i>penthouse</i> ) satu tingkat (lihat Butir 5.1.6 dan Gambar 3).	OK	NG
7	<b>KETIDAKSINAMBUNGAN VERTIKAL:</b> Semua komponen struktur vertikal pada sistem penahan gaya lateral harus menerus ke fondasi (lihat Butir 5.1.7).	OK	NG
8	<b>MASA:</b> Perubahan masa efektif harus tidak lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat berikutnya (lihat Butir 5.1.8 dan Gambar 4).	OK	NG
9	<b>PUNTIR:</b> Jarak antara pusat masa tingkat dan pusat kekakuan tingkat harus kurang dari 20% lebar bangunan dalam kedua arah dimensi denah bangunan (lihat Butir 5.1.9).	OK	NG

SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL			
Check list #	Kriteria Keamanan Jiwa ( <i>Life Safety</i> )	Hasil Evaluasi	
10	<b>REDUNDANSI:</b> Jumlah lajur rangka momen dalam setiap arah utama harus lebih besar dari atau sama dengan 2. Jumlah bentang rangka momen dalam setiap lajur harus lebih besar dari atau sama dengan 2 (lihat Butir 5.1.10).	OK	NG
11	<b>DINDING YANG BERPENGARUH:</b> Semua dinding pengisi dalam rangka momen harus terpisah dari komponen struktur (lihat Butir 5.1.11).	OK	NG
12	<b>PEMERIKSAAN TEGANGAN GESER:</b> Tegangan geser dalam kolom beton dihitung dengan prosedur pemeriksaan cepat (FEMA 310, <i>Sect.</i> 3.5.3.2) harus kurang dari 0,69 MPa atau $0,166\sqrt{f'_c}$ (lihat Butir 5.1.12).	OK	NG
13	<b>PEMERIKSAAN TEGANGAN AKSIAL:</b> Tegangan	OK	NG

	aksial akibat beban gravitasi dalam kolom yang dikenai oleh gaya guling harus kurang dari $0,10f'_c$ . Sebagai alternatif, tegangan aksial akibat gaya guling saja dihitung dengan prosedur pemeriksaan cepat (FEMA 310, Sect. 3.5.3.6) harus kurang dari $0,30f'_c$ (lihat Butir 5.1.13).		
14	<b>RANGKA LANTAI DATAR:</b> Dalam wilayah gempa dengan resiko gempa tinggi, sistem penahan gaya lateral harus bukan merupakan rangka yang terdiri dari kolom dan lantai/pelat datar tanpa balok (lihat Butir 5.1.14).	OK	NG
15	<b>KOMPONEN STRUKTUR PRATEGANG:</b> Rangka penahan gaya lateral harus tidak melibatkan komponen struktur prategang atau pasca tarik (lihat Butir 5.1.15).	OK	NG
<b>HUBUNGAN KOLOM-FONDASI</b>			
<b>Check list #</b>	<b>Kriteria Keamanan Jiwa (Life Safety)</b>	<b>Hasil Evaluasi</b>	
16	<b>PENGANGKURAN KOLOM BETON:</b> Semua tulangan kolom beton harus dilengkapi panjang penyaluran ( $\ell_d$ ) ke dalam fondasi dan $\ell_d$ tersebut harus dapat mengembangkan kapasitas tarik kolom (lihat Butir 5.1.16 dan Gambar 10).	OK	NG

Tabel 2 – Checklist Pelengkap

<b>SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL</b>			
<b>Check list #</b>	<b>Kriteria Keamanan Jiwa (Life Safety)</b>	<b>Hasil Evaluasi</b>	
17	<b>KOLOM PENDEK TERKEKANG:</b> Rasio tinggi/dalam ( $h_e/d$ ) kolom di suatu tingkat harus tidak kurang dari 50% rasio tinggi/dalam ( $h_e/d$ ) nominal kolom tipikal di tingkat tersebut (lihat Butir 5.2.1).	OK	NG
18	<b>TIDAK ADA KEGAGALAN GESER:</b> Kuat geser komponen struktur rangka harus dapat mengembangkan kuat lebih momen di ujung atas dan bawah kolom, tampak tulangan transversal yang rapat di bagian tersebut (lihat Butir 5.2.2).	OK	NG
19	<b>KOLOM KUAT/BALOK LEMAH:</b> Jumlah kuat nominal momen kolom yang terkecil harus 20%	OK	NG

	lebih besar dari jumlah kuat nominal momen balok di muka hubungan balok-kolom rangka (lihat Butir 5.2.3 dan Gambar 6).		
20	<b>TULANGAN BALOK:</b> Paling sedikit dua batang tulangan atas longitudinal dan dua batang tulangan bawah longitudinal harus menerus sepanjang panjang setiap balok rangka. Paling sedikit 25% batang tulangan longitudinal di muka hubungan balok-kolom baik untuk momen positif ataupun negatif harus menerus sepanjang panjang komponen struktur (lihat Butir 5.2.4 dan Gambar 7).	OK	NG
21	<b>SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN KOLOM:</b> Semua panjang sambungan lewatan batang tulangan kolom harus lebih besar dari $50d_b$ dan harus dilingkupi oleh pengikat/sengkang tertutup dengan spasi sama dengan atau kurang dari $8d_b$ . Sambungan lewatan tulangan kolom hanya boleh ditempatkan di tengah tinggi kolom (lihat Butir 5.2.5 dan Gambar 10).	OK	NG
22	<b>LOKASI SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN BALOK:</b> Sambungan lewatan untuk penulangan longitudinal balok harus ditempatkan $\geq \ell_b/4$ dari muka hubungan balok-kolom dan tidak boleh ditempatkan di sekitar lokasi yang berpotensi terjadinya sendi plastis (lihat Butir 5.2.6 dan Gambar 10).	OK	NG
23	<b>SPASI SENGKANG/PENGIKAT KOLOM:</b> Kolom rangka harus mempunyai sengkang berkait gempa (dan pengikat silang seperlunya) dengan spasi sama dengan atau kurang dari $d/4$ sepanjang panjangnya dan sengkang tertutup dengan spasi sama dengan atau kurang dari $6d_b$ di semua lokasi yang berpotensi terjadinya sendi plastis (lihat Butir 5.2.7 serta Gambar 8 dan 10).	OK	NG
24	<b>SPASI SENGKANG BALOK:</b> Semua balok harus mempunyai sengkang dengan spasi sama dengan atau kurang dari $d/2$ sepanjang panjangnya. Di lokasi yang berpotensi terjadinya sendi plastis sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom, dan sisanya harus dipasang dengan spasi sama dengan atau kurang dari minimum sebesar $8d_b$ atau $d/4$ (lihat Butir 5.2.8 serta Gambar 9 dan 10).	OK	NG
25	<b>PENULANGAN HUBUNGAN BALOK-KOLOM:</b>	OK	NG

	Hubungan balok-kolom harus mempunyai sengkang/pengikat tertutup dengan spasi sama dengan atau kurang dari $6d_b$ (lihat Butir 5.2.9 dan Gambar 10).		
26	<b>EKSENTRISITAS HUBUNGAN BALOK-KOLOM:</b> Eksentrisitas tidak boleh lebih besar dari 20% dimensi penampang kolom yang terkecil antara garis pusat balok dan kolom (lihat Butir 5.2.10).	OK	NG
27	<b>SENGKANG DAN PENGIKAT:</b> Sengkang/pengikat yang dipasang di lokasi sendi plastis balok dan kolom harus berupa sengkang/pengikat tertutup dengan kait gempa. Sengkang balok dan pengikat kolom tersebut harus diangkur ke dalam inti komponen struktur dengan kait sebesar $135^\circ$ atau lebih. Pengikat silang yang dipasang berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya (lihat Butir 5.2.11 serta Gambar 8 dan 9).	OK	NG
28	<b>KOMPATIBILITAS SIMPANGAN:</b> Komponen struktur yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya lateral tetap harus mampu menahan beban gravitasi dan daktail terhadap simpangan sistem penahan gaya lateral akibat gempa (lihat Butir 5.2.12).	OK	NG
29	<b>MUTU TULANGAN MEMANJANG:</b> Mutu tulangan 300 MPa dan 400 MPa boleh digunakan dalam komponen struktur sistem penahan gaya lateral bila (a) Kuat leleh pengujian pabrik tidak melampaui $f_y$ yang ditetapkan ( <i>specified</i> ) lebih dari 120 MPa, (b) Rasio kuat tarik aktual terhadap kuat leleh aktual $\geq 1,25$ (lihat Butir 5.2.13).	OK	NG
<b>HUBUNGAN PANCANG-POER</b>			
<b>Check list #</b>	<b>Kriteria Keamanan Jiwa (<i>Life Safety</i>)</b>	<b>Hasil Evaluasi</b>	
30	<b>BEBAN LATERAL DI POER:</b> <i>Poer</i> harus mempunyai tulangan atas, ujung pancang harus diberi cukup pengekangan, kemudian tulangan pancang harus diangkur ke dalam <i>poer</i> , sehingga mampu mencapai tegangan tarik lelehnya oleh gaya lateral/gempa siklik (lihat Butir 5.2.14 dan Gambar 10).	OK	NG

## 5. PENJELASAN KRITERIA SRPM YANG TAHAN GEMPA

Dari evaluasi *Checklist* di atas, informasi NG harus disampaikan kepada perencana struktur untuk memperoleh perhatian/evaluasi lebih lanjut. Adapun penjelasan singkat kriteria setiap butir dalam *Checklist* di atas sesuai FEMA 410 Chapter 4 diuraikan dalam butir-butir berikut ini.

### 5.1 Penjelasan *Checklist* Dasar

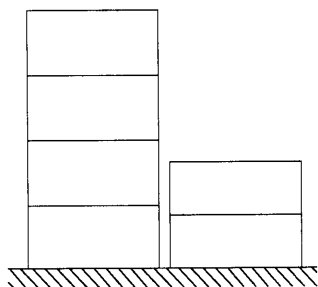
Penjelasan *Checklist* Kriteria Dasar yang terdiri dari 9 butir untuk Sistem Bangunan (Butir 5.1.1 sampai 5.1.9), 6 butir untuk Sistem Penahan Beban Lateral (Butir 5.1.10 sampai 5.1.15), dan 1 butir untuk Hubungan Kolom-Fondasi (Butir 5.1.16) diberikan dalam sub-sub butir berikut ini.

#### 5.1.1 Penjelasan *Checklist* #1: Alur Beban

Alur beban yang umum adalah sebagai berikut: gaya gempa yang menyeluruh pada bangunan diteruskan melalui sambungan-sambungan struktur ke diafragma horisontal; diafragma mendistribusikan gaya-gaya ini ke elemen-elemen penahan gaya lateral vertikal seperti dinding geser dan rangkai, elemen-elemen vertikal mentransfer gaya-gaya ke dalam fondasi; dan fondasi mentransfer gaya-gaya ke dalam tanah yang mendukungnya. Jika terdapat ketidaksinambungan dalam alur beban, bangunan tersebut tidak mampu untuk menahan gaya-gaya gempa tanpa memperdulikan kuat elemen-elemen yang ada. Perencana harus waspada terhadap adanya jeda dalam alur beban. Alur beban yang lengkap merupakan sebuah persyaratan dasar untuk semua bangunan. Identifikasi alur beban yang lengkap merupakan langkah pertama yang diperlukan.

#### 5.1.2 Penjelasan *Checklist* #2: Bangunan Bersebelahan

Petentuan ini juga tercantum di SNI 1726 Pasal 8.2.3. Bangunan seringkali dibangun sampai dengan garis batas lahan untuk memperoleh luas denah yang maksimum, dan umumnya bangunan dirancang seakan-akan bangunan yang bersebelahan tidak pernah ada. Sebagai akibatnya, bangunan-bangunan tersebut akan bertabrakan satu sama lain, atau berbenturan, pada saat terjadi gempa. Benturan bangunan dapat merubah respons dinamis kedua bangunan tersebut, dan memberikan beban tambahan inersia pada kedua struktur. Bila bangunan mempunyai tinggi yang berbeda, bangunan yang lebih rendah dapat bertindak sebagai penyangga bagi bangunan yang lebih tinggi. Bangunan yang lebih rendah menerima beban yang tak terduga sementara bangunan yang lebih tinggi menderita dari ketidaksinambungan kekakuan yang besar yang merubah respons dinamisnya (lihat Gambar 1). Karena kedua bangunan dirancang untuk kondisi ini, maka ada potensi terjadinya kerusakan yang parah, atau bahkan keruntuhan.



Gambar 1 – Bangunan dengan Tinggi Berbeda

#### 5.1.3. Penjelasan Checklist #3: Mesanin

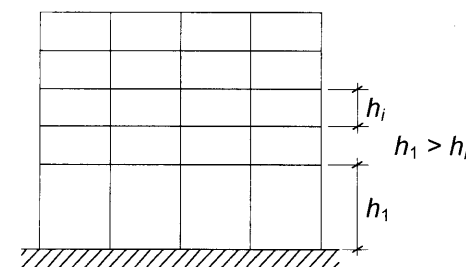
Mesanin pada umumnya mempunyai kelemahan tidak sebagai suatu sistem penahan gaya lateral. Mesanin seringkali ditambahkan oleh pemilik bangunan. Mesanin yang bergoyang (*unbraced*) berpotensi terhadap bahaya keruntuhan, dan harus diperiksa terhadap stabilitasnya sesuai SNI 2847 Pasal 23.9.

#### 5.1.4. Penjelasan Checklist #4: Tingkat Lemah

Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan gaya lateral di suatu tingkat tertentu untuk arah yang ditinjau. Jika kolom telah dikendalikan oleh lentur, kuat geser merupakan geser yang sesuai dengan kuat lenturnya. Tingkat lemah biasanya dijumpai bilamana terdapat ketidaksinambungan, atau bilamana ukuran komponen struktur atau tulangan telah direduksi. Oleh karena itu, perlu untuk menghitung kuat semua tingkat serta membandingkannya. Tingkat lemah akan mengakibatkan terjadinya konsentrasi perilaku inelastis yang dapat mengakibatkan keruntuhan sebagian atau total tingkat tersebut.

#### 5.1.5. Penjelasan Checklist #5: Tingkat Lunak

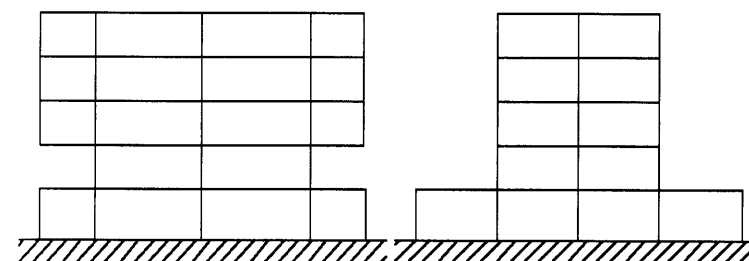
Kondisi ini biasanya terjadi pada bangunan komersial dengan bagian depan yang terbuka di depan toko lantai dasar, dan hotel atau bangunan perkantoran dengan sebagian tingkat pertama yang tinggi. Gambar 2 menunjukkan sebuah contoh tingkat tinggi di lantai dasar. Kasus seperti itu tidak selalu mengakibatkan tingkat lunak karena kolom yang tinggi tersebut mungkin telah dirancang dengan kekakuan yang sesuai, tetapi kolom-kolom tersebut mungkin merupakan tingkat lunak jika dirancang tanpa mempertimbangkan simpangan antar tingkatnya. Kondisi ini dapat berpotensi mengakibatkan terjadinya keruntuhan.



Gambar 2 – Tingkat Tinggi

#### 5.1.6. Penjelasan Checklist #6: Geometri

Ketidakteraturan geometri biasanya ditentukan dengan pemeriksaan variasi dimensi antar tingkat sistem penahan gaya lateral (lihat Gambar 3). Sebuah bangunan dengan tingkat-tingkat atas mundur dari permukaan terluar struktur merupakan contoh yang umum. Contoh lainnya adalah sebuah tingkat pada struktur tingkat tinggi yang mundur ke dalam karena alasan arsitektural. Harus dicatat bahwa kekuatiran akan ketidakteraturan adalah dalam hal dimensi sistem penahan gaya lateral yang menyebabkan konsentrasi pembebanan yang tidak dirancang pada komponen struktur tertentu.



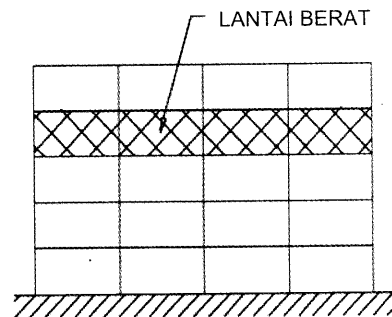
Gambar 3 – Ketidakteraturan Geometri

#### 5.1.7. Penjelasan Checklist #7: Ketidaksinambungan Vertikal

Ketidaksinambungan vertikal biasanya ditentukan dengan pemeriksaan secara visual. Contoh yang paling umum adalah ketidaksinambungan dinding geser atau rangka tak bergoyang (*braced*). Elemennya tidak menerus ke dalam fondasi tetapi berhenti di tingkat atasnya. Geser di tingkat ini ditransfer melalui diafragma ke kolom-kolom di bawahnya. Kekuatiran adalah dalam hal dinding atau rangka tak bergoyang (*braced*) yang mungkin mempunyai kapasitas geser yang dapat melampaui kapasitas kolom-kolomnya.

### 5.1.8. Penjelasan Checklist #8: Masa

Ketidakteraturan masa dapat ditentukan dengan perbandingan berat antar tingkat (lihat Gambar 4). Masa efektif terdiri dari beban mati tributari struktur pada tiap tingkat, ditambah berat aktual partisi dan peralatan permanen di setiap lantai. Bangunan dirancang secara tipikal untuk pengaruh ragam pertama. Validitas pendekatan ini tergantung pada distribusi vertikal masa dan kekakuan bangunan. Ketidakteraturan masa mempengaruhi respons dinamis struktur, dan dapat membawa pada pengaruh-pengaruh ragam lebih tinggi yang tidak terduga.



**Gambar 4 – Lantai Berat**

### 5.1.9. Penjelasan Checklist #9: Puntir

Bilamana terdapat puntir yang signifikan dalam bangunan, dikuatirkan terjadi tambahan deformasi dan simpangan lateral yang dikenakan pada elemen-elemen vertikal oleh rotasi diafragma. Bangunan dapat dirancang untuk memenuhi gaya gempa nominal termasuk puntirnya, tetapi bangunan dengan puntir yang besar bisa berperilaku kurang baik bila terkena gempa. Hal yang terbaik adalah membuat sistem struktur tersebut seimbang pada saat perancangan, daripada memperhitungkan puntir tersebut di dalam perancangan struktur.

### 5.1.10. Penjelasan Checklist #10: Redundansi

Redundansi merupakan karakteristik dasar sistem penahan gaya lateral dengan kinerja gempa yang baik. Redundansi struktur akan memastikan jika sebuah elemen sistem penahan gaya lateral mengalami kegagalan, maka terdapat elemen-elemen lain yang bisa menyediakan ketahanan gaya lateral. Redundansi juga menyediakan banyak lokasi yang berpotensi untuk terjadinya pelelehan, mendistribusikan perilaku inelastis ke seluruh struktur dan memperbaiki daktilitas serta disipasi energinya. Bilamana redundansi tidak ada pada struktur, analisis yang menunjukkan kecukupan elemen-elemen gaya lateral diperlukan.

### 5.1.11. Penjelasan Checklist #11: Dinding yang Berpengaruh

Bila dinding pengisi mempengaruhi rangka momen, dinding tersebut menjadi bagian yang tidak dikehendaki dari sistem penahan gaya lateral. Secara tipikal, dinding ini tidak dirancang dan didetail untuk berpartisipasi dalam sistem penahan gaya lateral dan mungkin akan mengalami kerusakan yang berat. Dinding yang berpengaruh harus diperiksa terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh rangka, terutama bila kerusakan pada dinding ini dapat membawa pada bahaya keruntuhan. Rangka tersebut harus diperiksa terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh kontak dengan dinding, terutama jika tinggi dinding tersebut tidak penuh, atau tidak pada bentang penuh.

### 5.1.12. Penjelasan Checklist #12: Pemeriksaan Tegangan Geser

Pemeriksaan tegangan geser memberikan penaksiran cepat tingkat kebutuhan keseluruhan struktur. Kekuatiran adalah pada kekuatan bangunan keseluruhan. Tegangan geser ini dihitung dengan Pers. (3-10) FEMA 310 berikut ini:

$$V_{avg} = \frac{1}{m} \left( \frac{n_c}{n_c - n_f} \right) \frac{V_j}{A_c} \quad (1)$$

dimana:

- $n_c$  = jumlah kolom total;
- $n_f$  = jumlah rangka total dalam arah pembebanan;
- $A_c$  = penjumlahan luas penampang semua kolom di suatu tingkat yang ditinjau;
- $V_j$  = gaya geser tingkat;
- $m$  = faktor modifikasi komponen struktur, diambil sama dengan 2,0 untuk Keamanan Jiwa (*Life Safety*).

### 5.1.13. Penjelasan Checklist #13: Pemeriksaan Tegangan Aksial

Kolom-kolom yang menahan jumlah beban gravitasi yang besar dapat mempunyai kapasitas tambahan yang terbatas untuk menahan gaya gempa. Bila gaya aksial akibat momen guling gempa ditambahkan, kolom-kolom tersebut dapat hancur secara tidak daktail akibat tekan aksial yang berlebihan. Tegangan aksial dihitung dengan Pers. (3-14) FEMA 310 berikut ini:

$$p_{ot} = \frac{1}{m} \left( \frac{2}{3} \right) \left( \frac{Vh_n}{Ln_f} \right) \quad (2)$$

dimana:

- $m$  = faktor modifikasi komponen struktur, diambil sama dengan 2,0 untuk Keamanan Jiwa (*Life Safety*);
- $V$  = gaya gempa dasar;

$h_n$  = tinggi dari dasar sampai atap bangunan;  
 $L$  = panjang rangka total;  
 $n_f$  = jumlah rangka total dalam arah pembebanan.

#### 5.1.14. Penjelasan Checklist #14: Rangka Lantai Datar

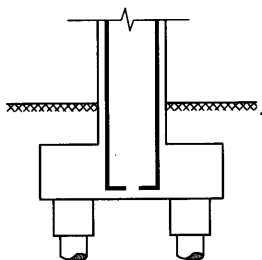
Kekuatan terletak pada kemampuan transfer gaya geser dan lentur dari pelat ke kolom, yang dapat terjadi kegagalan berupa geser pons dan keruntuhan parsial. Kegagalan getas ini merusak ketahanan sistem penahan gaya lateral. Di daerah gempa resiko menengah maupun untuk sistem bukan penahan gaya lateral sebaiknya tulangan tepi bawah pelat/lantai datar (tanpa balok) ini diteruskan melewati hubungan pelat/lantai-kolom untuk mencegah keruntuhan getas struktur.

#### 5.1.15. Penjelasan Checklist #15: Komponen Struktur Prategang

Kekuatan terletak pada kemampuan daktilitas baik komponen struktur prategang maupun pasca-tarik. SNI 2847 tidak mengatur ini.

#### 5.1.16. Penjelasan Checklist #16: Pengangkuran Kolom Beton

Kolom beton yang merupakan bagian sistem penahan gaya lateral harus dihubungkan untuk mentransfer gaya angkat dan gaya geser ke fondasi (lihat Gambar 5). Ketidakberadaan hubungan yang kuat antara kolom dan fondasi dapat mengakibatkan kolom terangkat atau tergeser dari pendukung tumpuannya yang akan membatasi kemampuan kolom tersebut dalam mendukung beban vertikal atau menahan gaya lateral.



**Gambar 5 – Kolom Dipasak Ke Dalam Fondasi**

### 5.2. Penjelasan Checklist Pelengkap

Penjelasan *Checklist* Pelengkap yang terdiri dari 13 butir untuk Sistem Penahan Gaya Lateral (Butir 5.2.1 sampai 5.2.12), dan 1 butir untuk Hubungan Pancang-*Poer* (Butir 5.2.13) diberikan sesuai FEMA 310 dan/atau SNI 2847 dan 1726 dalam sub-sub butir berikut ini.

#### 5.2.1. Penjelasan Checklist #17: Kolom Pendek Terkekang

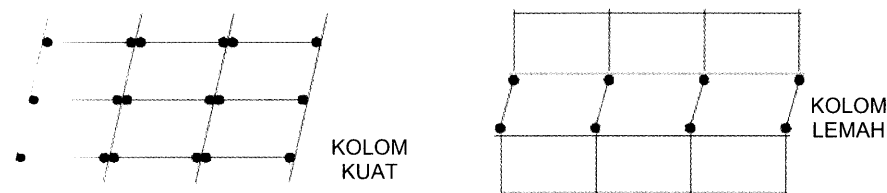
Panjang kolom nominal yang direncanakan dalam kenyataan menjadi lebih pendek antara lain oleh pasangan tembok, sehingga kekakuannya relatif menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan kolom-kolom lain di tingkat tersebut. Akibatnya, akan menyerap gaya gempa yang lebih tinggi yang dapat menderita kegagalan geser yang bersifat tidak daktil dan keruntuhan parsial struktur tersebut.

#### 5.2.2. Penjelasan Checklist #18: Tidak Ada Kegagalan Geser

Ketentuan ini ditetapkan juga oleh SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.5 dan Ref. [6]. Bila kegagalan oleh kapasitas geser tercapai lebih dahulu sebelum terjadinya kegagalan lentur, maka kolom sistem penahan gaya lateral berpotensi mengalami kegagalan mendadak yang menjurus pada keruntuhan struktur. Kuat geser yang lebih besar dari kuat lentur dicapai dengan merancang kuat perlu berdasarkan pada kuat lentur maksimum, yaitu  $M_{pr} = M_p$  dari kedua ujung kolom.

#### 5.2.3. Penjelasan Checklist #19: Kolom Kuat/Balok Lemah

Ketentuan ini ada di SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.2.2. Bila kolom tidak cukup kuat untuk membuat balok-balok terbentuk sendi plastis lebih dahulu (lihat Gambar 6), dikuatirkan sendi plastis pada kolom akan menjurus pada *story mechanisms* dan terjadi konsentrasi perubahan bentuk inelastis di suatu tingkat. Hal ini akan mengakibatkan ketidakstabilan sistem penahan gaya lateral karena pengaruh  $P-\Delta$  yang besar.



**Gambar 6 – Pembentukan Sendi Plastis**

#### 5.2.4. Penjelasan Checklist #20: Tulangan Balok

Ketentuan dua tulangan menerus adalah sesuai SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2.2.5 untuk memudahkan pelaksanaan juga untuk tindakan pencegahan keruntuhan total. Bila terjadi kegagalan balok, tulangan yang menerus itu akan mencegah keruntuhan total lantai yang didukungnya, dan menahan balok tetap di tempat. Sedangkan syarat seperempat tulangan menerus digunakan untuk menampung pengaruh pergeseran titik belok oleh gaya gempa.



5.2.5. Penjelasan Checklist #21: Sambungan Lewatan Tulangan Kolom

Ketentuan mengenai lokasi dan panjang sambungan lewatan kolom ini diatur dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.3.2. Harus diingat, bila sambungan lewatan diletakkan di kolom persis setingkat dengan lantai, maka berarti akan berada di lokasi sendi plastis. Hal ini akan sama dengan perilaku sambungan lewatan yang pendek yang akan mendadak kehilangan lekatan antara tulangan dan beton. Sengkang dengan spasi lebar akan menyebabkan pengelupasan selimut beton dan kehilangan lekatannya. Kegagalan pada sambungan bersifat mendadak dan tidak daktil.

5.2.6. Penjelasan Checklist #22: Lokasi Sambungan Lewatan Tulangan Balok

Ketentuan ini diatur dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2.3. Sambungan lewatan yang diletakkan di ujung balok dan di dekat tempat-tempat yang potensial terbentuk sendi plastis, kemungkinan besar tidak dapat mengembangkan kapasitas lentur karena lekatan antara tulangan dan beton rusak oleh degradasi beton akibat beban siklik gempa. Sepanjang sambungan lewatan yang sudah dipasang jauh dari sendi plastis perlu diikat oleh sengkang tertutup dengan spasi kurang atau sama dengan  $d/4$  atau 100 mm.

5.2.7. Penjelasan Checklist #23: Spasi Sengkang/Pengikat Kolom

Spasi sengkang/pengikat kolom, termasuk pengikat silang, apabila terpasang dengan spasi besar akan membahayakan daktilitas kolom, dan akan tidak dapat mempertahankan kuat lenturnya sewaktu terkena gaya gempa siklik. Selain tulangan longitudinal bisa menekuk, spasi besar ini dapat menimbulkan kegagalan geser yang membawa pada keruntuhan bangunan secara mendadak. Karena itu konfigurasi dan spasi sengkang/pengikat ditetapkan secara ketat dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.4.2 dan 23.4.4.3.

5.2.8. Penjelasan Checklist #24: Spasi Sengkang Balok

Ketentuan mengenai spasi sengkang pada balok ini juga sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3.2 dan 23.3.3.4. Seperti dalam *Checklist #23*, spasi sengkang tertutup itu mempunyai tiga fungsi penting atas daya tahan balok, yaitu daktilitas beton, pencegah tekuk tulangan tekan, dan pencegah kegagalan geser yang mendadak.

5.2.9. Penjelasan Checklist #25: Penulangan Hubungan Balok-Kolom (HBK)

Penulangan HBK ditentukan dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.5.2.2. HBK tanpa tulangan geser tidak akan mampu mengembangkan kekuatan dari

komponen-komponen struktur yang disatukan, yang dapat menjurus pada kegagalan *non-ductile* dari HBK. Khusus kolom tepi sangat mudah rusak karena balok pengekangnya tidak ada di keempat sisinya.

5.2.10. Penjelasan Checklist #26: Eksentrisitas Hubungan Balok-Kolom (HBK)

Eksentrisitas HBK dapat mengakibatkan kebutuhan puntir yang besar di daerah hubungan tersebut, yang akan mengakibatkan tegangan geser yang lebih tinggi.

5.2.11. Penjelasan Checklist #27: Sengkang dan Pengikat

Persyaratan mengenai sengkang dan pengikat di lokasi sendi plastis ditentukan dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3 dan 23.4.4. Sengkang dan pengikat yang dipasang di lokasi sendi plastis balok dan kolom harus berupa sengkang tertutup dengan kait gempa. Pengikat silang yang dipasang berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk dan ujungnya.

5.2.12. Penjelasan Checklist #28: Kompatibilitas Simpangan

Komponen struktur, khususnya kolom, yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya lateral akan ikut menyimpang bersama sistem penahan gaya lateral yang mengalami simpangan oleh gaya gempa. Kolom-kolom ini yang cukup kaku untuk menahan beban gravitasi yang besar, akan terkena tambahan momen lentur yang signifikan akibat simpangan tersebut. SNI 03-2847-2002 Pasal 23.9.1 memberikan pedoman pengamanan pada kolom ini. Salah satu ciri kolom bukan bagian dari sistem penahan gaya lateral yang telah diamankan adalah terlihat kolom tersebut telah diberi pendetailan seperti kolom sistem penahan gaya lateral atau SRPMK.

5.2.13. Penjelasan Checklist #29: Mutu Tulangan Memanjang

Pembatasan nilai  $f_y$  aktual adalah untuk menghindari kegagalan oleh geser sebelum kuat lentur leleh terjadi. Sedangkan syarat (b) ingin menjamin kemampuan daktilitas komponen struktur.

5.2.14. Penjelasan Checklist #30: Beban Lateral di *Poer*

SNI 03-2847-2002 Pasal S23.8.4.4 menjelaskan bahwa sewaktu terjadi gempa, pancang dapat terkena lenturan yang tinggi di titik-titik diskontinu, terutama tepat di bawah *poer* dan dekat dasar timbunan tanah lunak atau lepas. Ketentuan tata cara ini mensyaratkan pemakaian tulangan pengekang di bagian atas pancang didasarkan pada kegagalan yang teramati di lokasi ini di gempa-gempa yang terjadi baru-baru ini. Tulangan pengekang itu akan menjamin kinerja hubungan *poer* dan pancang yang daktil.



## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. *Checklist* yang dikembangkan oleh FEMA 310 dan 356 yang dimodifikasi dapat digunakan sebagai usaha preventif untuk mengurangi kemungkinan pembangunan struktur beton bertulang (khususnya SRPM) yang kurang tahan terhadap gempa.
2. *Checklist* tersebut harus dievaluasi oleh perencana/pengawas/pelaksana konstruksi, untuk menjawab apakah struktur beton bertulang yang akan/sedang dibangun sudah sesuai tata cara SNI yang terbaru.
3. Apabila semua butir *Checklist* didapati OK, maka struktur SRPM tersebut memenuhi kriteria sebagai SRPMK atau SRPMM yang tahan terhadap gempa.
4. Apabila tanda NG didapati, maka tahap selanjutnya wajib dilakukan dan informasi tersebut harus diteruskan kepada perencana struktur untuk melakukan klarifikasi atau evaluasi ulang.
5. Kegiatan preventif tersebut sangat diharapkan untuk segera dilakukan agar dapat memasyarakat, sehingga cita-cita HAKI di atas bisa terwujud.
6. Diyakini *Checklist* ini mungkin tidak tertutup dari kekurangan-kekurangan, karena itu terbuka masukan untuk hasil yang lebih baik.

### 6.2. Saran

Penulis berpendapat bila cara *Checklist* serupa di atas diyakini efektif sebagai salah satu usaha untuk mencegah bahaya yang tidak diinginkan pada tiap terjadi gempa bumi, disarankan dikembangkan pula *Checklist* kriteria kinerja dari:

1. Sistem Struktur Beton yang lain.
2. Berbagai macam Komponen Nonstruktural (arsitektural, elektrik, dan mekanikal).
3. dan lain-lain.

## 7. REFERENSI

1. HAKI, "Newsletter," Vol. 12, Januari 2007, 4 hal.

2. FEMA 310, "Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings—A Prestandard," disiapkan oleh *American Society of Civil Engineers* untuk *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D. C., 1998.
3. FEMA 356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," disiapkan oleh *American Society of Civil Engineers* untuk *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D. C., 2000.
4. Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)," *Badan Standarisasi Nasional*, Puslitbang Pemukiman, Bandung, 2002, 85 hal.
5. Purwono, R.; Tavio; Imran, I.; dan Raka, I G. P., "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)," *ITS Press*, Surabaya, 2007, 408 hal.
6. Purwono, R., "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa – Sesuai SNI-1726 dan SNI-2847 Terbaru," Edisi Kedua, *ITS Press*, Surabaya, 2006, 274 hal.

# RINGKASAN EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA

## EVALUASI CEPAT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN TAHAN GEMPA

*Rachmat Purwono  
T a v i o*

Slide No. 1

### *Manfaat dan Tujuan*

#### Membantu Program HAKI 2007:

Memasyarakatkan ciri-ciri bangunan tahan gempa sebagai usaha preventip mengurangi keruntuhan bangunan akibat gempa

Cara: Tersedia Checklist ciri-ciri tersebut

Slide No. 2

## ***Kriteria SRPM Tahan Gempa RT & RM***

### Agar SRPM:

- Aman Terhadap Jiwa
- Dapat langsung dihuni kembali setelah terkena gempa

Note: SRPMK adalah struktur yang kena beban gempa nominal dengan  $R = 8,5$

Slide No. 3

## ***Checklist Kriteria SRPMK***

### Tabel 1:

- Memuat 16 kriteria mendasar untuk SB, SPBL, dan Hubungan Kolom-Fondasi

### Tabel 2:

- Memuat 14 kriteria pendetailan pembentuk kemampuan disipasi energi

Catatan:

SB = Sistem Bangunan

SPBL = Sistem Pemikul Beban Lateral

Slide No. 4

## ***Makna Evaluasi***

- Evaluasi kriteria dilakukan pada gambar/pelaksanaan struktur
  - Ada dua pilihan:
  - OK = Sesuai Kriteria**
  - NG = Perlu atensi/penjelasan perencana**

Slide No. 5

## ***Siapa Yang Mengisi Checklist***

***Evaluasi dilakukan oleh Masyarakat Industri Konstruksi BB:***

1. Perencana Struktur
2. Petugas IMB
3. Pengawas
4. Pelaksana
5. dll yang berminat

***pada saat pelaksanaan bangunan***

Slide No. 6

## ***Prinsip Dasar Kriteria SRPMK***

1. Sedapatnya jaga keteraturan struktur
2. Pastikan struktur kuat oleh gempa nominal dan kekar (daktail) oleh gempa rencana
3. Lateral displacement terkendali
4. HBK terjamin kekar

Slide No. 7

## ***Prinsip Dasar Kriteria SRPMK***

5. Semua ujung balok/kolom bebas dari brittle failure & kekar
6. Terjamin strong column-weak beam
7. Cegah terjadi weak & soft stories
8. Cegah accidental "kolom pendek"

Slide No. 8

# Checklist #1-ALUR BEBAN

## Kriteria:

Alur beban gempa ke fondasi  
ada/terjamin

## Penjelasan:

Ada diafragma, balok, kolom, HBK  
penyalur beban gempa yang cukup  
kuat & kekar

OK NG

Slide No. 9

# Checklist #2-JARAK BANGUNAN

## Kriteria:

Jarak bebas bangunan  $\geq 4\%$  tinggi  
bangunan (lihat Gambar 1)

## Penjelasan:

Agar tidak bertabrakan (SNI 03-2847-  
2002 Psl. 8.2.3)

OK NG

Catatan:

Psl. = Pasal dari SNI 03-2847-2002

Slide No. 10

# Checklist #3-MESANIN

## Kriteria:

Mesanin interior harus bebas tapi di-  
braced atau diangkur ke SPBL

## Penjelasan:

Aman terhadap lateral displacement  
oleh gempa (Psl. 23.9)

OK NG

Slide No. 11

# Checklist #4- PERBEDAAN KEKUATAN SPBL

## Kriteria:

Kuat total SPBL suatu tingkat tidak  $< 80\%$   
kuat tingkat lain (weak story)

## Penjelasan:

Bahaya terjadi shear failure  
Perlu verifikasi oleh Analisis Respon  
Dinamis (ARD) (Ps. 7.1)

OK NG

Catatan:

Ps. = Pasal dari SNI 03-1726-2002

Slide No. 12

**Checklist #5-****PERBEDAAN KEKAKUAN****Kriteria:**

Kekakuan kolom SPBL suatu tingkat tidak  
 $< 70\%$  kekakuan tingkat yang  
 berdekatan (soft story) (lihat Gambar 2)

**Penjelasan:**

OK NG

Bahaya terjadi story drift ratio besar  
 Perlu verifikasi oleh ARD (Ps. 7.1)

Slide No. 13

**Checklist #6-****PERUBAHAN DIMENSI****Kriteria:**

Perubahan dimensi horisontal SPBL antar  
 tingkat tidak  $> 30\%$  (lihat Gambar 3)

**Penjelasan:**

OK NG

Terjadi perilaku deformasi tak  
 terduga  
 Perlu verifikasi oleh ARD (Ps. 7.1)

Slide No. 14

**Checklist #7-****KESINAMBUNGAN VERTIKAL****Kriteria:**

Tidak boleh ada komponen vertikal  
 SPBL yang diskontinu

**Penjelasan:**

OK NG

Contoh: DS tidak menerus ke fondasi,  
 tapi diteruskan melalui kolom

Perlu detailing (Psl. 23.4.4.5)

Slide No. 15

**Checklist #8-PERBEDAAN MASA****Kriteria:**

Beda berat masa suatu tingkat  $> 50\%$   
 masa tingkat lain (lihat Gambar 4)

**Penjelasan:**

OK NG

Terjadi perilaku deformasi tak  
 terduga  
 Perlu verifikasi oleh ARD (Ps. 7.1)

Slide No. 16

## Checklist #9-PUNTIR

### Kriteria:

Jarak pusat masa & pusat kekakuan tingkat tidak  $> 20\%$  lebar bangunan

### Penjelasan:

OK NG

Terjadi tambahan deformasi tak diinginkan  
Sebaiknya buat seimbang saat perancangan

Slide No. 17

## Checklist #10-REDUNDANSI

### Kriteria:

SRPM harus  $\geq 2$  bentang

OK NG

### Penjelasan:

Redundansi struktur SPBL memberi kinerja lebih baik akibat gempa

Slide No. 18

## Checklist #11-DINDING

### Kriteria:

Semua dinding pengisi harus terpisah dari komponen struktur SPBL

OK NG

### Penjelasan:

Menjamin perilaku SPBL yang direncanakan

Slide No. 19

## Checklist #12-BATAS TEGANGAN GESER

### Kriteria:

Tegangan rata-rata geser beton di kolom jangan melebihi 0,69 MPa

### Penjelasan:

OK NG

Dikuatirkan sengkang tak mencapai  $f_y$  karena inclined compression failure (Priestley Sect. 3.3.2)

Slide No. 20

**Checklist #13-  
BATAS TEGANGAN AKSIAL**

**Kriteria:**

Tegangan tekan aksial rata<sup>2</sup> akibat beban gravitasi  $\leq 0,1f'_c$  atau akibat guling saja  $< 0,3f'_c$

**Penjelasan:** OK NG

Tegangan tekan aksial besar mengurangi kemampuan daktilitas kolom (Priestley Sect. 3.6.2)

Slide No. 21

**Checklist #14-FLAT SLAB**

**Kriteria:**

Flat slab dilarang sebagai SPBL di WG 5 & 6

**Penjelasan:** OK NG

Boleh di Resiko Gempa Menengah dengan tambahan detailing (Psl. 23.10.6)

Slide No. 22

**Checklist #15-  
KOMPONEN PRATEGANG**

**Kriteria:**

Jangan pakai komponen struktur prategang&pasca prategang sbg SPBL

**Penjelasan:** OK NG

Belum diatur oleh SNI-2847, perlu pengaturan untuk sendi plastis, kehilangan prategang, dll. (mungkin memakai UBC 1997)

Slide No. 23

**Checklist #16-  
PENJANGKARAN TULANGAN**

**Kriteria:**

Semua tulangan kolom terjangkar dlm fondasi dg  $\ell_{dh}$  (pakai kait standar 90°) (lihat Gambar 10)

**Penjelasan:** OK NG

Fungsi kolom penyalur beban gempa ke fondasi perlu diamankan dengan panjang penyaluran berkait gempa (Psl. 23.8.2.1)

Slide No. 24

## Checklist #17-KOLOM PENDEK

### Kriteria:

Rasio kolom pendek terkekang  
 $h_e/d$  tidak  $< 50\% h_e/d$  nominal

### Penjelasan:

Karena terjadi kuat geser  $>$  kuat geser rencana, menyebabkan keruntuhan getas di bagian kolom pendek

OK NG

Slide No. 25

## Checklist #18-KUAT GESER

### Kriteria:

Kedua ujung kolom dan balok harus terlihat adanya  $A_v$  yang cukup untuk menjamin kegagalan lentur lebih dulu

### Penjelasan:

Untuk menghindari kegagalan getas,  $V_u$  harus dibuat lebih kuat dari yang timbul oleh  $M_{pr}$  (Psl. 23.4.5)

OK NG

Slide No. 26

## Checklist #19-STRONG COLUMN

### Kriteria:

SPBL harus menjamin strong column-weak beam (lihat Gambar 6)

### Penjelasan:

Untuk pencegah kerusakan berat (Psl. 23.3.2.2)

OK NG

Slide No. 27

## Checklist #20-TULANGAN MINIMUM BALOK

### Kriteria:

Di kedua ujung balok, tepi atas & bawah harus ada min. 2 tulangan (atau 25%) tulangan longitudinal yang menerus (lihat Gambar 7)

### Penjelasan:

Untuk tulangan praktis & pencegah kerusakan berat (Psl. 23.3.2.2)

OK NG

Slide No. 28



## Checklist #21- COLUMN BAR SPLICES

### Kriteria:

Panjang sambungan lewatan tulangan kolom  $50d_b$  dengan  $s$  sengkang  $\leq 8d_b$  & Lokasinya harus  $\pm$  tengah tinggi kolom (lihat Gambar 10)

OK NG

### Penjelasan:

Ini untuk mencegah sambungan lepas secara mendadak (Psl. 23.4.3.2)

Slide No. 29

## Checklist #22- BEAM BAR SPLICES

### Kriteria:

Sambungan lewatan tulangan balok harus jauh dari Sendi Plastis (SP),  $\geq \ell_b/4$  dari muka HBK (lihat Gambar 10)

OK NG

### Penjelasan:

Idem di kolom, tidak boleh lepas (Psl. 23.3.2.3)

Slide No. 30

## Checklist #23- PENGEKANGAN KOLOM

### Kriteria:

Semua ujung kolom harus terpasang cukup tulangan pengekak ( $A_{sh}$ ) berupa sengkang tertutup/pengikat berkait gempa dengan  $s \leq d/4, 6d_b, 100$  mm (lihat Gambar 8 & 10)

### Penjelasan:

Untuk menjamin SP tetap kuat, berperilaku daktail dan mencegah tulangan longitudinal menekuk (Psl. 23.4.4)

OK NG

Slide No. 31

## Checklist #24- PENGEKANGAN BALOK

### Kriteria:

Semua ujung balok harus terpasang sengkang tertutup dengan spasi  $s$  (selain  $A_v$ ) (lihat Gambar 9 & 10)

### Penjelasan:

Untuk menjamin inti beton utuh dan SP bersifat daktail dan mencegah tulangan longitudinal menekuk (Psl. 23.3.3)

OK NG

Slide No. 32

## Checklist #25-TULANGAN HBK

### Kriteria:

Harus terpasang sengkang tertutup/pengikat silang dgn  $s < 6d_b$  (lihat Gambar 10)

### Penjelasan:

Untuk mencegah shear failure bersifat getas, terutama pada kolom tepi (Psl. 23.5.2.2)

OK NG

Slide No. 33

## Checklist #26-EKSENTRISITAS HBK

### Kriteria:

Eksentrisitas sumbu balok-kolom  $< 20\%b$

### Penjelasan:

Agar membatasi pertambahan gaya puntir

OK NG

Slide No. 34

## Checklist #27-SENGKANG & PENGIKAT SILANG GEMPA

### Kriteria:

Sengkang & pengikat silang di ujung kolom & balok harus pakai sengkang tertutup berkait gempa & pengikat silang berkait gempa pula (lihat Gambar 8 & 9)

### Penjelasan:

Agar tulangan transversal dapat mencapai  $f_y$  (Psl. 23.3.3 dan 23.4.4)

OK NG

Slide No. 35

## Checklist #28-KOMPATIBILITAS SIMPANGAN

### Kriteria:

Kolom bukan SPBL terlihat pakai sengkang tertutup & pengikat silang dengan jarak  $s$  kecil

### Penjelasan:

Akibat  $\delta_u$  terjadi eksentrisitas tambahan, perlu detailing seperti kolom SRPMK agar tetap stabil (Psl. 23.9.1)

OK NG

Slide No. 36

## Checklist #29-MUTU TULANGAN

### Kriteria:

Mutu tulangan untuk komponen struktur SPBL adalah Grade 300 & 400 dengan 2 syarat

### Penjelasan:

OK NG

Syarat pertama: hasil uji pabrik  $f_y$  tidak > 520 MPa untuk mencegah shear & bond failures

Syarat kedua:  $\frac{f_{su\text{ aktual}}}{f_{y\text{ aktual}}} \geq 1,25$  untuk menjamin kapasitas rotasi inelastis (Psl. S11.4 & 23.2.5.1)

Slide No. 37

## Checklist #30-HUBUNGAN PANCANG-POER

### Kriteria:

- Poer harus punya tulangan atas
- Ujung pancang harus dikekang
- Tul. pancang harus diangkur ke dalam poer (lihat Gambar 10)

### Penjelasan:

OK NG

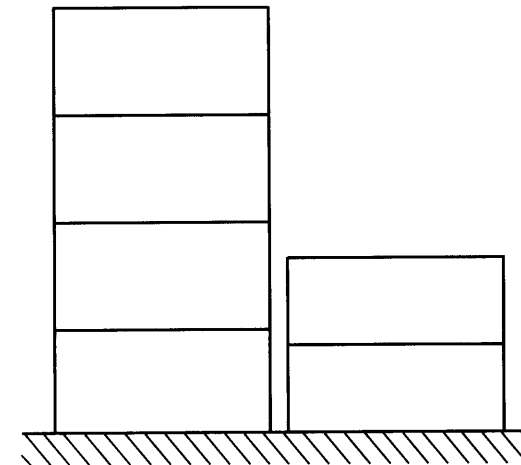
Ketentuan didasarkan kegagalan akibat gempa baru<sup>2</sup> ini. Tulangan itu untuk menjamin daktilitas hubungan pancang-pouer (Psl. S23.8.4.4)

Slide No. 38

## Kesimpulan dan Saran

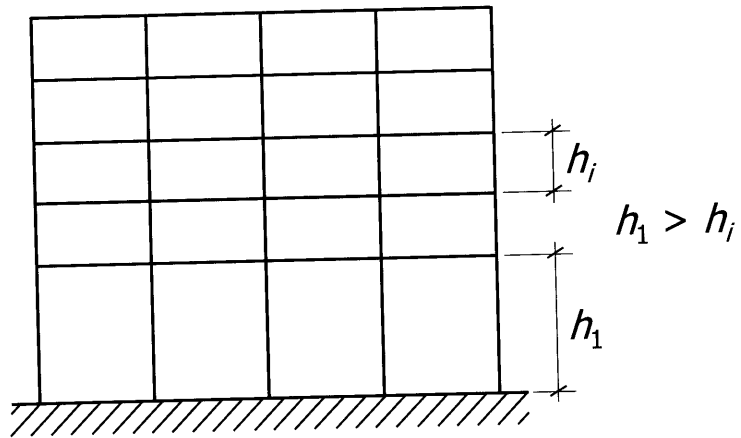
1. Checklist mudah-mudahan membuat semua masyarakat industri konstruksi mengerti akan kriteria SRPM yang tahan gempa
2. Bila bermanfaat menyarankan perlu dikembangkan pula kriteria untuk sistem struktur beton khusus yang lain
3. Juga perlu kriteria untuk komponen non-struktural (arsitektural, M&E, dll.)

Slide No. 39



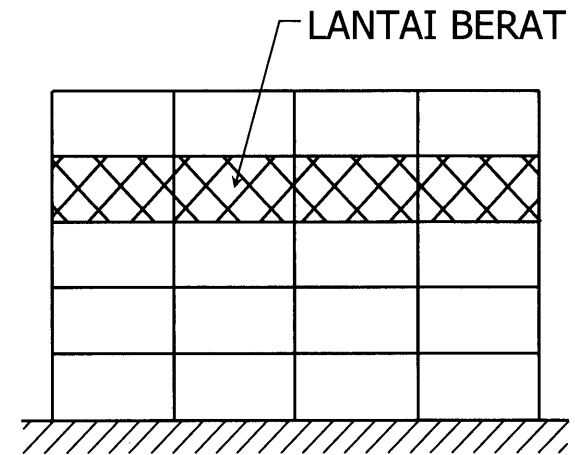
Gambar 1—Bangunan dengan Tinggi Berbeda

Slide No. 40



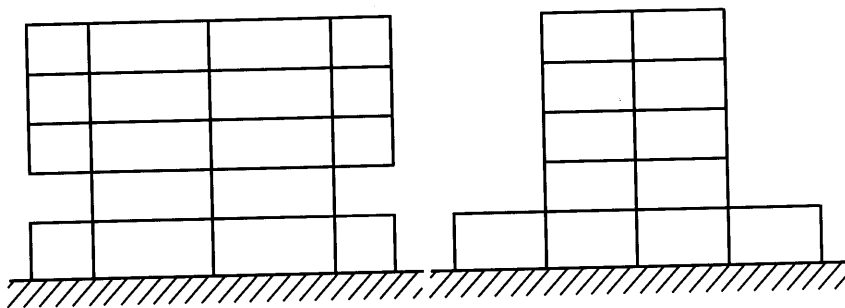
Gambar 2–Tingkat Tinggi

Slide No. 41



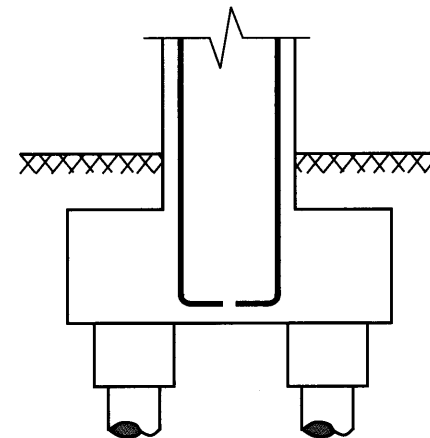
Gambar 4–Lantai Berat

Slide No. 43



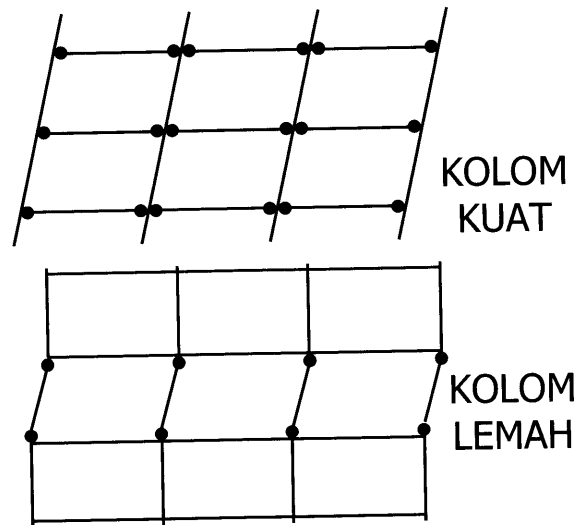
Gambar 3–Ketidakteraturan Geometri

Slide No. 42



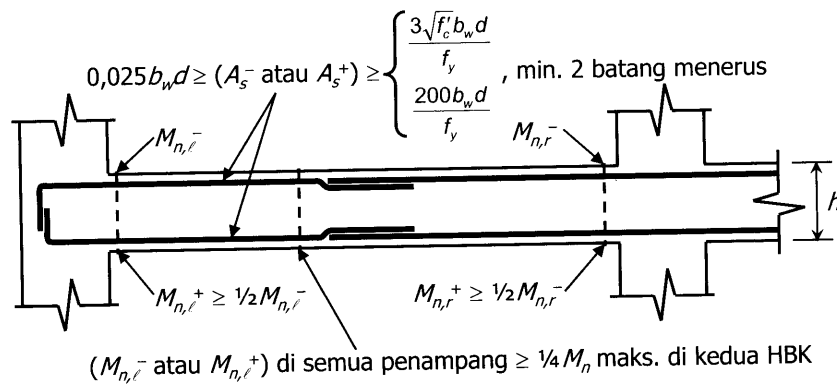
Gambar 5–Kolom Dipasak Ke Dalam Fondasi

Slide No. 44



Gambar 6—Pembentukan Sendi Plastis

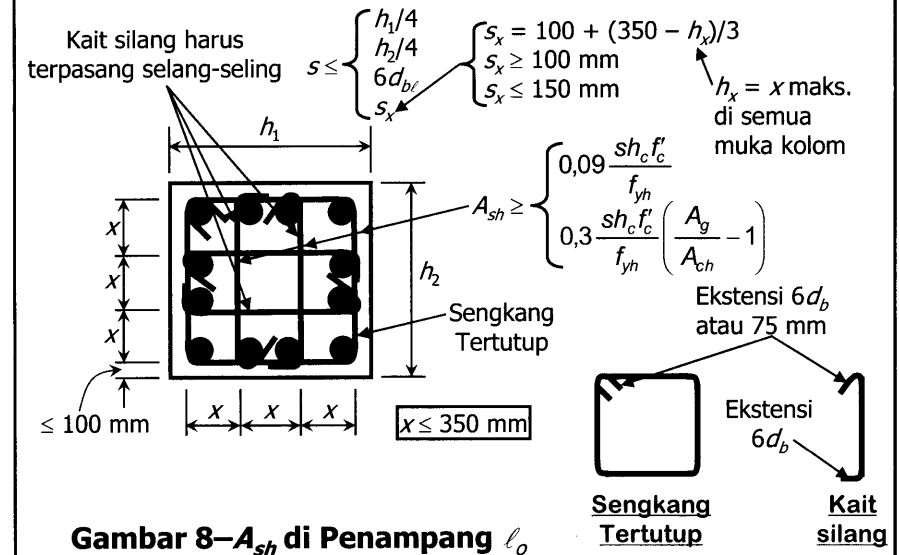
Slide No. 45



Catatan: Sengkang tidak ditunjukkan untuk kejelasan

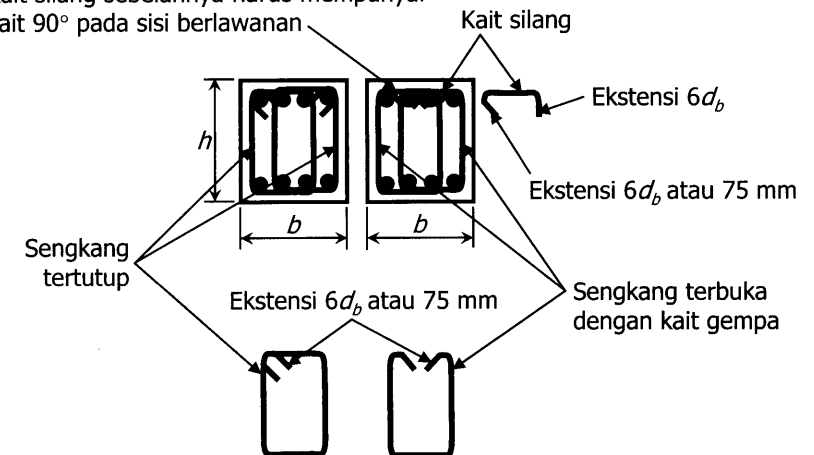
Gambar 7—Syarat Tulangan Balok SRPMK

Slide No. 46

Gambar 8— $A_{sh}$  di Penampang  $\ell_o$ 

Slide No. 47

Kait silang sebelahnya harus mempunyai kait 90° pada sisi berlawanan



Gambar 9—Penampang di Sendi Plastis Balok

Slide No. 48



# INDEKS

**Alur beban**, 4, 9, 24

-Gempa, 24

**Analisis respons dinamis (ARD)**, 25, 26, 27

**Balok**, 3, 6, 8, 15, 16, 17, 24

-Tulangan minimum, 33

-Ujung, 3, 16, 23, 32, 33

**Bangunan**

-Bersebelahan, 4, 9

-Lebar, 5, 28

**Bar splices**, 34

-Beam, 34

-Column, 34

**Batas tegangan**

-Aksial, 29

-Geser, 29

**Beban**

-Alur, 4, 9, 24

-Gempa, 1, 2, 3

-Gempa nominal, 3, 21

-Gravitasi, 6, 8, 13, 17, 30

-Lateral di *poer*, 8, 17

-Mati tributari struktur, 12

-Siklik gempa, 16

-Tak terduga, 9

-Tambahan inersia, 9

-Vertikal, 14

**Bentang**, 5, 13, 28

**Bond failure**, 38

**Braced**, 4, 11, 25

**Brittle failure**, 23

**Checklist**, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20

-Dasar, 4, 9

-Pelengkap, 4, 6, 14

**Daktail**, 3, 8, 13, 15, 16, 17, 23, 35

**Daktalitas**, 12, 14, 38

-Beton, 16

**Gambar**, 2

-Pelaksanaan bangunan, 3

-Struktur, 22

**Gaya gempa**, 4, 9, 13, 15, 17

-Dasar, 13

-Nominal, 12

-Kolom, 16, 30

-Komponen struktur, 17

**Deformasi**, 12, 26, 27, 28

**Detailing**, 27, 30

**Diafragma**, 9, 11, 12, 24

-Horisontal, 9

**Dimensi**

-Antar tingkat, 11

-Denah bangunan, 5

-Horisontal, 5

-Penampang kolom, 8

-Perubahan horisontal, 26

-Sistem penahan gaya lateral, 11

**Dinding**, 11, 13, 29

-Geser, 9, 11

-Pengisi, 5, 13, 29

-Yang berpengaruh, 5, 13

**Diskontinu**, 17, 27

**DS**, 27

**Eksentrisitas**, 8, 36

-HBK, 17, 36

-Hubungan balok-kolom, 8, 17

**Evaluasi**, 1, 2

-Cepat, 2

-Checklist, 9

-FEMA, 2

-Hasil, 4, 5, 6, 8

-Kriteria, 4

-Lebih lanjut, 4

-Makna, 22

-Manfaat, 2, 20

-SRPM, 4

-Ulang, 18

**FEMA**, 1, 2

-310, 1, 2, 4, 5, 6, 9, 13, 14, 18, 19

-356, 1, 2, 18, 19

**Flat slab**, 30

**Fondasi**, 4, 5, 6, 9, 11, 14, 24, 27, 31

-Pelaksanaan, 2

-Siklik, 16

**Gempa**, 1, 2, 8, 9, 12, 17, 18, 20, 21, 24, 25, 28

-Nominal, 12, 21, 23

-Normatif, 3

## Indeks

-Rencana, 23

-Siklik, 8

**Geometri**, 5, 11

**Guling**, 30

-Gaya, 6,

-Momen, 13

**HAkl**, 1, 2, 18, 20

**Hasil evaluasi**, 1, 4, 5, 6, 8

**HBK**, 16, 17, 23, 24, 34, 36

**Hubungan balok-kolom**, 3, 7, 8, 34, 36

-Eksentrisitas, 8, 17, 36

-Penulangan, 7, 16, 36

**Hubungan**, 14, 17

-Kolom-fondasi, 4, 6, 9, 21

-Pancang-poer, 8, 14, 17, 38

-Pelat/lantai-kolom, 14

**Inclined compression failure**, 29

**Inti**

-Beton, 35

-Komponen struktur, 8

**Jarak**, 4, 5

-Bangunan, 24

-Bebas bangunan, 24

-Pusat kekakuan tingkat, 28

-Pusat masa, 28

**Kait**, 8

-Gempa, 7, 8, 17, 31, 35, 37

-Standar, 31

-Ujung, 8, 17

**Kegagalan**, 12, 14, 15, 17

-Balok, 15

-Geser, 6, 15, 16, 17, 32, 36

-Getas, 3, 14, 32, 36

-Lentur, 15, 32

-Mendadak, 15, 16

-Non-ductile, 17

-Sambungan, 16

**Kekakuan**, 5, 9, 10, 15

-Bangunan, 12

-Kolom SPBL, 26

-Sistem penahan gaya lateral, 15, 17

-Spasi sengkang/pengikat, 7, 16

-Tepi, 17

-Tinggi, 7

-Lerkekang, 6, 15, 32

-Perbedaan, 26

-Rata-rata, 5

-Sistem penahan gaya lateral, 5

-Tingkat, 5

-Tingkat yang berdekatan, 26

**Kekar**, 23, 24

**Keruntuhan**, 2, 3, 9, 10, 13

-Bangunan, 16, 20

-Getas, 14, 32

-Parsial, 14, 15

-Struktur, 15

-Total, 15

**Keterangan**

-Sistem struktur, 3

-Struktur, 23

**Ketidaksinambungan**, 10

-Alur beban, 9

-Dinding geser, 11

-Rangka tak bergoyang (*braced*), 11

-Kekakuan, 9

-Vertikal, 5, 11, 27

**Kinerja**, 28

-Gempa, 12

-Hubungan *poer* dan pancang, 17

-Kriteria *checklist*, 18

**Kolom**, 3, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 24, 27

-Beton, 5, 6, 14

-Bukan bagian dari sistem penahan gaya lateral, 17

-Daktalitas, 16

-Dimensi penampang, 8

-Fungsi, 31

-Kegagalan getas, 3

-Kriteria *life safety*, 4

-Lokasi sendi plastis, 17

-Muka, 7

-Panjang sambungan lewatan, 16

-Pendek, 3, 15

-Rangka, 7

-Tipikal, 6

-Tulangan, 7, 16

-Ujung, 3, 6, 15, 23, 32

**Kolom kuat/balok lemah**, 3, 6, 15

**Kolom pendek**, 3, 23, 32

**Kompatibilitas simpangan**, 8, 17, 37

**komponen nonstruktural**, 18, 39

- Arsitektural, 18, 39
- Elektrikal, 18, 39
- Mekanikal, 18, 39

**komponen struktural**, 5, 11, 17

- Balok, 3
- Bukan bagian sistem penahan gaya lateral, 8

- Daktilitas, 17
- Faktor modifikasi, 13

- Inti, 8

- Kekuatan, 17

- Kolom, 3

- Panjang, 7

- Pasca prategang, 31

- Pasca tarik, 6, 14

- Pendetailan, 4

- Prategang, 6, 14, 31

- Sistem penahan gaya lateral, 8

- SPBL, 29

- Tahan gempa, 2

- Ukuran, 10

- Utama penahan gaya lateral, 4

- Vertikal, 5, 27

**Kriteria**, 1, 3, 4, 9, 18

- Checklist, 2, 3

- Dasar, 9

- Evaluasi, 22

- Hasil evaluasi, 4

- Keamanan jiwa, 4, 5, 6, 8

- Kinerja, 18

- Life safety, 4, 5, 6, 8

- Mendasar, 21

- Pendetailan pembentuk kemampuan disipasi energi, 21

- SRPM yang tahan gempa, 9

**Kuat**, 3, 4, 13, 15, 16, 24

- Antara kolom dan fondasi, 14

- Elemen, 9

- Geser, 6, 10, 15, 32

- Geser rencana, 32

**Pancang**, 17

- Tulangan, 8, 38

- Ujung, 8, 38

**Panjang penyaluran**, 6, 31**Pelaksana**, 22

- Konstruksi, 1, 18

- Lebih momen, 6

- Leleh actual, 8

- Leleh pengujian pabrik, 8

- Lentur, 3, 10, 15, 16

- Lentur leleh, 17

- Lentur maksimum, 15

- Nominal momen balok, 7

- Nominal momen kolom, 6

- Perlu, 15

- Semua tingkat, 10

- Tarik aktual, 8

- Tingkat lain, 25

- Total semua elemen penahan gaya lateral, 10

- Total SPBL, 25

**Displacement**, 3

- Lateral, 23, 25

**Lebar**

- Bangunan, 5, 28

- Spasi, 16

**Life safety**, 4, 5, 6, 8, 13

- Kriteria, 4, 5, 6, 8, 13

**Masa**, 5, 12, 27

- Bangunan, 5

- Distribusi vertikal, 12

- Efektif, 5, 12

- Ketidakteraturan, 12

- Tingkat, 5

**Mesanin**, 4, 10, 25

- Bergoyang (*unbraced*), 10

- Interior, 25

**Momen**

- Balok, 7

- Di ujung atas dan bawah kolom, 6

- Guling gempa, 13

- Kolom, 6

- Lentur, 17

- Negatif, 7

- Positif, 7

 **$M_{pr}$** , 15, 32**Mutu tulangan memanjang**, 8, 17, 38

- Struktur beton bertulang tahan

- gempa, 2

**Pelaksanaan**, 15

- Bangunan, 3, 22

- Gambar, 2, 3

- Struktur, 22

**Pemeriksaan**

- Cepat, 5, 6

- Secara visual, 11

- Tegangan aksial, 5, 13

- Tegangan geser, 5, 13

- Variasi dimensi antar tingkat, 11

**Pendetailan**, 3, 17

- Komponen struktur, 4

- Pembentuk kemampuan disipasi energi, 21

**Pengangkuran kolom beton**, 6, 14**Pengawas**, 1, 18, 22

- Konstruksi bangunan, 2

- Pembangunan, 4

**Pengekangan**, 8

- Balok, 35

- Kolom, 35

**Pengikat**, 7, 8, 16, 17

- Kolom, 7, 8, 16

- Silang, 7, 8, 16, 17, 36, 37

**Penjangkaran tulangan**, 31**Penjelasan**

- Checklist dasar, 9

- Checklist kriteria dasar, 9

- Checklist pelengkap, 14

- Kriteria SRPM yang tahan gempa, 9

- Lateral belakang, 4

- Perencana, 22

- Singkat, 1, 2, 9

**Penyalur beban gempa**, 24**Penyimpangan**, 3**Perancangan**, 12, 28

- Struktur, 12

**Perbedaan**

- Kekakuan, 26

- Kekuatan SPBL, 25

- Masa, 27

**Perencana**, 1, 3, 4, 9, 18

- Konstruksi, 1, 18

- Konstruksi bangunan, 2

- Kompatibilitas, 8, 17

- Lateral, 12

- Sistem penahan gaya lateral, 8

**Sistem**, 2

- Bangunan, 4, 9, 21

- SRPM, 2

- Struktur, 9, 18, 22

**Perubahan**

- Bentuk inelastis, 15

- Dimensi horisontal, 5, 26

- Masa efektif, 5

**Petugas IMB**, 22**Poer**, 8, 17, 38**Praktisi**, 2**Prategang**

- Kehilangan, 31

- Komponen struktur, 6, 14

- Pasca, 31

**Preventif**, 1, 18, 20**Puntir**, 5, 12, 28, 36

- Kebutuhan, 17

**Rangka lantai datar**, 6, 14**Redundansi**, 5, 12, 28**Resiko gempa**

- Menengah, 30

- Tinggi, 6

**Rotasi**, 3

- Diafragma, 12

- Kapasitas inelastis, 38

**Sambungan lewatan**, 7, 16, 34

- Tulangan balok, 16, 34

- Tulangan kolom, 7, 16, 34

- Lokasi di tulangan balok, 7, 34

**SB**, 21**Sendi plastis**, 3, 7, 8, 15, 16, 17, 31, 34, 35**Sengkang**, 7, 8, 16, 17, 29

- Balok, 7, 8, 16

- Berkait gempa, 7, 17

- Kolom, 16

- Pengikat, 8, 35, 36, 37

- Spasi, 7, 16

- Tertutup, 7, 8, 16, 17, 35, 36

**Shear failure**, 25, 36, 38**Simpangan**, 17

- Antar tingkat, 10

- Bangunan tahan gempa, 2

- Bukan penahan gaya lateral, 14

- Evaluasi, 2

- Penahan beban lateral, 9, 21



-Penahan gaya lateral, 4, 5, 6, 8,  
 -Rangka pemikul momen (SRPM),  
 2  
 -Struktur, 3, 12  
 -Struktur beton, 2  
 -Struktur beton khusus, 39  
 -Struktur beton yang lain, 18  
**VI**  
 -03-1726-2002, 2, 4, 9, 14  
 -03-2847-2002, 2, 3, 4, 10, 14, 15,  
 16, 17, 24, 31  
 -Tata cara terbaru, 1, 18  
**Soft story**, 23, 26  
**P**, 34, 35  
**Pasi**, 7, 8, 16, 34, 35  
 -Besar, 16  
 -Lebar, 16  
 -Senggang/pengikat kolom, 7, 16,  
 34, 35  
 -Senggang balok, 7, 16, 35  
 -Senggang tertutup, 16  
**PBL**, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,  
 33  
**RPM**, 1, 2, 3, 4, 9, 18, 21, 28, 39  
**RPMK**, 3, 17, 18, 21, 37  
**RPM**, 18  
**Story drift ratio**, 26  
**Story mechanisms**, 15  
**Strong column-weak beam**, 23, 33  
**Struktur**, 3, 4, 9, 12, 13  
 -Balok, 3  
 -Beban mati tributary, 12  
 -Beton, 2  
 -Beton bertulang, 1, 18  
 -Beton bertulang tahan gempa, 2  
 -Beton yang lain, 18  
 -Faktor modifikasi komponen, 13  
 -Kemampuan daktilitas komponen,  
 17  
 -Keruntuhan, 15  
 -Keruntuhan getas, 14  
 -Keruntuhan parsial, 15  
 -Kolom, 3  
 -Komponen, 4, 5, 7, 8, 11, 17  
 -Pembangunan, 18  
 -Perancangan, 12  
 -Perencana, 9, 18

10, 11, 12, 13, 14, 15, 17  
 -Permukaan terluar, 11  
 -Prategang, 6, 14  
 -Rangka, 3  
 -Redundansi, 12  
 -Respons dinamis, 12  
 -Sambungan, 9  
 -Sistem, 3, 12  
 -Sistem penahan gaya lateral, 8  
 -SRPM, 3, 18  
 -Tahan Gempa, 2  
 -Tingkat tinggi, 11  
 -Ukuran komponen, 10  
 -Utama, 4  
 -Vertikal, 5  
**Tahan gempa**, 2, 4, 20  
 -Bangunan, 1, 2  
 -Komponen struktur, 2  
 -Konstruksi, 2  
 -Sistem bangunan, 2  
 -SRPM, 3, 9  
 -Struktur beton bertulang, 2  
 -Teknik, 1, 2  
**Tegangan**  
 -Aksial, 5, 6, 13  
 -Geser, 5, 13, 17  
 -Rata-rata geser beton, 29  
 -Tarik leleh, 8  
 -Tekan aksial, 30  
 -Tekan aksial rata-rata, 30  
**Tekuk**, 35  
 -Pencegah, 16  
 -Tulangan tekan, 16  
**Tinggi**, 9, 10, 12, 14, 15  
 -Bangunan, 4, 9, 10, 24  
 -Dinding, 13  
 -Gaya gempa, 15  
 -Gempa resiko, 2, 3  
 -Kekakuan, 15  
 -Kolom, 7, 10, 34  
 -Lenturan, 17  
 -Ragam, 12  
 -Rasio, 6  
 -Resiko gempa, 6  
 -Tegangan geser, 17  
 -Tingkat, 10, 11  
 -Tingkat pertama, 10

**Tingkat**, 3, 4, 5, 11  
 -Atas, 11  
 -Atas mundur, 11  
 -Beban mati tributari struktur, 12  
 -Berdekatan, 5  
 -Di atas atau bawahnya, 5  
 -Elemen penahan gaya lateral, 10  
 -Gaya geser, 13  
 -Geser, 11  
 -Kebutuhan keseluruhan struktur,  
 13  
 -Kekakuan, 5  
 -Kekakuan sistem penahan gaya  
 lateral, 5  
 -Kekuatan, 4  
 -Kekuatan sistem penahan gaya  
 lateral, 4  
 -Keruntuhan sebagian atau total,  
 10  
 -Kolom, 3, 6  
 -Kolom lain, 15  
 -Kolom tipikal, 6  
 -Konsentrasi perubahan bentuk  
 inelastis, 15  
 -Kuat, 10  
 -Lemah, 4, 10  
 -Lunak, 5, 10  
 -Mesanin interior, 4  
 -Penaksiran cepat, 13  
 -Penjumlahan luas penampang  
 semua kolom, 13  
 -Perbandingan berat, 12  
 -Pertama yang tinggi, 10  
 -Pusat kekakuan, 5  
 -Pusat masa, 5  
 -Relatif, 5

-Simpangan, 10  
 -Sistem penahan gaya lateral, 11  
 -Tinggi, 11  
 -Tinggi di lantai dasar, 10  
 -Tinggi yang mundur, 11  
**Tulangan**, 8  
 -Atas, 8  
 -Atas longitudinal, 7  
 -Balok, 7, 15, 16  
 -Bawah longitudinal, 7  
 -Geser, 16  
 -Kehilangan lekatan, 16  
 -Kerangka, 2  
 -Kolom, 7, 16, 31  
 -Kolom beton, 6  
 -Lekatan, 16  
 -Longitudinal, 7, 16, 33, 35  
 -Memanjang, 8, 17  
 -Menerus, 15  
 -Minimum balok, 33  
 -Pancang, 8  
 -Pencegah tekuk, 16  
 -Pengekang, 17  
 -Praktis, 33  
 -Tekan, 16  
 -Telah direduksi, 10  
 -Tepi atas & bawah, 33  
 -Tepi bawah pelat/lantai datar, 14  
 -Transversal, 6, 37  
**UBC 1997**, 31  
**Uji pabrik**, 8, 38  
**Unbraced**, 10  
**Weak story**, 23, 25  
**WG**, 30  
**Wilayah Gempa**, 6

## **DOKUMEN INI DILINDUNGI OLEH UNDANG- UNDANG HAK CIPTA**

Jika copy tambahan diperlukan, secara keseluruhan atau sebagian, hubungi Penulis atau Penerbit:

Jurusan Teknik Sipil-FTSP  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Kampus ITS, Sukolilo  
Surabaya 60111-Indonesia  
E-mail: [tavio@its.ac.id](mailto:tavio@its.ac.id)  
Telp.: 031-5946094  
Fax.: 031-5947284



# Evaluasi Cepat Sistem Rangka

**Pemikul Momen Tahan Gempa**

(Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002)

Seminar HAKI pada tahun 2007 telah diselenggarakan pada tanggal 21 dan 22 Agustus di Hotel Borobudur, Jakarta dengan Tema: “KONSTRUKSI TAHAN GEMPA DI INDONESIA”. Yang menarik disini adalah dari 29 makalah yang disajikan pada seminar 2 hari itu, makalah yang dipresentasi oleh Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc. dan DR. Ir. Tavio dengan Judul “Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa” telah mendapat penilaian sebagai makalah yang paling populer oleh para peserta seminar tersebut. Mudah-mudahan petunjuk-petunjuk praktis makalah yang disajikan dalam buku kecil ini bisa bermanfaat dalam praktek sehari-hari sesuai Tema Seminar HAKI tersebut diatas.

**Ir. Davy Sukamta, IP-U**  
***Ketua HAKI Pusat***

Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc. dan DR. Ir. Tavio adalah dosen-dosen Teknik Sipil, FTSP-ITS Surabaya dan anggota HAKI Komda Jatim. Adalah hal yang membanggakan bahwa makalah yang kini dibuat dalam bentuk buku kecil ini telah mendapat predikat sebagai makalah yang paling populer pada seminar HAKI tanggal 21 dan 22 Agustus 2007 yang lalu. Melihat manfaat dari isi buku ini bagi mitigasi resiko gempa yang telah banyak menelan korban jiwa dan kerusakan bangunan, saya anjurkan buku ini untuk dimiliki dan disebarluaskan ke para praktisi dan perencana konstruksi beton bertulang, bukan hanya untuk bangunan yang berada di Wilayah Gempa 5 dan 6 saja, tetapi juga untuk bangunan di Wilayah Gempa Menengah terutama yang berada di atas tanah lunak, sehingga tujuan buku kecil ini dapat mencapai sasarannya.

**Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D**

***Rektor ITS Surabaya, Ketua Komda HAKI Jatim, dan Dewan Pengurus LPJK Jatim***