

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR

DALAM MENUNJANG
PEMBANGUNAN EKONOMI NASIONAL





**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL
VI-2010**

ISBN 978 - 979 - 99327 - 5 - 4

**PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR
DALAM MENUNJANG PEMBANGUNAN
EKONOMI NASIONAL**

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

DAFTAR ISI

Halaman Judul
Susunan Panitia
Kata Pengantar
Sambutan Dekan FTSP-ITS
Sambutan dan Ketua Panitia
Daftar Isi

STRUKTUR

- Pengaruh Diameter Maksimum Agregat Terhadap Kokoh Tekan Dan Pengaruh Variasi Dimensi Benda Uji Rasio Tinggi Dan Diameter (L/D) Terhadap Kokoh Tekan Hancur Beton A-1
Aman Subakti
- Pengaruh Getaran Akibat Kendaraan Di Jalan Tol Terhadap Lingkungan Sekitarnya A-13
Ananta sigit Sidharta, Triwulan dan Widya Utama
- Balok Beton Komposit *Lips Channel* A-23
Andang Widjaja dan Nuroji
- Pemodelan Struktur Dinding Beton Ringan Pracetak Untuk Rumah Tinggal Sederhana Tahan Gempa Dan Cepat Bangun A-35
Andaryati, Data Iranata dan Tavio
- Studi Variasi Sudut Datang Gempa Pada Struktur Gedung A-47
Anis Rosyidah, Desi Ariani Sutiyono dan Rachmawaty Asri
- Studi Eksperimental Besaran Mekanis Beton Mutu Normal Pada Suhu Tinggi A-57
Antonius, Himawan Indarto dan Trisni Bayuasri
- Pemanfaatan Abu Terbang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batako A-67
Arie Wardhono
- Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahan Gempa Sistim Ganda Untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa Pada Wilayah Gempa ZONA 6 di Indonesia A-77
B. Sri Umniati, Karyadi dan Nindyawati
- Effect Of Confined Concrete On Rectangular Concrete Filled Steel Tube (CFT) to The P-M Interaction* A-91
Budi Suswanto

PEMODELAN STRUKTUR DINDING BETON RINGAN PRACETAK UNTUK RUMAH TINGGAL SEDERHANA TAHAN GEMPA DAN CEPAT BANGUN

Andaryati¹⁾ Data Iranata²⁾ dan Tavio³⁾

1) Mahasiswa S2 Struktur Jurusan Teknik Sipil –FTSP-ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 081332759303, email: andaryati@yahoo.com

2) Dosen jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: data@ce.its.ac.id

3) Dosen jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: tavio@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Dampak gempa berkekuatan besar banyak menyebabkan runtuhnya bangunan-bangunan disekitar pusat gempa karena masih minimnya bangunan-bangunan yang didesain tahan gempa. Untuk memulihkan kondisi secepatnya maka diperlukan suatu model rumah yang cepat bangun dan tahan gempa agar proses renovasi atau rehabilitasi dapat berjalan cepat.

Beton pracetak dipilih sebagai material karena beton mempunyai keawetan yang lebih bila dibandingkan dengan kayu. Perilaku beton juga lebih mudah diprediksi bila dibandingkan kayu karena mutu beton lebih seragam bila dibandingkan dengan kayu dan perhitungan beton sebagai bahan bangunan tahan gempa sudah lebih detail bila dibandingkan dengan kayu. Sistem pracetak dipilih untuk memudahkan pengangkutan dan mempercepat pelaksanaan di lapangan.

Analisa dan perhitungan komponen dinding mengacu pada SNI 03-2847-2002 dan SNI 1726-2002 untuk perhitungan gempanya, sedangkan *software* yang dipakai untuk menganalisa adalah SAP 2000v9 dan ANSYS v11 untuk program non-liniernya. Sistem struktur yang akan dipakai dalam analisa adalah *open frame* dan *infill frame*. Sedangkan system sambungan yang dipakai adalah *dry joint* (sambungan kering) untuk mempercepat pelaksanaan di lapangan. Hasil pemodelan adalah sama untuk struktur *open frame* dan *infill frame*, tebal dinding 10 cm dan tulangan 2 arah masing-masing Ø8-100; sedangkan perbedaannya terletak pada model sambungan dan perilaku dinding tersebut pada saat terkena gempa.

Kata Kunci : beton ringan, dinding pracetak, gempa, *open frame*, *infill frame*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dampak gempa berkekuatan besar banyak menyebabkan runtuhnya bangunan-bangunan disekitar pusat gempa karena masih minimnya bangunan-bangunan yang didesain tahan gempa. Masih banyak pemukiman di Indonesia yang dibangun tanpa perhitungan struktur yang benar, sehingga ketika gempa terjadi, banyak kita lihat rumah-rumah penduduk yang runtuh dan harus mengungsi di tenda-tenda penampungan selama perbaikan rumah belum ada atau masih dalam proses perbaikan.

Material dinding yang biasa dipakai untuk relokasi/restrukturisasi selama ini adalah kayu dengan alasan lebih cepat pelaksanaannya dan murah biayanya. Namun yang perlu dicermati lebih lanjut adalah bahwa biasanya dalam kurun waktu tertentu terjadi gempa susulan dan perilaku kayu (yang merupakan bahan dari alam) terhadap gempa masih sulit untuk diprediksi. Selain itu, kayu mempunyai keawetan yang kurang terhadap lingkungan sekitar, atau dengan kata lain mudah rusak.

Material lain yang biasa dipakai untuk dinding adalah pasangan batu bata, namun pelaksanaannya membutuhkan waktu yang jauh lebih lama bila dibandingkan dengan kayu, sehingga perlu dicari alternatif lain yang lebih baik untuk dinding pada

bangunan tahan gempa selain kayu dan pasangan batu bata, agar proses relokasi/restrukturisasi dapat berlangsung dengan cepat.

Beton dipilih sebagai material karena beton mempunyai keawetan yang lebih bila dibandingkan dengan kayu. Perilaku beton juga lebih mudah diprediksi bila dibandingkan kayu karena mutu beton lebih seragam bila dibandingkan dengan kayu dan perhitungan beton sebagai bahan bangunan tahan gempa sudah lebih detail bila dibandingkan dengan kayu. Namun beton membutuhkan waktu relatif lebih lama. Untuk mengatasinya, digunakan beton pracetak yang lebih cepat dalam pelaksanaan bila dibandingkan beton konvensional. Untuk mempermudah pengangkutan dan penyambungan, dipilih material beton ringan pracetak dan dibuat desain yang efektif pada sambungan antar dinding maupun sambungan antara dinding dengan balok dan kolom.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah menentukan pemodelan dari struktur dinding untuk bangunan tahan gempa dari bahan beton ringan pracetak, agar mudah dalam pengangkutan maupun pelaksanaan penyambungan di lapangan dengan biaya semurah mungkin agar dapat terjangkau masyarakat.

1.3. Batasan Masalah

Karena terbatasnya waktu penelitian, penulis membatasi permasalahan yang akan dipecahkan nantinya hanya pada aspek teknis saja, diantaranya :

1. Material beton ringan pracetak apa dan mutu berapa yang efektif dipakai sebagai struktur dinding untuk bangunan tahan gempa?
 2. Bagaimana model elemen dinding tersebut agar tahan gempa, mudah dalam pengangkutan maupun pelaksanaan penyambungan di lapangan?
- Sedangkan biaya dan waktu pelaksanaan di lapangan tidak dibahas dalam penelitian ini.

2. DASAR TEORI

2.1. Konsep Rumah Tahan Gempa

Suatu bangunan dikatakan bangunan tahan gempa bila mengikuti filosofi bangunan tahan gempa sebagai berikut :

1. **Bila terjadi Gempa Ringan**, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah, dsb) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dsb).
2. **Bila terjadi Gempa Sedang**, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
- 3 **Bila terjadi Gempa Besar**, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ke tempat aman.

(www.mulyanto.wordpress.com).

Untuk membangun rumah sederhana tahan gempa terdapat beberapa batasan batasan dalam perencanaan dan pelaksanaan, antara lain (Pedoman Teknis Bangunan Tahan Gempa, 2006) :

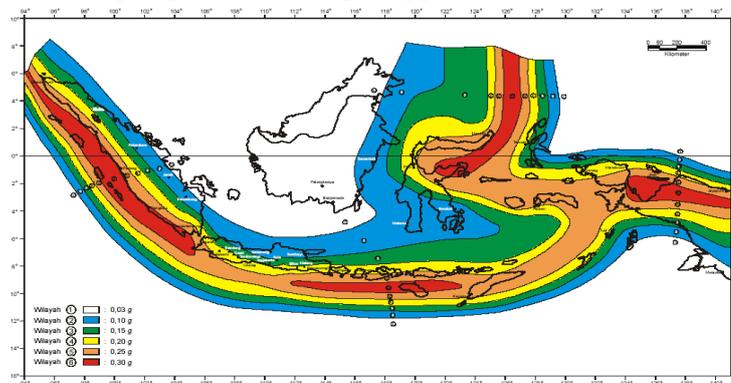
- a. Penentuan Denah Bangunan

- Denah bangunan yang digunakan sebaiknya sederhana, simetris dan tidak terlalu panjang.
- Jika bangunan tidak berbentuk simetri maka sebaiknya menggunakan dilatasi (alur pemisah) sedemikian rupa sehingga denah bangunan merupakan rangkaian dari denah yang simetris.
 - Penempatan dinding – dinding penyekat dan bukaan pintu atau jendela harus dibuat simetris terhadap sumbu denah bangunan.
 - Bidang dinding harus berbentuk kotak tertutup.

2.2. Gempa

Prinsip dasar terjadinya gempa ialah kondisi bila di sebagian kerak bumi dimana terdapat retakan berupa sesar / patahan, apabila mendapat tekanan terjadi penimbunan energi sepanjang bidang sesar. Setelah energi tersebut tertimbun relatif lama, akumulasi energi cukup kuat untuk menggeser bidang sesar, menghasilkan pusat gempa. Energi terlepas secara cepat sebagai gelombang gempa yang menjalar ke segala arah.

Indonesia terletak antara 6° LU dan 11° LS serta 95° BT dan 141° BT, dimana pada letak geografis ini, Indonesia berada di atas benturan tiga lempeng bumi, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng India Australia. Ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia berada pada pertemuan 2 jalur gempa utama (yaitu Jalur Sirkum Pasifik dan Jalur Trans Asia) sehingga kepulauan Indonesia mempunyai aktivitas gempa bumi cukup tinggi (PUSLITBANG, 2004).



Gambar 1. Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Berulang 500 Tahun

2.3. Struktur *Open Frame* dan *Infill Frame*

Pada struktur portal terbuka (*open frame*), dinding pengisi sering digunakan sebagai partisi pemisah dibagian dalam atau penutup luar bangunan pada struktur portal beton bertulang maupun struktur portal baja, khususnya untuk bangunan rendah dan bertingkat sedang. Dinding pengisi tersebut dipasang apabila struktur utama selesai dikerjakan, jadi pelaksanaannya bersamaan dengan pelaksanaan *finishing* bangunan. Oleh sebab itu, dalam perencanaannya dianggap sebagai komponen non-struktur, bahkan keberadaannya tidak menjadi permasalahan dalam pemodelan struktur asalkan intensitas beban yang timbul sudah diantisipasi terlebih dahulu (misal, dianggap sebagai beban merata). Meskipun dikategorikan sebagai komponen non-struktur tetapi dinding mempunyai kecenderungan berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama bila ada beban horizontal (akibat gempa) yang besar. Interaksi yang timbul kadang menguntungkan kadang merugikan bagi kinerja portal utamanya, dan hal tersebut menjadi perdebatan yang cukup lama.

Kadang kala struktur portal terbuka (*open frame*) yang direncanakan dapat berperilaku sebagai portal daktail saat gempa, akibat adanya dinding pengisi yang tidak merata dapat berubah menjadi struktur yang mempunyai mekanisme keruntuhan *soft-storey* yang berbahaya.

Gambar berikut menunjukkan keruntuhan *soft-storey* akibat gempa di Turki tahun 2003 dari sebuah bangunan beton dengan dinding pengisi. Bagian atas digunakan sebagai tempat tinggal dengan banyak dinding sebagai partisi, sedangkan bagian bawah karena digunakan sebagai tempat usaha (toko) relatif sedikit dinding pengisinya. Kondisi tersebut menyebabkan bagian atas relatif sangat kaku dibandingkan bagian bawah sehingga ketika ada gempa struktur bagian bawah hancur total dan bagian atas jatuh menimpa secara utuh.



Gambar 2. *Soft-storey* - Gempa Bingol, Turki 2003

Dari kejadian tersebut, apabila ditinjau dari tampilan fisik geometri terlihat secara jelas bahwa dinding pengisi yang menutup portal (rapat) akan berfungsi sebagai panel yang akan bekerja bersamaan dengan struktur yang efeknya memberi kekakuan yang besar.

Struktur rangka dengan dinding pengisi dapat dianggap lebih kaku dan lebih kuat. Meskipun hal tersebut telah dipahami cukup lama, tetapi dalam perencanaan secara umum efek dinding pengisi masih diabaikan, karena perilakunya non-linier sehingga cukup sulit memprediksinya memakai metode elastis biasa.

Perilaku portal-isi (*infill frame*) terhadap pembebanan lateral telah lama diselidiki, misalnya Holmes (1961), Stafford Smith (1962, 1966, 1967), Mainstone – Week (1970), Dawe – Sheah (1989), Flanagan et al. (1992), Mander et al. (1993) dan lainnya. Dari berbagai penelitian yang ada, ditinjau dari kesederhanaannya dan kelengkapannya maka metode *Equivalent Diagonal Strut* yang diajukan Saneinejad – Hobbs (1995) sangat menjanjikan untuk ditelaah lebih lanjut. Metode tersebut telah memperhitungkan perilaku elastis dan plastis dari portal-isi (*infill frame*) dengan mempertimbangkan adanya daktilitas yang terbatas dari material Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan “Equivalent Diagonal Strut” 3 dinding pengisi.

Dalam makalahnya, diperlihatkan juga bahwa metode tersebut memberi prediksi yang lebih mendekati hasil eksperimen maupun analitis (m.e.h) dibandingkan metode-metode lain sebelumnya. Metoda *Equivalent Diagonal Strut* dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan dan kekakuan portal-isi (*infill frame*) dengan memasukkan berbagai kemungkinan yang ada, misalnya aspek rasio dinding pengisi; berbagai tipe sambungan (sendi/semi-rigid); juga ketidakrapatan dinding akibat susut (*shrinkage*) .

Memahami perilaku portal-isi (*infill frame*) dan mengetahui metode analisa yang memuaskan akan memberi solusi untuk perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa di Indonesia yang lebih realistik dan ekonomis.

Dalam penelitian ini, dinding hanya diperhitungkan sebagai komponen yang memikul beban vertikal/aksial saja dan tidak diperhitungkan sebagai dinding geser ataupun dinding yang memikul lentur seperti dinding penahan tanah. Pasal 16.5 SNI 03-2847-2002 yang mengatur perhitungan dinding dengan metode perencanaan empiris menjadi acuan untuk perhitungan dinding nantinya.

2.4. Beton Ringan

Ada beberapa jenis beton yang biasanya dipakai dalam konstruksi. Beton ringan adalah salah satu jenis beton yang mempunyai berat dibawah 2000 kg/m³ dan biasanya digunakan sebagai dinding pemisah atau dinding isolasi. Salah satu pertimbangan pemakaian beton ringan adalah beratnya yang ringan sehingga membuat beban konstruksi lebih ringan.

Salah satu bahan alternative yang dipakai untuk beton ringan adalah campuran styrofoam. Beton yang dibuat dengan campuran styrofoam dapat disebut Beton-Styrofoam (Styrofoam-Concrete, yang biasanya disingkat menjadi Styrocon). Penggunaan styrofoam dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara yang bisa mengurangi kekuatan beton. Setiap penambahan udara 1% dari volume udara, maka kekuatan beton akan berkurang 5.5 %. (Giri, 2008)

Beton dengan bahan pengisi udara mempunyai kekuatan 10% lebih kecil daripada beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama (Murdock dan Brook, 1999). Kelebihan pemakaian styrofoam dibandingkan dengan rongga udara adalah styrofoam mempunyai kekuatan tarik, sehingga selain membuat beton menjadi ringan, juga menambah kekuatan beton itu sendiri.

Dari hasil uji beton ringan dengan styrofoam yang pernah dilakukan, dipakai kekuatan beton 20 MPa dan berat satuan 2000 kg/m³. (Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.12, No.1, Januari 2008)

2.5. Metode Diagonal Tekan Ekuivalen

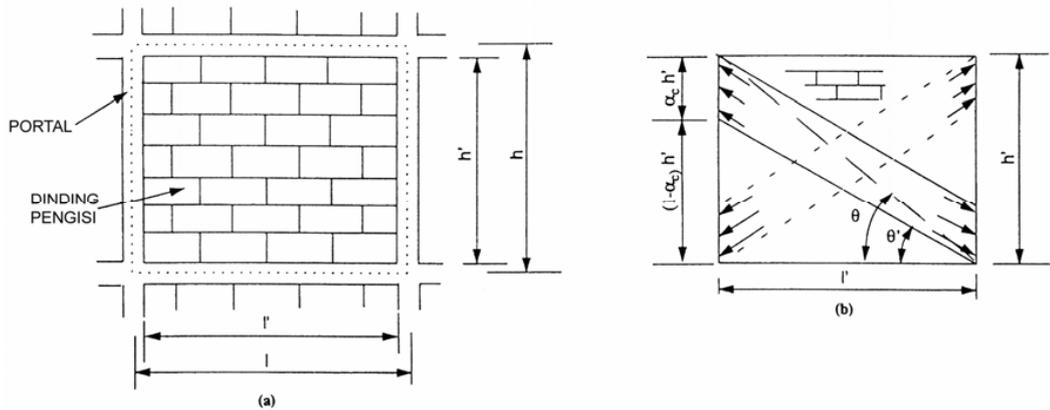
Diagonal Tekan Ekuivalen atau *Equivalent Diagonal Strut* adalah metode untuk analisa inelastis portal-isi yang diajukan Saneinejad – Hobbs (1995).

2.5.1. Prinsip Analisis

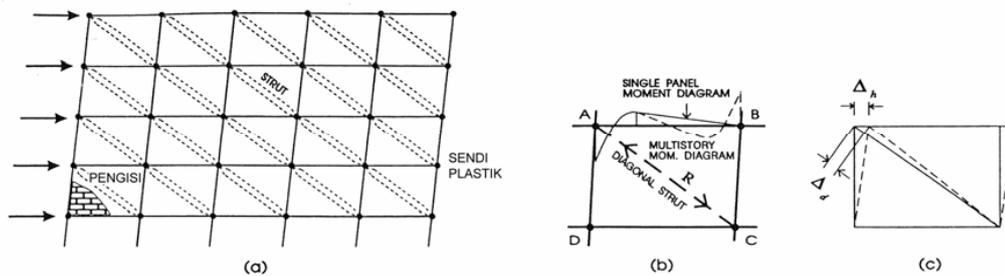
Portal-Isi dapat dianggap sebagai portal tidak bergoyang (*braced framed*), dimana dinding pengisi akan berfungsi sebagai diagonal tekan ekuivalen (*equivalent diagonal strut*). Diagonal tekan ekuivalen hanya kuat terhadap gaya tekan saja. Pengaruh beban lateral bolak-balik akibat gempa dapat diatasi dengan terbentuknya diagonal tekan pada arah lain yang juga mengalami tekan. Apabila properti mekanik (A_d dan E_d) dari diagonal tekan ekuivalen dapat dicari maka portal-isi dapat dianalisis sebagai “portal terbuka dengan diagonal tekan ekuivalen”, tentu saja “diagonal” harus ditempatkan sedemikian agar hanya mengalami tekan saja. Properti mekanik yang dicari dengan metode tersebut didasarkan pada kondisi keruntuhan yang bersifat non-linier dan sekaligus diperoleh juga resistensi atau kuat nominal dari diagonal tekan ekuivalen.

Dengan konsep perencanaan berbasis kuat batas atau beban terfaktor, selanjutnya portal berpenopang ekuivalen (*equivalent braced frame*) dapat dianalisis dengan cara manual atau komputer sebagai portal berpenopang biasa (*ordinary braced frame*). Gaya-gaya pada diagonal tekan ekuivalen hasil analisis selanjutnya dibandingkan

dengan kuat nominal yang dipunyainya dan dievaluasi, bila perlu dapat dilakukan perubahan geometri dan dianalisa ulang. Demikian seterusnya sampai diperoleh konfigurasi yang baik.



Gambar 3. (a) Portal Isi ; (b) Penopang Diagonal Bolak-balik



Gambar 4. Portal-Berpenopang-Ekivalen (a) model portal pada kondisi beban puncak / ultimate ; (b) distribusi momen pada portal ; (c) deformasi lateral

2.5.2. Asumsi Dasar

Untuk mendapatkan properti mekanik dari diagonal tekan ekuivalen yang bersifat *lowerbound* yang konsisten dan rasional, Saneinejad and Hobbs (1995) berdasarkan test percobaan dan penelitian analitis “m.e.h” mengambil asumsi berikut sebagai dasarnya :

1. Deformasi lateral terjadi sebanding dengan besarnya beban lateral yang ada sampai suatu batas dimana dinding pengisi secara bertahap hancur dan kekuatannya akan drop akibat daktilitas dinding yang terbatas. Timbulnya retak diagonal sejajar arah gaya bukan indikasi kehancuran tetapi hanya digunakan sebagai persyaratan batas untuk kondisi layan.
2. Panjang blok tegangan desak yang diusulkan tidak lebih dari 0.4 tinggi panel pengisi :

$$\alpha_c h \leq 0.4 h' \text{ dan } \alpha_b l \leq 0.4 l' \quad (1)$$

Dimana α prosentase panjang bidang kontak dari tinggi atau lebar panel , sub-skrip c = kolom dan b = balok. Notasi h atau l untuk jarak as-ke-as portal; sedangkan h' dan l' adalah jarak bersih panel, lihat Gambar 6.

3. Interaksi panel / dinding pengisi dengan portal ditunjukkan dengan besarnya gaya geser yang diperoleh dari rumus berikut :

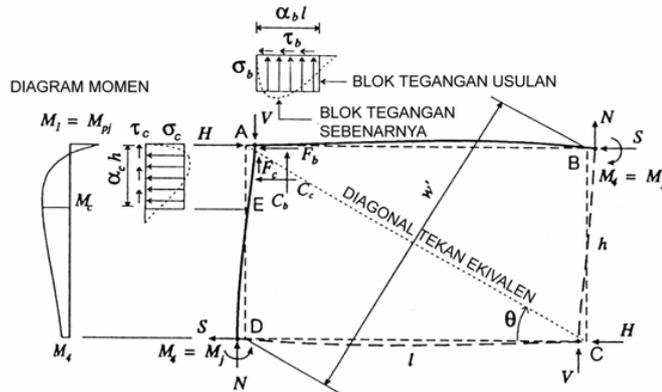
$$F_c = \mu \cdot r^2 \cdot C_c \text{ dan } F_b = \mu \cdot C_b \quad (2)$$

Dimana μ = koefisien gesek panel-portal ; C = gaya normal pada bidang kontak ; F = gaya geser (lihat Gambar 6) ; subskrip c = kolom dan b = balok ; $r = h/l < 1.0$

4. Terjadinya sendi plastis pada bagian sudut yang dibebani umumnya terjadi pada beban puncak (*peak load*) dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$M_A = M_C = M_{pj} \quad (3)$$

Dimana M_A dan M_C = bending momen pada sudut yang dibebani (titik A dan C pada Gambar 6); M_{pj} = tahanan momen plastis paling kecil dari balok, kolom atau sambungan, disebut *joint plastic resisting moment*.



Gambar 5. Keseimbangan Gaya Pada Portal-Isi

5. Karena dinding pengisi mempunyai daktilitas yang terbatas, maka deformasi portal pada beban puncak juga terbatas kecuali pada bagian sudut yang dibebani, dengan demikian portal masih dalam kondisi elastis.

$$M_B = M_D = M_j < M_{pj} \quad (4)$$

$$M_c = \beta_c \cdot M_{pc} ; M_b = \beta_b \cdot M_{pb} \quad (4a, b)$$

Dimana M_B dan M_D = bending momen pada sudut yang tidak dibebani (titik B dan D pada Gambar 6) ; M_j = merujuk pada salah satu nilai tersebut ; M_c dan M_b = momen elastis terbesar yang ada pada kolom (c) dan balok (b) ; dan M_{pc} dan M_{pb} = tahanan momen plastis dari kolom dan balok. Saneinejad dan Hobb, (1995) menetapkan :

$$\beta_c \leq \beta_0 = 0.2 \text{ dan } \beta_b \leq \beta_0 = 0.2 \quad (5)$$

Dimana β_0 = nominal atau batas atas (*upper-bound*), dari faktor reduksi β .

3. METODOLOGI

Untuk mendapatkan desain penampang dinding pracetak untuk bangunan rumah tahan gempa beserta penulangannya, maka perlu dilakukan beberapa prosedur. Prosedur desain penampang dinding pracetak untuk rumah sederhana tahan gempa ialah sebagai berikut :

a. Penentuan Desain Rumah Tinggal

Penentuan desain rumah tinggal ditujukan untuk menetapkan model rumah sederhana yang akan direncanakan dinding pracetaknya. Ada 2 tipe rumah, yaitu tipe 36 dengan 1 lantai dan tipe 72 dengan 2 lantai dimana keduanya mempunyai ukuran 6 m x 6 m.

b. Preliminary Desain

Desain awal dimensi dinding dihitung berdasarkan peraturan SNI 2847 – 2002 Pasal 16.5 dan 16.6. Sistem sambungan yang akan diteliti dalam Thesis ini adalah system sambungan *dry joint* yang menggunakan batang baja yang dibaut/dilas. Sistem sambungan ini dipilih karena setelah instalasi sambungan dapat segera berfungsi sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan 25% - 40% bila dibandingkan dengan *in situ concrete joint*.

c. Menentukan pembebanan struktur

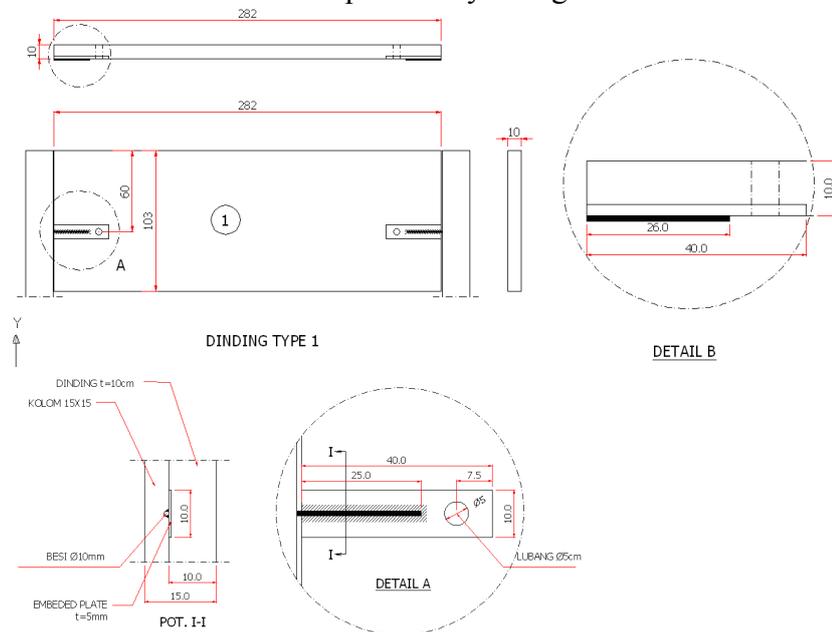
Pembebanan struktur berdasarkan peraturan PPIUG 1987 dan untuk pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726 – 2002.

d. Analisa Struktur dengan SAP 2000

Evaluasi hasil perhitungan struktur menggunakan SAP 2000 versi 9 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam untuk perencanaan struktur bangunan.

e. Pemodelan sambungan elemen dinding

Setelah dimensi dinding dan kebutuhan tulangan optimal telah diperoleh, sambungan dinding dengan kolom dan sambungan dinding dengan balok perlu dimodelkan dan dianalisa perilakunya dengan baik.



Gambar 6. Salah satu type sambungan pada struktur infill frame.

f. Kontrol perilaku sambungan

Dengan memakai *software* yang ada, perilaku sambungan dapat dikontrol apakah memenuhi persyaratan baik dari segi deformasi yang terjadi, retak maupun dari segi kestabilan sambungan.

4. HASIL DAN ANALISA

Dengan menggunakan bantuan program SAP 2000v9, didapatkan hasil gaya dalam pada tiap kondisi sebagaimana dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan gaya dalam struktur

Kondisi	Mmax (Nmm)	Fmax (N)	Vmax (N)
WG 4 – T.Keras (1 Lt.)	470,025	56,992	1,698
WG 4 – T.Lunak (1 Lt.)	1695,594	68,695	5,619
WG 4 – T.Keras (2 Lt.)	1347,852	247,798	5,177
WG 4 – T.Lunak (2 Lt.)	1899,255	403,284	9,473
WG 6 – T.Keras (1 Lt.)	649,726	69,746	2,346
WG 6 – T.Lunak (1 Lt.)	1895,079	74,018	6,281
WG 6 – T.Keras (2 Lt.)	1429,199	348,752	7,124
WG 6 – T.Lunak (2 Lt.)	2147,35	458,511	10,574

Dari hasil analisa struktur, kemudian didesain dimensi dan kebutuhan tulangan dinding, hasilnya sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan penulangan dinding

Kondisi	Rn	ρ_{pakai}	As pakai (mm ²)	Penulangan	
				Arah X	Arah Y
WG 4 – T.Keras (1 Lt.)	0,00020	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 130
WG 4 – T.Lunak (1 Lt.)	0,00073	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 110
WG 4 – T.Keras (2 Lt.)	0,00058	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 110
WG 4 – T.Lunak (2 Lt.)	0,00082	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 110
WG 6 – T.Keras (1 Lt.)	0,00058	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 130
WG 6 – T.Lunak (1 Lt.)	0,00082	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 120
WG 6 – T.Keras (2 Lt.)	0,00062	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 120
WG 6 – T.Lunak (2 Lt.)	0,00093	0,00438	201,14	D8 - 100	D8 - 120

Kemudian dikontrol persyaratan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimate-nya. Semua desain yang diperoleh memenuhi syarat sebagaimana terlihat dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

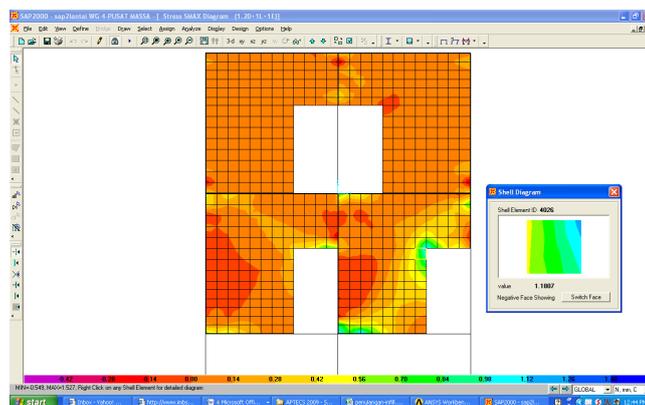
Tabel 3. Kontrol Kinerja Batas Layan

WG	Lt.	h (m)	Drift (mm)	drift antar tingkat (mm)	Δs (mm)	Syarat Δs (mm)	ket	Δm (mm)	Syarat Δm (mm)	ket
4	1	3.2	0.16	0.16	0.16	11.29	ok	0.95	64	ok
6	1	3.2	0.21	0.21	0.21	11.29	ok	1.25	64	ok

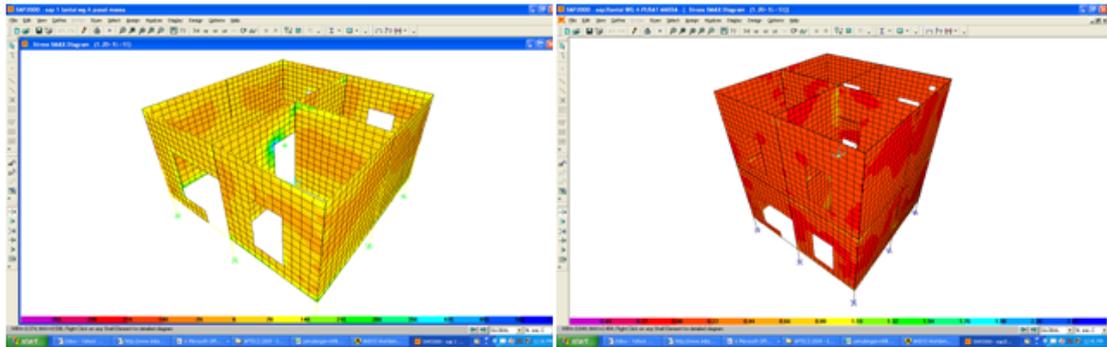
Tabel 4. Kontrol Kinerja Batas Ultimate

WG	Lt.	h (m)	Drift (mm)	drift antar tingkat (mm)	Δs (mm)	Syarat Δs (mm)	ket	Δm (mm)	Syarat Δm (mm)	ket
4	2	6.4	0.792	0.282	0.282	22.59	ok	1.68	128	ok
	1	3.2	0.51	0.51	0.51	11.29	ok	3.03	64	ok
6	2	6.4	0.98	0.33	0.33	22.59	ok	1.96	128	ok
	1	3.2	0.65	0.65	0.65	11.29	ok	3.87	64	ok

Analisa tegangan yang terjadi pada struktur dihitung dengan bantuan program SAP2000v9 dimana contoh hasilnya diperlihatkan pada Gambar 7 (tampak 2 dimensi) dan Gambar 8 (tampak 3 dimensi).



Gambar 7. Tegangan yang terjadi pada dinding sisi dalam dari rumah 2 lantai pada WG 4 tanah keras (2 dimensi)



Gambar 8. Tegangan yang terjadi pada dinding rumah 2 lantai pada WG 4 tanah keras (3 dimensi).

5. KESIMPULAN

Dari analisa dalam perhitungan struktur diatas, bisa diambil kesimpulan bahwa dimensi dinding yang dipakai ada 9 type dinding untuk setiap kondisi. Secara keseluruhan, dimensi masing-masing type adalah sama yaitu tebalnya 10 cm, hanya lebar dan tinggi yang berbeda mengikuti letak pintu dan jendela pada rumah. Sedangkan penulangan juga tidak banyak berbeda pada Wilayah Gempa 4 dan 6 sebagaimana telah diperlihatkan dalam Tabel 2 diatas karena sama-sama dirancang dengan R yang sama, yaitu 8,5 (daktilitas penuh) sehingga gaya dalam yang terjadi tidak jauh berbeda. Daktilitas kurvatur elemen balok yang telah didesain telah memenuhi persyaratan daktilitas elemen, yaitu $\mu_{\phi} > 16$. Demikian juga syarat Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimate (KBU) telah memenuhi syarat.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. *Pedoman Teknis Bangunan Tahan Gempa*, 2006.
2. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI 1726-2002, 2002.
3. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, 2002.
4. Dewobroto, W., 2005, *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"* Jurnal Teknik Sipil ITB, Edisi Vol. 12 / 4, Oktober 2005
5. Mulyanto, *Pedoman Membangun Rumah Sederhana Tahan Gempa*. www.mulyanto.wordpress.com. Yogyakarta. UGM.
6. Munandar, M., 2001. *Ketentuan Dinding Tembok Wilayah Gempa*, Buletin Pengawasan No. 30 & 31 Th. 2001
7. Murty, C.V.R., 2002, *Earthquake TIP-15*, IIT Kanpur dan BMTPC New Delhi
8. Nawy, E.G., 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, diterjemahkan oleh Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung, PT. Refika Aditama