

# PROKONS

JURNAL TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

**POLITEKNIK NEGERI MALANG**

PROKONS JURNAL SIPIL

Vol. 5

No.2

Halaman  
105 -235

Malang  
Agustus 2011

# PROKONS

## JURNAL TEKNIK SIPIL

### **Ketua Penyunting**

Ir. Yunaefi, MT.

### **Sekretaris Penyunting**

Nawir Rasidi, ST., MT.

### **Mitra Bestari (Peer Group) Penelaah Ahli**

Dr.Eng.Ir. Fauzri Fahimuddin, M.Eng. (Politeknik Negeri Jakarta)

Dr. Ir. Agnes Hanna Patty, MT (Politeknik Negeri Malang)

### **Penyunting Pelaksana**

M. Fajar Subkhan, ST., MT.

Suhariyanto, ST., MT.

Supiyono, ST., MT.

Wahiddin, ST., MT.

### **Tata Letak**

Fadjar Purnomo, ST., MT.

Trias Rahardianto, ST.

### **Tata Usaha**

Andi

### **Cetak dan Distribusi**

Imron Rosadi

### **Alamat Redaksi**

d.a. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

Jl. Veteran PO BOX 04 Malang 65101

Telp./Fax. 0341-575750

Email: [taufiqrochm@brawijaya.ac.id](mailto:taufiqrochm@brawijaya.ac.id)

### **Penanggung Jawab**

Direktur Politeknik Negeri Malang

### **Perancang Sampul**

Taufiq Rochman, ST., MT.

### **Penerbit**

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

Jurnal Teknik Sipil PROKONS diterbitkan dua kali dalam setahun pada bulan Pebruari dan Agustus. Redaktur mengundang para penulis dan peneliti untuk menyumbangkan artikel hasil penelitian atau artikel konseptual ke Redaksi PROKONS. Redaksi menentukan dimuat atau tidaknya suatu artikel dan berhak mengubah atau memperbaiki tulisan yang dimuat sejauh tidak mengganggu maksud dan isinya. Artikel yang tidak dimuat tidak dikembalikan pada penulis.

## DAFTAR ISI

Perilaku Dinding Beton Pracetak Tahan Gempa dengan Sistem <i>Infilled Frame</i> <i>Andaryati</i> .....	105-117
Uji Keandalan Input Data Hujan Harian dan Hujan Jam- jaman menggunakan Model Hec-Hms di Das Sampean <i>Nur Azizah Affandy</i> .....	118-133
Studi Pengaruh Belok Kiri Terhadap Pejalan Kaki di Simpang (Studi Kasus : Simpang Kol. Sugiono – Raya Lowokdoro- Kol. Satsuit Tubun – Pasar Gadang, Malang) <i>Dwi Ratnaningsih</i> .....	134-138
Kuat Geser Tidak Alir Lempung pada Tekanan Sel Rendah dan Tinggi <i>M. Farid Ma'ruf</i> .....	139-146
Alternatif Design Penahan Tebing Sungai Kayan Desa Teras Baru – Tanjung Palas <i>Fuad Harwadi</i> .....	147-156
Penggunaan Proporsi Karet Latek Sebagai Bahan Tambah pada <i>Hot Rolled Sheet- Hrs- Wc</i> Berpengaruh pada Kinerja Campuran <i>Puri Nurani</i> .....	157-164
Penataan Geometrik Persimpangan Jalan Bendungan Sutami, Bendungan Sigura-Gura, Sumpersari dan Veteran Malang <i>Rinto Sasongko</i> .....	165-181
Aplikasi Staadpro 2000 untuk Desain Pylon dan Pelat Lantai Jembatan Berpenahan Kabel yang Sederhana <i>Sumardi</i> .....	182-195
Koreksi Teori Geser untuk Sebarang Ketebalan pada Formulasi Elemen Pelat Persegi dari Bahan Komposit Berlapis <i>Taufiq Rochman</i> .....	196-215
Penataan Lalulintas Kawasan Depan Stasiun Kota Baru Kota Malang <i>Udi Subagiyo, Harnen Sulistio, Achmad Wicaksono</i> .....	216-226
Penentuan Koefisien Plastisitas K pada Tanah Lempung dengan Metoda Satu-Titik <i>Casagrande</i> <i>Yunaefi</i> .....	227-235

# PERILAKU DINDING BETON PRACETAK TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM INFILLED FRAME

Andaryati

Dosen jurusan Teknik Sipil Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

## Abstrak

Dampak gempa berkekuatan besar banyak menyebabkan runtuhnya bangunan-bangunan disekitar pusat gempa karena masih minimnya bangunan-bangunan yang didesain tahan gempa. 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. Sistem pracetak dipilih untuk memudahkan pengangkutan dan mempercepat pelaksanaan di lapangan.

Ada dua tipe rumah yang diteliti yaitu rumah 1 lantai (Tipe 36) dan rumah 2 lantai (Tipe 72). Sistem struktur yang dipakai dalam analisis adalah *infilled frame* (rangka ber dinding pengisi) dimana kekakuan dinding menjadi bagian dari kekakuan struktur. Material yang dipakai adalah beton ringan pracetak dengan mutu  $f_c' = 18$  MPa, berat satuan  $1900 \text{ kg/m}^3$  dan modulus elastisitas  $19.900 \text{ MPa}$ . Rumah tersebut diasumsikan berada pada Wilayah Gempa dengan Resiko Tinggi (WG 6) dan diperhitungkan terhadap tanah lunak dan tanah keras dimana untuk setiap kondisi tersebut ada 9 tipe dinding yang berbeda dimensi karena disesuaikan dengan desain rumah. Kontrol yang dilakukan terhadap elemen adalah kontrol daktilitas dinding melalui diagram momen-kurvatur dengan bantuan program Xtract, kontrol retak, kontrol kinerja struktur melalui persyaratan kinerja batas layan (KBL) dan kinerja batas ultimate (KBU) yang ada dalam SNI 1726-2002, dan kontrol daktilitas sambungan yang dianalisis dengan bantuan program Lusas.

Hasil perhitungan adalah tebal dinding 10cm dan tulangan 2 arah dengan diameter ( $\emptyset$ ) 8 mm dan spasi antara 200 mm sampai 300 mm sesuai masing-masing tipe dinding. Hasil analisis menunjukkan bahwa daktilitas elemen lebih besar dari 16. Sedangkan untuk sambungan, ada 2 tipe sambungan yaitu tipe 1 untuk sambungan kolom-dinding dan balok-dinding dengan cara pengelasan dowel pada sisi tiap elemen, dan sambungan tipe 2 untuk sambungan antar dinding dengan cara pengelasan plat *embedded* antar dinding. Dari hasil analisis untuk tipe 1, daktilitas sambungan ( $\mu_{\Delta}$ ) adalah 4,86 (akibat gempa) dan 4,83 (akibat angin) yang setara dengan faktor reduksi gempa (R) sebesar 7,6. Sedangkan untuk tipe 2, daktilitas sambungan ( $\mu_{\Delta}$ ) adalah 5,0 (akibat gempa) dan 3,64 (akibat angin) yang setara dengan faktor reduksi gempa (R) sebesar 8,0 dan 5,6 yang menunjukkan bahwa dengan sambungan tersebut struktur mampu berperilaku daktil sebagai.

**Kata-kata kunci:** beton ringan, dinding pracetak, gempa, *infilled 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 memodelkan gaya gempa terhadap rumah tinggal berdasarkan respon spektrum gempa, sesuai dengan pembagian wilayah gempa di Indonesia, melakukan analisis struktur rumah tinggal sederhana tahan gempa, serta mengevaluasi kinerja dan daktilitas dinding pracetak untuk mengecek kemampuan layannya terhadap gempa.

## 1.3 Batasan Masalah

Penulis membatasi permasalahan yang akan dipecahkan nantinya hanya pada aspek teknis saja, dan tidak membahas biaya dan waktu pelaksanaan di lapangan. Perhitungan juga dibatasi untuk rumah sederhana tipe 36 dan tipe 72.

## 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, genteng 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 ketempat aman. ([www.mulyanto.wordpress.com](http://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.
- b. Jika bangunan tidak berbentuk simetri maka sebaiknya menggunakan dilatasi (alur pemisah) sedemikian rupa sehingga denah bangunan merupakan rangkaian dari denah yang simetris.
- c. Penempatan dinding – dinding penyekat dan bukaan pintu atau jendela harus dibuat simetris terhadap sumbu denah bangunan.
- d. 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  $6^{\circ}$  LU dan  $11^{\circ}$  LS serta  $95^{\circ}$  BT dan  $141^{\circ}$  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 *Infilled Frame*

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 (*infilled 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 (*infilled 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 (*infilled 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 (*infilled frame*) dan mengetahui metode analisa yang memuaskan akan memberi solusi untuk perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa di Indonesia yang lebih realistis 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  $2000 \text{ kg/m}^3$  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.

Indonesia terletak antara  $6^{\circ}$  LU dan  $11^{\circ}$  LS serta  $95^{\circ}$  BT dan  $141^{\circ}$  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 *Infilled Frame*

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 (*infilled 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 (*infilled 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 (*infilled 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 (*infilled frame*) dan mengetahui metode analisa yang memuaskan akan memberi solusi untuk perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa di Indonesia yang lebih realistis 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  $2000 \text{ kg/m}^3$  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 alternatif 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  $2000 \text{ kg/m}^3$ . (Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.12, No.1, Januari 2008)

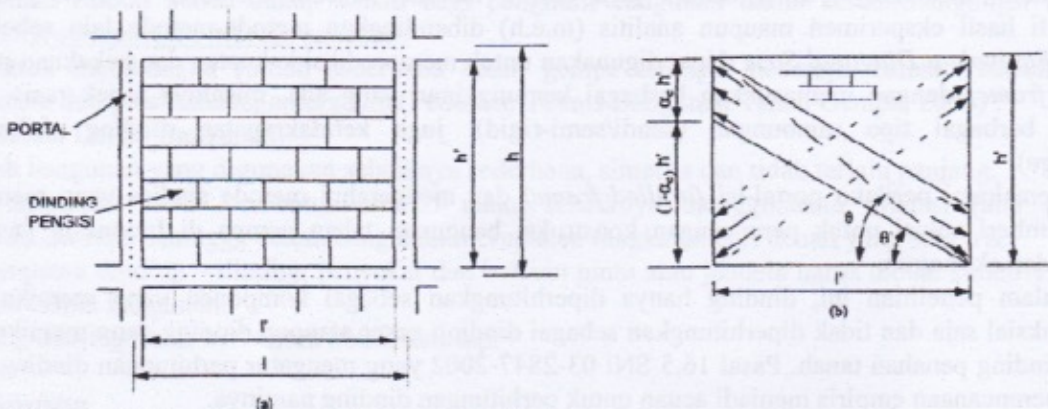
## 2.5 Metode Diagonal Tekan Ekivalen

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

### 2.5.1 Prinsip Analisis

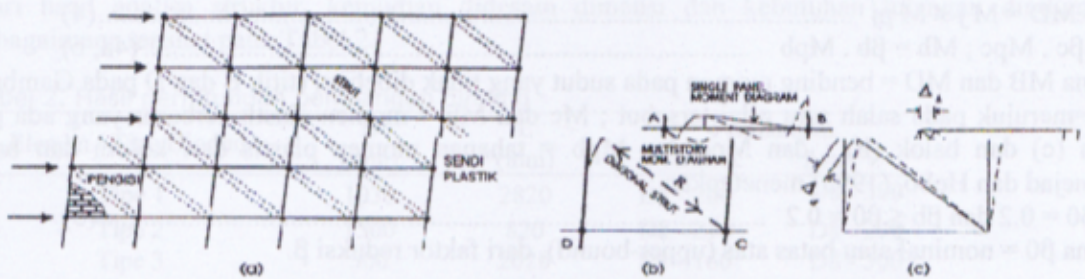
Portal-Isi dapat dianggap sebagai portal tidak bergoyang (*braced framed*), dimana dinding pengisi akan berfungsi sebagai diagonal tekan ekivalen (*equivalent diagonal strut*). Diagonal tekan ekivalen hanya kuat terhadap gaya tekan saja. Pengaruh beban lateral bolak-balik akibat gempa dapat diatasi dengan terbentuknya diagonal tekan pada arah lain yang juga mengalami tekan. Apabila properti mekanik (Ad dan Ed) dari diagonal tekan ekivalen dapat dicari maka portal-isi dapat dianalisis sebagai “portal terbuka dengan diagonal tekan ekivalen”, 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 ekivalen.

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

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

Dimana  $\alpha$  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 :

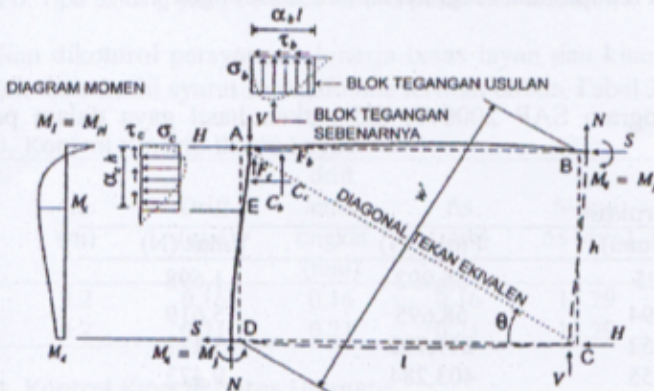
$$F_c = \mu \cdot r^2 \cdot C_c \text{ dan } F_b = \mu \cdot C_b \dots\dots\dots (2)$$

Dimana  $\mu$  = 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 :

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

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.

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

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

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 :

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

Dimana  $\beta_0$  = nominal atau batas atas (upper-bound), dari faktor reduksi  $\beta$ .

### 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 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.

#### f. Kontrol perilaku sambungan

Dengan memakai *software* LUSAS, 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.

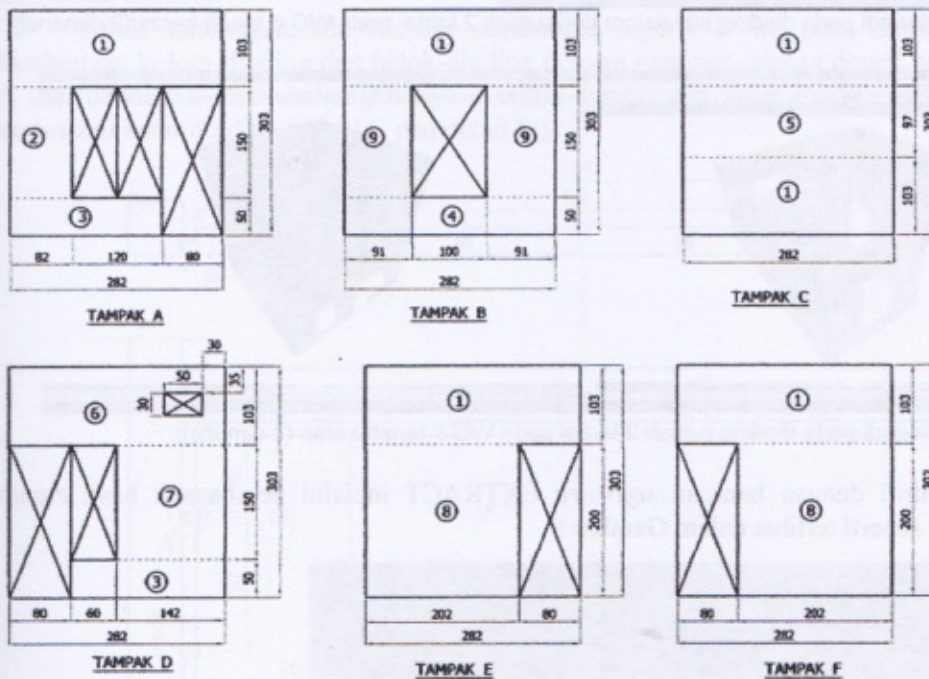
Tabel 1. Hasil perhitungan gaya dalam struktur

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

Elemen / Tipe Dinding	B (mm)	L (mm)	Penulangan	
			Arah X	Arah Y
Tipe 1	1030	2820	D8 - 200	D8 - 300
Tipe 2	1500	820	D8 - 210	D8 - 270
Tipe 3	500	2020	D8 - 160	D8 - 300
Tipe 4	500	2820	D8 - 160	D8 - 300
Tipe 5	970	2820	D8 - 190	D8 - 300
Tipe 6	1030	2820	D8 - 200	D8 - 300
Tipe 7	1500	1420	D8 - 210	D8 - 300
Tipe 8	2000	2020	D8 - 220	D8 - 300
Tipe 9	1500	910	D8 - 210	D8 - 300



Gambar 6. Tipe dinding yang berbeda karena posisi dan ukurannya

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.

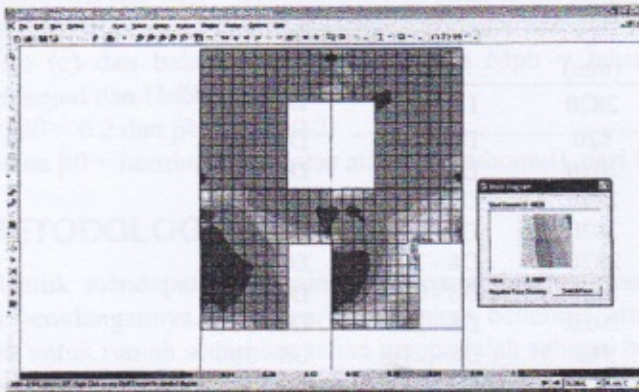
Tabel 3. Kontrol Kinerja Batas Layan

Lt.	h (m)	Drift (mm)	drift antar tingkat (mm)	$\Delta s$ (mm)	Syarat $\Delta s$ (mm)	ket	$\Delta m$ (mm)	Syarat $\Delta m$ (mm)	ket
2	3.2	0.16	0.16	0.16	11.29	ok	0.95	64	ok
1	3.2	0.21	0.21	0.21	11.29	ok	1.25	64	ok

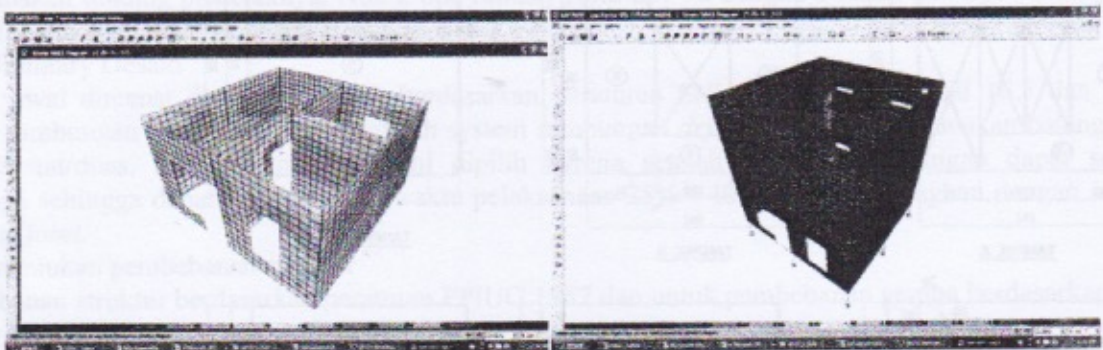
Tabel 4. Kontrol Kinerja Batas Ultimate

Lt.	h (m)	Drift (mm)	drift antar tingkat (mm)	$\Delta s$ (mm)	Syarat $\Delta s$ (mm)	ket	$\Delta m$ (mm)	Syarat $\Delta m$ (mm)	ket
2	3.2	0.16	0.16	0.16	11.29	ok	0.95	64	ok
1	3.2	0.21	0.21	0.21	11.29	ok	1.25	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).

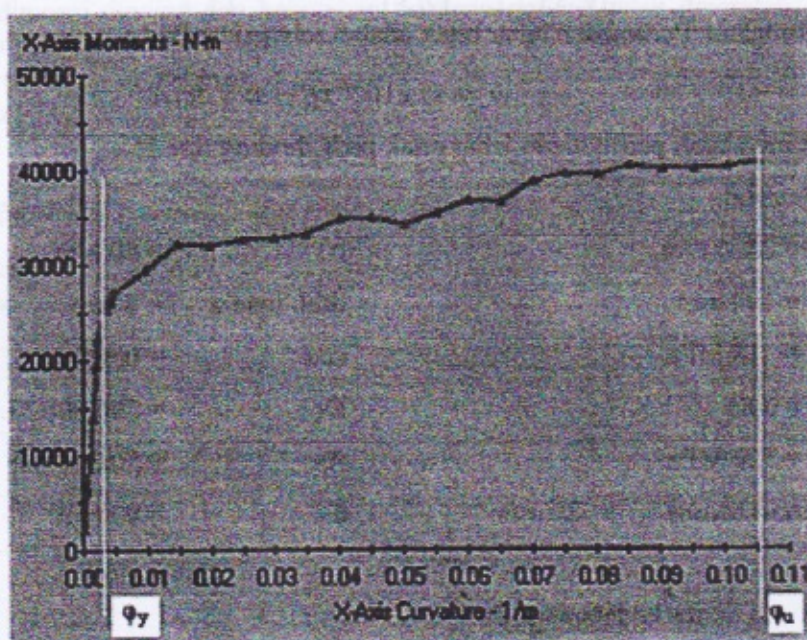


Gambar 7. Tegangan yang terjadi pada dinding sisi dalam dari rumah 2 lantai pada WG 6 tanah keras (2 dimensi)



Gambar 8. Tegangan yang terjadi pada dinding rumah 2 lantai pada WG 6 tanah keras (3 dimensi).

Daktilitas dinding dikontrol dengan bantuan *software* EXTRACT melalui pembacaan hasil *running* berupa *momen curvature* seperti terlihat dalam Gambar 9.



Gambar 9. Pembacaan kurvatur *ultimate* dan kurvatur leleh hasil *running* EXTRACT

Dalam gambar tersebut terbaca :

- kurvatur leleh pertama,  $\phi_y = 0.0033$
- kurvatur ultimate,  $\phi_u = 0.1051$

Maka nilai daktilitasnya adalah :

$$\mu_\phi = \phi_u / \phi_y = 0.1051 / 0.0033 = 31.84 < 16 \dots\dots\text{OK!}$$

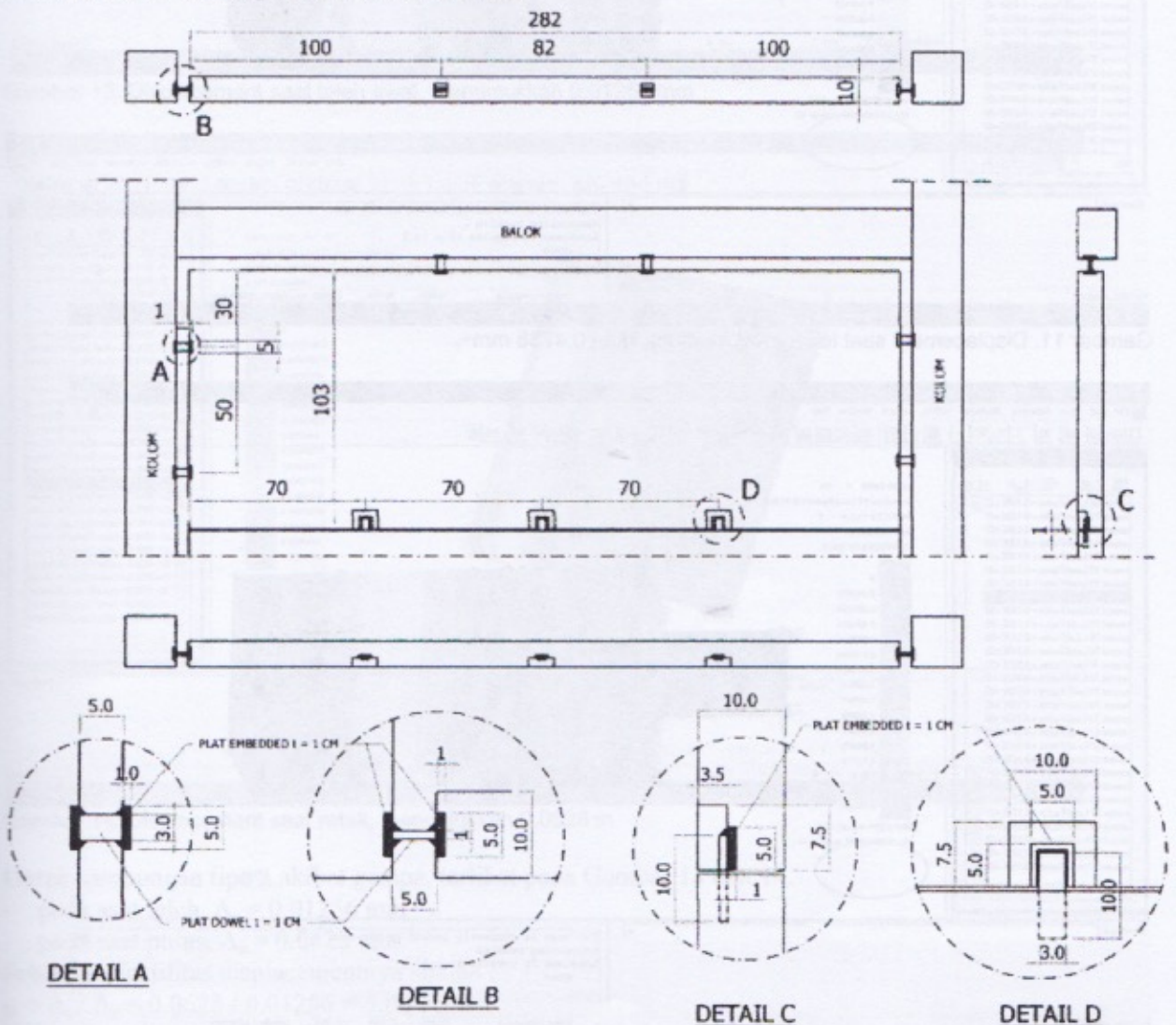
Nilai daktilitas seluruh tipe dinding adalah sebagaimana terlihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai daktilitas elemen pada setiap tipe dinding

Tipe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_\phi$	29.63	31.84	21.42	28.6	29.37	31.92	28.08	29.63	31.92

Hasil perhitungan kontrol retak menunjukkan bahwa lebar retak yang terjadi adalah 0.008148 mm, yang berarti sudah memenuhi persyaratan lebar retak pada pasal 12.6 SNI 2847-2002 yaitu sebesar 0.3 mm untuk eksterior.

Untuk sambungan, ada dua tipe sambungan seperti terlihat pada Gambar 10, yaitu tipe 1 untuk sambungan kolom-dinding dan balok-dinding dengan cara pengelasan dowel pada sisi tiap elemen (detail A dan detail B), dan sambungan tipe 2 untuk sambungan antar dinding dengan cara pengelasan plat *embedded* antar dinding (detail C dan detail D).



Gambar 10. Model sambungan dinding-balok, dinding-kolom, dan dinding-dinding

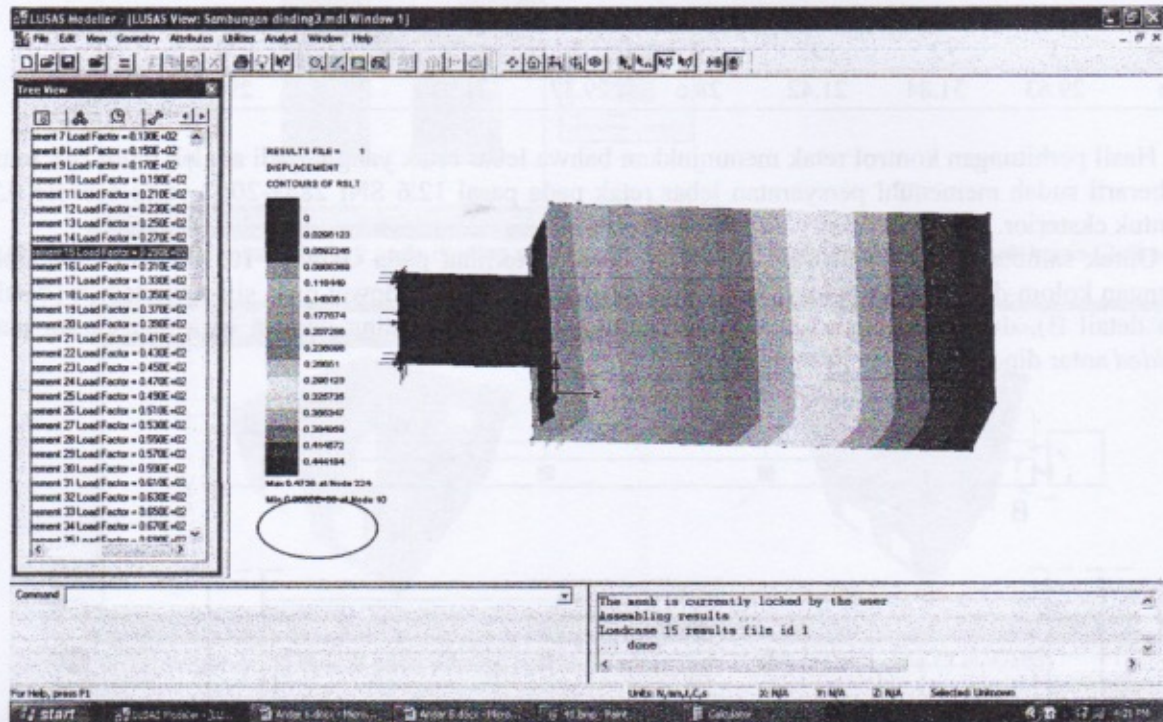
Dengan bantuan program LUSAS, dilakukan analisa terhadap daktilitas sambungan. Hasil displacement yang terjadi pada tipe 1 akibat gempa, terlihat pada Gambar 11 dan 12.

- pada saat leleh,  $\Delta_y = 0.4738$  mm
- pada saat putus,  $\Delta_u = 2.304$  mm

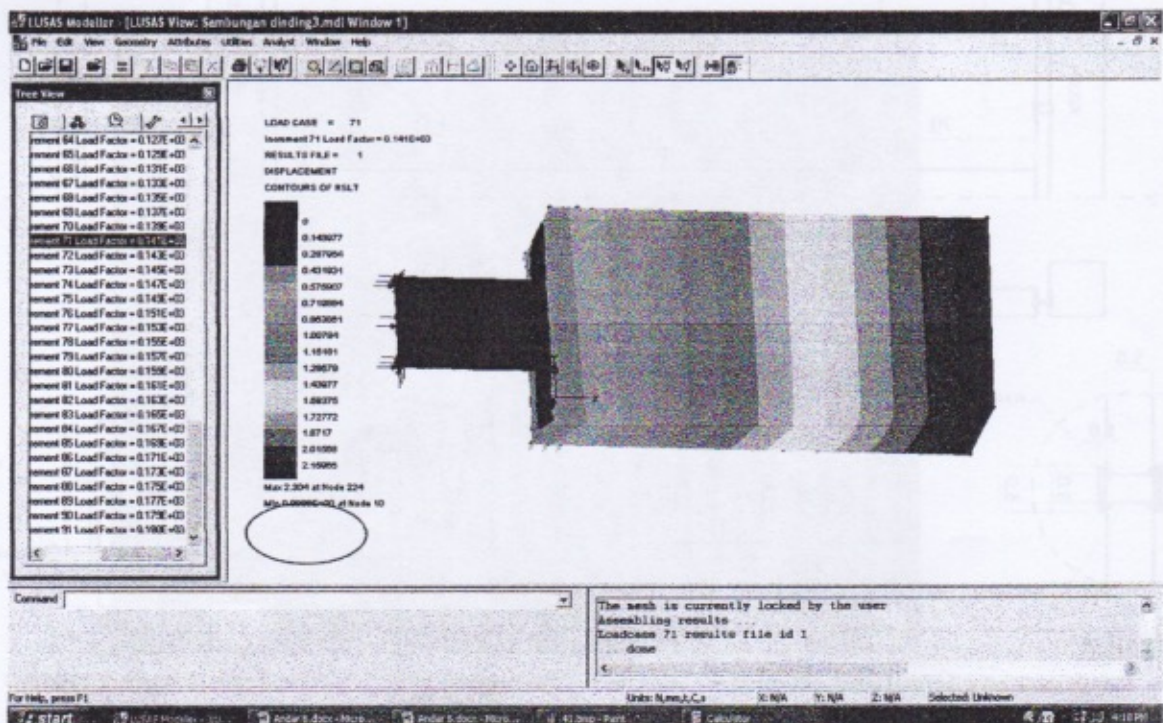
Sehingga daktilitas displacementnya adalah :

$$\mu = \Delta_u / \Delta_y = 2.304 / 0.4738 = 4.86$$

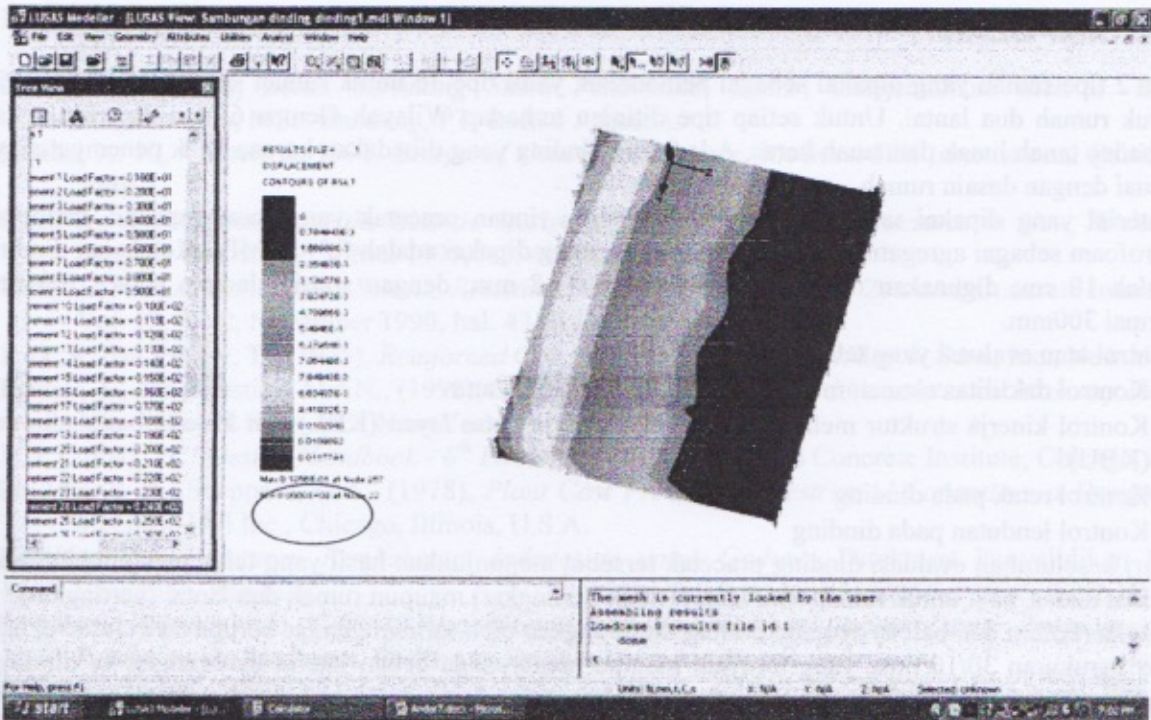
Sedangkan akibat angin, daktilitas displacement adalah 4.83.



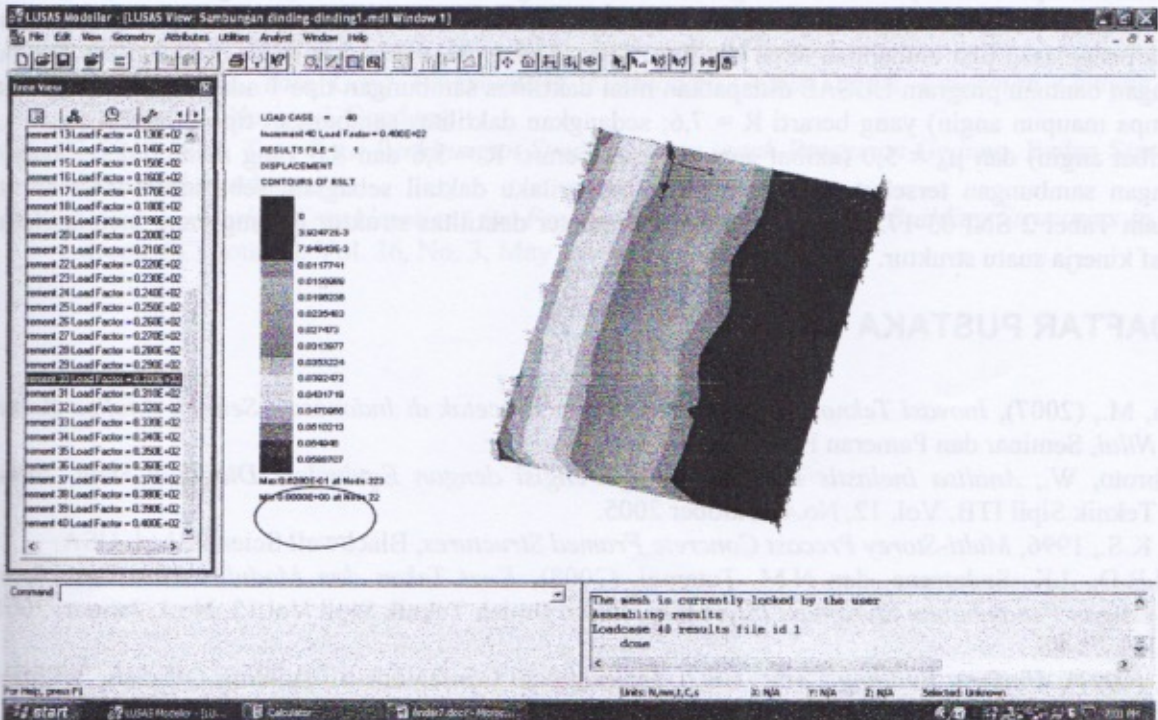
Gambar 11. Displacement saat leleh awal, menunjukkan 0.4738 mm



Gambar 12. Displacement saat retak, menunjukkan 2.304 m



Gambar 13. Displacement saat leleh awal, menunjukkan 0.01256 mm



Gambar 14. Displacement saat retak, menunjukkan 0.0628 m

Untuk sambungan tipe 2 akibat gempa, terlihat pada Gambar 13 dan 14.

- pada saat leleh,  $\Delta_y = 0.01256$  mm
- pada saat putus,  $\Delta_u = 0.0628$  mm

Sehingga daktilitas displacementsnya adalah :

$$\mu = \Delta_u / \Delta_y = 0.0628 / 0.01256 = 5.00$$

Sedangkan akibat angin, daktilitas displacement adalah 3.64.

## 5. KESIMPULAN

1. Ada 2 tipe rumah yang dipakai sebagai pemodelan, yaitu tipe 36 untuk rumah satu lantai dan tipe 72 untuk rumah dua lantai. Untuk setiap tipe ditinjau terhadap Wilayah Gempa 6, dan diperhitungkan terhadap tanah lunak dan tanah keras. Ada 9 tipe dinding yang dibedakan karena letak penempatannya sesuai dengan desain rumah.
2. Material yang dipakai untuk dinding adalah beton ringan pracetak yang menggunakan campuran styrofoam sebagai agregatnya. Mutu beton ringan yang dipakai adalah  $f_c' = 18$  MPa. Ketebalan dinding adalah 10 cm; digunakan tulangan berdiameter ( $\varnothing$ ) 8 mm, dengan spasi tulangan antara 200 mm sampai 300mm.
3. Kontrol atau evaluasi yang telah dilakukan meliputi:
  - Kontrol daktilitas elemen melalui diagram momen-kurvatur.
  - Kontrol kinerja struktur melalui persyaratan kinerja batas layan (KBL) dan kinerja batas ultimate (KBU).
  - Kontrol retak pada dinding
  - Kontrol lendutan pada dinding
 Dari keseluruhan evaluasi dinding pracetak tersebut menunjukkan hasil yang telah memenuhi syarat-syarat diatas, baik untuk rumah satu lantai (tidak bertingkat) maupun rumah dua lantai (bertingkat).
4. Rangka (kolom dan balok) dengan dinding dihubungkan oleh sambungan las berupa dowel-dowel baja tipis berukuran 30/10 mm, yang ternyata mampu meneruskan beban lateral dari rangka ke dinding-dinding dengan baik. Adanya dowel-dowel dalam pemodelan ini membuat distribusi gaya lateral tersebar merata ke seluruh komponen struktur lainnya. Ada dua tipe sambungan yakni tipe 1 dan tipe 2, dimana tipe 1 merupakan sambungan kolom-dinding dan balok-dinding dengan cara pengelasan dowel pada sisi tiap elemen. Sedangkan sambungan tipe 2 adalah sambungan antar dinding dengan cara pengelasan plat embedded antar dinding. Dari analisis daktilitas non linier terhadap sambungan dengan bantuan program LUSAS didapatkan nilai daktilitas sambungan tipe 1 adalah  $\mu_{\Delta} \approx 4,8$  (akibat gempa maupun angin) yang berarti  $R = 7,6$ ; sedangkan daktilitas sambungan tipe 2 adalah  $\mu_{\Delta} \approx 3,6$  (akibat angin) dan  $\mu_{\Delta} \approx 5,0$  (akibat gempa) yang berarti  $R = 5,6$  dan  $8,0$  yang menunjukkan bahwa dengan sambungan tersebut struktur mampu berperilaku daktilil sebagian, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 SNI 03-1726-2002 mengenai parameter daktilitas struktur gedung yang menunjukkan taraf kinerja suatu struktur.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., (2007), *Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia : Sebuah Analisa Rantai Nilai*, Seminar dan Pameran HAKI 2007.
- Dewobroto, W., *Analisa Inelastis Portal Dinding Pengisi dengan Equivalent Diagonal Strut*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 12, No.4, Oktober 2005.
- Elliot, K.S., 1996, *Multi-Storey Precast Concrete Framed Structures*, Blackwell Science, Ltd. USA.
- Giri, I.B.D., I.K. Sudarsana, dan N.M. Tutarani, (2008), *Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.12, No.1, Januari 2008, hal. 75-85.
- ICBO, (1997), *Uniform Building Code (UBC)*, International Conference of Building Officials, Whittier, CA.
- Mallick, D.V. dan Severn, R.T., (1967), *The Behaviour of Infilled Frames Under Static Loading*, Institution of Civil Engineering, Vol. 38, hal. 639-956.
- Martin, L.D. dan W.J. Korkosz, (1982), *Connection for Precast Prestressed Concrete Buildings including Earthquake Resistance*, The Consulting Engineers Group Inc., Illinois.
- Mulyanto, (2007), *Pedoman Membangun Rumah Sederhana Tahan Gempa*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Murty, C.V.R, 2002, *Earthquake TIP-15*, IIT Kanpur dan BMTPC New Delhi



- Naeim, F., (2001), *The Seismic Design Handbook – 2<sup>nd</sup> Edition*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- Nawy, E.G., 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, diterjemahkan oleh Ir. Bambang Suryoatmono, MSc. Bandung, PT. Refika Aditama.
- Nilson, A. H., Winter, G. 1991. *Design of Concrete Structure*, McGraw-Hill International Edition, New York.
- Park, R., *A Perspective on the Seismic Design of Precast Concrete Structures in New Zealand*, PCI Journal, Vol. 40, No.3, Mei 1995, hal. 40-60.
- Park, R., *Precast Concrete in Seismic Resisting Building Frames in New Zealand*, Concrete International, Vol. 12, No.2, November 1990, hal. 43-51.
- Park, R. dan Paulay, T., (1975), *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Paulay, T., dan Priestley, M.J.N., (1992), *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- PCI, (2004), *PCI Design Handbook - 6<sup>th</sup> Edition*, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL.
- Phillips, W.R., Sheppard, D.A., (1978), *Plant Cast Precast & Prestressed Concrete – a Design Guide*, McGraw-Hill Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.
- PPIUG 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesian untuk Gedung*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Puslitbang Permukiman, (2004), *Peta Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Bangunan*, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Priestley, M.J.N., *Seismic Design Philosophy for Precast Concrete Frames*, Structural Engineering International, Vol. 6, No.1, Februari 1996, hal. 25-31.
- Purwono, Rachmat (2005), *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa (Sesuai SNI-1726 dan SNI-2847 Terbaru)*, ITS Press, Surabaya.
- Smith, B.S., (1963), *Infilled Frames*, Tesis Ph.D., University of Bristol.
- SNI 03-1726-2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Yee, Alfred A., *Design Considerations for Precast Prestressed Concrete Building Structures in Seismic Areas*, PCI Journal, Vol. 36, No. 3, May 1991, hal. 40-55.