

**TEKNIK SIPIL**

**LAPORAN TAHUN 2011**

JUDUL PENELITIAN:

**DINDING GESER PAPAN KAYU TAHAN  
GEMPA**

**Ketua Tim Peneliti:**

**Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng.**

**Anggota:**

**Helmy Hermawan Tjahjanto, ST., MT**

**Herry Suryadi, ST., MT.**

**Andreas Onky (2007410027)**

**Steven Varian Lokanatha (2007410031)**

**Nathanael (2007410056)**



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
JL. CIUMBULEUIT 94 - BANDUNG**

**AGUSTUS 2011**

## DAFTAR ISI:

Daftar Isi	1
Identitas Penelitian / Halaman Pengesahan	2
Abstrak	3
Bab 1 Pendahuluan	4
Bab 2 Studi Pustaka	7
Bab 3 Metode Penelitian	11
Bab 4 Hasil Uji Eksperimental	14
Bab 5 Analisis dan Diskusi	26
Bab 6 Kesimpulan	32
Daftar Pustaka	34

### Lampiran :

#### A. Makalah yang telah dipresentasikan di:

1. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Surabaya 19-20 Juli 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Cross Nail-Laminated Timber (CNLT) Shearwall Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A. and Onky, A.)

#### B. Abstrak<sup>\*)</sup> telah diterima dan akan dipresentasikan di:

2. Seminar Nasional MAPEKI-14 di Jogjakarta, 2 November 2011 dengan judul makalah: *Perilaku Dinding Geser Plywood dengan Bresing Diagonal Tulangan Baja Akibat Beban Siklik*. (Tjondro, J.A., Djajaprabha, H.S. dan Nathanael.)
3. The 3<sup>rd</sup> International Symposium of Indonesian Wood Research Society, di Jogjakarta, 3-4 November 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Timber Frame Shearwall Sheathed with Horizontal Wood Plank Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A., Tjahjanto, H.H. and Lokanatha, S.V.)

<sup>\*)</sup> makalah sedang dalam penulisan.

#### C. Bukti Pelaksanaan Seminar



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat  
Universitas Katolik Parahyangan**

Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141, telp. +62 22 2030918-20 ext 148, 144  
Fax. +62 22 2034847, email: lppm@home.unpar.ac.id

## **Laporan Kegiatan Penelitian**

### **ABSTRAK**

Di Indonesia kebutuhan perumahan sangat besar, rumah kayu menjadi salah satu solusinya. Teknologi tepat guna dalam pembangunan perumahan khususnya rumah kayu kurang diterapkan dalam upaya pengurangan risiko bencana gempa. Dinding geser merupakan elemen struktural bagian dari komponen rumah yang sangat efektif dalam menahan beban horisontal gempa maupun angin. Sampai saat ini penelitian tentang dinding geser kayu umumnya dengan lapisan penutup dinding dari panel gipsum atau *plywood*. Berbeda dengan penelitian-penelitian yang ada, dinding geser dalam penelitian ini terbuat dari rangka balok kayu dan papan-papan pelapis dari kayu dengan alat penghubung paku yang secara teknis mudah dikerjakan. Kayu yang digunakan adalah kayu lokal dan cepat tumbuh, seperti sengon dan albasia.

Penelitian ini meliputi uji eksperimental elemen struktural dinding geser dengan 3 variasi dinding geser penuh tanpa bukaan. Tiga macam lapisan penutup digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan plywood (PBR-SW) dengan rangka berbresing tulangan baja, papan-papan kayu (WP-SW) dan papan kayu laminasi-paku silang (CNLT-SW). Kurva histeresis benda uji PBR-SW dan WP-SW cenderung cocok dengan *Degrading Tri-linear Model*, sedangkan pada benda uji CNLT-SW lebih menyerupai *Stewart Model*. Kurva histeresis berdasarkan hasil uji eksperimental elemen dinding geser yang mewakili model dinding geser dapat digunakan dalam simulasi numerik dengan komputer.

*Envelope* histeresis dari ke 3 macam jenis dinding geser menunjukkan kurva tri-linier terendah adalah pada dinding geser dengan penutup papan kayu, sedangkan tertinggi adalah dengan dinding geser yang menggunakan dinding penutup *plywood*.

# BAB I

## PENDAHULUAN

**Material kayu:** Hutan di Indonesia yang sangat potensial terbagi menjadi hutan alam, hutan rakyat dan hutan tanaman industri. Sejak perhatian pemerintah dalam bentuk pengawasan terhadap maraknya penebangan liar pada hutan alam, sumber bahan kayu sebagai bahan bangunan maupun untuk industri lainnya mulai beralih pada hutan tanaman industri dan hutan rakyat. Banyaknya kebutuhan kayu dalam dunia konstruksi menyebabkan mulai dikembangkannya hutan tanaman industri yang menghasilkan kayu cepat tumbuh dan panen seperti kayu akasia, sengon, albasia dan jabon. Diharapkan kebutuhan akan kayu sebagai bahan bangunan akan dapat terpenuhi pada masa mendatang.

Material kayu ramah lingkungan (*green*) dan bersumber dari alam yang tidak akan pernah habis (*sustainable*) kurang dimanfaatkan untuk bahan bangunan. Kayu yang masih muda dalam pertumbuhannya akan menyerap banyak CO<sub>2</sub> dan menghasilkan O<sub>2</sub>. Kayu dalam prosesnya sebagai elemen bangunan paling rendah konsumsi enerjinya, Forest Product Laboratory, 2010., Kolb 2008. Penggunaan bahan bangunan kayu di berbagai negara sebagai bahan yang ramah lingkungan dan hemat energi menyebabkan kemajuan teknologi dalam bidang konstruksi maju sangat pesat.

**Kebutuhan akan perumahan:** Kebutuhan akan perumahan bagi rakyat golongan menengah kebawah masih sangat besar. Pencanangan pembangunan seribu tower rusun/ apartemen belum dapat dipenuhi. Material yang digunakan mayoritas menggunakan beton dan baja, sangat kontras dengan *residential building* di luar negeri yang hampir 80% menggunakan kayu sebagai material bangunan. Sedangkan bangunan bertingkat dari kayu sampai dengan 10 lantai juga sudah ada di Negara-negara di Eropa, seperti Inggris dan Swedia.

**Ketahanan bangunan terhadap gempa bumi:** Wilayah kepulauan Indonesia termasuk dalam daerah gempa aktif atau biasa disebut *Pacific Ring of Fire*. Dalam beberapa tahun terakhir terjadi gempa-gempa besar seperti, gempa Aceh (2004), gempa Yogyakarta (2006), gempa Bengkulu (2007), gempa Tasikmalaya (2009) dan gempa Padang (2009). Gempa-gempa besar tersebut menghancurkan sangat banyak gedung, fasilitas umum beserta isinya dan juga korban jiwa. Jenis bangunan yang runtuh mulai dari rumah rakyat biasa tanpa perhitungan teknik (*non-engineered building*) maupun bangunan bertingkat yang seharusnya didisain tahan gempa (*engineered building*), Wijanto et.al. 2010.

Pelajaran dari kegagalan struktur akibat gempa-gempa yang sudah terjadi menimbulkan keprihatinan akan lemahnya pengetahuan baik teori, analisis maupun standar akan disain bangunan yang baik. Pengalaman pada bangunan dengan beton dan baja menunjukkan bahwa pada umumnya kegagalan tersebut diakibatkan oleh; *soft story mechanism, short column effect, pounding*, masa yang berlebihan, kurangnya tulangan longitudinal dan geser, tidak ada tulangan pada hubungan balok dan kolom serta detailing tulangan seperti syarat jarak sengkang, bengkokan dan overlap tulangan yang tidak memenuhi syarat. Dapat diindikasikan bahwa standar–standar yang ada tidak/belum diketahui atau diikuti persyaratannya. Sedangkan pada bangunan kayu keruntuhan pada umumnya akibat sambungan atau hubungan yang tidak memenuhi standar dan sistem strukturnya tidak tahan gempa. Peraturan Kayu di Indonesia sangat ketinggalan jaman, sejak tahun 1961 Peraturan Kayu Indonesia (PKKI 1961) belum mengalami perubahan. Peraturan-peraturan di Luar Negeri menggunakan metode disain baik LRFD/ASD, Breyer 2008 sedangkan PKKI 1961 masih ASD lama. Dari pengalaman yang ada bangunan dari kayu menunjukkan ketahanan yang baik terhadap gempa.



**Teknologi tepat guna dan kemajuan teknologi:** Suatu teknologi tepat guna perlu disiapkan dalam upaya pemenuhan kebutuhan perumahan dan juga pengurangan risiko bencana khususnya akibat gempa. Kayu merupakan bahan lokal yang mudah didapat, dan pembuatan dinding geser dengan rangka balok kayu dan pelapis papan dengan penghubung paku merupakan teknologi yang mudah dipelajari. Salah satu sistem struktur yang efektif dalam menahan beban lateral gempa adalah dinding geser. Dinding geser yang akan diteliti terbuat dari rangka dan papan kayu yang mudah pengerjaannya, berbeda dengan yang umumnya dilakukan oleh para peneliti lainnya yang menggunakan bahan gipsum dan *plywood* yang sulit didapatkan di daerah maupun memerlukan alat dan keahlian khusus untuk mengerjakannya.

### **Tujuan Khusus**

**Pemanfaatan kayu sebagai bahan bangunan yang *Green and sustainable*:** Tujuan khusus adalah untuk mengembangkan dan mendorong pemanfaatan material kayu sebagai bahan bangunan yang utama. Sumber daya hasil hutan di Indonesia yang sangat potensial baik dari hutan alam, hutan rakyat dan hutan tanaman industri tidak akan pernah habis, asalkan pemerintah memberikan regulasi yang baik dan pengawasan terhadap penebangan dan penghijauan kembali hutan alam serta mendorong usaha hutan tanaman industri dan hutan rakyat. Indonesia mempunyai keuntungan karena terletak di daerah tropis sehingga kayu cepat tumbuh karena matahari bersinar sepanjang tahun. Diharapkan kebutuhan akan kayu sebagai bahan bangunan akan dapat tetap terpenuhi pada masa mendatang. Sesuai dengan isu *Green*, material kayu yang juga ramah lingkungan dan bersumber dari alam dan tidak akan pernah habis (*sustainable*) diharapkan dapat dimanfaatkan untuk bahan bangunan. Kayu yang masih muda dalam pertumbuhannya akan menyerap banyak CO<sub>2</sub> dan menghasilkan O<sub>2</sub> dan dalam pembuatannya sebagai bahan bangunan, rendah konsumsi enerjinya. Dari hasil penelitian ini diharapkan masyarakat dapat melihat bahan bangunan dari kayu sebagai salah satu pilihan yang ramah lingkungan dan banyak menggunakannya. Di daerah dimana kesulitan bahan semen dan baja untuk membuat bangunan dari beton atau baja, bangunan kayu merupakan solusinya karena dapat menggunakan material kayu lokal.

**Ketahanan bangunan kayu terhadap gempa bumi:** Wilayah kepulauan Indonesia termasuk dalam daerah gempa aktif atau biasa disebut *Pacific Ring of Fire*. Kerusakan gedung, fasilitas umum beserta isinya dan juga korban jiwa seharusnya dapat dihindari. Jenis bangunan yang runtuh mulai dari rumah rakyat biasa tanpa perhitungan teknik (*non-engineered building*) maupun bangunan bertingkat yang seharusnya didisain tahan gempa (*engineered building*)., Wijanto et.al 2010. Sedangkan khususnya pada bangunan kayu keruntuhan pada umumnya akibat sambungan atau hubungan yang tidak memenuhi standar dan sistem strukturnya tidak tahan gempa. Peraturan Kayu di Indonesia sangat ketinggalan jaman, sejak tahun 1961 Peraturan Kayu Indonesia (PKKI 1961) belum mengalami perubahan. Penelitian ini akan memberikan solusi untuk bangunan dari kayu yang memenuhi syarat kekuatan (*strength*), kekakuan(*stiffness*) dan stabilitas (*stability*) terutama menghadapi beban akibat gempa.

### **Keutamaan Penelitian**

**Teknologi tepat guna dan kemajuan teknologi:** Penelitian ini akan menyiapkan teknologi tepat guna dalam upaya pemenuhan kebutuhan perumahan dan juga pengurangan risiko bencana khususnya akibat gempa. Bangunan dengan dinding geser adalah salah satu sistem struktur yang efektif dalam menahan beban lateral gempa adalah. Dinding geser yang akan diteliti terbuat dari rangka dan papan kayu yang mudah pengerjaannya, berbeda dengan yang umumnya dilakukan dimana bangunan dengan dinding geser menggunakan bahan gipsum

dan *plywood* sebagai penutup rangka yang sulit didapatkan di daerah maupun memerlukan alat dan keahlian khusus untuk mengerjakannya. Penelitian ini akan menghasilkan prototipe bangunan bertingkat rendah dengan dinding geser papan kayu silang laminasi-paku tahan gempa yang merupakan teknologi tepat guna untuk digunakan oleh masyarakat. Dan mendapatkan sistim konstruksi bangunan bertingkat rendah dengan dinding geser papan kayu silang laminasi-paku yang cepat dan mudah.

**Pengembangan dari penelitian yang sudah ada:** Akhir-akhir ini penggunaan kayu silang laminasi (Cross Laminated Timber/ CLT) sebagai dinding geser untuk bangunan tinggi banyak digunakan. CLT menggunakan perekat untuk merangkaikan lapisan-lapisan papan kayu. Perekat di Indonesia masih termasuk mahal harganya, sehingga penggunaan paku untuk merekatkan atau melaminasi papan-papan menjadi satu kesatuan lebih murah dan mudah dilakukan. Dinding geser papan kayu silang laminasi-paku merupakan pengembangan dari CLT yang menggunakan perekat.

**Masukan untuk Peraturan Kayu Indonesia:** Peraturan Kayu Indonesia yang baru sedang disusun, dimana sebagian besar mengacu kepada peraturan luar negeri. Sifat-sifat kayu tropis yang umumnya *hardwood* dapat berbeda dengan *softwood* sehingga peraturan dari luar negeri tidak dapat diadopsi begitu saja. Penelitian ini juga akan memberikan masukan mengenai sifat-sifat kayu tropis pada cara-cara atau teori yang sudah ada, khususnya pada perencanaan dinding geser kayu. Penelitian ini diharapkan pada akhirnya akan menghasilkan pedoman dan manual perhitungan disain bangunan bertingkat rendah dengan dinding geser papan kayu silang laminasi-paku tahan gempa.

#### **Ruang Lingkup penelitian:**

1. Penelitian adalah dengan uji eksperimental di Laboratorium
2. Kurva histerisis atau perilaku non-linier elemen dinding geser papan kayu, kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya akan diobservasi.
3. Tiga macam lapisan penutup digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan plywood (PBR/ Plywood with Bracing) dengan rangka berbresing tulangan baja, papan-papan kayu (WP / Wood Plank) dan papan kayu laminasi-paku silang (CNLT/ Cross Nail-Laminated Timber).
4. Masing-masing lapisan penutup terdiri dari 3 benda uji, total benda uji  $3 \times 3 = 9$  buah
5. Ukuran luar benda uji adalah  $1200 \times 2400 \text{ mm}^2$ .
6. Pengujian dengan beban siklik statis.
7. Jenis papan kayu dan papan kayu silang untuk lapisan penutup adalah albasia dengan tebal 18 mm.
8. Plywood dengan tebal 9 mm terbuat dari kombinasi kayu meranti dan albasia.
9. Rangka terbuat dari kayu sengon dengan dimensi  $60 \times 120 \text{ mm}^2$ .

#### **Pembagian tim peneliti adalah sebagai berikut:**

1. Dinding geser dengan lapis penutup plywood dan bresing pengaku tulangan baja (**Tjondro, J.A. , Djajaprabha, H. S. and Nathanael.**)
2. Dinding geser dengan lapis penutup papan kayu (**Tjondro, J.A., Tjahjanto, H.H. and Lokanatha, S.V.**)
3. Dinding geser dengan papan kayu silang laminasi-paku (**Tjondro, J.A. and Onky, A.**)

## BAB II STUDI PUSTAKA

**Aplikasi dinding geser sebagai elemen penahan beban lateral gempa:** Di Negara-negara seperti Jerman, Australia, New Zealand, Kanada, Amerika dan negara-negara lain di Eropa, penggunaan kayu sebagai bahan bangunan untuk rumah tinggal ataupun bangunan bertingkat dengan elemen dinding geser kayu sangat banyak dan sudah umum. Bangunan 2 lantai seperti terlihat pada Gambar 2.1 mempunyai elemen-elemen struktur termasuk dinding geser, sebagian besar terbuat dari kayu. Penelitian penelitian dinding geser yang ada lebih banyak menggunakan rangka kayu dengan lapisan penutup dari gypsum atau plywood. Perkembangan terakhir dari lapisan penutup ini adalah digunakannya papan kayu silang laminasi (Cross Laminated Timber/ CLT). CLT ini dapat direkayasa sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang mencukupi untuk digunakan pada dinding geser bangunan bertingkat rendah/ sedang, seperti terlihat pada Gambar 2.3.

Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia 1961 sangat ketinggalan jaman, sejak tahun 1961 Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI 1961) belum mengalami perubahan. Sehingga peraturan untuk disain dinding geser dari kayu di Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia belum ada. Demikian pula khususnya untuk dinding geser papan kayu silang laminasi-paku di Indonesia dan juga di luar negeri belum ada.

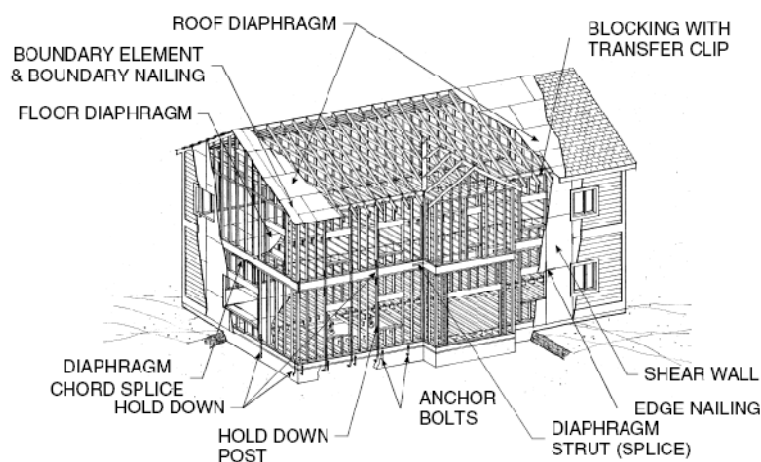


FIGURE 18.1 Typical components of woodframe construction. (From SEAC, 1997, *Guidelines for Wood Diaphragms and Shear Walls*. With permission.)

Gambar 2.1 Skema tipikal rumah bertingkat dua dengan kombinasi elemen dinding geser (shear wall), Cobeen, 2004.

Pada gambar 2.1 Bangunan terdiri rangka, atap dan elemen dinding geser sebagai elemen struktur penahan beban lateral. Sedangkan pada Gambar 2.2 papan-papan kayu digunakan sebagai penutup/ *cladding*. Biasanya *cladding* ini tidak diperhitungkan sumbangan kekuatannya dalam disain.



FIGURE 18.2 Existing wood frame building and the corner of Ashby and Adeline Streets in Berkeley, CA, residential use.

Gambar 2.2 Tipikal Rumah Bertingkat Dua dengan rangka kayu dan penutup papan kayu, Cobeen, 2004.

Pada umumnya dinding geser tersebut juga mempunyai bukaan-bukaan ventilasi udara untuk keperluan jendela dan juga pintu, dalam penelitian ini tidak ditinjau pengaruh dari adanya bukaan tersebut. Pengurangan kekakuan lateral dan konsentrasi tegangan akan timbul pada daerah-daerah bukaan tersebut.

Perkembangan teknologi konstruksi dari hasil penelitian-penelitian yang intensif di luar negeri menghasilkan bangunan-bangunan bertingkat menengah seperti di Inggris, Swedia, Swiss, Canada dan negara lainnya, Gambar 2.3. Bangunan bertingkat dari kayu tersebut pada umumnya mempergunakan dinding geser juga sebagai penahan beban gravitasi selain penahan beban lateral angin atau gempa. Dan sebagian sudah menggunakan CLT sebagai elemen dinding geser penahan beban lateral gempa/ angin.

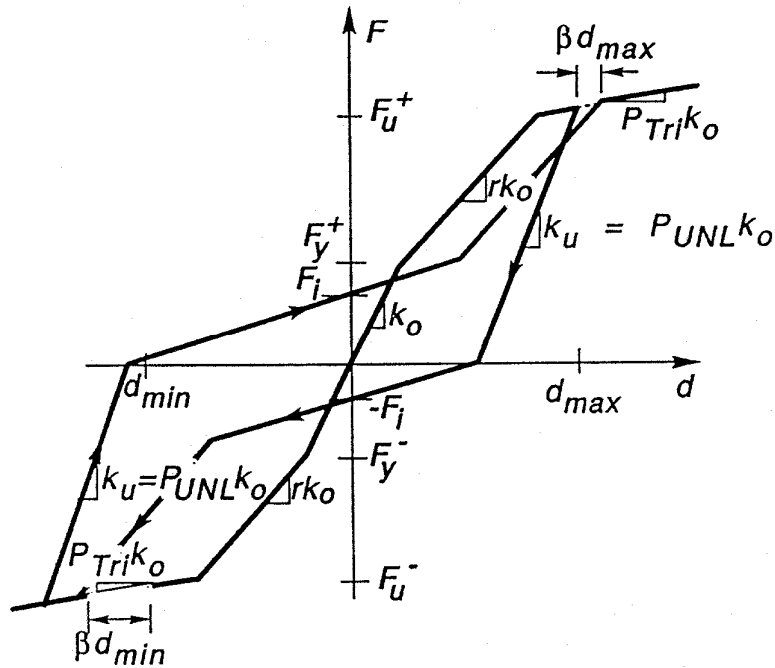


Gambar 2.3 Struktur bangunan kayu dengan konstruksi dinding geser untuk apartemen perumahan di United Kingdom dan Swedia, Sumber: Forintek 2008.

### Studi pendahuluan:

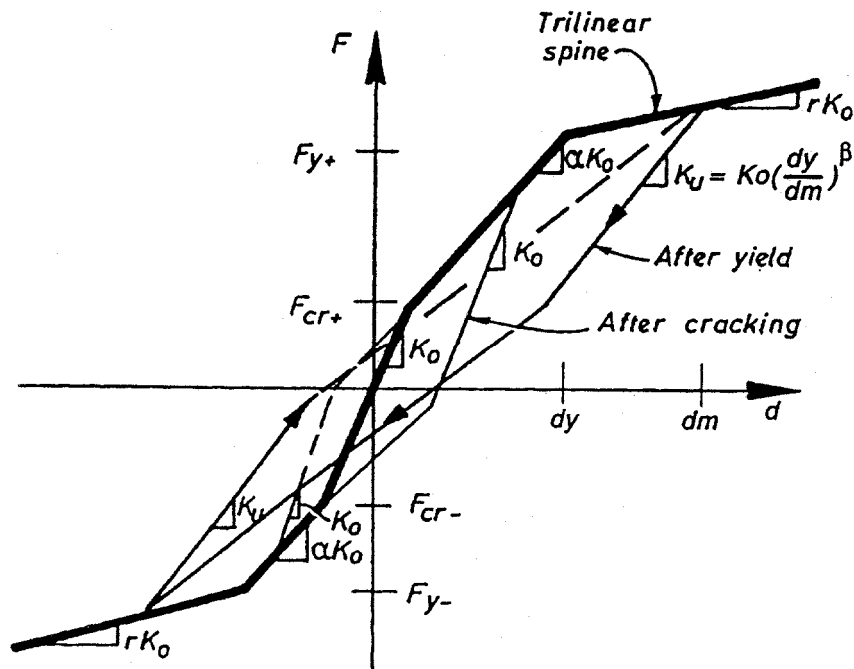
Simulasi dan modeling perilaku dinding geser dengan pelapis gypsum terhadap beban dinamik gempa (Dean, J. A. and Tjondro, J. A., 1988).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Stewart, 1987 di University of Canterbury New Zealand, menghasilkan perilaku beban-deformasi dari dinding geser dengan lapisan penutup Gypsum (Gibraltarboard). *Dean and Tjondro, 1988*, menggunakan karekeristik dari *gypsum-wall* dari *Stewart, 1987* seperti terlihat pada Gambar 2.4 untuk mensimulasikan beban dinamik gempa. Dinding penutup yang digunakan dapat bervariasi mulai dari plywood, gipsum board, papan kayu laminasi-lem silang, log/balok dan sebagainya.

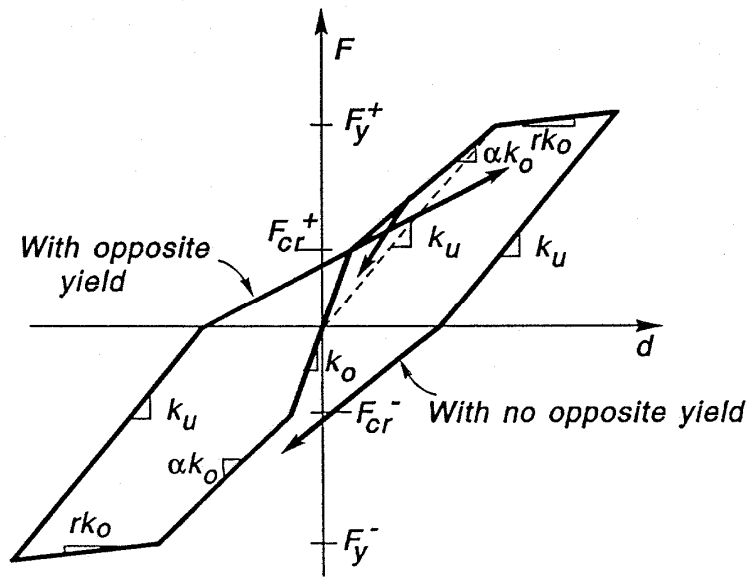


Gambar 2.4 Parameter-parameter pada *Stewart Hysteresis Model* (Carr, 1998)

Dari hasil uji eksperimental ke tiga topik penelitian di bawah ini, akan diobservasi apakah perilaku dari dinding geser menyerupai *Stewart Hysteresis Model*. Walaupun perilakunya mungkin sama tetapi parameter-parameter pada *Stewart Hysteresis Model*-nya akan berbeda untuk masing-masing jenis dinding geser. Kurva yang lain misalnya adalah Kurva Histeresis *Tri-linear* Fukuda seperti pada Gambar 2.5 atau *Degrading Tri-linear* Muto.



Gambar 2.5 Parameter-parameter pada *Fukuda Degrading Tri-linear Hysteresis Model* (Carr, 1998)



Gambar 2.6 Parameter-parameter pada *Muto Degrading Tri-linear Hysteresis Model* (Carr, 1998)

### BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah kombinasi antara studi analitis teoritis melalui review daftar pustaka dan uji eksperimental. Review penelitian yang ada untuk mengetahui *state of the art* dari penelitian tentang dinding geser. Uji eksperimental dilakukan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik dinding geser yang dibuat dengan bahan lokal dan sistim penutup papan kayu dan papan kayu silang laminasi-paku.

#### Metode pengujian

Standar pengujian adalah ASTM E 2126 – 02a, *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*, dengan skema pengujian seperti terlihat pada Gambar 3.1. Uji beban siklik dilakukan agar parameter-parameter seperti *slackness, degrading strength/ stiffnes* dan *softening factor* dapat diketahui.

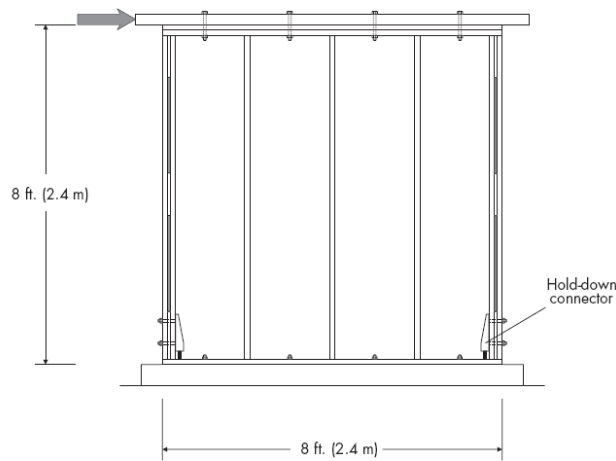
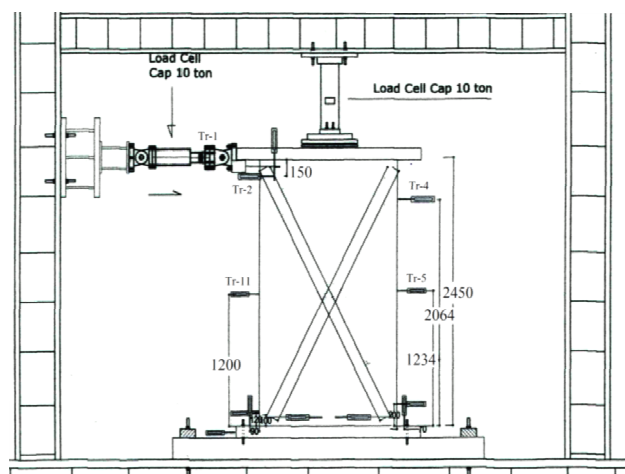


FIGURE 7.3 Schematic diagram of shear-wall tests following the methods outlined by ASTM E564.<sup>5</sup>

Gambar 3.1 Standar pengujian dengan beban sesuai ASTM E 2126 – 02a

Pemasangan benda uji pada rangka tes untuk pelaksanaan pengujian dan monitoring adalah seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema pengujian dengan beban lateral siklik dan monitoring deformasi dinding geser

### 3.2 Alat Uji Beban Siklik

*Center Hole Jack* tipe JTC-10 digunakan sebagai pemberi beban horizontal siklik (Gambar 3.3) dengan menggunakan *Hydraulic Pump Unit* (Gambar 3.4b). Besarnya beban pada *load cell* akan dimonitor oleh *data logger*. *Jack* untuk pemberi beban vertikal juga dikendalikan oleh *Hydraulic Pump Hand* (Gambar 4.4a) untuk memberikan beban vertikal yang konstan.



Gambar 3.3 *Center Hole Jack* JTC-10 dengan Kapasitas 10 Ton dan panjang *stroke* 200 mm



(a) *Hydraulic Pump Hand* (b) *Hydraulic Pump Unit*  
Gambar 3.4 (a) *Hydraulic Pump Hand* (b) *Hydraulic Pump Unit*

Kontak antara *jack* pemberi beban vertikal dan benda uji diberi roda agar mengurangi gaya gesek yang terjadi antara *jack* dengan benda uji. Pada beberapa titik pada benda uji dipasang *displacement transducer*. Pada bagian ujung *transducer* diberi alas kaca untuk mengurangi hambatan/gesekan yang terjadi antar kayu yang bergerak dengan ujung *transducer* (Gambar 3.5). *Transducer* juga terhubung langsung dengan *data logger* (Gambar 3.6), sehingga setiap perilaku yang dihasilkan oleh benda uji akan dapat diamati melalui analisis data yang terekam.





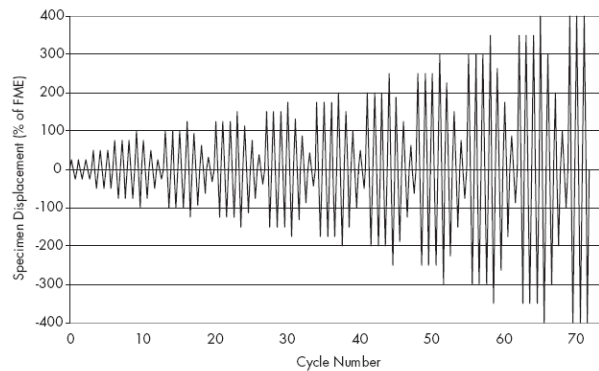
Gambar 3.5 Ujung *transducer* diberi landasan kaca agar pembacaan lebih akurat



Gambar 3.6 *Data logger* untuk merekam data bacaan *transducer* dan *load cell*

### 3.3 Pola Beban Uji Siklik

Dalam penelitian ini, dinding geser yang telah didesain akan diuji dengan uji siklik (*cycle test*). Alat-alat yang telah terpasang akan dioperasikan oleh para teknisi Pusat Penelitian Pengembangan Permukiman. *Jack* akan diatur untuk memberikan beban vertikal sebesar 500 kg secara konstan. Pada beban lateral akan diberikan gaya secara siklik dengan langkah pembebanan per 100 kg yang dilakukan berulang-ulang sebanyak tiga siklus sampai benda uji runtuh, yang mengacu pada ASTM E-2126-05. Pola pembebanan siklik untuk gaya lateral dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pola Pembebanan Siklik Lateral Statik (ASTM E-2126-05)

## BAB IV

### UJI EKSPERIMENTAL

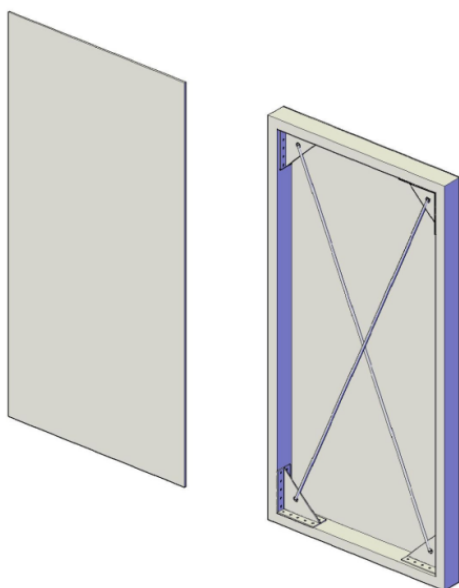
#### 4.1 DINDING GESER DENGAN LAPIS PENUTUP PLYWOOD DAN BRESING PENGAKU TULANGAN BAJA.

(TJONDRO, J.A. , DJAJAPRABHA, H. S. DAN NATHANAEL)

Di Indonesia studi mengenai dinding geser dengan material kayu lokal belum dilakukan, Dalam penelitian ini dilakukan studi tentang dinding geser dengan rangka kayu sengon dan penutup *plywood* yang dibuat dari kayu meranti dan albasia. Suatu bresing konsentris X juga dipasang dengan maksud untuk memperkaku dan memperbesar daktilitas dinding geser tersebut. Akan dilihat berapa besar pengaruh dari penambahan bresing tulangan baja pada dinding geser dengan lapisan penutup *plywood*.

##### 4.1.1 Benda uji

Elemen-elemen benda uji terdiri dari rangka kayu sengon ukuran 60 x 120 mm<sup>2</sup>, lapisan penutup *plywood* tebal 9 mm dan bresing X dari tulangan baja diameter 6 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.1. Ada dua macam penghubung yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu paku dan lem. Paku dengan diameter 2,8 mm dan panjang 50 mm yang digunakan untuk menghubungkan lapis penutup *plywood* dengan rangka balok kayu dengan jarak antar paku adalah 50 mm. Dan paku dengan diameter 5 mm dan panjang 100 mm yang digunakan untuk menghubungkan antar balok kayu.



**Gambar 4.1 Prototip dinding geser plywood dengan bresing tulangan baja**



**Gambar 4.2 Tes set up dinding geser, beban dan transducer**

Rangka memiliki dua macam hubungan, yaitu hubungan ekor burung dan hubungan pen. Hubungan ekor burung untuk balok atas dengan balok vertikal. Sedangkan hubungan pen digunakan pada balok bagian bawah dengan balok vertikal. Lem dan paku juga dipergunakan untuk memperkuat hubungan pen dan ekor burung.

Profil baja siku dengan tebal 6 mm yang dibuat khusus disesuaikan dengan dimensi dinding geser kayu dipergunakan pada ke empat sudut rangka seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.

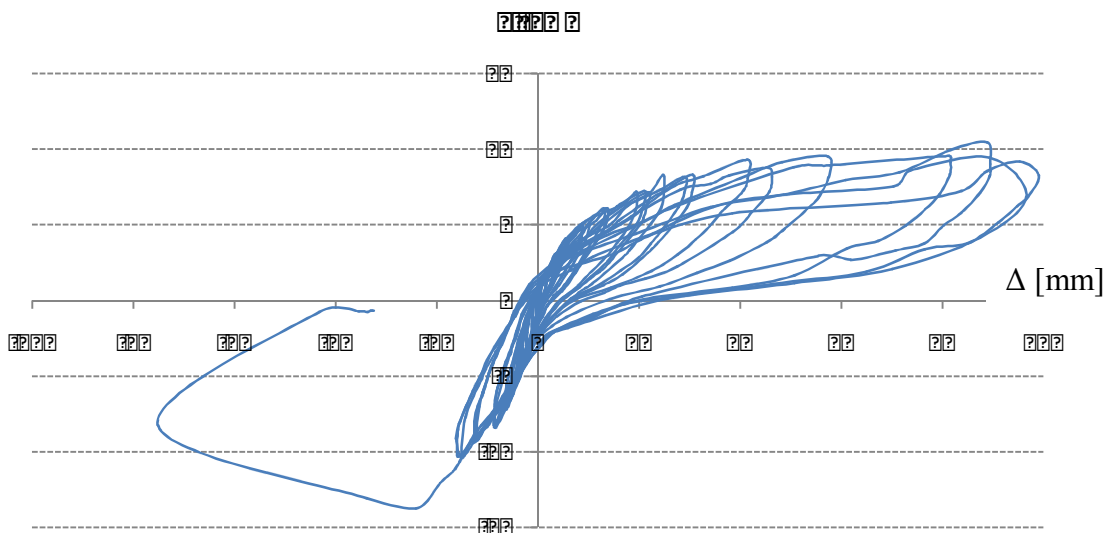
Profil baja siku berfungsi sebagai penghubung antara balok kayu dengan bresing tulangan baja dan juga memperkaku struktur dinding geser kayu. Benda uji terdiri dari 3 buah dengan perbedaan pada benda uji PBR-SW1 dan PBR-SW2 tanpa *hold down angle*. Benda uji PBR-SW3 menggunakan *hold down angle* antara pertemuan batang vertikal dan batang horisontal bagian sudut bawah pada sisi luar rangka.

#### 4.1.2 Set up benda uji

Beban horisontal diberikan secara bertahap dengan penambahan 100 kg per siklus. Beban vertikal untuk simulasi beban gravitasi diberikan sebesar 500 kg konstan, Perletakan dibuat terjepit pada kedua sisi benda uji. Dari kurva histeresis hasil uji akan ditinjau parameter-parameter seperti beban saat leleh, beban proporsional dan beban batas, *slackness*, *degrading strength/ stiffnes* dan *softening factor*. Apakah kurva histeresis tersebut sama dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto.

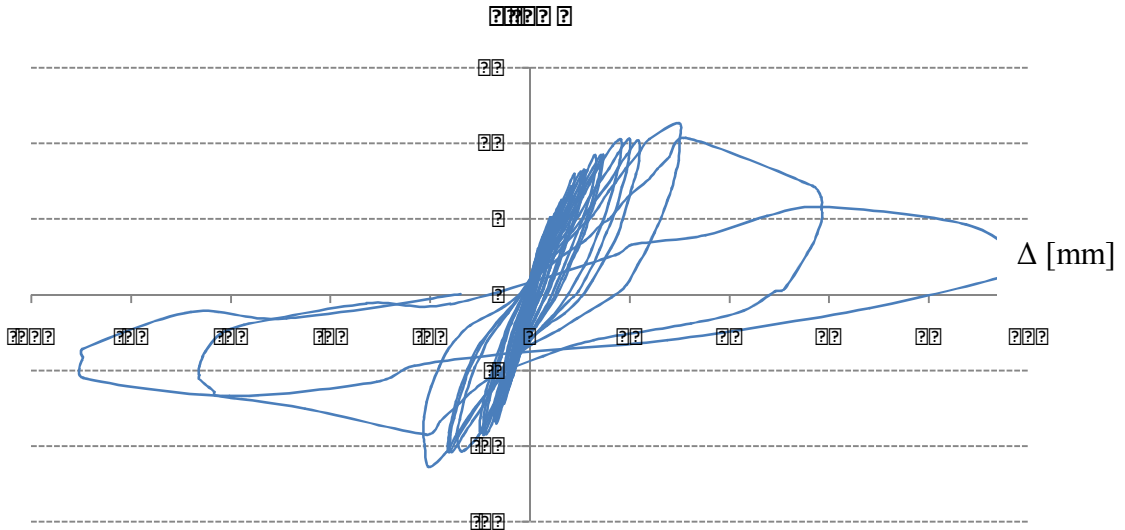
#### 4.1.3 Kurva histeresis

Grafik atau kurva beban-lendutan ( $F-\Delta$ ) hasil uji eksperimental dari benda uji yaitu PBR-SW1, PBR-SW2 dan PBR-SW3 terlihat seperti pada Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5. Beban maksimum yang dapat diterima lebih besar dengan adanya *hold-down angle* seperti pada benda uji PBR-SW3. Adanya *hold-down angle* tersebut mencegah keruntuhan akibat tarik pada *plywood* atau lepasnya hubungan rangka vertikal dan bawah tidak terjadi lebih awal.

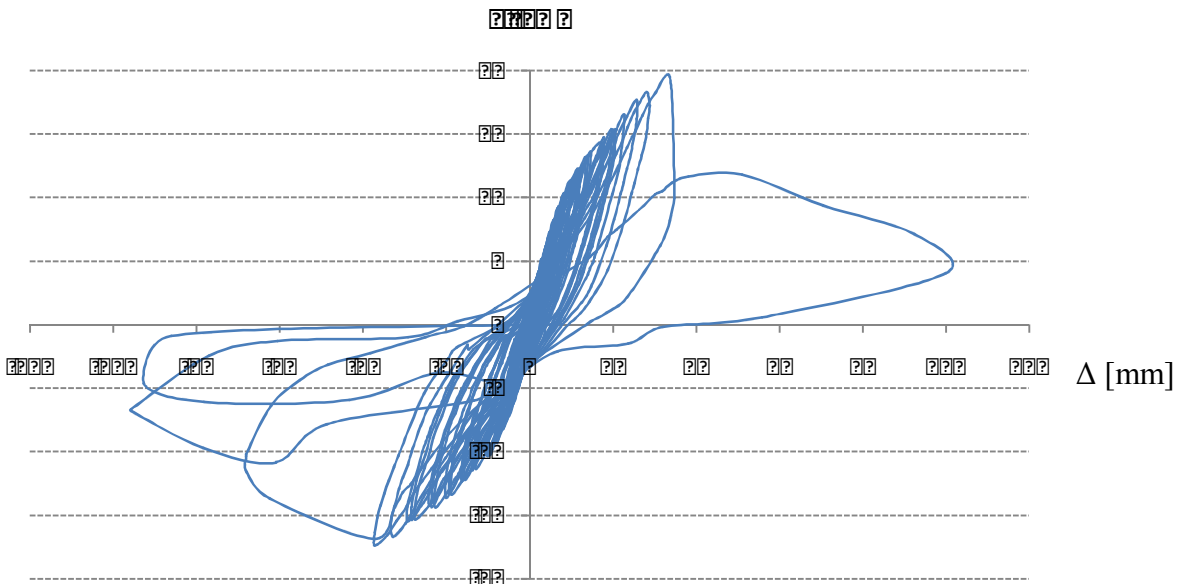


Gambar 4.3. Kurva histeresis benda uji PBR-SW1

Pada benda uji PBR-SW1 kurva tampak tidak simetris, hal ini terjadi karena sistim penjepitan pada *test frame* yang kurang baik, dimana jarak dari batang penjepit kurang dekat dengan sisi luar dari benda uji. Batang bawah mengalami lentur dan deformasi horisontal menjadi lebih besar. Pada benda uji PBR-SW2 dan PBR-SW3 sistim penjepitan diperbaiki sehingga batang bawah tidak terlentur.



**Gambar 4.4. Kurva histeresis benda uji PBR-SW2**

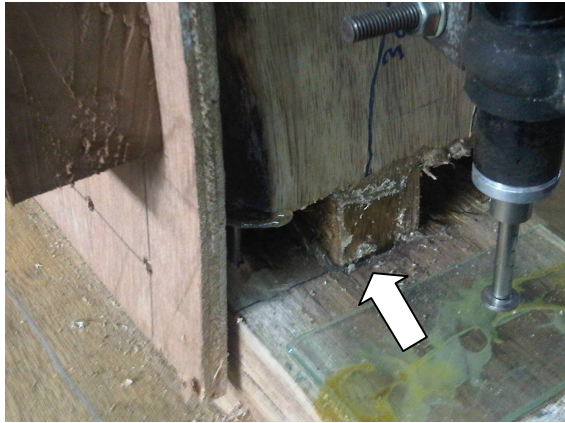


**Gambar 4.5. Kurva histeresis benda uji PBR-SW3**

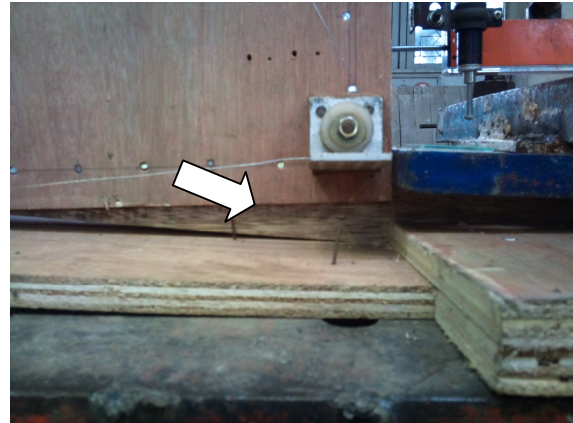
#### 4.1.4 Ragam kegagalan

Pada benda uji PBR-SW1 tanpa adanya *hold-down angle* akan terjadi keruntuhan akibat lepasnya paku antara rangka dan lapisan penutup *plywood* bagian bawah atau lepasnya pen hubungan rangka vertikal dan bawah akan terjadi lebih awal, Gambar 4.6 dan 4.7. Pada benda uji PBR-SW3 dengan *hold-down angle* terlihat memberikan beban yang lebih tinggi dibanding kedua benda uji sebelumnya.





**Gambar 4.6** Pen hubungan batang tegak dengan batang bawah terlepas.



**Gambar 4.7** Paku antara rangka dan plywood terlepas

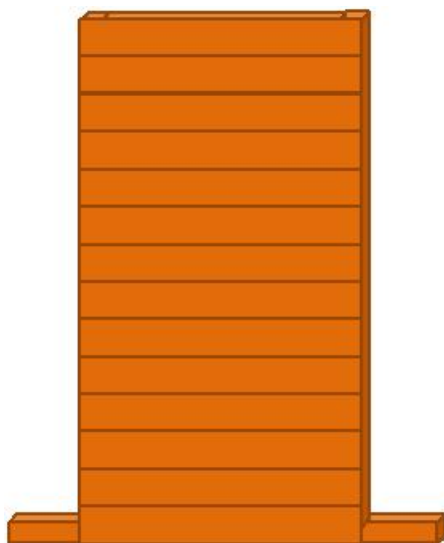
**Bresing:** Besarnya strain pada bresing tulangan baja dimonitor dengan pemasangan *strain gauge*. Gaya yang terjadi pada bresing tidak terlihat sangat besar, hal ini dapat dideteksi dari besarnya gaya bresing yang timbul, komponen gaya lateralnya hanya sekitar 12,7% dari beban lateral.

#### **4.2 DINDING GESER DENGAN LAPIS PENUTUP PAPAN KAYU. (TJONDRO, J.A., TJAHJANTO, H.H. AND LOKANATHA, S.V.)**

Di Indonesia studi mengenai dinding geser dengan papan kayu belum banyak dilakukan. Papan kayu merupakan penutup dinding yang biasa digunakan untuk rumah-rumah sederhana. Potensi dari dinding tersebut untuk menahan beban lateral angin maupun gempa perlu diteliti lebih lanjut. Dalam penelitian ini dilakukan uji eksperimental tentang kekuatan dan perilaku dinding geser dengan penutup papan kayu albasia dan rangka kayu sengon.

##### **4.2.1 Benda uji**

Elemen-elemen benda uji terdiri dari rangka kayu sengon, lapisan penutup papan kayu albasia pada ke dua sisi dinding, seperti terlihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



**Gambar 4.8** Prototip dinding geser papan kayu



**Gambar 4.9** Pengujian dinding geser papan kayu

Paku dengan diameter 2,8 mm dan panjang 50 mm digunakan untuk menghubungkan papan dengan rangka. Jarak paku pada papan kayu dengan rangka adalah 50 mm (3 buah paku/papan) untuk benda uji WP-SW1 dan 25 mm (5 buah paku/papan) untuk benda uji WP-SW2 dan WP-SW3. Benda uji terdiri dari 3 buah dengan perbedaan pada benda uji WP-SW1 dan WP-SW2 tanpa *hold down angle*. Benda uji WP-SW3 menggunakan *hold down angle*.

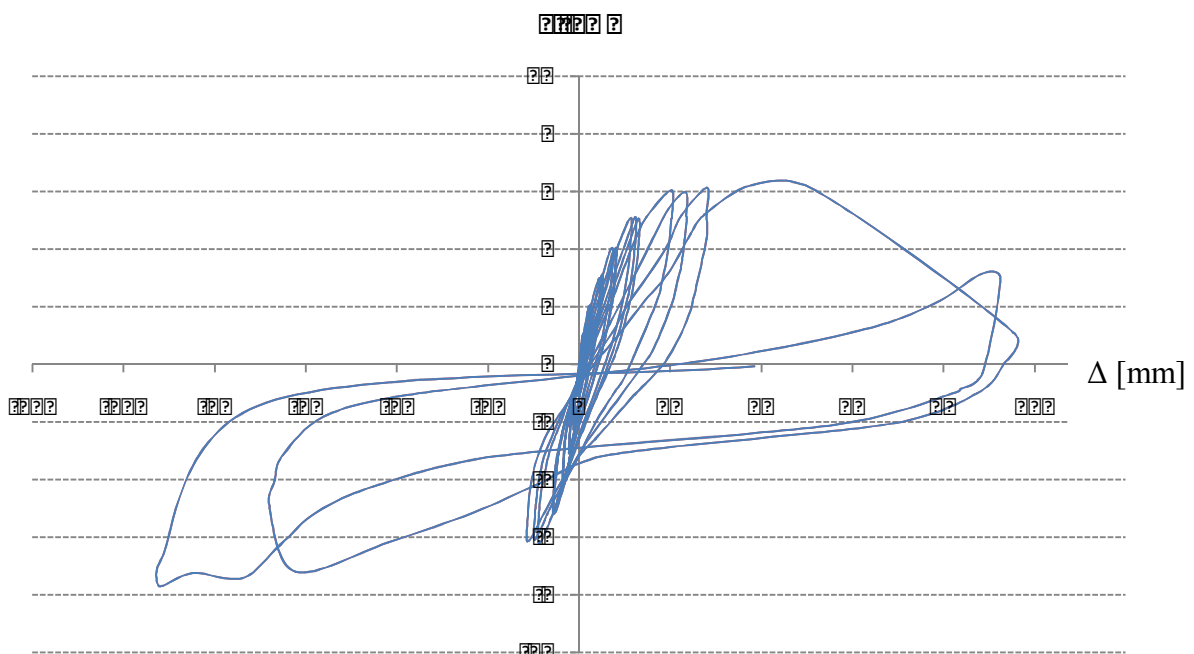
#### 4.2.2 Set up benda uji

Beban horisontal diberikan secara bertahap dengan penambahan 100 kg per siklus. Beban vertikal untuk simulasi beban gravitasi diberikan sebesar 500 kg konstan, Perletakan dibuat terjepit pada kedua sisi benda uji.

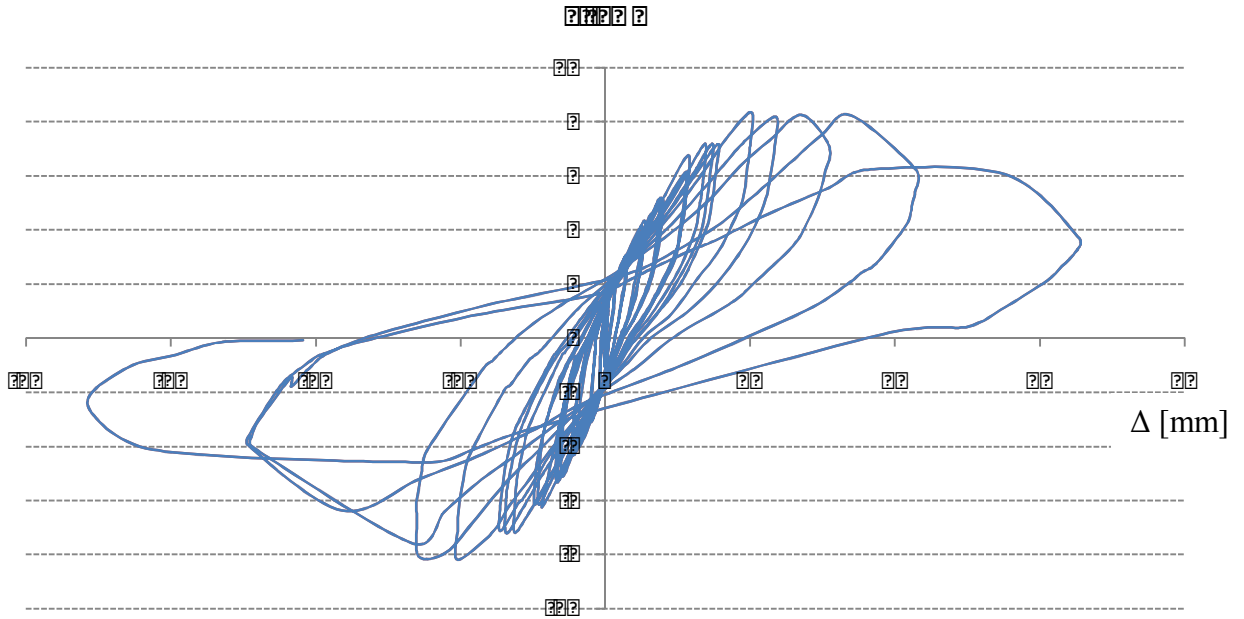
#### 4.2.3 Kurva histeresis

Dari kurva histeresis hasil uji ditinjau parameter-parameter seperti beban proporsional, beban ultimate, daktilitas, *slackness*, *degrading strength/ stiffnes* dan *softening factor*. Apakah kurva histeresis tersebut sama dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto. Hasil benda uji dengan penutup papan kayu paling rendah kekuatannya dari ke 2 tipe dinding geser yang lain (PBR dan CNLT). Penggunaan tipe dinding geser ini lebih cocok untuk daerah kegempaan yang ringan atau sedang.

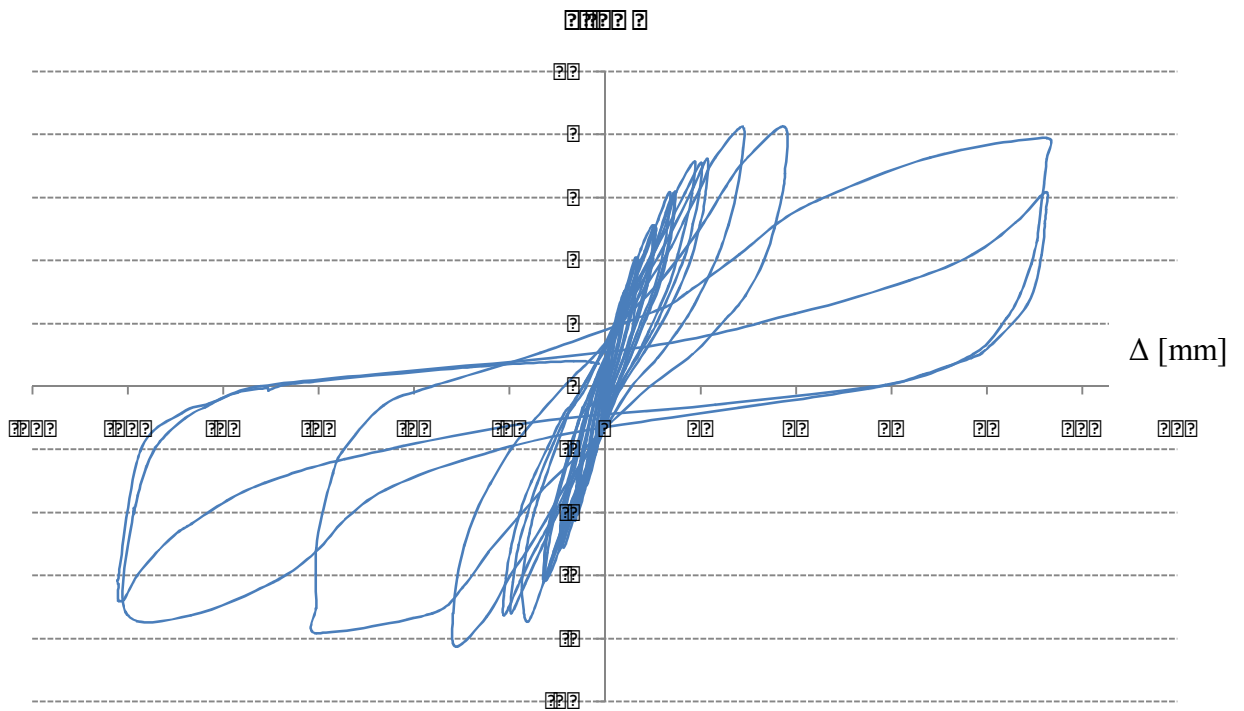
Grafik atau kurva beban-lendutan ( $F-\Delta$ ) hasil uji eksperimental dari benda uji yaitu WP-SW1, WP-SW2 dan WP-SW3 terlihat seperti pada Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12. Beban maksimum yang dapat diterima lebih besar dengan adanya *hold-down angle* seperti pada benda uji WP-SW3. Adanya *hold-down angle* tersebut mencegah keruntuhan akibat tarik pada papan terbawah atau lepasnya hubungan rangka vertikal dan bawah tidak terjadi lebih awal.



Gambar 4.10. Kurva histeresis benda uji WP-SW1



**Gambar 4.11. Kurva histeresis benda uji WP-SW2**

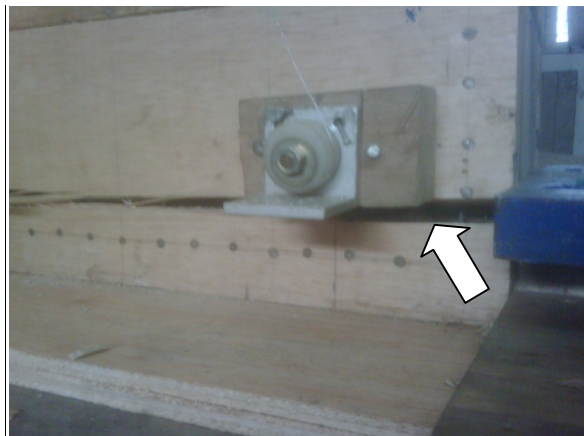


**Gambar 4.12. Kurva histeresis benda uji WP-SW3**

Pada benda uji WP-SW1 kurva tampak tidak simetris, hal ini terjadi karena sistim penjepitan pada *test frame* yang kurang baik, dimana jarak dari batang penjepit kurang dekat dengan sisi luar dari benda uji. Perbedaan atau keseragaman mutu kayu dan hubungan juga dapat berpengaruh pada kekuatan dalam arah yang berbeda. Pada benda uji WP-SW2 dan WP-SW3 sistim penjepitan diperbaiki sehingga batang bawah tidak terlentur dan kurva histeresis menjadi lebih baik dan mendekati simetris.

#### 4.2.4 Ragam keruntuhan

Pada benda uji WP-SW1 keruntuhan terjadi pada saat papan-papan kayu mengalami slip yang besar. Penambahan paku atau perubahan jarak paku penghubung papan dengan rangka dari 50 mm menjadi 25 mm menyebabkan naiknya kekuatan dan kekakuan.



**Gambar 4.13. Keruntuhan tarik pada papan kayu terbawah**



**Gambar 4.14. Slip horisontal terjadi antara papan kayu**

Tanpa *hold-down angle* terjadi keruntuhan tarik atau fraktur pada papan terbawah, Gambar 4.13. Adanya *hold-down angle* pada benda uji WP-SW3 menjamin keruntuhan terjadi pada papan-papan yang mengalami slip seperti pada Gambar 4.14. dengan daktilitas keruntuhan lebih besar.

### 4.3 DINDING GESER DENGAN LAPIS PENUTUP PAPAN KAYU SILANG LAMINASI-PAKU. (TJONDRO, J.A. DAN ONKY, A.)

Di Indonesia studi mengenai dinding geser dengan *Cross Laminated Timber (CLT)* belum dilakukan. Sedangkan di luar negeri penggunaan CLT dengan laminasi lem cukup banyak dikerjakan. Studi eksperimental ini tentang dinding geser dengan penutup papan kayu silang laminasi-paku yang dibuat dari lapisan dinding penutup *Cross Nail Laminated Timber (CNLT)* dari kayu albasia dengan rangka kayu sengon. Penggunaan paku sebagai alat laminasi untuk dinding merupakan hal yang baru. Kekuatan dan kekakuan dari dinding ini cukup besar dan penggunaan tipe dinding geser ini cocok untuk daerah kegempaan yang sedang atau tinggi.

#### 4.3.1 Benda uji

Elemen-elemen benda uji terdiri dari lapisan penutup CNLT dari papan kayu albasia 3 lamina yang dijepit dengan rangka dari kayu sengon, seperti terlihat pada Gambar 4.8 dan 4.9. Paku dengan diameter 2,8 mm dan panjang 50 mm digunakan sebagai alat laminasi. Jarak paku laminasi pada papan kayu adalah 50 mm atau 9 paku per 180 x 180 mm<sup>2</sup>.



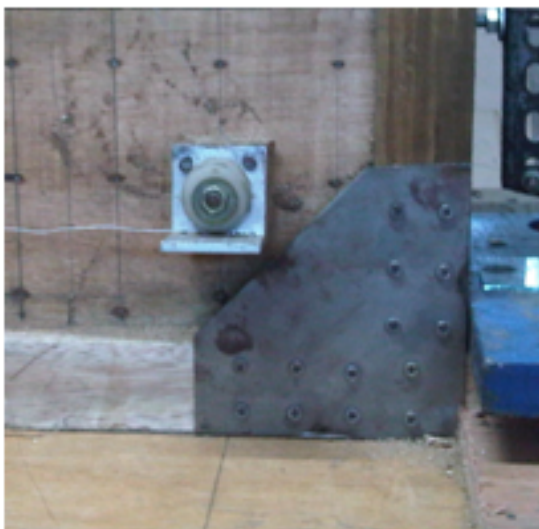


**Gambar 4.15** Prototip dinding geser papan kayu silang laminasi-paku



**Gambar 4.16** Pengujian dinding geser papan kayu silang laminasi-paku

Hubungan antara rangka dengan dinding CNLT menggunakan lem *strong epoxy*, dimana rangka diberi alur setebal CNLT (54 mm) dan sedalam 20 mm. Hubungan antar elemen dinding geser dan dengan lantai mempunyai kelemahan, yang sering terjadi adalah kegagalan pada hubungan antar balok rangka dan penjangkaran balok rangka bagian bawah dengan lantai atau pondasi. Pelat penguat dapat mengurangi kelemahan tersebut sehingga beban runtuh menjadi lebih besar. Kelemahan pada hubungan dan penjangkaran perlu diteliti lebih lanjut agar dinding geser menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang optimum. Perkuatan rangka pada ke 3 buah benda uji mempunyai perbedaan, yaitu : benda uji CNLT-SW1 tanpa *hold-down plate* (Gambar 4.17) maupun *hold-down angle* (Gambar 4.18) dan CNLT-SW2 dengan *hold-down plate* tanpa *hold-down angle* sedangkan benda uji CNLT-SW3 menggunakan *hold-down plate* dan *hold-down angle*.



**Gambar 4.17** *Hold-down steel plate* sejajar dan pada rangka sisi luar dinding



**Gambar 4.18** *Hold-down angle* pada rangka tepi dinding geser

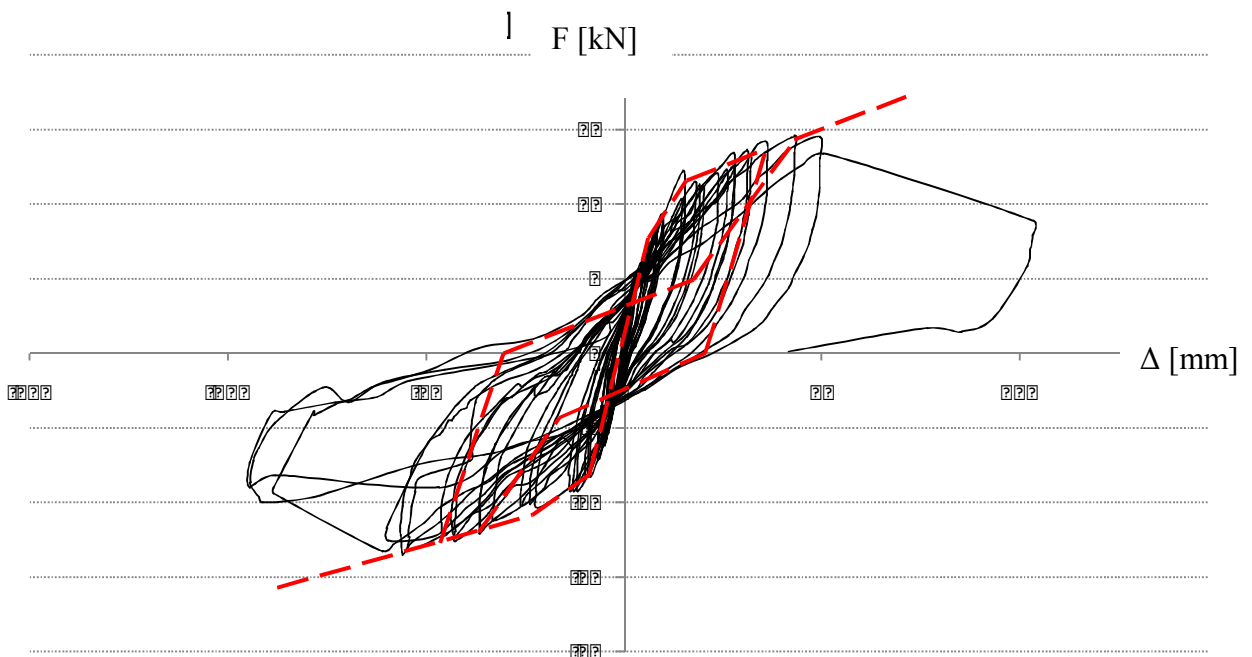
### 4.3.2 Set up benda uji

Beban horisontal diberikan secara bertahap dengan penambahan 100 kg per siklus. Beban vertikal untuk simulasi beban gravitasi diberikan sebesar 500 kg konstan, Perletakan dibuat terjepit pada kedua sisi benda uji.

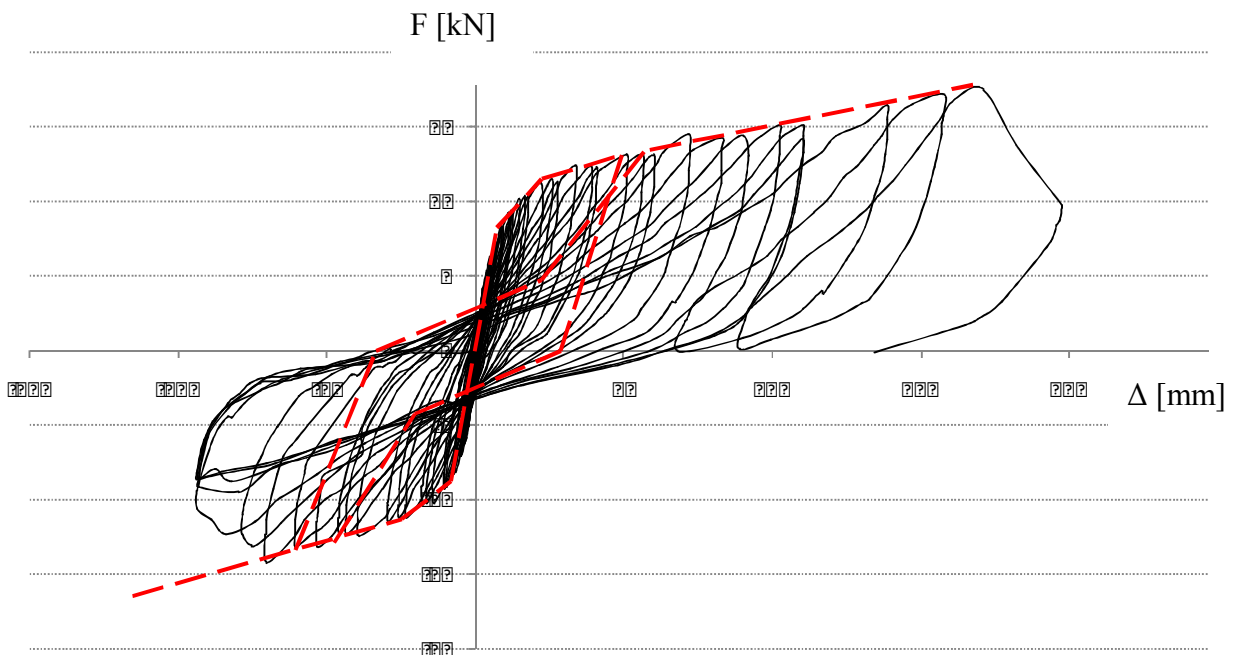
### 4.3.3 Kurva histeresis

Dari kurva histeresis hasil uji ditinjau parameter-parameter seperti beban proporsional, beban ultimate, daktilitas, *slackness*, *degrading strength/ stiffnes* dan *softening factor*. Apakah kurva histeresis tersebut sama dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto.

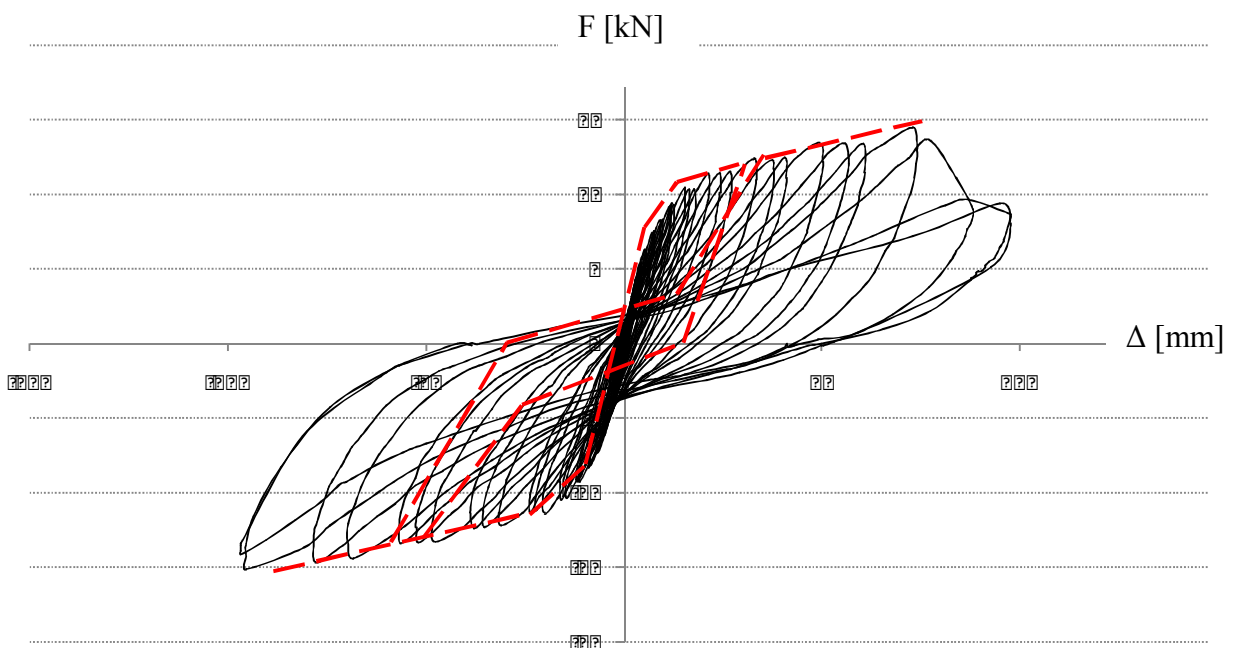
Grafik atau kurva beban-lendutan ( $F-\Delta$ ) hasil uji eksperimental dari benda uji yaitu WP-SW1, CNLT-SW2 dan CNLT-SW3 terlihat seperti pada Gambar 4.19, 4.20 dan 4.21. Beban maksimum yang dapat diterima lebih besar dengan adanya *hold-down plate* seperti pada benda uji CNLT-SW2. Adanya *hold-down plate* dan *hold-down angle* tersebut mencegah keruntuhan akibat tarik pada papan terbawah atau lepasnya hubungan rangka vertikal dan bawah tidak terjadi lebih awal. Pada CNLT-SW3 walaupun beban yang dapat diterima hampir sama dengan CNLT-SW2, batang vertikal pada rangka runtuh karena tarik akibat rendahnya mutu kayu yang mempunyai cacat berupa gubal.



Gambar 4.19 Kurva histeresis benda uji CNLT-SW1



Gambar 4.20 Kurva histeresis benda uji CNLT-SW2

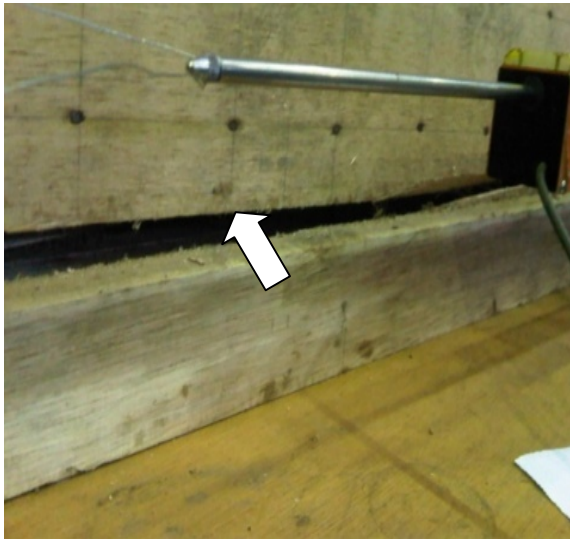


Gambar 4.21 Kurva histeresis benda uji CNLT-SW3

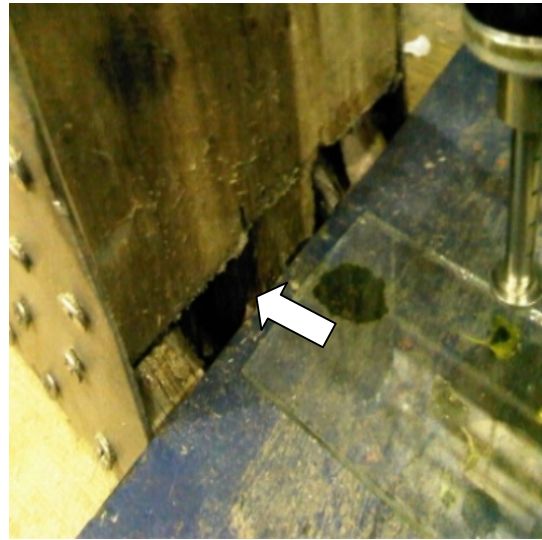
#### 4.3.4 Ragam keruntuhan

Dinding geser CNLT-SW1 tanpa *hold-down plate* atau *hold-down angle* mengalami keruntuhan pada hubungan CNLT dan batang bawah, dimana lem terlepas, Gambar 4.22. Sedangkan pada benda uji CNLT-SW2 dengan *hold-down plate* saja mengalami kegagalan akibat lepasnya batang vertikal dengan batang bawah, Gambar 4.23. Pada CNLT-SW3 dengan *hold-down plate* dan *hold-down angle* mengalami sobek pada batang bawah akibat tertarik oleh *hold-down plate*, Gambar 4.24. Sedangkan keruntuhan tarik pada batang vertikal

terjadi akibat adanya cacat kayu yaitu gubal, Gambar 4.25. Paku sebagai alat laminasi terlihat mengalami leleh dengan terjadinya pergeseran antar lamina, walaupun dari pengamatan visual kerusakan dari CNLT terlihat sangat kecil.



**Gambar 4.22 Kegagalan pada sambungan lem**



**Gambar 4.23 Keruntuhan hubungan batang tegak dengan batang bawah**



**Gambar 4.24 Kegagalan tarik pada batang vertikal dekat hold-down plate**



**Gambar 4.25 Kerusakan pada *hold down steel plate***



## BAB V

### ANALISIS DAN DISKUSI

#### 5.1 DINDING GESER DENGAN LAPIS PENUTUP PLYWOOD DAN BRESING PENGAKU TULANGAN BAJA (TJONDRO, J.A. , DJAJAPRABHA, H. S. DAN NATHANAEL).

Kekuatan dan kekakuan dari dinding geser dengan dinding penutup *plywood* dan pengaku tulangan baja dapat dianalisis dari data hasil uji pada Tabel 5.1 dalam bentuk gaya dan peralihan. Dari kurva histeresis hasil uji di dapat parameter-parameter seperti beban/gaya saat leleh, gaya proporsional dan gaya batas, dan demikian pula dan analisis kekakuannya. Dari kurva histeresis yang diperoleh jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto, kurvanya lebih cenderung pada *Degrading Tri-linear Model*.

##### 5.1.1. Gaya dan peralihan

Gaya pada titik leleh pertama ( $F_y$ ), gaya batas ( $F_u$ ) dan maksimum ( $F_{max}$ ) adalah masing-masing diantara (5,05 – 10,05) kN, (9,45 – 14,25) kN and (10,05 – 19,51) kN. Besarnya drift rasio pada saat leleh pertama dan batas adalah masing masing di bawah 0,42% and 1,74%.

**Tabel 5.1 Data pada kurva tri-linier benda uji PBR-SW<sup>\*)</sup>**

Benda Uji	arah	$F_y$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$F_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$F_{max}$ (kN)	$\Delta_{max}$ (mm)	$F_i$ (kN)
PBR-SW1	+	5,05	7,50	9,45	41,80	10,05	88,20	1,50
	-	6,60	6,00	13,75	24,10	<b>13,75</b>	<b>24,10</b>	2,20
PBR-SW2	+	8,00	7,75	11,40	30,00	<b>11,40</b>	<b>30,00</b>	1,25
	-	8,35	7,05	11,45	20,08	<b>11,45</b>	<b>20,08</b>	3,00
PBR-SW3	+	8,25	5,10	12,48	12,30	19,51	33,90	2,10
	-	10,05	10,01	14,25	22,10	17,48	37,30	3,50

<sup>\*)</sup>menggunakan simbol yg sama dengan Stewart Model

##### 5.1.2 Parameter histeresis model tri-linier

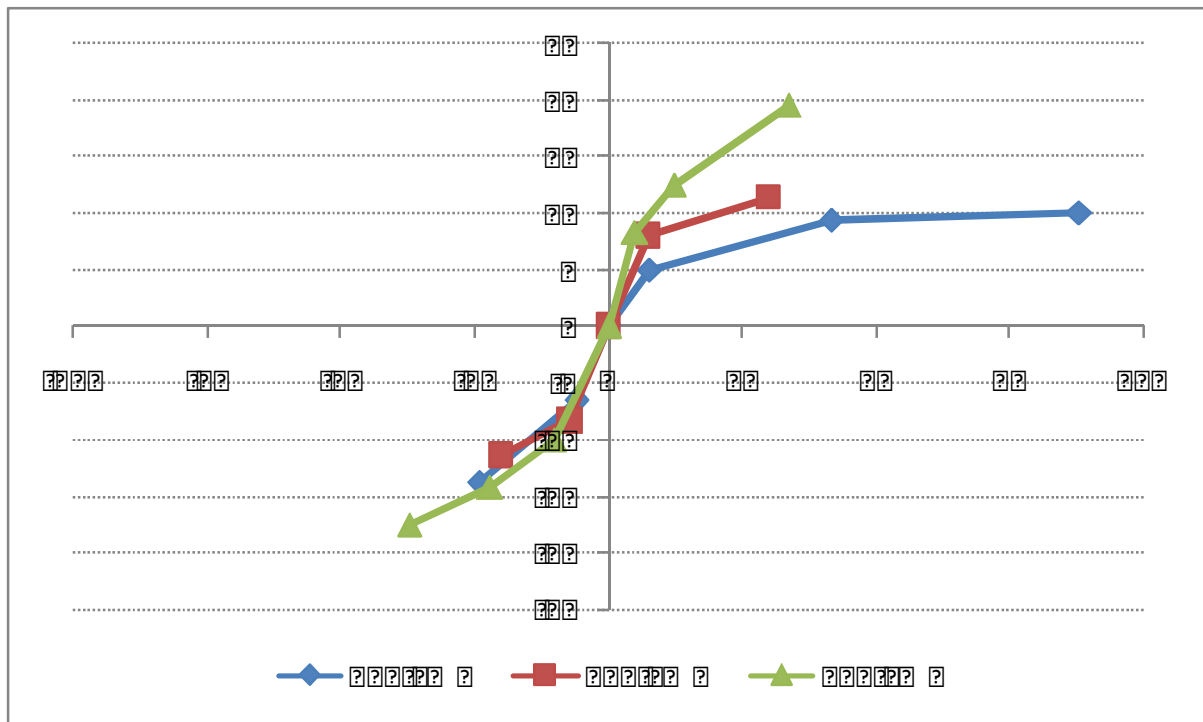
Parameter histeresis model Tri-linier dapat dilihat pada Tabel 5.2. Harga rata-rata dari  $k_0$ ,  $r.k_0$ , dan  $\gamma_{TRI}$ .  $k_0$  masing-masing adalah 1,102; 0,308 dan 0.345 kN/mm. Faktor kekakuan  $r$  dan  $\gamma_{TRI}$  adalah 0,268 dan 0,300.

**Tabel 5.2 Kekakuan, faktor kekakuan dan daktilitas benda uji PBR-SW<sup>\*)</sup>**

Benda Uji	arah	$k_0$ (kN/mm)	$r.k_0$ (kN/mm)	$\gamma_{TRI}.k_0$ (kN/mm)	$\mu_u$	$\mu_{max}$	$r$	$\gamma_{TRI}$
PBR-SW1	+	0,673	0,128	0,013	5,573	11,760	0,191	0,019
	-	1,100	0,395	0,571	4,017	<b>4,017</b>	0,359	0,519
PBR-SW2	+	1,032	0,153	0,380	3,871	<b>3,871</b>	0,148	0,368
	-	1,184	0,238	0,570	2,848	<b>2,848</b>	0,201	0,481
PBR-SW3	+	1,618	0,588	0,325	2,412	6,647	0,363	0,201
	-	1,004	0,347	0,213	2,208	3,726	0,346	0,212
<b>Rata-rata</b>		<b>1,102</b>	<b>0,308</b>	<b>0,345</b>	<b>3,488</b>	<b>3,689</b>	<b>0,268</b>	<b>0,300</b>

<sup>\*)</sup>menggunakan simbol yg sama dengan Stewart Model

Sebagai perbandingan dari ke 3 benda uji PBR-SW ke tiga *envelope* dari kurva histeresis di plot seperti terlihat pada Gambar 5.1. Peningkatan kekuatan terjadi akibat *hold-down angle* pada benda uji 2 dan 3.



Gambar 5.1 *Envelope* kurva histeresis benda uji PBR-SW

### 5.1.3. Faktor daktilitas

Daktilitas dinding geser mencapai harga cukup rendah yaitu 2,848. Penambahan bresing dengan menggunakan profil siku pada ke empat sisi dalam dari rangka tidak banyak menambah besarnya daktilitas, tetapi lebih meningkatkan kekakuan dari dinding geser. Kekakuan dan daktilitas dari dinding geser CNLT memberikan kontrol drift yang cukup untuk elemen dinding geser dalam persyaratan disain terhadap beban gempa. Parameter-parameter kurva histeresis yang ada dapat digunakan sebagai referensi untuk analisis dinamik non-linier riwayat waktu seperti dalam program RUAUMOKO.

## 5.2 DINDING GESER DENGAN LAPIS PENUTUP PAPAN KAYU (TJONDRO, J.A., TJAHAJANTO, H.H. DAN LOKANATHA, S.V.)

Kekuatan dan kekakuan dari dinding geser dengan dinding penutup papan kayu dapat dianalisis dari data hasil uji pada Tabel 5.3 dalam bentuk gaya dan peralihan. Dari kurva histeresis hasil uji di dapat parameter-parameter seperti beban/gaya saat leleh, gaya proporsional dan gaya batas, dan demikian pula dan analisis kekakuannya. Dari kurva histeresis yang diperoleh jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto, kurvanya lebih cenderung pada *Degrading Tri-linear Model*.

### 5.2.1. Gaya dan peralihan

Gaya pada titik leleh pertama ( $F_y$ ), gaya batas ( $F_u$ ) dan maksimum ( $F_{max}$ ) adalah masing-masing diantara (3,90 – 5,05) kN, (5,89 – 7,10) kN and (6,21 – 8,10) kN. Besarnya drift rasio pada saat leleh pertama dan batas adalah masing masing di bawah 0,31% and 0,83%.

**Tabel 5.3 Data pada kurva tri-linier benda uji WP-SW<sup>\*)</sup>**

Benda Uji	arah	$F_y$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$F_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$F_{max}$ (kN)	$\Delta_{max}$ (mm)	$F_i$ (kN)
WP-SW1	+	3,90	6,10	5,89	19,50	6,21	41,90	-
	-	4,00	4,00	6,05	9,55	7,51	91,50	-
WP-SW2	+	5,05	7,50	7,05	14,90	8,05	33,10	1,50
	-	5,05	6,58	7,00	13,90	8,00	24,90	1,75
WP-SW3	+	4,05	5,02	6,95	14,90	8,05	37,50	1,40
	-	5,05	4,02	7,10	20,02	8,10	31,90	1,40

*\*)menggunakan simbol yg sama dengan Stewart Model*

### 5.2.2 Parameter histeresis model tri-linier

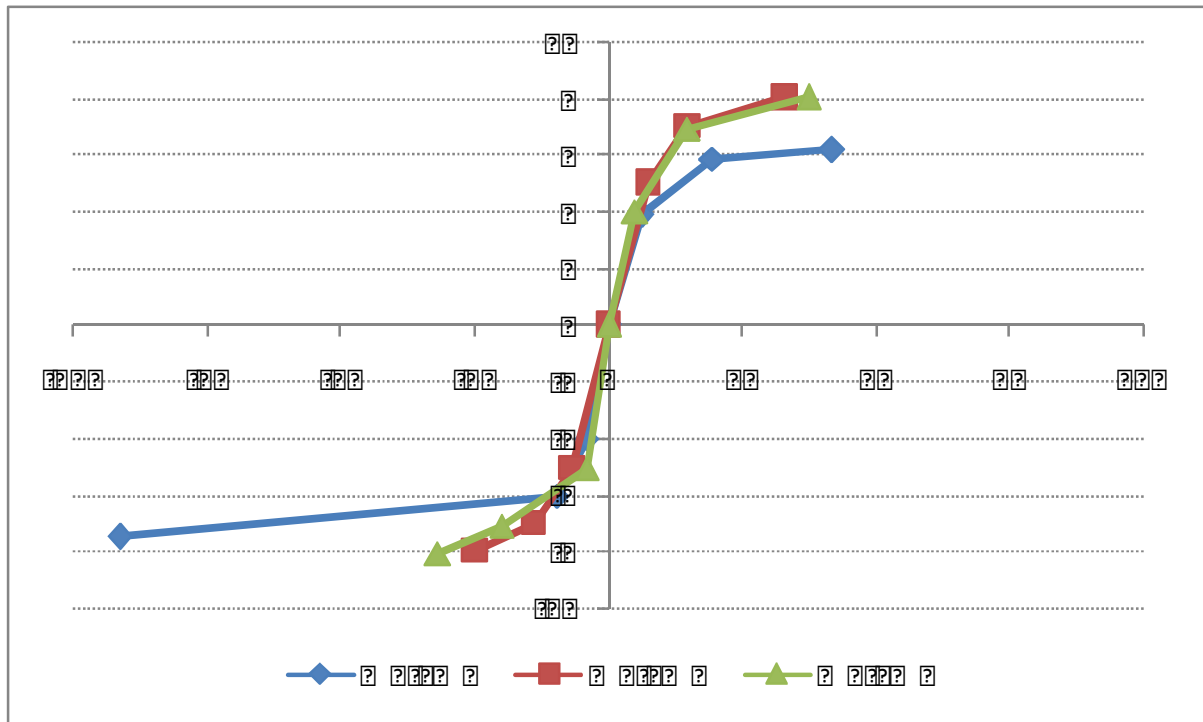
Parameter histeresis model *tri-linier* dapat dilihat pada Tabel 5.4. Harga rata-rata dari  $k_0$ ,  $r.k_0$ , dan  $\gamma_{TRI}$ .  $k_0$  masing-masing adalah 0,857; 0,246 dan 0,052 kN/mm. Faktor kekakuan  $r$  dan  $\gamma_{TRI}$  adalah 0,303 dan 0,061.

**Tabel 5.4 Kekakuan, faktor kekakuan dan daktilitas benda uji WP-SW<sup>\*)</sup>**

Benda Uji	arah	$k_0$ (kN/mm)	$r.k_0$ (kN/mm)	$\gamma_{TRI}.k_0$ (kN/mm)	$\mu_u$	$\mu_{max}$	$r$	$\gamma_{TRI}$
WP-SW1	+	0,639	0,149	0,014	3,197	6,869	0,232	0,022
	-	1,000	0,369	0,018	2,388	22,875	0,369	0,018
WP-SW2	+	0,673	0,270	0,055	1,987	4,413	0,401	0,082
	-	0,767	0,266	0,091	2,112	3,784	0,347	0,118
WP-SW3	+	0,807	0,294	0,049	2,968	7,470	0,364	0,060
	-	1,256	0,128	0,084	4,980	7,935	0,102	0,067
<b>Rata-rata</b>		<b>0,857</b>	<b>0,246</b>	<b>0,052</b>	<b>2,939</b>	<b>8,891</b>	<b>0,303</b>	<b>0,061</b>

*\*)menggunakan simbol yg sama dengan Stewart Model*

Penggunaan paku yang lebih rapat dapat meningkatkan besarnya kekuatan dari WP-SW, lihat Gambar 5.2. Kenaikan beban batas dan maksimum sekitar 30%.



Gambar 5.2 *Envelope* kurva histeresis benda uji WP-SW

### 5.2.3. Faktor daktilitas

Daktilitas dinding geser mencapai harga 8,891. Penggunaan paku sebagai alat penghubung antara papan dan rangka menambah besarnya daktilitas akibat lelehnya paku.

Kekakuan dan daktilitas dari dinding geser WP memberikan kontrol drift yang cukup untuk elemen dinding geser dalam persyaratan disain terhadap beban gempa. Parameter-parameter kurva histeresis yang ada dapat digunakan sebagai referensi untuk analisis dinamik non-linier riwayat waktu.

## 5.3 DINDING GESER DENGAN PAPAN KAYU SILANG LAMINASI-PAKU (TJONDRO, J.A. DAN ONKY, A.)

Kekuatan dan kekakuan dari dinding geser dengan dinding penutup CNLT dapat dilihat pada Tabel 5.5 dalam gaya dan peralihan. Dari kurva histeresis hasil uji seperti dua tipe terdahulu akan dianalisis parameter-parameter seperti beban saat leleh, beban proporsional dan beban batas, dan demikian pula dengan kekakuannya. *Slackness, degrading strength/ stiffness* dan *softening factor juga dianalisis*. Kurva histeresis tersebut cenderung sama dengan penelitian terdahulu dari *Stewart*.

### 5.3.1 Beban dan peralihan

#### Kekuatan dan Kekakuan

Kuat leleh ( $F_y$ ), kuat batas ( $F_u$ ) dan kuat maksimum ( $F_{max}$ ) dari hasil penelitian masing-masing adalah (8.25 – 9.45) kN, (10.20 – 12.09) kN dan (13.26 – 17.70) kN. Rasio simpangan pada saat leleh pertama dan batas masing-masing adalah 0,44% dan 0,93%, dan peralihan maksimum saat runtuh dapat mencapai (50 - 160) mm.



**Tabel 5.5 Data pada kurva tri-linier benda uji CNLT-SW<sup>\*)</sup>**

Specimen	dir	F <sub>y</sub> (kN)	Δ <sub>y</sub> (mm)	F <sub>u</sub> (kN)	Δ <sub>u</sub> (mm)	F <sub>max</sub> (kN)	Δ <sub>max</sub> (mm)	F <sub>i</sub> (kN)
CNLT-SW1	+	<b>9.45</b>	10.50	<b>12.09</b>	22.10	14.22	<b>49.89</b>	3.85
	-	8.45	7.85	<b>10.20</b>	20.19	<b>13.26</b>	55.79	2.80
CNLT-SW2	+	8.30	9.05	11.20	22.30	<b>17.70</b>	<b>160.00</b>	2.40
	-	8.30	7.30	10.95	22.00	14.15	70.10	3.15
CNLT-SW3	+	<b>8.25</b>	8.50	11.20	21.00	14.35	73.00	2.00
	-	9.15	9.00	11.20	20.05	15.10	95.40	2.40

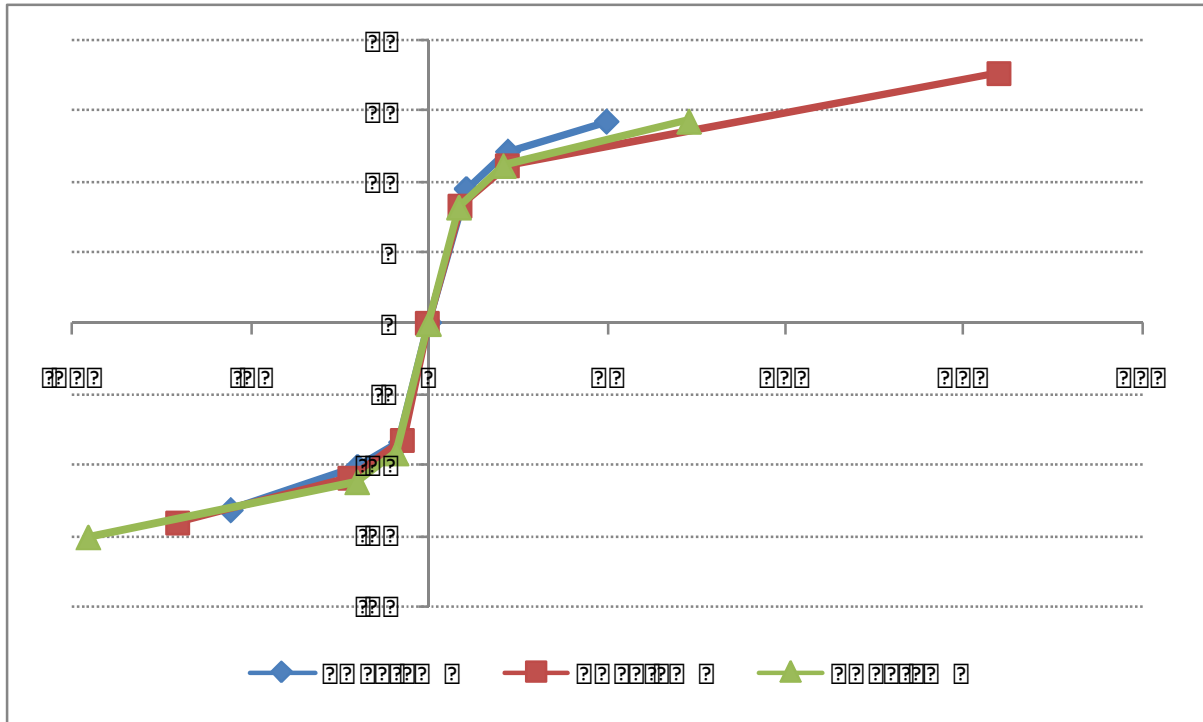
Kekakuan elastis dari dinding geser CNLT adalah antara (0.900 – 1.137) kN/mm, lihat Tabel 5.6 untuk data kekakuan lainnya.

### 5.3.2 Parameter-parameter untuk model kurva histeresis Stewart

Parameter-parameter untuk model kurva histeresis Stewart dapat dilihat pada tabel 5.6. Nilai rata-rata dari  $k_0$ ,  $r.k_0$ ,  $\gamma_{TRI}.k_0$  dan  $\gamma_{UNL}.k_0$  masing-masing adalah 1.003, 0.198, 0.064 dan 0.530 kN/mm. Faktor kekakuan untuk  $r$ ,  $\gamma_{TRI}$  dan  $\gamma_{UNL}$  masing-masing adalah 0.1978, 0.0641 dan 0.5286. Faktor gaya *intercept* ( $F_i/F_y$ ) rata-rata adalah 0.319 dan *softening factor*  $\beta$  adalah 1.243.

**Tabel 5.6. Kekakuan, faktor kekakuan dan daktilitas benda uji CNLT-SW**

Benda Uji	arah	$k_0$ (kN/mm)	$r.k_0$ (kN/mm)	$\gamma_{TRI}.k_0$ (kN/mm)	$\gamma_{UNL}.k_0$ (kN/mm)	$\mu_u$	$\mu_{max}$	$\beta$	$F_u/F_y$	$F_{max}/F_y$	$F_i/F_y$
CNLT-SW1	+	0.900	0.228	0.077	0.858	2.105	4.751	1.407	1.279	1.505	0.407
	-	1.076	0.142	0.086	0.703	2.572	7.107	1.268	1.207	1.569	0.331
CNLT-SW2	+	0.917	0.219	0.044	0.430	2.464	17.680	1.124	1.349	2.133	0.289
	-	1.137	0.180	0.067	0.353	3.014	9.603	1.167	1.319	1.705	0.380
CNLT-SW3	+	0.971	0.236	0.061	0.543	2.471	8.588	1.152	1.358	1.739	0.242
	-	1.017	0.186	0.052	0.295	2.228	10.600	1.341	1.224	1.650	0.262
<b>Rata-rata</b>		<b>1.003</b>	<b>0.198</b>	<b>0.064</b>	<b>0.530</b>	<b>2.475</b>	<b>9.721</b>	<b>1.243</b>	<b>1.289</b>	<b>1.717</b>	<b>0.319</b>
<b>Rasio terhadap <math>k_0</math></b>			<b>0.1978</b>	<b>0.0641</b>	<b>0.5286</b>						



Gambar 5.3 *Envelope* kurva histeresis benda uji CNLT-SW

Secara umum ke tiga benda uji mempunyai *load-path* yang sama seperti terlihat pada Gambar 5.3 dimana kekakuan elastik, bi-linier dan tri-linier relatif sama (lihat juga Tabel 5.6)

### 5.3.3 Faktor daktilitas

Faktor daktilitas rata-rata dari dinding geser CNLT shearwall pada saat beban batas adalah  $\mu_u = 2.475$  saat runtuh adalah  $\mu_{max} = 9.721$ . Nilai ini cukup menunjukkan daktilitas yang cukup untuk syarat ketahanan terhadap gempa.

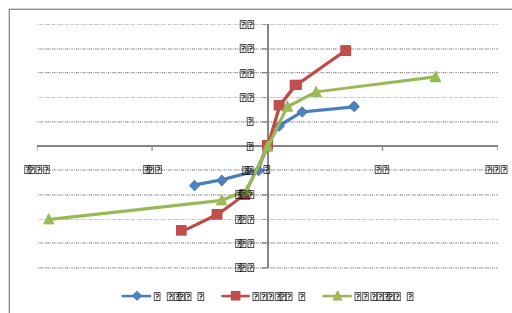
Kuat leleh pertama dan kuat batas dari dinding geser CNLT pada daerah elastik dan sebelum titik batas tidak bergantung pada hubungan *hold-down*, tetapi untuk beban maksimum dan daktilitasnya dipengaruhi. Kekuatan pada saat runtuh pada benda uji CNLT-SW2 dan CNLT-SW3 dengan *hold-down plate* lebih besar daripada tanpa *hold-down plate* dan *hold-down angle*. Kekakuan dan daktilitas dari dinding geser CNLT memberikan kontrol drift dan batas daktilitas yang cukup untuk elemen dinding geser dalam persyaratan disain terhadap beban gempa. Parameter-parameter kurva histeresis yang didapat dapat digunakan sebagai referensi untuk analisis dinamik non-linier riwayat waktu seperti dalam program RUAUMOKO.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan:

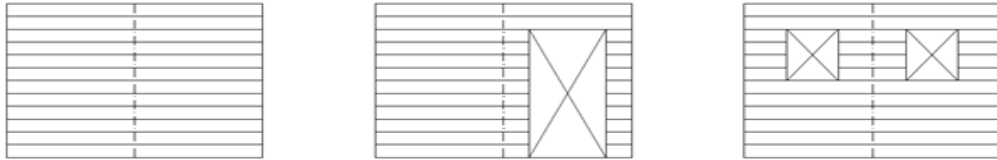
1. Dari kurva histeresis benda uji PBR-SW dan WP-SW yang diperoleh jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti *Stewart* atau *Degrading Tri-linier* model dari Fukuda atau Muto, kurvanya lebih cenderung pada *Degrading Tri-linear Model*. Sedangkan pada benda uji CNLT-SW lebih menyerupai *Stewart Model*.
2. Daktilitas pada beban batas dinding geser pada PBR-SW mencapai harga cukup rendah yaitu 2,848. Penambahan bresing dengan menggunakan profil siku pada keempat sisi dalam dari rangka relatif tidak menambah besarnya daktilitas, tetapi meningkatkan kekakuan dari dinding geser. Sedangkan daktilitas pada beban batas WP-SW dan CNLT-SW dapat mencapai masing-masing 8,891 dan 9,721
3. Kuat leleh pertama dan kuat batas dari dinding geser CNLT pada daerah elastik dan sebelum titik batas tidak bergantung pada hubungan *hold-down*, tetapi berpengaruh pada besarnya beban maksimum dan daktilitasnya. Kekuatan pada saat runtuh pada benda uji CNLT-SW2 dan CNLT-SW3 dengan *hold-down plate* lebih besar daripada tanpa *hold-down plate* dan *hold-down angle*. Kekakuan dan daktilitas dari dinding geser CNLT memberikan kontrol drift dan batas daktilitas yang cukup untuk elemen dinding geser dalam persyaratan disain terhadap beban gempa.
4. Parameter-parameter kurva histeresis yang didapat dapat digunakan sebagai referensi untuk analisis dinamik non-linier riwayat waktu.
5. *Envelope* dari ke 3 macam jenis dinding geser menunjukkan kurva tri-linier terendah adalah pada dinding geser dengan penutup papan kayu, sedangkan tertinggi adalah dengan dinding geser yang menggunakan dinding penutup *plywood*.



Gambar 6.1 *Envelope* kurva tri-linier ke 3 macam dinding geser

**Saran :**

1. Bukaan-bukaan yang ada seperti pintu dan jendela (Gambar 6.2) akan mengurangi kekuatan dan juga kekakuan dinding geser. Penelitian lanjutan dinding geser dengan bukaan pintu dan jendela diperlukan.



Gambar 6.2 Dinding geser tanpa dan dengan bukaan pintu dan jendela

2. Sistem perkuatan rangka dan hubungan antar batang vertikal dan horisontal perlu dikembangkan lebih jauh agar mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Studi mengenai karakter dan properties dari CNLT perlu diteliti lebih lanjut, misalnya pengaruh jumlah paku, tebal lamina terhadap kekuatan, kekakuan dan mekanisme keruntuhan lamina.
4. Penggunaan jenis kayu yang lebih kuat atau penambahan jumlah lamina untuk CNLT perlu diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan kekuatan yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E 2126 – 02a, *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*
- Carr, A.J.1998. *RUAUMOKO*, Computer Program Library, University of Canterbury, New Zealand.
- Cobeen K. E. 2004. *Recent Development in The Seismic Design and Construction of Woodframe Buildings*, Chapter 18 : Earthquake Engineering, from Engineering Seismology to Performanced-Based Engineering, editor Yousef Bozorgnia and Vitelmo V. Bertero, CRC Press, 2004.
- Dean, J.A. and Tjondro, J.A. 1988. *The Seismic Design of Timber Frame Shearwalls Sheathed with Gibraltarboard; Refinements to the CE 87/7 Procedures*, Research Report, University of Canterbury, New Zealand.
- Forest Product Laboratory, 2010. *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*, Centennial ed., Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Kolb, J. 2008. *Systems in Timber Engineering*, Birkhäuser Verlag AG, Basel, Boston, Berlin.
- Stewart, W.G., 1987. *The Seismic Design of Plywood Sheated Shearwalls*, Disertasi, University of Canterbury 1987.
- Tjondro, J.A. 1991. *Dinding Geser Kayu Pada Bangunan Bertingkat Tahan Gempa*, Join Seminar : American Society for Civil Engineers - Civil Engineering Department Parahyangan Catholic University.
- Tjondro, J.A. and Suryoatmono, B. , 2009. *Sifat Mekanik Linier dan Non-linier Kayu Indonesia*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Kontrak No: 042/SP2H/PP/DP2M/IV/2009.
- Tjondro, J.A. and Onky, A. 2011. *The Behaviour of Cross Nail-Laminated Timber (CNLT) Shearwall Under Cyclic Loading*. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Surabaya 19 -20 Juli 2011.
- Wijanto S., Andriano T., and Tjondro, J.A., 2010. *A Strategic Way For Promoting Improved Seismic Resistant Techniques To Indonesian Builders*. The 9<sup>th</sup> U.S. National and 10<sup>th</sup> Canadian Conference on Earthquake Engineering to in Toronto, Canada, Juli, 25-29, 2010.

## **Ucapan Terima Kasih :**

Terima kasih kepada:

1. LPPM Universitas Katolik Parahyangan atas bantuan dana
2. Puslitbang Permukiman Bandung atas segala fasilitas pengujian dan bantuan teknis
3. Para mahasiswa S1: Andreas Onky (2007410027), Steven Varian Lokanatha (2007410031) dan Nathanael (2007410056) yang telah ikut membantu penelitian ini dimana data dalam laporan ini juga dipergunakan dalam penulisan skripsi mereka.

## **LAMPIRAN**

Makalah yang telah dipublikasikan:

1. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Surabaya 19-20 Juli 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Cross Nail-Laminated Timber (CNLT) Shearwall Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A. and Onky, A.)

Abstrak<sup>\*)</sup> telah diterima dan akan dipresentasikan di:

2. Seminar Nasional MAPEKI-14 di Jogjakarta, 2 November 2011 dengan judul makalah: *Perilaku Dinding Geser Plywood dengan Bresing Diagonal Tulangan Baja Akibat Beban Siklik*. (Tjondro, J.A., Djajaprabha, H.S. dan Nathanael.)
3. The 3<sup>rd</sup> International Symposium of Indonesian Wood Research Society, di Jogjakarta, 3-4 November 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Timber Frame Shearwall Sheathed with Horizontal Wood Plank Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A., Tjahjanto, H.H. and Lokanatha, S.V.)

<sup>\*)</sup> makalah sedang dalam penulisan.



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat**  
**Universitas Katolik Parahyangan**  
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141, telp. +62 22 2030918-20 ext 148, 144  
Fax. +62 22 2034847, email: lppm@home.unpar.ac.id

### Formulir-3. Bukti Pelaksanaan Seminar

Dengan ini kami menerangkan bahwa:

1.	Judul Penelitian	<b>Dinding Geser Papan Kayu Tahan Gempa</b>
2.	Klasifikasi Penelitian <sup>1</sup>	<b>Pengembangan Keilmuan</b>
3.	Ketua Peneliti / Pengusul	
	- Nama	Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
	- N I K	19850099
	- Jabatan Fungsional	Lektor Kepala / Pembina IV-A
	- Jabatan Struktural	Kepala laboratorium Teknik Struktur
	- Bidang Keahlian	Teknik Struktur
	- Jurusan	Teknik Sipil
	- Fakultas	Teknik

Telah melaksanakan seminar di

1. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Surabaya 19-20 Juli 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Cross Nail-Laminated Timber (CNLT) Shearwall Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A. and Onky, A.)
2. Seminar hasil Penelitian: di Jurusan Sipil FT UNPAR. pada tanggal 16 Agustus 2011, di R-4205A

Abstrak telah diterima dan akan dipresentsikan di:

3. Seminar Nasional MAPEKI-14 di Jogjakarta, 2 November 2011 dengan judul makalah: *Perilaku Dinding Geser Plywood dengan Bresing Diagonal Tulangan Baja Akibat Beban Siklik*. (Tjondro, J.A., Djajaprabha, H.S. dan Nathanael.)
4. The 3<sup>rd</sup> International Symposium of Indonesian Wood Research Society, di Jogjakarta, 3-4 November 2011 dengan judul makalah: *The Behaviour of Timber Frame Shearwall Sheathed with Horizontal Wood Plank Under Cyclic Loading*. (Tjondro, J.A., Tjahjanto, H.H. and Lokanatha, S.V.)

Bandung, 26 Agustus 2011

**Ketua Jurusan Sipil**

**Dr. Paulus Karta Wijaya**