

STUDI EKSPERIMENTAL SAMBUNGAN BAUT-GUSSET PLATE PADA STRUKTUR GABLE FRAME TIGA SENDI

Pinta Astuti

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DIY
Email: pinta.astuti@ft.umy.ac.id

Abstrak

Produk teknologi kayu sudah semakin banyak digunakan di Indonesia, salah satunya adalah *Laminated Veneer Lumber (LVL)*. Kayu yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan LVL di Indonesia adalah Sengon. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan LVL Sengon dengan penampang tidak seragam (*non-prismatic*) dengan kadar air 12.8% dan *specific gravity* 0.38. Sistem struktur *gable frame* yang ditinjau memiliki bentang 8 m dan tinggi 5 m. Studi eksperimental dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil UGM dengan pengujian secara tarik monotorik pada model sambungan balok-kolom skala penuh pada struktur *gable frame*. Sambungan tersebut terdiri dari 8 buah baut diameter 8.45 mm dan sepasang *gusset plate* dengan tebal 3.8 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam hubungan kurva beban dan *displacement* pada sistem sambungan tersebut masih bersifat elastik linier hingga *displacement* yang terjadi sebesar 2.5 mm. Setelah itu sambungan bersifat plastis dan *daktail* hingga mencapai *displacement* 45 mm dan beban yang dikerjakan 25 kN.

Kata kunci: *Gable Frame*, LVL Sengon, Sambungan Baut-Gusset plate

PENDAHULUAN

Laminated Veneer Lumber (LVL) merupakan salah satu produk *Structural Composit Lumber (SCL)* yang diperoleh dengan cara merekatkan venir-venir kayu pada arah yang sama menggunakan bahan perekat dengan besar dan lama penekanan tertentu (Baker, 2002 dan Kusumah, 2010). Pada saat ini, LVL dapat diproduksi dalam berbagai ukuran dan bentuk seperti balok, kolom, dinding geser, elemen batang *truss*, dan *flanges* pada *pre-fabricated* I-joist. Karena LVL diproduksi dengan kualitas yang homogen dan jumlah cacat kayu yang rendah maka propertis mekanik dari produk ini dapat diprediksi. Menurut Colak (2004) LVL adalah material konstruksi kayu yang tergantung pada berat jenis dan memiliki manfaat penggunaan kayu secara efisien. Produksi LVL di Indonesia memanfaatkan kayu dengan kualitas rendah, contohnya adalah spesies *Paraserianthes falcataria*. Produksi ini telah dimulai sekitar 2 tahun yang lalu dengan keterbatasan informasi teknis untuk desain struktur. *Paraserianthes falcataria* atau dikenal dengan Sengon merupakan spesies kayu yang cepat tumbuh dan dapat dikembangkan dalam hutan buatan yang efektif untuk mengurangi gas rumah kaca sehingga merupakan material konstruksi yang ramah lingkungan dan dapat digunakan secara berkelanjutan.

Struktur *gable frame* tiga sendi dipilih dalam penelitian ini karena kemudahan konstruksi dan dapat digunakan sebagai *frame* yang tipikal untuk bangunan pabrik dan gudang. Struktur ini memiliki batang *non-prismatic* sehingga lebih efektif digunakan untuk bentang yang lebih panjang dibandingkan portal biasa. Dalam penelitian ini, model sambungan skala penuh yang terdiri dari batang LVL, *gusset plate* baja, dan baut yang dirangkai dan diuji secara monotonik untuk melakukan mendapatkan hubungan beban dan *displacement*.

LVL Sengon (*Paraserianthes falcataria*)

Kayu Sengon memiliki nama lain *Paraserianthes falcataria* termasuk dalam *family Mimosaceae*. Kayu sengon merupakan salah satu kayu yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Hal ini disebabkan kayu Sengon dapat tumbuh dengan cepat yaitu tingginya dapat mencapai 7 meter pada umur 1 tahun. Dalam kondisi optimum, pertumbuhan diameter batangnya dapat mencapai 5-7cm pertahun (Perhimpian dan Balitbang Kehutanan, 1990 dalam Risnasari, 2008). Jenis kayu ini banyak tersebar di Jawa, Maluku, Sulawesi Selatan dan Irian Jaya.

Kayu teras sengon berwarna hampir putih atau coklat muda, sedangkan kayu gubalnya umumnya tidak berbeda dengan kayu teras. Kayu ini memiliki tekstur agak kasar dan merata dengan arah serat lurus, bergelombang lebar atau berpadu. Beberapa keunggulan tanaman Sengon antara lain masa tebang pohon dalam umur yang relatif pendek (5-7 tahun), dan mudah bertunas kembali apabila ditebang. Selain itu kayu Sengon memiliki kemudahan dalam pengerjaannya. Hal ini yang menyebabkan kayu sengon banyak digunakan antara lain sebagai bahan bangunan perumahan, konstruksi ringan, kayu lapis, papan partikel, *pulp*, kertas dan papan serat.

Awaludin (2011) mengemukakan bahwa kayu Sengon memiliki kekuatan yang rendah sehingga penggunaannya dibatasi hanya untuk elemen non-struktural. Namun dengan perkembangan teknologi, pengolahan kayu telah banyak dilakukan salah satunya adalah LVL (*Laminated Veneer Lumber*). LVL merupakan metode untuk mendapatkan produk kayu dengan cara merekatkan venir-venir kayu pada orientasi arah yang sama menggunakan bahan perekat dengan tekanan tertentu. Venir-venir kayu tersebut biasanya dibuat dengan ketebalan berkisar 2.5-3.2mm dan diperoleh dari hasil pengupasan dolok kayu jenis tertentu. Umumnya kayu dengan kekuatan rendah seperti kayu Sengon sangat efektif untuk dijadikan venir-venir kayu tersebut.

Kayu yang akan digunakan untuk membuat venir terlebih dahulu dikeringkan hingga memiliki kadar air dibawah 15%. Dengan kadar air yang rendah tersebut diharapkan akan terjadi gaya adhesi sehingga menghasilkan rekatan yang lebih kuat. Selain itu, karena rendahnya kandungan air pada papan kayu, maka struktur kayu laminasi memiliki kestabilan ukuran (*dimension stability*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan kayu masif non-laminasi (Awaludin, 2011).

Hasil pengujian sifat mekanika oleh Awaludin (2011) menunjukkan bahwa nilai rerata untuk kuat tumpu sejajar serat dan tegak lurus serat kayu sengon berturut-turut dengan diameter baut 12mm adalah 11.41MPa dan 3.66MPa. Sifat-sifat mekanika kayu Sengon yang umumnya rendah tersebut dapat ditingkatkan melalui teknologi LVL. Berdasarkan penelitian Awaludin (2011), LVL kayu Sengon memiliki nilai kuat tumpu sejajar serat dan tegak lurus serat dengan diameter baut 12 mm adalah sebesar 21.93MPa dan 12.10MPa. Hal ini menunjukkan bahwa metode laminasi efektif untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas kayu Sengon yang memiliki mutu rendah.

Kuat Tumpu Kayu pada Sambungan Baut

Kuat tumpu pada baut merupakan kemampuan kayu di sekeliling lubang baut yang terkena beban tekan baut. Dalam Eratodi (2014) dan Kennedy (2014), persamaan empiris untuk menghitung kuat tumpu dengan rentang *specific gravity (SG)* berkisar antara 0.31-0.73 dengan model benda uji setengah lubang ditunjukkan dalam Persamaan 1-4 berikut ini.

$$F_{e//} = 77,25 SG \quad \text{untuk } d \geq 6,35\text{mm} \quad (1)$$

$$F_{e//} = 114,45 SG^{1,84} \quad \text{untuk } d < 6,35\text{mm} \quad (2)$$

$$F_{e\perp} = 212 SG^{1,45} d^{-0,5} \quad (3)$$

$$F_{e\alpha} = \frac{F_{e//}F_{e\perp}}{F_{e//}(\sin \alpha)^2 + F_{e\perp}(\cos \alpha)^2} \quad (4)$$

dengan $F_{e//}$ adalah kuat tumpu kayu sejajar serat, $F_{e\perp}$ adalah kuat tumpu kayu tegak lurus serat, dan $F_{e\alpha}$ adalah kuat tumpu untuk sudut beban α° terhadap arah serat yang merupakan Persamaan Harkinson.

Tahanan Lateral Sambungan Kayu dengan Pelat Besi

Menurut Awaludin (2005), pada sambungan kayu dengan pelat besi dengan ketebalan pelat besi kurang dari separuh diameter alat sambung baut maka dapat menggunakan persamaan-persamaan dalam moda kelelahan I_m dan III_s dan diilustrasikan dalam Gambar 1.

- a. Moda kelelahan I_m

Momen pada bidang geser = 0

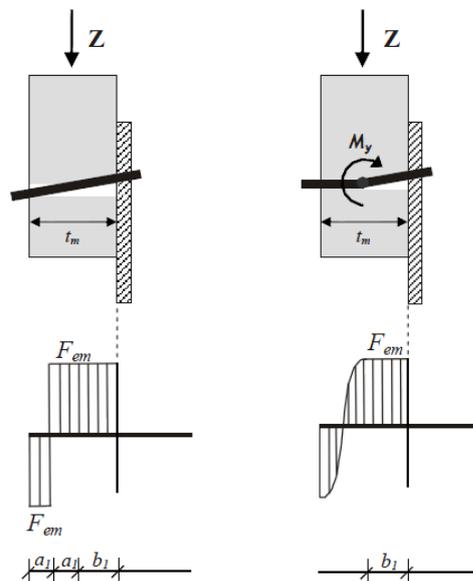
$$0 = F_{em}D \left(\frac{b_1^2}{2} - a_1^2 \right)$$

$$a_1 = \frac{t_m - b_1}{2}$$

$$b_1^2 + 2t_m b_1 - t_m^2 = 0$$

$$b_1 = t_m(\sqrt{2} - 1)$$

$$Z = F_{em} D b_1 = 0,4 F_{em} D t_m$$



Gambar 1. Moda kelelahan dan distribusi tegangan tumpu sambungan antara kayu dengan pelat besi (I_m dan III_s) (Awaludin, 2011)

b. Moda kelelahan III_s

Momen pada bidang geser = 0

$$0 = -M_y + F_{es} D \frac{b_1^2}{2}, \quad b_1 = \sqrt{\frac{2M_y}{F_{es} D}}$$

$$Z = F_{em} D b_1 = \sqrt{2M_y F_{em} D}$$

Keterangan:

D : diameter baut

F_{es}, F_{em} : kuat tumpu kayu,

M_y : momen plastis baut,

R_e : F_{em}/F_{es} , dan

t_s, t_m : tebal kayu samping dan kayu utama.

$t_m/t_s = R_t$,

$M_y = F_{yb} D^3/6$, dan

$F_{em} = R_e F_{es}$

METODOLOGI

Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.

Bahan penelitian

1. Balok LVL kayu Sengon hasil produksi PT Sumber Graha Sejahtera (SGS) dengan perekat MUF (*Melamine Urea Formaldehyde*). Ujung elemen memiliki dimensi penampang 200mm x 200mm dan pada ujung lainnya berdimensi 200mm x 400mm. Modulus elastis arah longitudinal 1500 MPa.
2. *Gusset plate* tebal 3.8mm dengan modulus elastis 200 GPa, kuat leleh 400 MPa, dan kuat tarik 500 MPa, dan angka poisson 0.3.

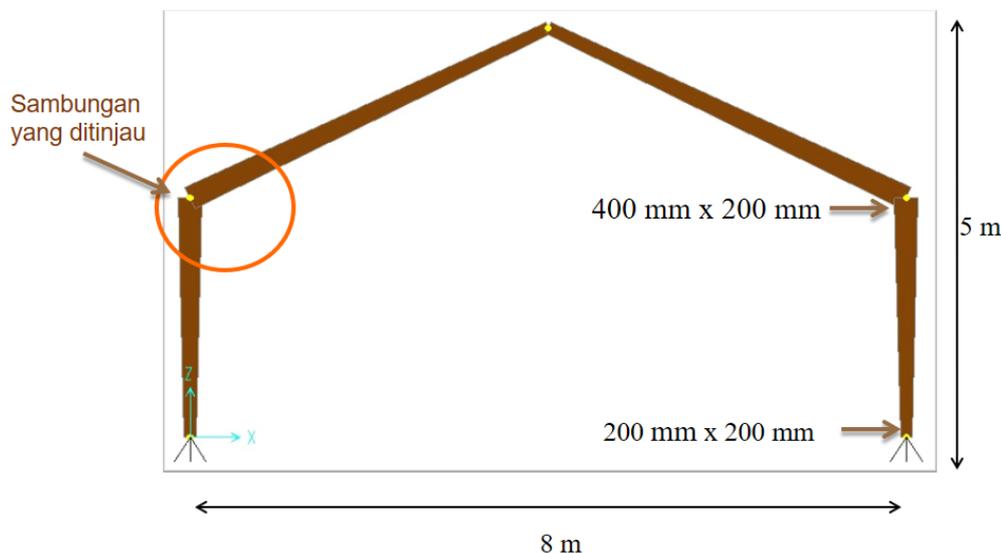
3. 8 buah baut diameter 8.45mm dengan modulus elastis 200 GPa, kuat leleh 400 MPa, dan kuat tarik 500 MPa, dan angka poisson 0.3..

Alat

1. LVDT untuk mengukur simpangan lateral.
2. *Load cell* digunakan untuk mengukur besar gaya yang dikerjakan pada benda uji.
3. *Hydraulic jack* untuk memberikan gaya pada benda uji.
4. *Data logger* digunakan untuk mencatat/merekam hubungan gaya dan simpangan yang terjadi pada saat pengujian.
5. Komputer

Model Struktur *Gable Frame*

Struktur *gable frame* tiga sendi yang digunakan sebagai studi kasus pada penelitian ini ditampilkan dalam Gambar 2.



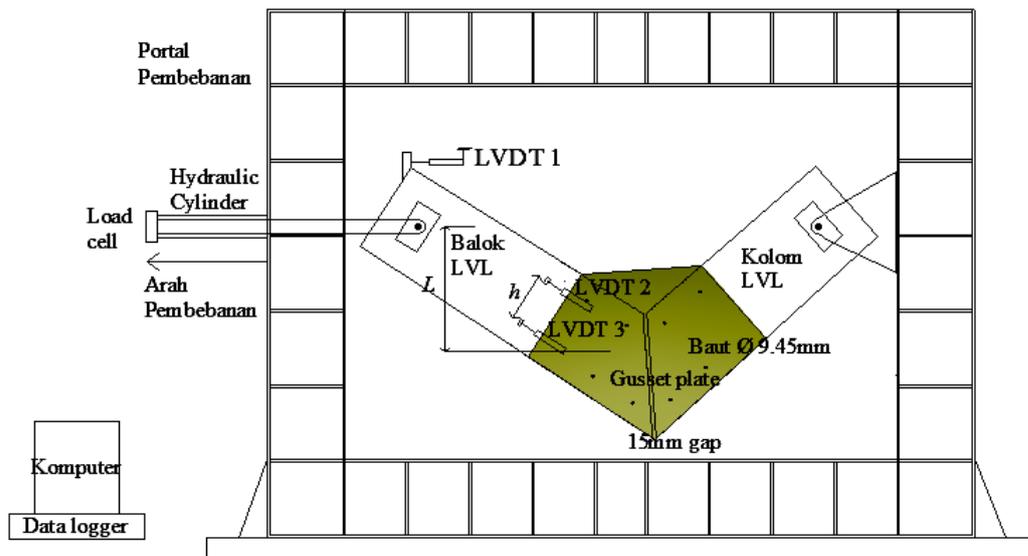
Gambar 2. Struktur *gable frame* kayu

Prosedur Pengujian

Model sambungan skala penuh seperti Gambar 3 disiapkan dan dilakukan pengujian pada penelitian ini. Model sambungan ini berupa sambungan balok kolom pada struktur *gable frame* tiga sendi dengan panjang bentang 8 m dan tinggi 5 m yang tersusun dari 8 baut diameter 8.45 mm, *gusset plate* tebal 3.8 mm dan non-prismatis batang LVL Sengon (species *Paraserianthes falcataria*; kadar air 12.8%; *air-dry specific gravity* 0.38). Gambar 3 menunjukkan bahwa model sambungan memiliki *gap* 15 mm untuk memfasilitasi rotasi yang memungkinkan tahanan gesek bekerja di antara antara elemen LVL dengan *gusset plates* dan gaya lateral yang terjadi pada baut karena elemen LVL berotasi selama pembebanan, setelah spasi pada kayu menutup pada sisi bawah, *partial contact* antara kedua batang LVL akan berkontribusi pada tahanan rotasi sambungan.

Model sambungan memiliki dua lengan seperti tampak pada Gambar 3. Lengan kanan terhubung dengan tumpuan sendi, sedangkan lengan kiri terhubung dengan peralatan pembebanan yaitu *hydraulic jack* dan *load cell* dan memungkinkan untuk bergerak secara horizontal pada saat pembebanan. Jarak antara tumpuan kedua lengan adalah 1590 mm dan selalu berubah selama pembebanan dan diukur dengan *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT), yaitu LVDT 1. Rotasi sambungan yang berupa resultan *displacement* horizontal dan vertikal antara elemen kayu LVL dan *gusset plate*, diukur dengan dua LVDT seperti pengukuran rotasi yang dilakukan oleh Awaludin (2010). Model sambungan dibebani secara monotonik dengan menarik lengan kiri dengan *hydraulic jack* ke arah kiri dan membuat spasi kedua batang LVL menutup pada bagian bawah. Pengukuran *displacement* dan besarnya beban yang diaplikasikan selama proses pembebanan

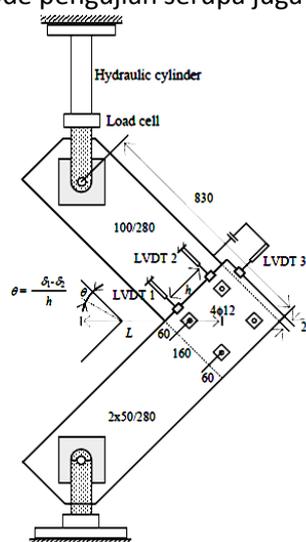
direkam dan disimpan pada komputer. Pengamatan visual selama pengujian dilakukan pada spasi antar kedua elemen kayu.



Gambar 3. Setting pengujian sambungan gable frame

HASIL DAN PEMBAHASAN

Awaludin dkk (2010) telah menguji sambungan balok-kolom eksterior atas dari kayu laminasi menggunakan baut mutu tinggi. Kayu laminasi yang digunakan memiliki kadar air rata-rata 8.2% dan kerapatan 339 kg/m^3 dengan standar deviasi 8 kg/m^3 . Nilai modulus elastik dinamik bernilai 10.56 GPa ditentukan menggunakan metode tegangan *non destructive* dengan koefisien variasi 2.4%. Konfigurasi pengujian balok-kolom pada kayu laminasi oleh Awaludin dkk (2010) dapat dilihat pada Gambar 4. Pengujian portal dengan metode pengujian serupa juga telah diteliti oleh Leitjen (1998).



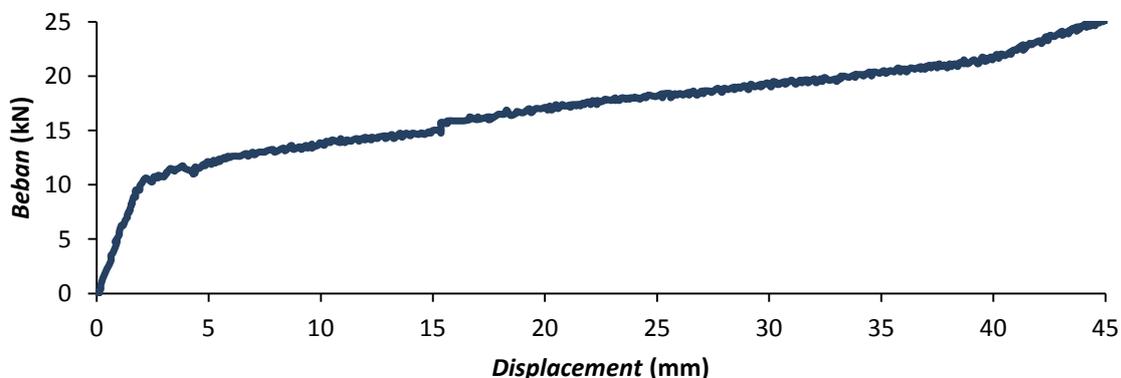
Gambar 4. Konfigurasi pengujian sambungan tahanan momen balok-kolom eksterior atas, satuan mm (Awaludin dkk, 2010)

Pengujian dilakukan dengan pembebanan siklik sampai batas rotasi pada *joint* sebesar 0.04 radian dengan perulangan tiga kali kemudian dilanjutkan dengan pembebanan monotonik sampai sambungan *collapse* atau beban yang dapat ditahan turun 80% dari beban maksimum dengan kontrol kecepatan deformasi 8.5 mm/menit. Tahanan momen maksimum dapat diestimasi berdasarkan beban lateral yang dapat ditahan oleh setiap baut dengan titik pusat gaya pada tengah-tengah posisi baut.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Awaludin, dkk (2010) terletak pada model struktur sambungan dan metode pembebanan pada saat pengujian. Penelitian ini memiliki benda uji sambungan struktur *gable frame* dengan penampang balok dan kolom non prismatis. Pembebanan yang dilakukan dengan secara tarik monotonik untuk mendapatkan respon momen-rotasi pada sambungan. Adapun hasil penelitian ditampilkan pada sub-bab di bawah ini.

Kurva Hubungan Beban dan *Displacement* pada Sistem Sambungan

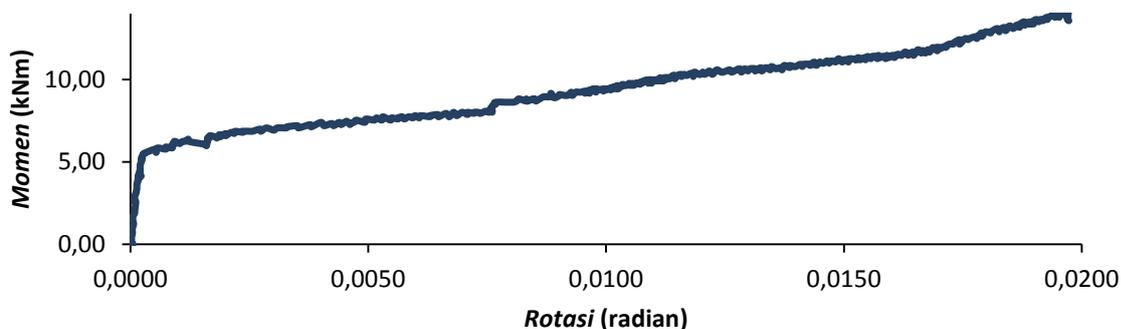
Kurva hubungan antara beban dan *displacement* ditampilkan pada Gambar 5. di bawah ini merupakan luaran langsung dari hasil pembacaan sel beban (*load cell*) dan LVDT. Pembebanan monotonik tarik yang dilakukan dimulai dari 0 kN kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimum alat yaitu 25 kN. Dari data yang tercatat didapatkan bahwa sistem sambungan ini berperilaku elastoplastis, yaitu pada awal pembebanan memiliki kurva hubungan antara beban dan *displacement* yang linier kemudian pada suatu titik mencapai plastis yang nampak berupa perbedaan kemiringan kurva. Suatu titik dimana terjadi perubahan sifat material dari elastik menjadi plastis tersebut adalah pada saat sambungan dikerjakan gaya tarik sebesar 10.25 kN dan terjadi *displacement* sebesar 2.5 mm.



Gambar 5. Kurva hubungan beban (kN) dan *displacement* (mm)

Kurva Hubungan Momen dan Rotasi pada Sistem Sambungan

Kurva hubungan momen dan rotasi seperti ditampilkan pada Gambar 6. berikut ini merupakan hasil pengolahan data dari pembacaan beban oleh *load cell* dan *displacement* oleh LVDT. Momen didapatkan dari perkalian beban yang bekerja dengan lengan terhadap pusat titik berat sambungan (L) seperti tampak pada Gambar 3. Rotasi sambungan dihitung sebagai penjumlahan *displacement* yang terbaca pada LVDT 2 dan LVDT 3 kemudian dibagi dengan jarak diantara kedua LVDT. Dari Gambar 4 di bawah ini dapat diketahui bahwa kurva hubungan momen dan rotasi identik dengan kurva beban dan *displacement*. Adapun transisi antara perilaku elastik dan plastis pada sambungan baut-*gusset plate* ini terjadi pada saat momen yang bekerja sebesar 5.5 kNm dan rotasi yang terjadi 0.00029 radian.



Gambar 6. Kurva hubungan momen (kNm) dan rotasi(radian)

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sambungan baut-*gusset plate* pada struktur *gable frame* masih berperilaku linier elastis hingga beban 10.25 kN dengan *displacement* yang terjadi 2.5 mm.
2. Sambungan baut-*gusset plate* pada struktur *gable frame* masih berperilaku linier elastis hingga momen 5.5 kNm dengan rotasi yang terjadi 5.5 mm.
3. Sambungan masih berperilaku daktail hingga *displacement* yang terjadi sebesar 45 mm pada saat beban yang bekerja 25 kN dan dihentikan karena kapasitas maksimal alat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ali Awaludin, Ph.D yang telah menjadi pembimbing dalam melakukan penelitian dan PT Sumber Graha Sejahtera sebagai penyedia LVL Sengon.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A., 2005, *Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu (Mengacu pada SNI-5 2002)*, Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Awaludin, A., et. al., 2010, *Moment Resisting Timber Joints with High Strength Steel Dowels: Natural Fiber Reinforcement*, In: 10th World Conference on Timber Engineering.
- Awaludin, A., 2011, *Sifat-Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Glugu dan Sengon Kawasan Merapi dalam Rangka Mempercepat Pemulihan Ekonomi Masyarakat Merapi Pasca Letusan Merapi 2010*, Yogyakarta: Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Awaludin, A., 2011, *Hasil Pengujian LVL (Paraserianthes falcataria) Sengon*. Yogyakarta: Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Baker, W.A. et.al., 2002, *Structural Composit Lumber*, In APA Engineered Wood Handbook, T.G. Williamson, pp.6.1-6.2, McGraw-Hill, USA.
- Colak, et.al, 2004, *Some Technological Properties of Laminated Veneer Lumber Manufactured from Pine (Pinus sylvestris L.) Veneers with Melamine Added - UF Resins*, Turk J Agric For, 28 (2004), pp. 109-113.
- Eratodi, IGLB., 2014, *Sambungan Balok Kolom Bambu Laminasi Menggunakan Pelat Baja Dikarter Dan Baut*. Disertasi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Kennedy, S., et. al., 2014, *Design Equations for Embedment Strength of Wood for Threaded Fasteners in The Canadian Timber Design Code*, In: World Conference on Timber Engineering.
- Kusumah, S.S. et.al., 2010, *Performance of Laminated Veneer Lumber from Three Species of Small Diameter Logs.*, The 2nd International Symposium on IWoRS, Bali, Indonesia, pp. 50-58.
- Risnasari, I., 2008, *Kajian Sifat Fisis Kayu Sengon (Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen) pada Berbagai Bagian dan Posisi Batang*, Medan: Universitas Sumatera Utara.