

## STUDI NUMERIK SAMBUNGAN DENGAN BAUT-GUSSET PLATE PADA STRUKTUR GABLE FRAME TIGA SENDI

Pinta Astuti<sup>1</sup>, Martyana Dwi Cahyati<sup>2</sup>, Hakas Prayuda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, 55183

Email: pinta.astuti@ft.umy.ac.id

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, 55183

Email: martyana.dc@ft.umy.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, 55183

Email: hakas.prayuda@ft.umy.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini difokuskan pada sambungan struktur *gable frame* tiga sendi yang memiliki tinggi 5 m (Laminated Veneer Lumber (LVL), species *Paraserianthes falcataria* (Sengon), kadar air, 12.8%, *specific gravity*, 0.38) dengan penampang balok dan kolom non prismatis. Penampang balok dan kolom 200x200 mm pada salah satu ujung dan ujung lainnya sebesar 400x200 mm. Sambungan ini terdiri dari baut dengan variasi diameter 9.45 mm (Awaludin dan Astuti, 2016), 12 mm, dan 16 mm dan gusset plate setebal 3.8 mm. Studi numerik dilakukan dengan analisis *finite element* pada program ABAQUS dengan mengasumsikan LVL sebagai material elastik orthotropik, dengan propertis teknisnya didapatkan dari penelitian sebelumnya, sedangkan baut dan *gusset plate* baja dimodelkan sebagai material elastoplastis. Kontak elemen pada setiap elemen pada sambungan dimodelkan. Pembebanan dilakukan secara monotonik. Untuk mendapatkan kekakuan rotasi pada struktur *gable frame* dengan variasi diameter baut dan panjang bentang, maka pemodelan sambungan dilakukan untuk bentang 6 m, 8 m (Awaludin dan Astuti, 2016), 10 m, dan 12 m. Hasil analisis didapatkan semakin banyak baut yang digunakan dalam sambungan maka kekakuan rotasi akan semakin meningkat dan semakin panjang bentang maka kekakuan rotasi sambungan semakin rendah.

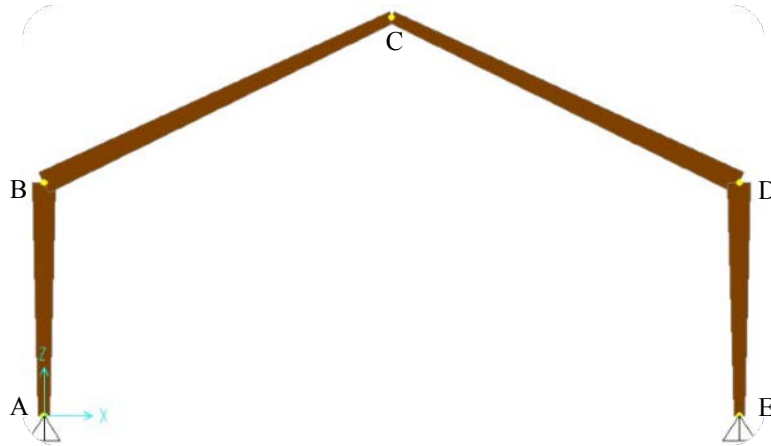
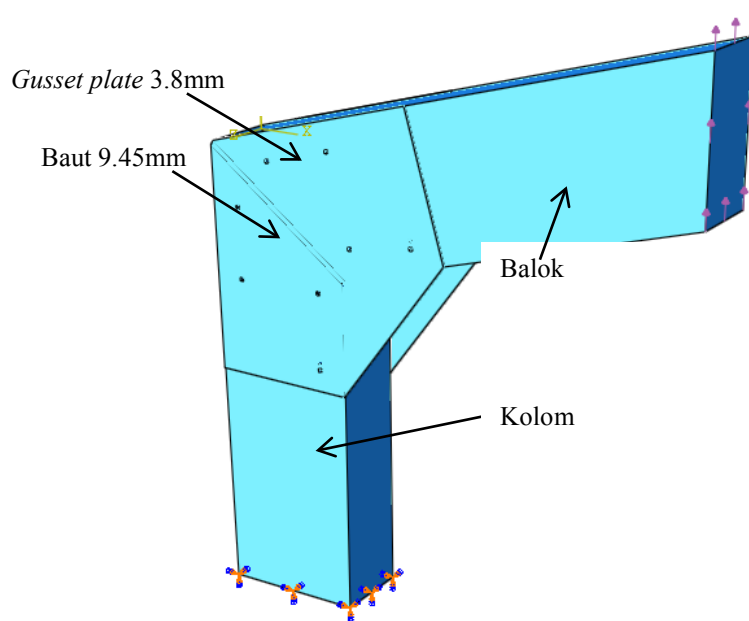
Kata kunci: LVL Sengon, baut-gusset plate, analisis *finite element*, kekakuan rotasi

### 1. PENDAHULUAN

Awaludin dan Astuti (2016) telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan *Laminated Veneer Lumber* (LVL) yang diproduksi dari Kayu Sengon spesies *Paraserianthes falcataria*. LVL Sengon tersebut berbentuk balok dengan penampang tidak seragam (non prismatis). Adapun pemanfaatan balok yang telah dilakukan yaitu digunakan sebagai konstruksi portal pelana (*gable frame*) yang berupa dua buah balok dan dua buah kolom yang membentuk portal seperti pada Gambar 1 dengan bentang 8 m dan tinggi 5 m. Adapun karakteristik join A dan E merupakan tumpuan sendi, join C bersifat sebagai *pin* atau sendi. Analisis numerik untuk mendapatkan kekakuan rotasi menggunakan *finite element* pada program ABAQUS dilakukan dan divalidasi menggunakan pengujian skala penuh pada sambungan struktur *gable frame*. Adapun sambungan pada join B dan D tersebut berupa 1 buah balok, 1 buah kolom, 8 buah baut ukuran 9.45 mm, 12mm, 16mm, dan 2 buah *gusset plate* setebal 3.8 mm yang dirangkai seperti pada Gambar 1.

Material LVL Sengon yang dipilih pada penelitian ini karena karakteristik propertisnya yang ringan (*specific gravity*, 0.38) sehingga dapat digunakan sebagai alternatif material untuk konstruksi pada daerah rawan gempa (Astuti dan Faizah, 2016). Selain itu, sengon merupakan spesies memiliki usia tebang 6-8 tahun (Awaludin dan Astuti, 2016). Struktur *gable frame* tetap dijadikan objek studi pada penelitian ini karena struktur ini banyak digunakan pada konstruksi khususnya untuk struktur gudang dan pabrik karena kemudahan fabrikasi dan kecepatan dalam pemasangan.

Pada penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan variasi yang telah dilakukan oleh Awaludin dan Astuti (2016) yang telah melakukan penelitian mengenai kekakuan rotasi sambungan struktur *gable frame* pada bentang 8 m, sedangkan dalam penelitian ini struktur dikembangkan mulai dari bentang 6m, 8m, 10m dan 12 m. Dengan variasi diameter baut 9,45 mm, 12 mm dan 16 mm, sedangkan jumlah bautnya digunakan variasi sebanyak 4 jenis yaitu 4, 6, 8, 10 buah baut.

Gambar 1. Geometri struktur *gable frame*Gambar 2. Detail sambungan D pada struktur *gable frame*

## 2. ANALISIS NUMERIK DENGAN *FINITE ELEMENT*

Analisis numerik dilakukan dengan pemodelan tiga dimensi dengan analisis *finite element* pada program ABAQUS. Setiap elemen yang berupa balok, kolom, baut, dan plat baja dimodelkan tampak seperti pada Gambar 3.

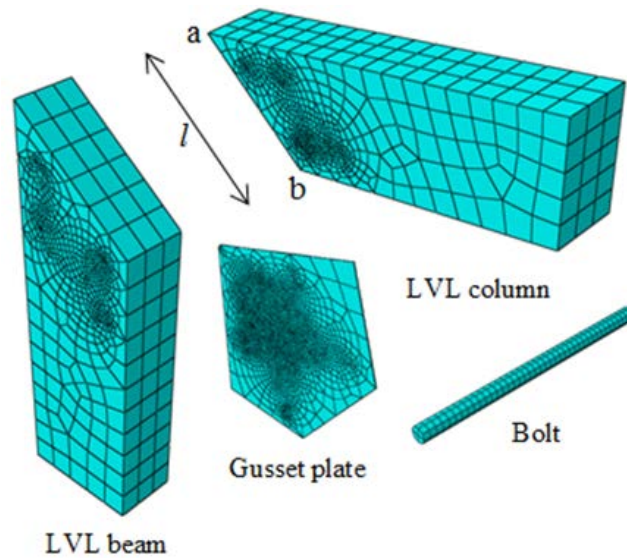
*Gusset plate*, balok, dan kolom dilubangi untuk sebesar 11 mm sesuai dengan letak baut yang akan dipasang. Kontak pada setiap elemen menggunakan *penalty method* diaplikasikan pada: balok LVL, kolom LVL, sepasang *gusset plate*, dan baut dengan mendefinisikan kontak *master* dan *slave* yang difasilitasi dalam ABAQUS. Karakteristik normal dan *sliding* dihitung otomatis oleh ABAQUS sesuai propertis material dan koefisien friksi antara *gusset plate* dan LVL adalah 0.1 yang telah diinputkan (Kiwelu, 2013).

LVL Sengon diasumsikan sebagai material elastik orthotropik (Mirianon, 2008), sedangkan baut dan *gussete plate* diasumsikan sebagai material elastoplastik (Baljid dkk, 2002 dan Ardalany, 2010). Propertis material yang digunakan dalam pemodelan struktur *gable frame* didapatkan dari pengujian di laboratorium dan dari penelitian sebelumnya (Awaludin dan Astuti, 2016), adapun nilainya ditampilkan dalam Tabel 1

Adapun parameter material elastik orthotropik antara lain,  $E_R$ ,  $E_T$ ,  $E_L$  adalah modulus elastis dalam tiga sumbu;  $G_{RT}$ ,  $G_{LT}$ ,  $G_{LR}$  adalah modulus geser;  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{LR}$  adalah *Poisson's ratio*. Baut dan *gusset plates* diasumsikan sebagai material elastoplastik (Baljid, dkk, 2002) dengan propertis teknis: modulus elastis 200 GPa, kuat leleh lentur 400 MPa, dan *Poisson's ratio* 0.3.

Tabel 1. Propertis material balok dan kolom

$E_R$	70	MPa
$E_T$	75	MPa
$E_L$	1500	MPa
$G_{RT}$	22	MPa
$G_{LT}$	49	MPa
$G_{LR}$	50	MPa
$\nu_{RT}$	0.05	
$\nu_{LT}$	0.30	
$\nu_{LR}$	0.38	
$\rho$	381	kg/m <sup>3</sup>

Gambar 3. Sistem sambungan pada model *finite element* 3D (Awaludin dan Astuti, 2016)

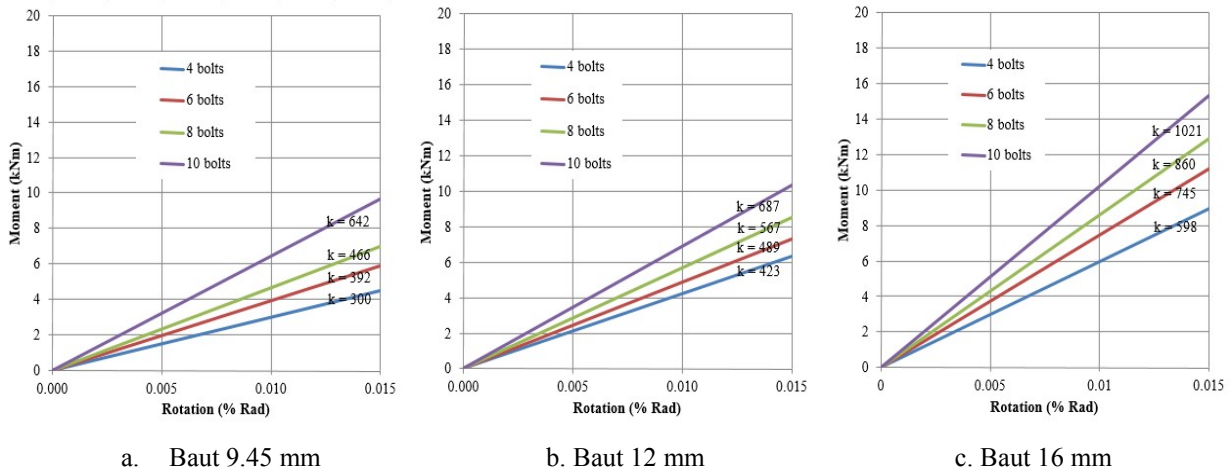
Dalam pemodelan numerik, ujung kolom dimodelkan sebagai jepit sedangkan pada balok dibebani dengan beban yang bervariasi. Lengan balok pada model sambungan sangat pendek sehingga diasumsikan bersifat kaku dan deformasi lentur akibat pembebanan sangat kecil. Rotasi dihitung berdasarkan *slip* antara *gusset plate* dan batang LVL pada sambungan. Rotasi didefinisikan sebagai penjumlahan *displacement* pada nodal a dan b dibagi dengan jarak diantara kedua nodal ( $l$ ), dengan momen sambungan merupakan hasil perkalian antara beban yang diaplikasikan dengan jarak tegak lurus antara kedua lengan pada pusat sambungan. Untuk mendapatkan respons momen dan rotasi pada model sambungan ini, pembebanan yang dilakukan seperti pada Gambar 2 yaitu beban permukaan mengarah vertikal.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva hubungan momen dan rotasi pada struktur *gable frame* dengan bentang 8 m telah diteliti oleh Awaludin dan Astuti (2016) seperti pada Gambar 5. Hasil kurva momen dan rotasi pada penelitian ini yang merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, ditampilkan pada Gambar 4. untuk struktur dengan bentang 6 m, Gambar 7. untuk struktur bentang 10 m, dan Gambar 8. untuk struktur bentang 12 m.

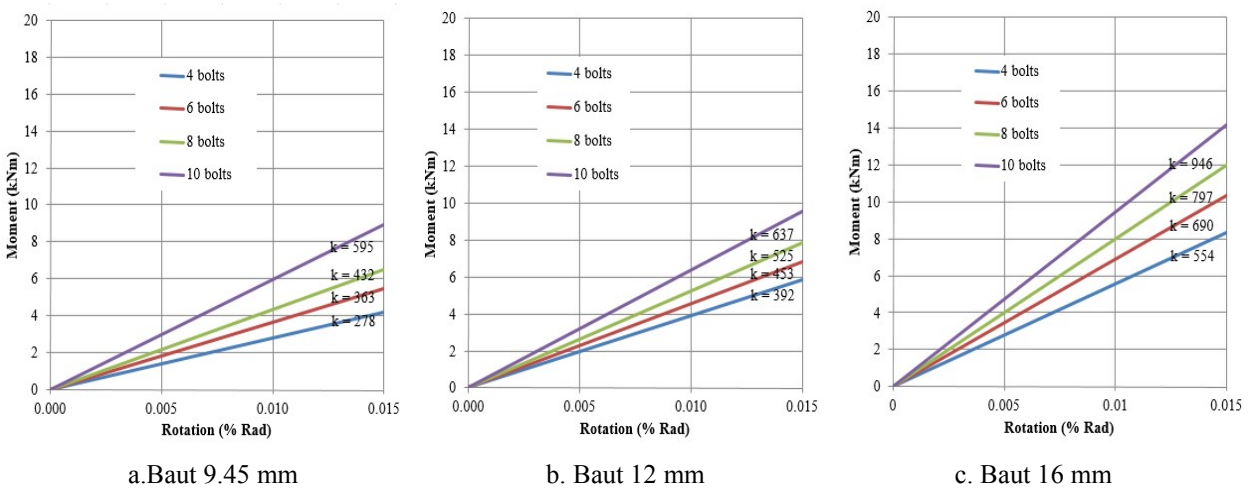
Hubungan momen dan rotasi pada sambungan ini bersifat linier hingga rotasi mencapai 0.015 % radian. Hal ini telah divalidasi dengan hubungan momen dan rotasi yang didapat dari hasil pengujian model skala penuh sambungan di laboratorium yang telah dilakukan oleh Awaludin dan Astuti (2016). Gambar 4 menjelaskan bahwa dengan panjang bentang 6m dengan diameter baut 9,45mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 300 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 392 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 466 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 642

kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 23,46%,15,87% dan 27,41%. Pada diameter baut 12mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 423 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 489 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 567 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 687 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 13,49%, 13,75% dan 17,46%. Pada diameter baut 16mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 598 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 745 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 860 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 1021 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 19,73%, 13,37% dan 15,77%. Dengan panjang bentang 6m dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah baut, maka nilai konstanta kekakuan pun akan bertambah. Dengan semakin besar diameter baut, maka nilai konstanta kekakuan juga semakin meningkat.



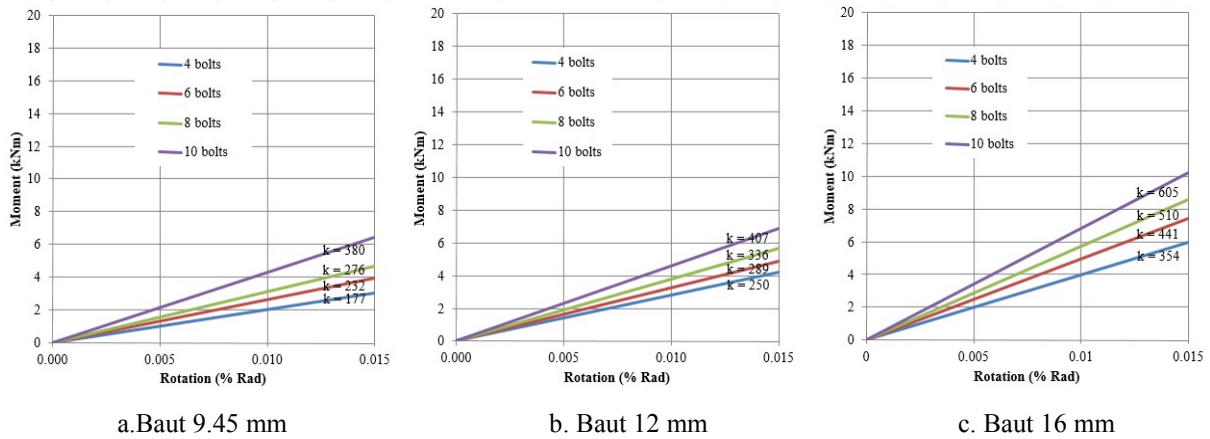
Gambar 4. Kurva momen-rotasi sambungan pada bentang struktur 6 m

Pada bentang 8 m dengan diameter baut 9,45mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 278 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 363 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 432 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 595 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 23,42%, 15,97% dan 27,39%. Pada diameter baut 12mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 392 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 453 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 525 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 637 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 13,46%, 13,71% dan 17,58%. Pada diameter baut 16mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 554 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 690 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 797 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 946 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 19,91%, 13,43% dan 15,75%. Dengan panjang bentang 8m dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah baut, maka nilai konstanta kekakuan pun akan bertambah. Dengan semakin besar diameter baut, maka nilai konstanta kekakuan juga semakin meningkat.



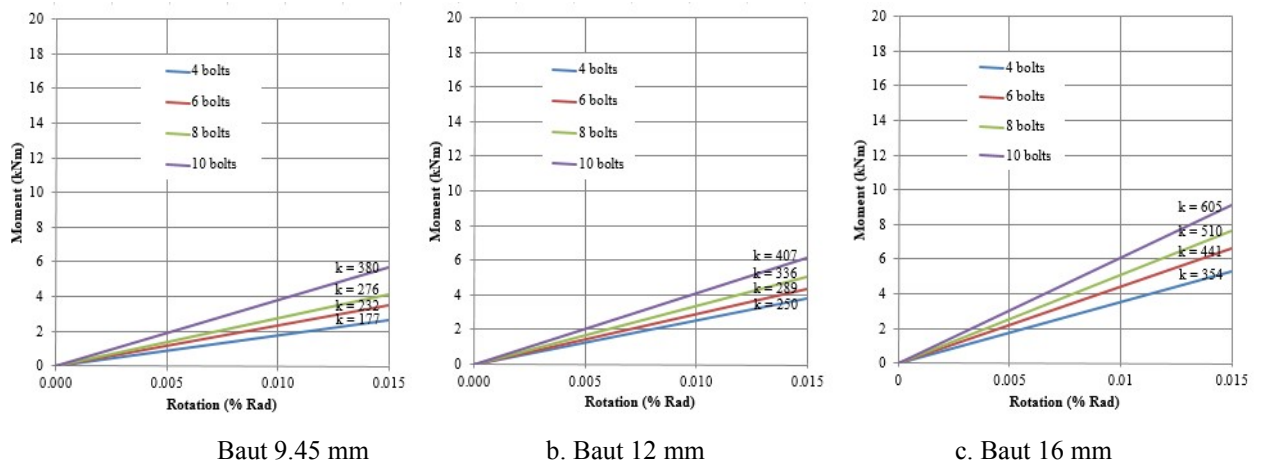
Gambar 5. Kurva momen-rotasi sambungan pada bentang struktur 8 m (Awaludin dan Astuti, 2016)

Pada bentang 10 m dengan diameter baut 9,45mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 177 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 232 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 276 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 380 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 23,71%, 15,94% dan 27,37%. Pada diameter baut 12mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 250 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 289 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 336 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 407 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 13,49%, 13,98% dan 17,55%. Pada diameter baut 16mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 354 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 441 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 510 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 605 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 19,73%, 13,53% dan 15,70%. Dengan panjang bentang 10m dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah baut, maka nilai konstanta kekakuan pun akan bertambah. Dengan semakin besar diameter baut, maka nilai konstanta kekakuan juga semakin meningkat.



Gambar 6. Kurva momen-rotasi sambungan pada bentang struktur 10 m

Pada bentang 12 m dengan diameter baut 9,45mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 177 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 232 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 276 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 380 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 23,71%, 15,94% dan 27,37%. Pada diameter baut 12mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 250 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 289 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 336 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 407 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 13,49%, 13,98% dan 17,44%an . Pada diameter baut 16mm memperoleh konstanta kekakuan rotasi adalah 354 kNm/%rad pada jumlah baut 4 buah, 441 kNm/%rad pada jumlah baut 6 buah, 510 kNm/%rad pada jumlah baut 8 buah, dan 605 kNm/%rad pada jumlah baut 10 buah, dari hasil tersebut konstanta kekakuan rotasi terus meningkat berturut-turut 19,72%, 13,53% dan 15,70%. Dengan panjang bentang 12m dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah baut, maka nilai konstanta kekakuan pun akan bertambah. Dengan semakin besar diameter baut, maka nilai konstanta kekakuan juga semakin meningkat.



Gambar 7. Kurva momen-rotasi sambungan pada bentang struktur 12 m

Setelah dilakukan pengembangan model untuk bentang yang berbeda, yaitu bentang 6 m, 10 m, dan 12 m, maka didapatkan bahwa pada diameter baut dan jumlah baut yang sama, nilai konstanta kekakuan rotasi yang tertinggi terjadi pada bentang yang paling pendek yaitu 6 m. Oleh karena itu, didapatkan nilai kekakuan rotasi sambungan B pada struktur *gable frame* akan semakin rendah apabila digunakan dalam bentang yang semakin panjang. Selain itu, jumlah baut juga mempengaruhi nilai konstanta kekakuan rotasi, semakin bertambah jumlah baut, maka nilai kekakuan rotasi akan semakin besar dengan nilai terbesar diperoleh dengan jumlah baut 10 diameter 16mm dengan bentang 6m.

#### 4. KESIMPULAN

Di dalam studi ini, pemodelan *finite element* secara tiga dimensi yang dilakukan dengan program ABAQUS untuk memprediksi hubungan momen dan rotasi linier pada sambungan struktur *gable frame* tiga sendi, dimana kontak elemen ditentukan antara permukaan dengan permukaan elemen lain diantaranya, baut-*gusset plate*, LVL-baut, dan LVL-*gusset plate*. Hasil analisis didapatkan semakin banyak baut yang digunakan dalam sambungan maka kekakuan rotasi akan semakin meningkat dan semakin panjang bentang maka kekakuan rotasi sambungan semakin rendah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ardalany, M., B. L. Deam, & M. Fragiaco. (2010). "Numerical Investigation of the Load Carrying Capacity of Laminated Veneer Lumber (LVL) Joist with Holes". World Conference on Timber Engineering.
- Astuti, P. dan Faizah, R. (2016). "Model struktur portal pelana untuk rumah tinggal satu lantai sebagai mitigasi bangunan di daerah rawan gempa", Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-3 Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia, Institut Teknologi Bandung, 23-24 Mei 2016.
- Astuti, P. (2016). "Studi eksperimental sambungan baut-gusset plate pada struktur *gable frame* tiga sendi". Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil Ke-VI Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 25 Mei 2016, 357-363.
- Awaludin, A. dan Astuti, P. (2016). "Study on utilization of LVL Sengon (*Paraserianthes falcataria*) for three-hinged *gable frame* structures". *Internasional Journal of Engineering and Technology Innovation*, Vol 6. No. 3.
- Baljid, B. et.al. (2002). "Block Shear of Bolted Gusset Plates". 4<sup>th</sup> Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering.
- Kiwelu, H. M. "Finite Element Models of Moisture on Bolt Embedment and Connection Properties of Glulam", Ph.D. dissertation, The University of Brunckwick, Canada, 2013.
- Mirianon, F., et al. (2008). *A Method to Model Wood by Using ABAQUS Finite Element Software, Part 1 Constitutive Model and Computational Details*. Finland: VTT Technical Research Centre.