



Kajian Numerik Perilaku Sambungan Kayu Geser Tunggal Menggunakan Elemen Balok dan Elemen Solid

*Naga Wijaya, Bambang Suryoatmono, Helmy Hermawan Tjahjanto
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
*8102101021@student.unpar.ac.id

Received: 24 Januari 2024 Revised: 22 Januari 2025 Accepted: 24 Januari 2025

Abstract

Modelling single shear wood connection using solid elements is more accurate, especially in simulating the contact between the surface of the lag screw and the surface of the pre-drilled hole, but it is more complicated in terms of geometry and number of nodes. An alternative method is approached by modelling the lag screw as a beam element, with the limitations of modelling the contact interaction between the lag screw and timber members. In this study, diameter variations were also modelled to investigate joint behavior. To validate the model accuracy, a modelling was also performed in which the connectors and timber members were all modelled as solid elements and performed theoretical calculations. Numerical analysis was carried out by modelling the connection specimens using the finite element method in the ABAQUS software. The results showed that the connection capacity between solid element and beam element modelling are quite similar. The accuracy of modelling the lag screw as a beam element is lower at larger diameters and requires a method to correct the results.

Keywords: Wood connection, lag screw, finite element method, solid element, beam element

Abstrak

Pemodelan sambungan kayu geser tunggal menggunakan elemen solid lebih akurat khususnya dalam mensimulasikan kontak antara permukaan sekrup kunci dengan permukaan lubang kayu, namun lebih rumit jika ditinjau dari aspek geometri dan jumlah nodal yang lebih banyak. Metode alternatif dilakukan dengan cara memodelkan sekrup kunci sebagai elemen balok, dengan adanya keterbatasan dalam memodelkan interaksi kontak antara sekrup kunci dan komponen kayu. Di dalam penelitian ini, variasi diameter juga dimodelkan untuk menginvestigasi perilaku sambungan yang terjadi. Untuk memvalidasi keakuratan pemodelan, dilakukan juga sebuah pemodelan dimana pengencang dan komponen kayu secara keseluruhan dimodelkan sebagai elemen solid serta melakukan perhitungan teoritis. Pengujian numerik dilakukan dengan memodelkan spesimen sambungan menggunakan metode elemen hingga pada perangkat lunak ABAQUS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas sambungan antara pemodelan elemen solid dan elemen balok memberikan hasil yang cukup dekat. Tingkat akurasi pemodelan sekrup kunci sebagai elemen balok lebih rendah pada diameter yang lebih besar dan memerlukan metode untuk mengoreksi hasilnya.

Kata kunci: Sambungan kayu, sekrup kunci, metode elemen hingga, elemen solid, elemen balok

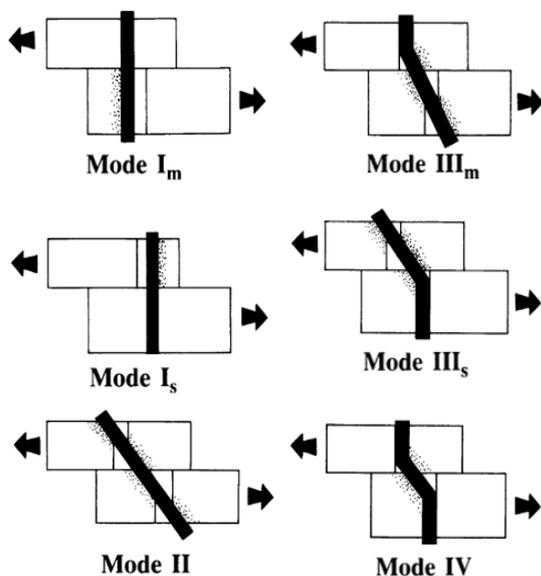
Pendahuluan

Sambungan merupakan komponen penting dalam struktur kayu karena stabilitas, daktilitas, dan kapasitas pikul beban suatu struktur kayu sangat bergantung sambungan (Oudjene *et al.*, 2016; Tao *et al.*, 2020). Secara umum, untuk menyalurkan gaya dari balok ke kolom diperlukan sambungan berupa pelat penyambung yang dapat terbuat dari baja maupun kayu dengan pengencang berupa

batang baja, baut, sekrup kunci, paku boks, paku biasa ataupun paku baja (Khelifa *et al.*, 2015). Sambungan yang sering dijumpai adalah sambungan tipe dowel dengan baut sebagai pengencang. Namun, adanya spasi antara baut dan lubang baut menyebabkan rendahnya kekakuan awal, daktilitas, dan kemampuan disipasi energi jika dibandingkan dengan pengencang berbentuk runcing dan berulir seperti sekrup kunci yang hingga saat ini juga masih sering digunakan karena

pemasangannya yang cepat dan tidak memerlukan peralatan yang terlalu canggih (Li *et al.*, 2021). Selain itu, kapasitas tarik yang tinggi akibat ulir pada sekrup kunci memungkinkan untuk mendesain berbagai konfigurasi geometri pada sambungan dan sekrup kunci memiliki kekakuan serta kapasitas pikul beban yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sambungan tradisional lainnya (Bedon & Fragiaco, 2019).

Apabila sambungan dibebani secara lateral, terdapat beberapa jenis kegagalan yang kemungkinan terjadi seperti kelelahan pengencang ataupun kegagalan tumpu pasak (*dowel bearing failure*). Kegagalan dapat terjadi pada komponen struktur utama (*main member*) atau komponen struktur samping (*side member*). Kapasitas dan ragam kegagalan sambungan ditentukan oleh ukuran pengencang dan kekuatannya, ketebalan kayu yang disambung, serta berat jenis material kayu. Menurut SNI 7973-2013, terdapat enam ragam kegagalan yang dapat terjadi untuk satu pengencang yang mengalami pembebanan lateral untuk satu bidang geser seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Enam ragam kegagalan sambungan geser tunggal yang memikul beban lateral (SNI 7973-2013)

Salah satu cara efektif untuk mengetahui perilaku sambungan adalah analisis numerik menggunakan metode elemen hingga dengan memodelkan sambungan sebagai elemen solid dengan mempertimbangkan kondisi gesekan antara pengencang dengan komponen yang disambung. Namun, apabila metode ini diterapkan pada suatu sambungan balok-kolom dengan pengencang yang sangat banyak, maka akan menjadi tidak efektif karena akan muncul banyak derajat kebebasan (*d.o.f*) dan ratusan ribu *mesh* (Meghlat *et al.*, 2012;

Meghlat *et al.*, 2013; Oudjene *et al.*, 2016). Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa analisis numerik dengan menggunakan elemen solid akan tidak konvergen pada awal perilaku pasca elastis yang mungkin disebabkan oleh distorsi berlebihan pada elemen (Calil & Molina, 2010; Crocetti *et al.*, 2014; Yeoh *et al.*, 2008).

Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan sebuah pendekatan numerik berdasarkan pemodelan elemen hingga balok-ke-padat (*beam-to-solid*) (Oudjene *et al.*, 2013) yaitu dengan memodelkan pengencang sebagai elemen balok satu dimensi (*one-dimensional beam element*), sementara komponen kayu tetap dimodelkan menggunakan elemen solid.

Pada penelitian ini, akan dipelajari perilaku sambungan kayu geser tunggal pada sambungan tunggal (*single connection*) dan sambungan kelompok (*group connection*) dengan pengencang berupa sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok dengan dua variasi diameter yang dibebani secara lateral. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak penyederhanaan pemodelan pengencang terhadap keakuratan akhir dalam hal kapasitas sambungan dan ragam kegagalan yang dibebani secara lateral. Untuk memvalidasi keakuratan hasil pemodelan, dilakukan pemodelan dimana pengencang dan komponen kayu dimodelkan sebagai elemen solid secara keseluruhan serta dilakukan perhitungan teoritis berdasarkan persamaan desain SNI 7973-2013 untuk mengetahui kapasitas dan ragam kegagalan yang terjadi.

Metode

Penelitian ini menggunakan analisis numerik dengan pemodelan benda uji pada perangkat lunak ABAQUS CAE 2020. Pemodelan sekrup kunci dilakukan dengan dua metode pemodelan, yaitu sebagai elemen balok satu dimensi dan sebagai elemen solid sementara komponen kayu tetap dimodelkan menggunakan elemen solid.

Properti material

Jenis kayu yang digunakan adalah kayu meranti merah (*red meranti*) dengan berat jenis (SG) dan kadar air adalah 0,51 dan 15,14% (Pranata & Suryoatmono, 2013). Pengencang yang digunakan adalah sekrup kunci dengan diameter 9,53 mm (D9,53) dan 12,7 mm (D12,7), modulus elastisitas sekrup kunci (E) 200.000 MPa dan kekuatan leleh lentur sekrup kunci (F_{yb}) 501,37 MPa.

Material kayu dimodelkan bersifat elasto-plastik ortotropik (Oudjene & Khelifa, 2009). Sifat

mekanik elastis material kayu mengacu pada studi yang dilakukan oleh Pranata dan Suryoatmono seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 (Pranata & Suryoatmono, 2013). Parameter tersebut mencakup kekuatan tekan sejajar (F_{cu}) dan tegak lurus serat (F_{cy}), modulus elastisitas (E), modulus geser (G), dan rasio poisson (ν) pada sumbu longitudinal (L), radial (R), dan tangensial (T). Sementara itu, sekrup kunci dimodelkan bersifat elasto-plastik isotropik (Bucalem & Bathe, 2011; Tran *et al.*, 2018).

Tabel 1. Properti material kayu meranti

Parameter	Nilai	Satuan
F_{cu}	38,00000	MPa
F_{cy}	33,67000	MPa
E_p	2804,83000	MPa
E_T	688,78000	MPa
E_R	688,78000	MPa
E_L	8261,46000	MPa
G_{LR}	548,15000	MPa
G_{LT}	488,63000	MPa
G_{RT}	276,25000	MPa
ν_{TR}	0,24700	-
ν_{TL}	0,00225	-
ν_{RL}	0,00117	-
ν_{RT}	0,24700	-
ν_{LT}	0,02700	-
ν_{LR}	0,01400	-

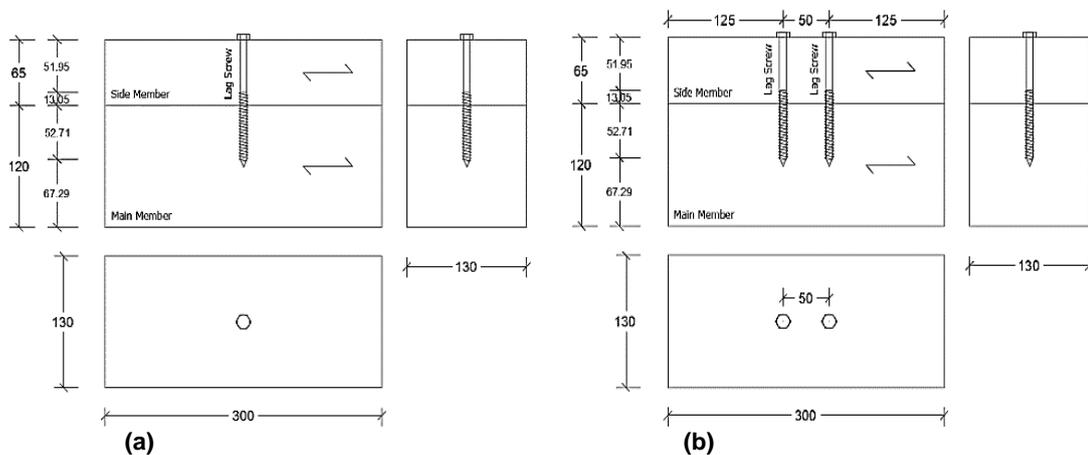
Pemodelan elemen hingga

Dalam penelitian ini, perangkat lunak elemen hingga yang digunakan adalah ABAQUS CAE 2020. Konfigurasi sambungan yang dimodelkan baik sambungan tunggal ataupun kelompok dijelaskan pada Gambar 2. Dari konfigurasi tersebut, mekanisme transfer beban tercapai melalui deformasi yang terjadi pada sambungan. Gaya dalam yang bekerja pada sekrup kunci adalah gaya

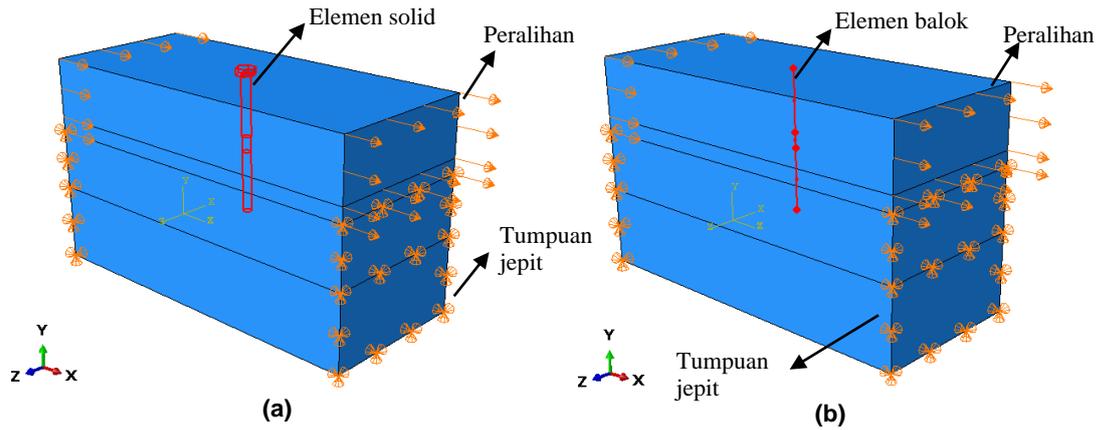
tarik (atau tekan), gaya geser, dan momen. Gaya geser dan momen disebabkan karena sekrup kunci yang menumpu pada permukaan lubang kayu, sedangkan gaya tarik disebabkan oleh peralihan yang terjadi antara komponen struktur utama dan komponen struktur samping. Pada Gambar 3 memperlihatkan kondisi batas dan pemberian beban pada pemodelan. Pada sisi vertikal komponen struktur utama diberikan kondisi batas yang mencegah perpindahan ke tiga sumbu.

Pembebanan dilakukan dengan memberikan peralihan homogen secara inkremental pada permukaan vertikal komponen struktur samping searah dengan sumbu-X positif. Interaksi dalam arah tangensial dan normal antar elemen dalam model elemen hingga dimodelkan menggunakan interaksi *surface-to-surface* yang tersedia dalam program ABAQUS. Interaksi ini meminimalisasi penetrasi kontak permukaan *master* ke permukaan *slave* (Kaliyanda *et al.*, 2019; Nouri *et al.*, 2019). Batasan kontak pada arah normal bidang kontak dimodelkan menggunakan opsi *hard contact* dan mengaktifkan fitur *allow separation after contact* (Hassanieh *et al.*, 2017).

Interaksi antar komponen struktur utama dan struktur samping dimodelkan tanpa friksi (Liu *et al.*, 2014). Untuk metode pemodelan sekrup kunci sebagai elemen solid, interaksi antara permukaan lubang kayu dengan permukaan sekrup kunci dalam arah tangensial dimodelkan dengan menerapkan koefisien kontak friksi sebesar 0,2 pada bagian tanpa ulir sekrup kunci dan 0,7 pada bagian berulir sekrup kunci (Ling *et al.*, 2021). Metode pemodelan sekrup kunci sebagai elemen balok, interaksi antara sekrup kunci dengan elemen kayu menggunakan opsi *embedded element* yang menyamakan peralihan antara nodal-nodal pada elemen sekrup kunci dengan nodal-nodal pada elemen kayu di sekitar sekrup kunci (Oudjene *et al.*, 2018).

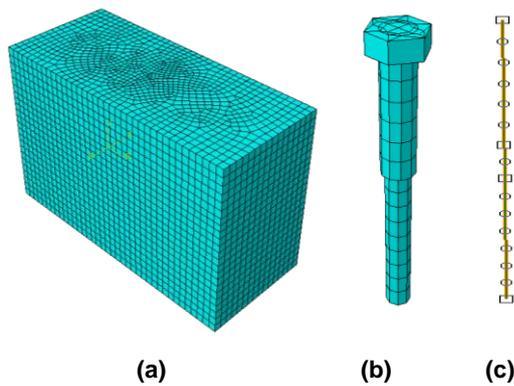


Gambar 2. Spesimen sambungan geser tunggal dari tampak depan, tampak samping, dan tampak atas (dimensi dalam mm): (a) sambungan tunggal, (b) sambungan kelompok



Gambar 3. Kondisi batas pemodelan untuk metode pemodelan sekrup kunci sebagai (a) elemen solid; (b) elemen balok

Bagian berulir dan tanpa ulir pada sekrup kunci dimodelkan dengan menerapkan perbedaan diameter seperti yang bisa dilihat pada Gambar 4b. Dalam pemodelan elemen hingga, struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*). *Meshing* dapat dilihat pada Gambar 4. *Meshing* yang lebih halus dimodelkan pada area lokal seperti area kontak antara komponen kayu dengan sekrup kunci agar diperoleh hasil interaksi yang lebih akurat (Kaliyanda *et al.*, 2019) Ukuran *mesh* yang digunakan telah melalui tahap uji konvergensi.



Gambar 4. *Meshing* pada pemodelan: (a) kayu, (b) sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen solid, (c) sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok

Prediksi teoritis berdasarkan persamaan desain SNI 7973-2013

Berdasarkan persamaan desain SNI 7973-2013 (Persamaan 1-6), nilai desain acuan untuk satu pengencang yang mengalami pembebanan lateral untuk satu bidang geser harus diambil yang terkecil dari persamaan batas leleh yang ada.

$$I_m \quad Z = \frac{D l_m F_{em}}{R_d} \quad (1)$$

$$I_s \quad Z = \frac{D l_s F_{es}}{R_d} \quad (2)$$

$$II \quad Z = \frac{k_1 D l_s F_{es}}{R_d} \quad (3)$$

$$III_m \quad Z = \frac{k_2 D l_m F_{em}}{(1 + 2R_e)R_d} \quad (4)$$

$$III_m \quad Z = \frac{k_3 D l_s F_{em}}{(2 + 2R_e)R_d} \quad (5)$$

$$IV \quad Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad (6)$$

Hasil dan Pembahasan

Kapasitas sambungan

Hubungan beban-peralihan untuk pemodelan elemen solid dan elemen balok dengan variasi 2 diameter untuk sambungan tunggal dan sambungan kelompok dapat dilihat pada Gambar 5 (a dan b). Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pemodelan sekrup kunci D9,53 sebagai elemen solid dan elemen balok baik untuk sambungan tunggal ataupun sambungan kelompok menghasilkan kapasitas sambungan yang cukup dekat. Namun, semakin besar diameter pengencang diperoleh perbedaan kapasitas sambungan antara model elemen solid dan model elemen balok juga semakin besar.

Tabel 2 memperlihatkan perbedaan kapasitas sambungan tunggal antara model elemen solid dan model elemen balok dimana untuk sekrup kunci D9,53 perbedaan hanya sebesar 0,32%, sedangkan untuk D12,7 perbedaan mencapai 15,27%. Hal ini dapat terjadi karena semakin kecil diameter sekrup kunci yang dimodelkan, maka penampangnya akan semakin tipis dan perilakunya akan semakin mendekati perilaku dari sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok.

Tabel 2. Perbandingan kapasitas sambungan pemodelan elemen solid dan elemen balok untuk sambungan tunggal

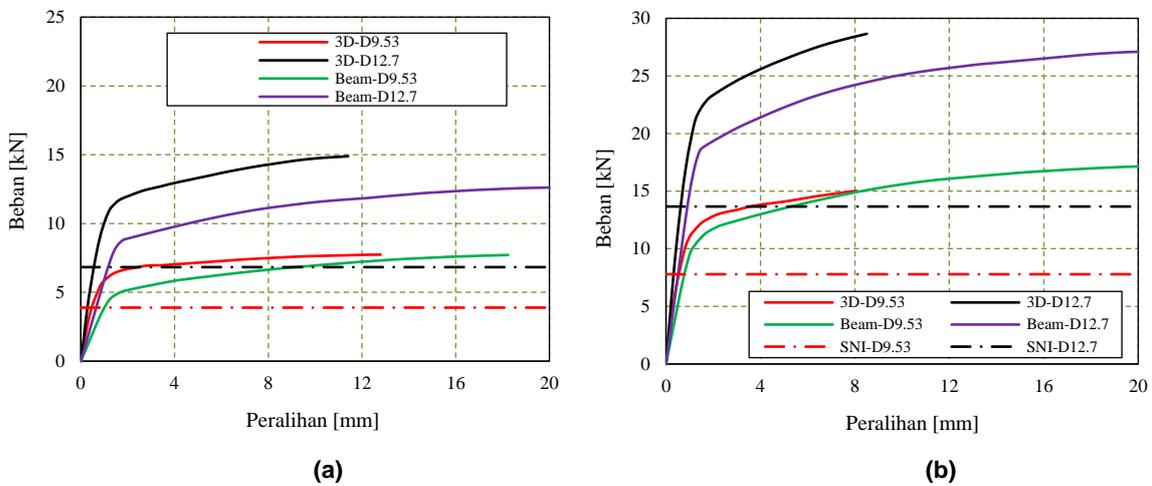
Diameter (mm)	Kapasitas sambungan (kN)		Solid - Balok Solid (%)
	Elemen solid	Elemen balok	
9,53	7,74	7,72	0,32
12,7	14,89	12,62	15,27

Hubungan beban-peralihan antara sambungan tunggal dan sambungan kelompok dengan variasi 2 diameter untuk pemodelan elemen solid dan elemen balok dapat dilihat pada Gambar 6 (a dan b). Pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa pemodelan elemen balok menghasilkan peningkatan kapasitas sambungan dari sambungan tunggal ke sambungan kelompok yang lebih signifikan jika dibandingkan pemodelan elemen solid.

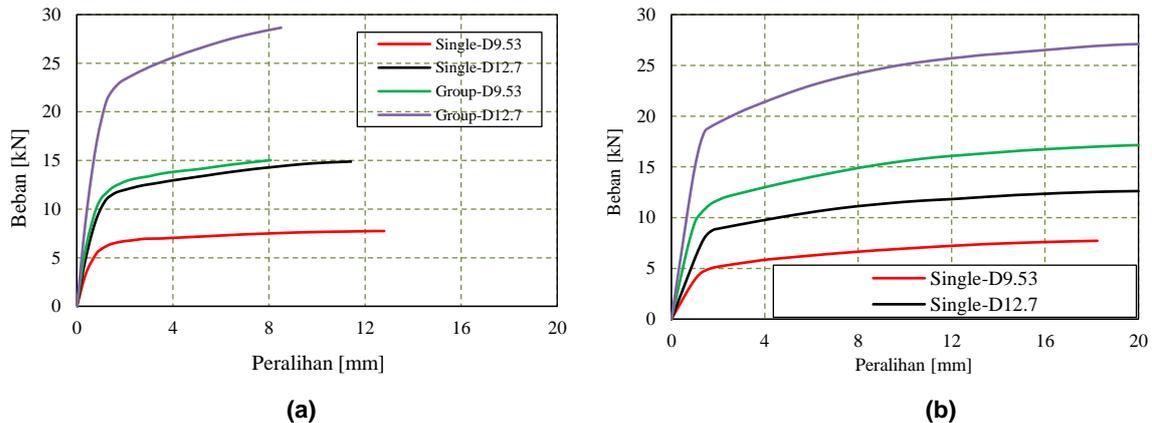
Pada Tabel 3 terlihat bahwa pemodelan sekrup kunci sebagai elemen dari balok mengalami

peningkatan rata-rata sebesar 2,18, sedangkan pemodelan sekrup kunci sebagai elemen solid hanya mengalami peningkatan rata-rata sebesar 1,93. Hal ini disebabkan karena opsi *embedded element* pada interaksi antara sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen solid dengan permukaan kayu yang mana mengakibatkan seluruh permukaan sekrup kunci berkontribusi terhadap kapasitas sambungan baik pada sisi yang mengalami tegangan tekan maupun tidak. Sedangkan pada elemen solid, kapasitas sambungan hanya mengandalkan permukaan sekrup kunci mengalami kontak tekan dengan permukaan kayu.

Kapasitas sambungan hasil pemodelan numerik juga dibandingkan dengan persamaan desain SNI 7973-2013 seperti yang terlihat pada Tabel 4. Hasil pemodelan numerik memberikan hasil kapasitas sambungan yang lebih tinggi dua kali lipat dibandingkan dengan persamaan desain SNI 7973-2013. Ini menunjukkan bahwa persamaan desain SNI 7973-2013 memberikan hasil yang lebih konservatif.



Gambar 5. Hubungan beban-peralihan untuk pemodelan elemen solid dan elemen balok dengan variasi 2 diameter: (a) sambungan tunggal, (b) sambungan kelompok



Gambar 6. Hubungan beban-peralihan antara sambungan tunggal dan sambungan kelompok dengan variasi 2 diameter: (a) pemodelan elemen solid, (b) elemen balok

Tabel 3. Peningkatan kapasitas sambungan pemodelan elemen solid dan elemen balok

Pemodelan	Diameter (mm)	Kapasitas sambungan (kN)		Peningkatan
		Tunggal	Kelompok	
Elemen solid	9,53	7,74	15,02	1,94
	12,7	14,89	28,65	1,92
Elemen balok	9,53	7,72	17,15	2,22
	12,7	12,62	27,09	2,15

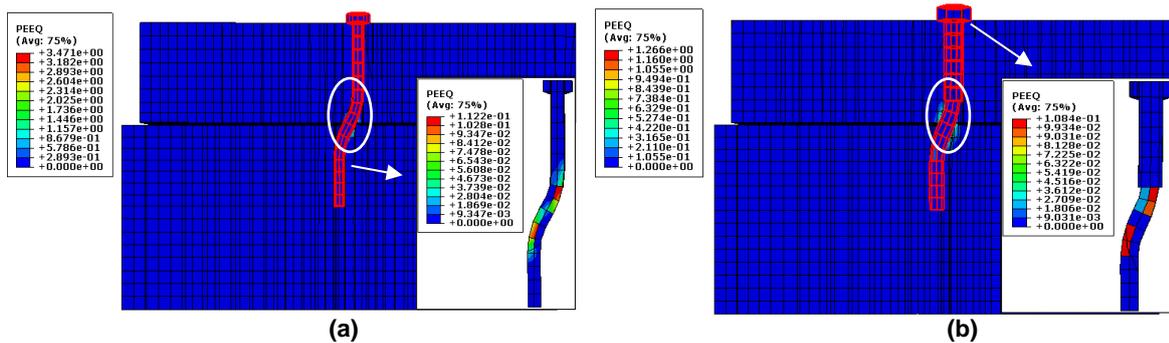
Tabel 4. Perbandingan kapasitas sambungan FEM dan persamaan desain SNI 7973-2013 untuk sambungan tunggal

Benda uji	Kapasitas sambungan (kN)		FEM- SNI 7973-2013 / SNI 7973-2013 (%)
	FEM	SNI 7973-2013	
Solid-D9,53	7,74	3,89	99,03
Balok-D9,53	7,72		98,39
Solid-D12,7	14,89	6,83	118,01
Balok-D12,7	12,62		84,72

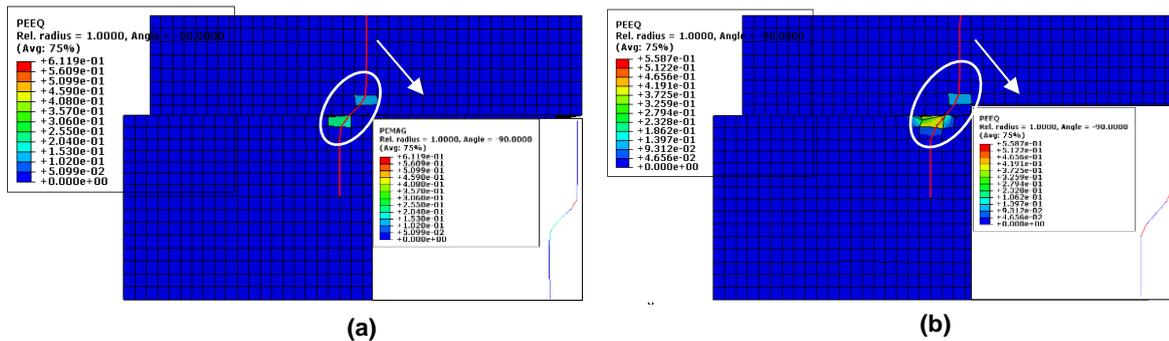
Ragam kegagalan

Gambar 7 hingga Gambar 10 menunjukkan ragam kegagalan yang terjadi pada seluruh benda uji hasil analisis numerik. Ragam kegagalan tersebut kemudian dibandingkan dengan prediksi dari persamaan desain SNI 7973-2013 seperti yang terangkum pada Tabel 5. Dapat dilihat bahwa ragam kegagalan yang terjadi pada analisis numerik untuk sekrup kunci D9,53 sesuai dengan prediksi dari persamaan desain SNI 7973-2013 baik dengan

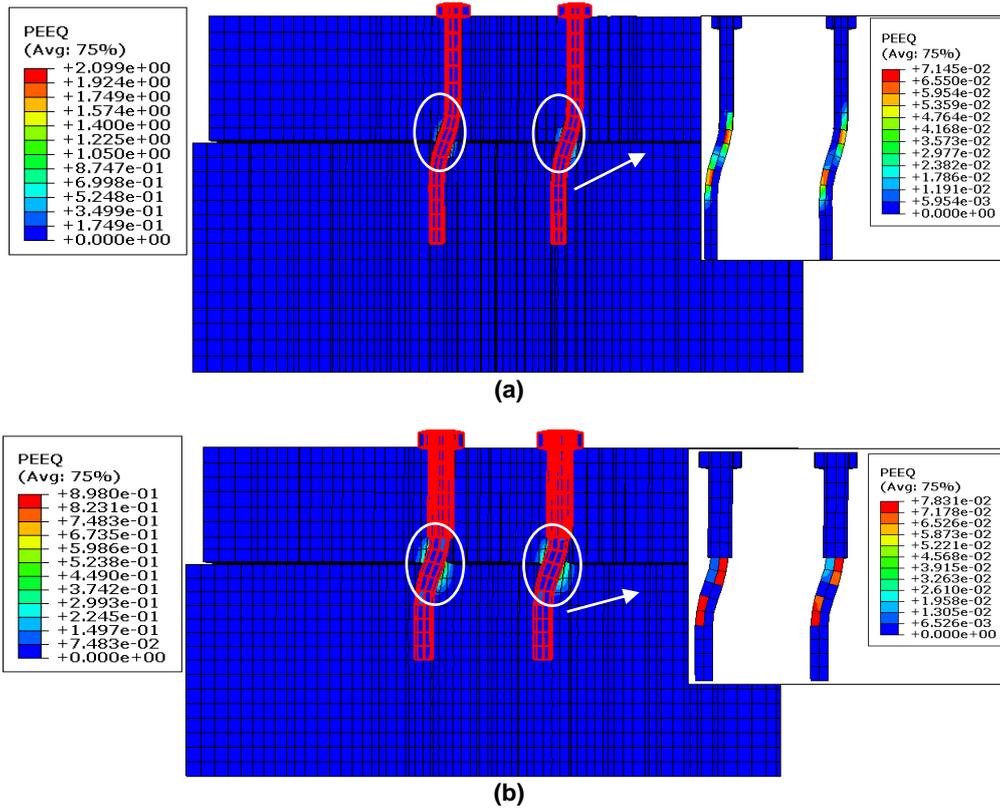
pemodelan elemen solid maupun elemen balok. Namun, tidak demikian untuk sekrup kunci D12,7 yang mana ragam kegagalannya tidak sesuai antara analisis numerik dengan prediksi dari persamaan desain SNI 7973-2013. Selain itu, pola kelengkungan (*bending*) yang terjadi pada sekrup kunci pada tahap akhir peralihan mirip antara pemodelan sekrup kunci sebagai elemen balok dengan elemen solid baik pada sambungan tunggal maupun sambungan kelompok.



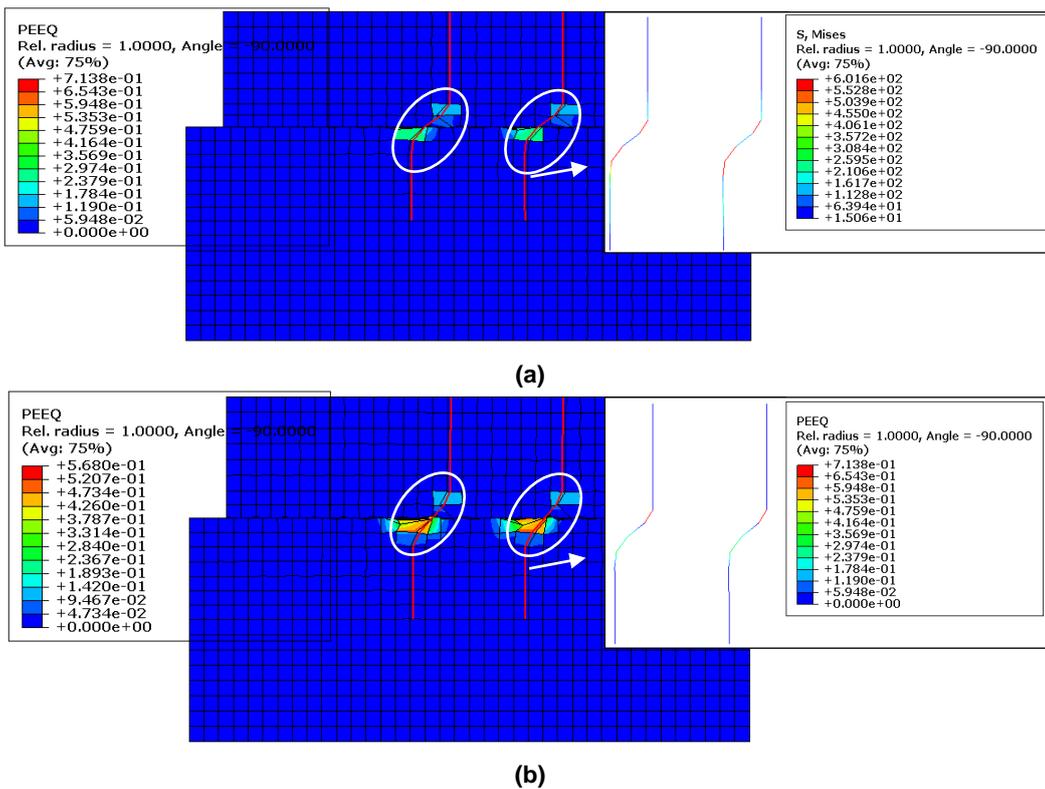
Gambar 7. Tampilan penampang benda uji pada tahap akhir untuk sambungan tunggal dengan sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen solid: (a) D9,53; (b) D12,7



Gambar 8. Tampilan penampang benda uji pada tahap akhir untuk sambungan tunggal dengan sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok: (a) D9,53; (b) D12,7



Gambar 9. Tampilan penampang benda uji pada tahap akhir untuk sambungan kelompok dengan sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen solid: (a) D9,53; (b) D12,7

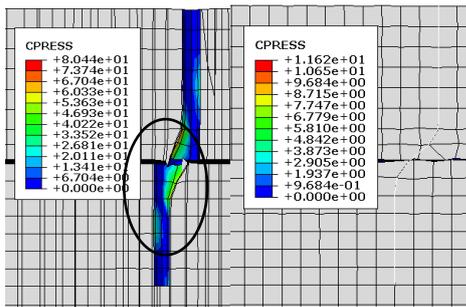


Gambar 10. Tampilan penampang benda uji pada tahap akhir untuk sambungan kelompok dengan sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok: (a) D9,53; (b) D12,7

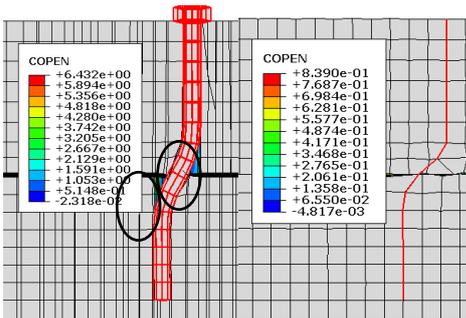
Tabel 5. Peralihan akhir dan ragam kegagalan pada sambungan tunggal

Sambungan	Diameter (mm)	Ragam kegagalan		Peralihan tahap akhir pada pemodelan (mm)
		FEM	SNI 7973-2013	
Elemen solid	9,53	IV	IV	12,80
	12,7	IV	II	11,41
Elemen balok	9,53	IV	IV	18,24
	12,7	IV	II	20,00

Pada Gambar 11 terlihat bahwa pada pemodelan elemen solid tegangan pada kayu hanya muncul pada bagian yang mengalami kontak tekan dengan sekrup kunci. Sedangkan pada sisi yang tidak mengalami kontak tekan dengan permukaan kayu tidak terjadi tegangan dan terdapat bukaan antara elemen sekrup kunci dengan elemen kayu seperti yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Kontak tekan yang terjadi pada kayu akibat terdesaknya sekrup kunci pada pemodelan elemen solid (kiri) dan elemen balok (kanan)



Gambar 12. Bukaan yang terjadi antara permukaan sekrup kunci dan lubang kayu pada pemodelan elemen solid (kiri) dan elemen balok (kanan)

Sementara itu untuk model dengan elemen balok, tegangan kontak tekan muncul di seluruh bagian elemen kayu yang tertanam sekrup kunci serta bukaan yang seharusnya terjadi antara sekrup kunci dengan lubang kayu tidak termodelkan secara sempurna. Hal ini terjadi karena interaksi antara sekrup kunci dan lubang kayu yang dimodelkan menggunakan opsi *embedded element* dimana peralihan antara nodal-nodal pada elemen sekrup kunci akan selalu sama dengan elemen kayu di sekitar sekrup kunci.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis numerik yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa metode pendekatan dengan memodelkan sekrup kunci sebagai elemen balok satu dimensi secara efektif, dengan batasan tertentu dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku sambungan yang mengalami pembebanan lateral pada satu bidang geser. Akurasi metode pemodelan sekrup kunci sebagai elemen balok menjadi berkurang pada diameter sekrup kunci yang lebih besar dan memerlukan suatu metode untuk mengoreksi hasilnya. Metode pemodelan sekrup kunci sebagai elemen balok menghasilkan peningkatan kapasitas sambungan dari sambungan tunggal ke sambungan kelompok yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan pemodelan sekrup kunci sebagai elemen solid. Metode pendekatan dengan memodelkan sekrup kunci sebagai elemen balok memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mensimulasikan secara sempurna interaksi kontak antar permukaan sekrup kunci dan lubang kayu, khususnya saat kedua permukaan terlepas akibat tidak adanya tegangan kontak tekan. Berdasarkan kesimpulan di atas, perlu dikembangkan suatu metode untuk menyempurnakan pemodelan interaksi antara sekrup kunci yang dimodelkan sebagai elemen balok dan permukaan lubang kayu.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil UNPAR yang telah mendukung penelitian dengan menyediakan perangkat lunak ABAQUS berlisensi.

Daftar Pustaka

- Bedon, C., & Fragiaco, M. (2019). Numerical analysis of timber-to-timber joints and composite beams with inclined self-tapping screws. *Composite Structures*, 207, 13-28.
- Bucalem, M., & Bathe, K.-J. (2011). *The Mechanics of Solids and Structures - Hierarchical Modeling and the Finite Element Solution*. Springer.
- Calil, C., & Molina, J. (2010). Numerical Modeling Strategy For Analyzing The Behavior Of Shear Connectors In Wood-Concrete Composite Systems.

Proceedings of the WCTE 2010 Conference, Riva del Garda, Italy.

Crocetti, R., Sartori, T., & Flansbjerg, M. (2014). Timber-Concrete Composite Structures with Prefabricated FRC Slab. *Journal of Structural Engineering*, 1.

Hassanieh, A., Valipour, H., Bradford, M.A., & Sandhaas, C. (2017). Modelling of steel-timber composite connections: Validation of finite element model and parametric study. *Engineering Structures*, 138, 35-49.

Kaliyanda, A. R., Rammer, D. R., & Rowlands, R. E. (2019). Three-Dimensional Nonlinear Finite-Element Analysis of Wood-Steel Bolted Joints Subjected to Large Deformations. *Journal of Structural Engineering*, 145(10), 04019108.

Khelifa, M., Khennane, A., El Ganaoui, M., & Celzard, A. (2015). Numerical damage prediction in dowel connections of wooden structures. *Materials and Structures*, 49(5), 1829-1840.

Li, Z., Feng, W., Ou, J., Liang, F., & He, M. (2021). Experimental investigations into the mechanical performance of glulam dowel-type connections with either bolts or screws as fasteners. *Journal of Wood Science*, 67, 71.

Ling, Z., Rong, X., & Xiang, Z. (2021). Laterally loaded performance of single dowel-type fastener used for steel plate-to-timber connections. *Structures*, 34, 1985-1997.

Liu, X., Bradford, M., & Lee, M. (2014). Behavior of High-Strength Friction-Grip Bolted Shear Connectors in Sustainable Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, 141.

Meghlat, E.M., Oudjene, M., Ait-Aider, H., & Batoz, J.-L. (2012). A one-dimensional 4-node shear-flexible beam element for beam-to-solid modeling in mechanically jointed connections made with screws or nails. *Proceedings of the European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), Austria.*

Meghlat, E.M., Oudjene, M., Ait-Aider, H. & Batoz, J.-L. (2013). A new approach to model nailed and screwed timber joints using the finite element method. *Construction and Building Materials*, 41, 263-269.

Nouri, F., Valipour, H. R., & Bradford, M. A. (2019). Finite element modelling of steel-timber composite beam-to-column joints with nominally pinned connections. *Engineering Structures*, 201, 109854.

Oudjene, M., & Khelifa, M. (2009). Elastoplastic constitutive law for wood behaviour under compressive loadings. *Construction and Building Materials*, 23. 3359-3366.

Oudjene, M., Meghlat, E.M., Ait-Aider, H., & Batoz, J.-L. (2013). Non-linear finite element modelling of the structural behaviour of screwed timber-to-concrete composite connections. *Composite Structures*, 102, 20-28.

Oudjene, M., Tran, V. D., Meghlat, E.-M., & Ait-Aider, H. (2016). Numerical models for self-tapping screws as reinforcement of timber structures and joints. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE), Austria.*

Oudjene, M., Meghlat, E.M., Ait-Aider, H., Lardeur, P., Khelifa, M., & Batoz, J.-L. (2018). Finite element modelling of the nonlinear load-slip behaviour of full-scale timber-to-concrete composite T-shaped beams. *Composite Structures*, 196.

Pranata, Y., & Suryoatmono, B. (2013). Nonlinear Finite Element Modeling of Red Meranti Compression at an Angle to the Grain. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 45, 222-240.

SNI 7973 – 2013. (2013). *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

Tao, H., Liu, W., & Yang, H. (2020). Theoretical and Experimental Behaviour of a Hybrid Semi-rigid Glulam Beam-to-column Connection with Top and Seat Angles. *Advances in Structural Engineering*, 23(10), 2057-2069.

Tran, V. D., Tran, D., & Oudjene, M. (2018). Experimental and numerical analysis of the unreinforced and reinforced notched timber beam by a screw. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 60(3), 26-32.

Yeoh, D., Fragiaco, M., Aldi, P., Mazzilli, M., & Kuhlmann, U. (2008). Performance of notched coach screw connection for timber-concrete composite floor system. *I*, 294-301.