CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 7 Nomor 2 Edisi Oktober 2026
E-ISSN: 2775-4588

KAJIAN EKSPERIMENTAL *STRESSED SKIN PANEL* MENGGUNAKAN CROSS-LAMINATED TIMBER DAN GLULAM

Naomi Pratiwi[1*], Johannes Adhijoso Tjondro[2], Alexander Mario Kwa[3]

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit no. 94, Bandung 40141, Indonesia
E-mail: naomi.pratiwi@unpar.ac.id[1]*, tjondro@unpar.ac.id[2], civil@unpar.ac.id[3]
*Corresponding author

ABSTRACT

Engineered wood products such as glulam and Cross-Laminated Timber (CLT) offer sustainable alternatives to large-dimension structural timber. This study investigates the flexural behavior of Stress Skin Panels (SSP) composed of CLT skins and glulam stringers, comparing single-skin (SSP-T) and double-skin (SSP-G) configurations using Sengon wood. Static bending tests were conducted on two specimens per configuration to evaluate strength, stiffness, ductility, and failure modes. Results show that the double-skin configuration yields limited increases in ultimate capacity by 7.8% and stiffness by 8.2%, indicating partial composite action. However, deformation capacity increases significantly by 71.2%, with a 38% improvement in ductility ratio and a 61.5% reduction in bending stress, reflecting more uniform stress distribution. Single-skin panels exhibit brittle stringer failure, whereas double-skin panels demonstrate progressive failure governed by interfacial slip and delamination. These findings highlight the effectiveness of double-skin SSP in enhancing ductility and post-elastic performance.

Keywords: *stress skin panel; cross laminated timber; glulam; sengon wood; partial composite action; ductility*

ABSTRAK

Produk kayu rekayasa, termasuk glulam dan Kayu Laminasi Silang (CLT), muncul sebagai solusi berkelanjutan untuk kelangkaan kayu struktural berkualitas tinggi dengan dimensi besar. Penelitian ini mengevaluasi kinerja lentur *Stress Skin Panel* (SSP) berbasis CLT sebagai *skin* dan glulam sebagai *stringer* dengan konfigurasi *skin* tunggal (SSP-T) dan *skin* ganda (SSP-G) menggunakan kayu Sengon. Pengujian lentur statik dilakukan pada dua spesimen tiap tipe untuk menilai kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan ragam kegagalan. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi *skin* ganda hanya meningkatkan kapasitas ultimit sebesar 7,8% dan kekakuan sebesar 8,2%, yang mengindikasikan aksi komposit parsial. Namun, peningkatan signifikan terjadi pada kapasitas deformasi sebesar 71,2% dan rasio daktilitas meningkat sebesar 38%, disertai penurunan tegangan lentur sebesar 61,5% yang menunjukkan distribusi tegangan lebih merata. SSP tunggal mengalami kegagalan lokal pada *stringer*, sedangkan SSP ganda menunjukkan kegagalan progresif melalui slip dan delaminasi. Hasil ini menegaskan bahwa konfigurasi *skin* ganda meningkatkan daktilitas dan ketahanan terhadap kegagalan progresif, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi struktural yang menuntut performa pasca-elastis.

Kata kunci: *stress skin panel,* Kayu Laminasi Silang (CLT), glulam, kayu Sengon, aksi komposit sebagian, daktilitas

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, sistem kayu rekayasa telah berkembang pesat sebagai alternatif berkelanjutan terhadap material struktural konvensional seperti beton dan baja. Produk kayu massal, khususnya *cross-laminated timber* (CLT) dan *glued laminated timber* (glulam), semakin banyak diterapkan pada sistem lantai dan dinding karena kinerja mekanis yang baik serta keunggulan lingkungan [1]–[3]. CLT, yang tersusun dari lapisan kayu yang disusun saling tegak lurus, memberikan kekakuan dan kekuatan dua arah yang tinggi, sedangkan glulam memungkinkan pencapaian bentang panjang dan efisiensi struktural melalui laminasi searah serat [4]-[6].

Dalam konteks wilayah dengan aktivitas seismik tinggi seperti Indonesia, kebutuhan akan sistem lantai yang ringan namun mampu berdeformasi secara daktail menjadi sangat penting. Struktur dengan massa yang lebih ringan dapat secara signifikan mengurangi gaya inersia selama gempa, sehingga meningkatkan kinerja seismik

global bangunan [7]-[9]. Oleh karena itu, pengembangan sistem lantai berbasis kayu rekayasa menjadi strategi yang relevan untuk meningkatkan efisiensi struktural sekaligus ketahanan terhadap beban gempa.

Salah satu sistem yang memiliki potensi signifikan adalah *stressed skin panel* (SSP), yaitu sistem komposit yang terbentuk dari interaksi antara panel tipis (*skin*) dan elemen longitudinal (*stringer*) [10]-[12]. Mekanisme kerja SSP bergantung pada aksi komposit antara kedua komponen tersebut, di mana *skin* berperan dalam menahan gaya tarik dan tekan akibat lentur, sementara *stringer* berfungsi sebagai elemen penahan geser dan penstabil global. Kombinasi CLT sebagai *skin* dan glulam sebagai *stringer* menghasilkan sistem dengan kekakuan dan kapasitas beban yang lebih tinggi dibandingkan sistem kayu konvensional [13]-[15].

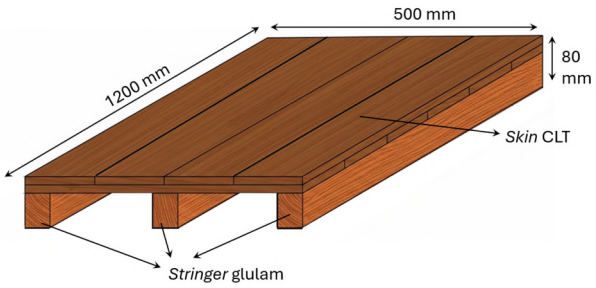
Meskipun demikian, sebagian besar penelitian SSP masih berfokus pada spesies kayu dari wilayah beriklim sedang, sementara studi yang memanfaatkan kayu tropis cepat tumbuh masih terbatas. Kayu Sengon merupakan salah satu sumber daya lokal yang melimpah di Indonesia dengan karakteristik pertumbuhan cepat, namun memiliki kekuatan relatif rendah dalam bentuk kayu solid. Melalui rekayasa komposit seperti CLT dan glulam, keterbatasan tersebut dapat diatasi sehingga meningkatkan kinerja struktural material [16]–[17].

Namun, hingga saat ini, kajian mengenai perilaku lentur SSP berbasis kayu Sengon, khususnya dalam membandingkan konfigurasi SSP tipe tunggal atau ganda serta pengaruhnya terhadap aksi komposit, daktilitas, dan mekanisme kegagalan, masih sangat terbatas [18]. Pemahaman terhadap aspek-aspek tersebut menjadi krusial dalam mengembangkan sistem lantai kayu yang tidak hanya kuat, tetapi juga memiliki kapasitas deformasi dan ketahanan terhadap kegagalan progresif.

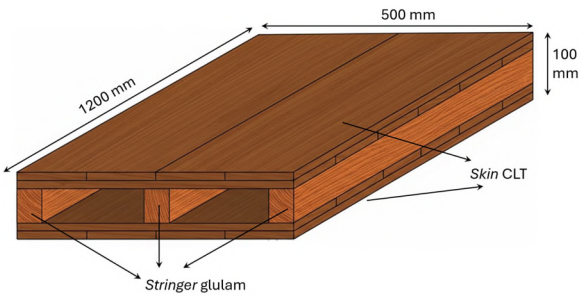
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja lentur SSP dengan *skin* berupa CLT dan *stringer* glulam menggunakan kayu Sengon melalui pengujian eksperimental. Studi ini secara khusus mengkaji pengaruh konfigurasi *skin* tunggal dan ganda terhadap kapasitas kekuatan, kekakuan, daktilitas, serta mekanisme kegagalan, dengan menghubungkan perilaku material dan interaksi antar komponen terhadap respons struktural global. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem lantai kayu rekayasa yang efisien, daktail, dan berkelanjutan.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan melalui pengujian eksperimental menggunakan spesimen dengan *stringer* dari balok glulam berjumlah 3 spesimen : BS1, BS2, dan BS3 dan spesimen SSP dengan dimensi 1200x500 mm tipe tunggal berjumlah 2 spesimen : SSSP1 dan SSSP2 (Gambar 1) dan tipe ganda berjumlah 2 spesimen : DSSP1 dan DSSP2 (Gambar 2). *Skin* adalah CLT 2 lapis dari kayu Sengon, dan *stringer* berupa balok glulam dengan dimensi penampang akhir balok sebesar 40 x 60 mm yang terdiri dari 4 panel yang direkatkan (Gambar 3). Kayu Sengon yang digunakan memiliki kadar air rata-rata 15%. Baik glulam maupun CLT dibuat di laboratorium dengan merekatkan papan kayu Sengon menggunakan lem/perekat PVAc (*polyvinyl acetate*) yang diaplikasikan secara merata pada permukaan bidang rekat setiap lapisan. Untuk CLT, susunan diatur saling tegak lurus antar lapisan (Gambar 4), sedangkan pada glulam disusun searah serat (Gambar 5). Setelah proses pelapisan perekat, seluruh elemen dirakit dan diberikan tekanan menggunakan alat *press* guna memastikan kontak permukaan yang optimal dan meningkatkan kualitas ikatan. Perekat dipastikan sudah mengering dan mencapai kekuatan rekat yang maksimal sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

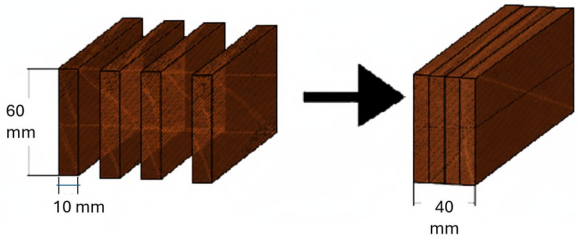


Gambar 1. *Stress Skin Panel* tipe Tunggal (SSP-T)



Gambar 2. *Stress Skin Panel* tipe Ganda (SSP-G)

CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 7 Nomor 2 Edisi Oktober 2026
E-ISSN: 2775-4588



Gambar 3. *Stringer* Balok Glulam

Gambar 4. Pembuatan *Skin* CLT

Gambar 5. Pembuatan balok glulam

Pada tahap awal, *stringer* balok glulam diuji eksperimental untuk mendapatkan kekuatan lentur dan modulus elastisitasnya. Balok glulam diuji dengan *Universal Testing Machine* (UTM), beban diberikan secara bertahap di tengah bentang hingga benda uji mengalami kegagalan (Gambar 6). Modulus elastisitas (E) dan tegangan lentur (F_b) dihitung menggunakan Rumus (1) dan (2) berdasarkan data beban dalam kondisi elastis serta momen lentur spesimen.

$$E = \frac{PL^3}{48\delta I} \quad (1)$$

$$F_b = \frac{M_u}{S_x} \quad (2)$$

dengan
δ = lendutan yang terjadi di tengah bentang (mm)
I = momen inersia penampang (mm^4)
b = lebar penampang (mm)
h = tinggi penampang (mm)
P = Beban yang diterima di tengah bentang (N)
L = panjang bentang (mm)
M_u = momen lentur (N.mm)
S_x = momen statis penampang (mm^3)

Gambar 6. Pengujian Lentur *Stringer* Balok Glulam

Dimensi penampang balok glulam yang digunakan untuk uji lentur adalah (b x h) 40 mm x 40 mm. Dimensi spesimen balok glulam berbeda dengan dimensi *stringer* dengan tujuan memperoleh kondisi distribusi tegangan yang lebih seragam pada pengujian lentur, sehingga karakterisasi sifat material glulam (berupa kuat lentur dan modulus elastisitas) dapat dilakukan dengan lebih konsisten dan meminimalkan pengaruh geometri penampang.

Parameter yang diperoleh dari uji lentur telah dinormalisasi dalam bentuk tegangan (Fb), sehingga merepresentasikan sifat intrinsik material yang tidak bergantung pada dimensi penampang.

Setelah itu pada tahap selanjutnya, SSP tipe tunggal dan ganda diuji secara eksperimental untuk mengetahui kapasitas kuat lentur maksimumnya (Gambar 7). Rumus (1) dan (2) digunakan untuk menghitung E dan F_b untuk SSP. Analisis elemen struktural SSP dengan menggunakan dimensi aktual *stringer* dengan dimensi 40 mm x 60 mm.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Lentur Balok/*Stringer* Glulam

Berikut adalah hasil uji lentur *stringer* balok glulam (Tabel 1). Panjang bentang / jarak antar tumpuan untuk semua spesimen adalah 720 mm.

3.2 Respon Beban-Peralihan Uji Lentur *Stressed Skin Panel*

Grafik Beban vs. Peralihan untuk semua spesimen SSP dapat dilihat pada Gambar 8 untuk tipe tunggal (SSP-T) dan Gambar 9 untuk tipe ganda

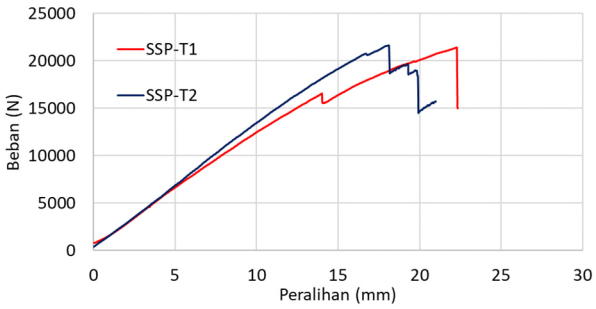
(SSP-G). Beban dan peralihan ini diambil pada titik tengah bentang spesimen. Jarak antar tumpuan untuk spesimen SSP adalah sebesar 1200 mm.

Gambar 7. Pengujian Lentur SSP tipe Ganda

Tabel 1. Hasil Pengujian Lentur *stringer* balok glulam

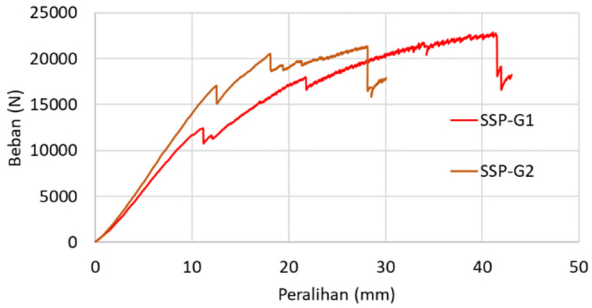
Spesimen	δ (mm)	P (N)	M_u (N.mm)	E (MPa)	F_b (MPa)
BS 1	4,87	661,38	119048	4950	11,16
BS 2	4,95	917,11	165080	6753	15,48
BS 3	1,94	384,57	69223	7225	6,49
Rata-rata				**6309**	**11,04**

Dari grafik uji lentur tersebut, dihitung modulus elastisitas E dan kuat lentur F_b. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Beban dan peralihan izin, proporsional, dan ultimit dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.



Gambar 8. Kurva Beban vs. Peralihan untuk SSP Tipe Tunggal

Secara umum, seluruh spesimen menunjukkan respons nonlinier dengan karakteristik kenaikan beban awal yang hampir linier, diikuti oleh penurunan kekakuan bertahap hingga mencapai beban ultimit, serta fluktuasi beban pasca-elastis.



Gambar 9. Kurva Beban vs. Peralihan untuk SSP Tipe Ganda

Pada tahap awal pembebanan (hingga sekitar 8–14 mm), seluruh spesimen menunjukkan perilaku elastis dengan kekakuan awal yang relatif serupa. Hal ini mengindikasikan bahwa kontribusi komposit antara *skin* dan *stringer* masih bekerja efektif tanpa gangguan signifikan dari slip atau kerusakan lokal. Namun, setelah melewati batas tersebut, kurva mulai menunjukkan deviasi dari linearitas, yang menandakan inisiasi kerusakan, seperti retak awal pada *skin* atau degradasi ikatan antar komponen.

Tabel 2. Hasil Pengujian Lentur SSP Tunggal dan Ganda

Spesimen	**δ (mm)**	**P (N)**	**M_u (N.mm)**	**EI ($\times 10^{-2}$ N.mm^2)**	**F_b (MPa)**
SSP-T1	8,25	10480,05	2096010	2,6098	9,081
SSP-T2	12,95	16950,5	3390100	2,6891	14,688
Rata-rata				**2,6495**	**11,885**
SSP-G1	11,11	12433,85	2486770	2,5443	3,570
SSP-G2	14,38	19433,51	3886701	3,1914	5,580
Rata-rata				**2,8679**	**4,575**

Tabel 3. Beban dan peralihan izin

Spesimen	**Pi (N)**	**Δi (mm)**	**Mi (N.mm)**
SSP-T1	4779,070	3,5	955814,0
SSP-T2	4827,521		965504,2
Rata-rata	**4803,295**		**960659,1**
SSP-G1	3775,954		755190,7
SSP-G2	4385,806		877161,1
Rata-rata	**4080,88**		**816175,9**

Tabel 4. Beban dan peralihan leleh

Spesimen	Py (N)	Δy (mm)	My (N.mm)
SSP-T1	10480,05	8,25	2096010
SSP-T2	16950,47	12,95	3390094
Rata-rata	**13715,26**	**10,60**	**2743052**
SSP-G1	12433,85	11,11	2486770
SSP-G2	19433,51	14,38	3886701
Rata-rata	**15933,68**	**12,75**	**3186735,5**

Tabel 5. Beban dan peralihan ultimit

Spesimen	Pu (N)	Δu (mm)	Mu (N.mm)
SSP-T1	21377,60	22,29	4275519
SSP-T2	21592,75	18,13	4318551
Rata-rata	**21485,18**	**20,21**	**4297035**
SSP-G1	22908,23	41,06	4581646
SSP-G2	23404,67	28,14	4680934
Rata-rata	**23156,45**	**34,60**	**4631290**

3.3 Kapasitas Lentur dan Kekakuan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kapasitas ultimit panel tipe tunggal (SSP-T) adalah sekitar 21485,18 N, sedangkan panel tipe ganda (SSP-G) mencapai sekitar 23156,45 N. Dengan demikian, terjadi peningkatan kapasitas sebesar sekitar 7,8% pada konfigurasi *skin* ganda.

Meskipun terjadi peningkatan, besarnya relatif terbatas dibandingkan penambahan material, yang menunjukkan bahwa kontribusi utama *skin* ganda bukan pada peningkatan kekuatan. Sebaliknya, peningkatan signifikan terjadi pada kapasitas deformasi. Rata-rata peralihan ultimit panel SSP-T adalah sekitar 20,21 mm, sedangkan SSP-G mencapai 34,60 mm. Hal ini menunjukkan peningkatan deformasi sebesar sekitar 71,2%.

Kekakuan lentur (EI) juga mengalami peningkatan dari $2{,}6495 \times 10^{-2}$ N.mm² pada SSP-T menjadi $2{,}8679 \times 10^{-2}$ N.mm² pada SSP-G, atau sekitar 8,2%. Peningkatan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa aksi komposit yang terjadi belum sepenuhnya efektif. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa penambahan lapisan *skin* kedua lebih berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas deformasi dibandingkan peningkatan kekuatan.

Selain itu, tegangan lentur rata-rata (*Fb*) menurun dari 11,885 MPa pada SSP-T menjadi 4,575 MPa pada SSP-G, atau sekitar −61,5%. Penurunan ini menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada panel *skin* ganda menjadi lebih merata karena beban didistribusikan pada dua lapisan *skin*. Dengan demikian, sistem dapat dikategorikan sebagai *partial composite system*, di mana interaksi antar elemen cukup untuk meningkatkan kinerja deformasi, namun belum optimal dalam meningkatkan kekuatan dan kekakuan.

3.4 Daktilitas dan Kapasitas Disipasi Energi

Daktilitas SSP dievaluasi menggunakan rasio daktilitas (μ), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara peralihan ultimit (Δu) dan peralihan leleh (Δy). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa panel tipe tunggal (SSP-T) memiliki nilai μ sebesar 2,70 dan 1,40, dengan rata-rata sekitar 2,05. Sementara itu, panel tipe ganda (SSP-G) menunjukkan nilai μ sebesar 3,70 dan 1,96, dengan rata-rata sekitar 2,83. Dengan demikian, konfigurasi *skin* ganda menghasilkan peningkatan rasio daktilitas sebesar sekitar 38% dibandingkan *skin* tunggal.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa panel *skin* ganda memiliki kemampuan deformasi pasca-leleh yang lebih tinggi sebelum mencapai kondisi ultimit. Hal ini berkaitan dengan mekanisme kerusakan progresif yang terjadi pada panel *skin* ganda, di mana slip pada *interface*, delaminasi, dan kegagalan bertahap pada komponen memungkinkan redistribusi tegangan yang lebih efektif.

Sebaliknya, panel *skin* tunggal menunjukkan nilai daktilitas yang lebih rendah dan variasi yang lebih besar antar spesimen, yang mengindikasikan perilaku yang lebih sensitif terhadap kegagalan lokal, terutama pada *stringer.* Peningkatan rasio daktilitas ini konsisten dengan hasil analisis kurva beban–peralihan, di mana panel *skin* ganda menunjukkan deformasi ultimit yang jauh lebih besar (+71,2%) serta respons pasca-puncak yang lebih stabil.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kontribusi utama konfigurasi *skin* ganda terletak pada peningkatan daktilitas dan ketahanan terhadap kegagalan progresif, bukan semata-mata pada peningkatan kapasitas kekuatan.

3.5 Ragam kegagalan dan mekanisme struktural

Kurva beban–perpindahan menunjukkan pola fluktuasi beban pada seluruh spesimen. Fenomena ini berkaitan erat dengan mekanisme kerusakan yang terjadi selama pembebanan. Fluktuasi tersebut mengindikasikan adanya *slip* antara *skin* dan *stringer*, degradasi ikatan (*interface*), serta kegagalan lokal pada komponen struktural.

Pada spesimen SSP-T1, kegagalan terjadi pada kedua stringer bagian luar, yang menunjukkan bahwa elemen tersebut menjadi komponen kritis dalam menahan beban lentur. Pada SSP-T2, selain kegagalan pada stringer luar, juga teramati slip pada *skin* lapisan atas (Lihat Gambar 10). Hal ini mengindikasikan bahwa aksi komposit mulai terdegradasi pada beban tinggi. Kombinasi kegagalan ini menghasilkan perilaku yang bersifat lokal, kurang redundan, dan menunjukkan keterbatasan dalam redistribusi gaya.

Gambar 10. Slip pada *skin* SSP-T2

Pada panel tipe ganda, kegagalan terjadi secara lebih kompleks. Pada SSP-G1 (Gambar 11), teramati *slip* pada kedua lapisan *skin* serta kegagalan pada *stringer*. Pada SSP-G2 (Gambar 12), kerusakan berkembang lebih lanjut berupa terbukanya *skin* lapisan bawah, *slip* pada lapisan atas, serta kegagalan pada *stringer*. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem mengalami degradasi secara bertahap, dimulai dari slip, diikuti oleh delaminasi, dan akhirnya kegagalan elemen struktural.

Gambar 11. Slip pada kedua lapisan *skin* SSP-G1

Gambar 12. Kegagalan pada stringer SSP-G2

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian lentur dan analisis perilaku struktur pada *stressed-skin panel* dengan konfigurasi *skin* tunggal (SSP-T) dan *skin* ganda (SSP-G), dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengujian lentur panel, kapasitas lentur ultimit panel *skin* ganda hanya meningkat sebesar sekitar 7,8% dibandingkan *skin* tunggal, menunjukkan bahwa penambahan lapisan *skin* tidak secara signifikan meningkatkan kekuatan lentur. Apabila aksi komposit lebih efektif, kapasitas lentur dapat meningkat dengan lebih signifikan.
- Kekakuan lentur (EI) meningkat sekitar 8,2%, yang mengindikasikan bahwa sistem belum bekerja sebagai komposit penuh, melainkan masih dalam kondisi *partial composite action*. Keterbatasan pada sistem sambungan dan interaksi antar elemen menjadi faktor utama dalam membatasi efisiensi aksi komposit pada sistem SSP.
- Kapasitas deformasi ultimit meningkat secara signifikan sebesar 71,2% pada panel *skin* ganda, menunjukkan peningkatan kemampuan deformasi yang sangat dominan dibanding peningkatan kekuatan.
- Rasio daktilitas (μ) meningkat dari rata-rata 2,05 pada *skin* tunggal menjadi 2,83 pada *skin* ganda, atau meningkat sekitar 38%, yang menunjukkan peningkatan kemampuan deformasi pasca-leleh yang tidak banyak dilaporkan dalam studi SSP sebelumnya yang umumnya lebih berfokus pada kapasitas dan kekakuan saja.
- Tegangan lentur (Fb) menurun sebesar sekitar 61,5% pada panel *skin* ganda, yang menunjukkan bahwa distribusi tegangan menjadi lebih merata akibat kontribusi dua lapisan *skin*. Hal ini konsisten dengan prinsip distribusi tegangan pada sistem komposit, di mana elemen tambahan berperan dalam redistribusi beban dan mengurangi konsentrasi tegangan lokal.
- Mode kegagalan pada panel *skin* tunggal didominasi oleh kegagalan lokal pada *stringer* dan slip terbatas pada *skin*, sedangkan pada panel *skin* ganda terjadi mekanisme kegagalan progresif yang melibatkan slip, delaminasi, dan kegagalan bertahap pada beberapa komponen.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi *skin* ganda tidak secara signifikan meningkatkan kekuatan, namun

memberikan peningkatan yang sangat signifikan pada daktilitas, deformabilitas, dan ketahanan terhadap kegagalan progresif.

Mengingat aksi komposit yang terjadi masih parsial, diperlukan studi lebih lanjut terkait optimasi sistem perekatan antara *skin* dan stringer guna meningkatkan aksi komposit dari kondisi parsial menuju komposit penuh. Studi lanjutan juga perlu mengevaluasi kinerja struktur di bawah pembebanan siklik untuk mengkaji potensi peningkatan kapasitas disipasi energi pada konfigurasi *skin* ganda.

Daftar Pustaka

[1] M. He, X. Sun, Z. Li, and M. Li, "Bending, shear, and compressive properties of three- and five-layer cross-laminated timber fabricated with black spruce," *J. Wood Sci.*, vol. 66, no. 38, pp. 1–14, Dec. 2020, doi: 10.1186/s10086-020-01886-z.

[2] M. Izzi, D. Casagrande, S. Bezzi, D. Pasca, M. Follesa, and R. Tomasi, "Seismic behaviour of cross-laminated timber structures: A state-of-the-art review," *Eng. Struct.*, vol. 170, pp. 42–52, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.05.060.

[3] X. Zhang, S. Zhang, B. Niu, and H. Yang, "Comparative study of connection performance for cross-laminated timber–glulam composite floor systems," *Structures*, vol. 84, p. 110083, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.istruc.2025.110083.

[4] Y. Gong, X. Chen, H. Ren, B. Liu, H. Zhang, and Y. Wang, "Theoretical and experimental studies on the bending properties of glued laminated timber manufactured with Chinese fir," *Structures*, vol. 68, p. 107149, Oct. 2024, https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107149.

[5] K. Fruehwald-Koenig and L. Heister, "Compression properties of glued laminated timber and tensile properties of glulam lamellas from oil palm wood," *Wood Mater. Sci. Eng.*, vol. 19, no. 5, pp. 1101–1116, 2024, doi: 10.1080/17480272.2024.2303627.

[6] H. Ren, A. Bahrami, M. Cehlin, and M. Wallhagen, "Performance of innovative adhesive-free connections for glued-laminated timber under flexural load," *Structures*, vol. 70, p. 107904, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.107904.

[7] E. Mutlu, K. Şener, and Ö. Anıl, "Comparison of mass-timber and RC buildings in terms of seismic performance, LCA, and cost in Türkiye," *Bull. Earthquake Eng.*, vol. 23, pp. 4221–4253, 2025, doi: 10.1007/s10518-025-02201-1.

[8] Z. Li and K. D. Tsavdaridis, "Design for seismic resilient cross laminated timber (CLT) structures: A review of research, novel connections, challenges and opportunities," *Buildings*, vol. 13, no. 2, p. 505, Feb. 2023, doi: 10.3390/buildings13020505.

[9] A. Hashemi and R. Lal, "Seismic performance evaluation of mass timber buildings equipped with resilient and conventional friction devices," Resilient Cities Struct., vol. 4, no. 2, pp. 103–115, June 2025, doi:10.1016/j.rcns.2025.06.001

[10] K. Orlowski, S. K. Baduge, P. Mendis, and Y. Oktavianus, "Structural behaviour of prefabricated stressed-skin engineered timber composite flooring systems," *Structures*, vol. 22, pp. 230–244, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.istruc.2019.08.012.

[11] E. Luengo, S. Gilabert-Sanz, J. V. Oliver-Villanueva, C. Osuna-Sequera, and E. Hermoso, "Bending behaviour of cross-laminated timber stressed-skin panels manufactured with mountain pine (Pinus uncinata Ramond ex DC.)," *Wood Mater. Sci. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 906–917, 2024, doi: 10.1080/17480272.2023.2291134.

[12] A. Meyboom, D. Correa, and O. D. Krieg, "Stressed skin wood surface structures: Potential applications in architecture," in *Proc. ACADIA Conf.: Ubiquity and Autonomy*, Texas, USA, Oct. 24–26, 2019, pp. 470–477.

[13] M. Shahnewaz, C. Dickof, J. Zhou, and T. Tannert,"Vibration and flexural performance of cross-laminated timber–glulam composite floors," *Composite Structures*, vol. 292, p. 115682, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.compstruct.2022.115682

[14] X. Zhang, Z. Chen, B. Niu, Z. Li, and X. Zhou, "Study on bending behavior of cross-laminated timber–glulam composite beam: Numerical simulation and theoretical analysis," *Structures*, vol. 84, p. 110932, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.istruc.2025.110932.

[15] X. Zhang, S. Zhang, B. Niu, and H. Yang, "Flexural behaviour and connection efficiency of cross-laminated timber–glulam composite floor systems," *Structures*, vol. 81, p. 110204, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.110204.

[16] T. M. Wicaksono, A. Awaludin, and S. Siswosukarto, "Analisis perkuatan lentur balok kayu sengon dengan sistem komposit balok sandwich," *INERSIA*, vol. 13, no. 2, pp. 129–140, 2017, doi:10.21831/inersia.v13i2.17176

[17] M. Shahnewaz, C. Dickof, J. Zhou, and T. Tannert, "Vibration and flexural performance of cross-laminated timber–glulam composite floors," *Compos. Struct.*, vol. 292, p. 115682, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.compstruct.2022.115682.

[18] A.M. Harte,"Mass timber – the emergence of a modern construction material," Journal of Structural Integrity and Maintenance, vol. 2, no. 3, pp. 121–132, Aug. 2017, doi: 10.1080/24705314.2017.1354156.

[19] C. Julian and H. Fukuda, "Potential of wood modification technologies on the physical and mechanical properties of *Albizia falcataria*: A literature review," *Built Environment Study*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: 10.22146/best.v5i1.10148

[20] T. C. Julian, H. Fukuda, and D. Novianto,"The influence of high-temperature and -pressure treatment on physical properties of Albizia falcataria board," Forests, vol. 13, no. 2, p. 239, Feb. 2022, doi: 10.3390/f13020239.