

## Studi eksperimental dan analisis empirik performa sambungan sistem lantai komposit *cold formed steel-plywood*

Miqdad Khosyi Akbar<sup>1,\*</sup>, Ali Awaludin<sup>1</sup>, Andreas Triwiyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Composite floor  
Cold-formed steel  
Plywood  
Self-drilling screw  
Adhesive

### Corresponding Author:

Miqdad Khosyi Akbar  
miqdadsyi@gmail.com

### Abstract

A composite floor system consisting of cold-formed steel (CFS) and plywood could be an alternative to concrete floor systems. However, there are still a few design calculations which include the influence of connections for this floor system. This is due to the lack of research regarding the behaviour of CFS-Plywood connections. Therefore, this study presents an experimental investigation into the behaviour of the connections that were used. Two different shear connection types, self-drilling screw and adhesive epoxy were examined and compared. Material testing was carried out in this study to obtain the mechanical properties of the materials and single shear tests were conducted to determine failure modes, load-displacement behaviour, ductility, slip modulus, and shear modulus of both connection types. The experimental results indicated that composite system which connected by self-drilling screw has higher ductility than system with adhesive epoxy. Furthermore, the slip modulus and shear modulus were employed in empirical analysis to calculate the effective bending stiffness of the designed floor system. The results showed that the 2,4 meters CFS-plywood floor system using adhesive epoxy provided 63,4% increase in bending stiffness compared to CFS joist's bending stiffness. This value significantly surpassed the increase of bending stiffness provided by system using self-drilling screw, which was 5,4%. Increasing bending stiffness of the composite floor system results in reduced vertical deflection, so it could be more easily to meet the design criteria.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Beton masih banyak digunakan sebagai material pembentuk komponen struktur bangunan karena berbagai kelebihan yang dimilikinya. Namun, salah satu kekurangan beton yaitu emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan dari industri semen dapat mencemari lingkungan. Dengan emisi CO<sub>2</sub> dari industri semen yang mencapai angka 7% terhadap emisi CO<sub>2</sub> global (Meyer, 2013) mengharuskan saintis dan praktisi konstruksi bangunan gedung untuk mulai mengambil langkah alternatif dalam rangka mengurangi

angka emisi karbon tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengganti material beton dengan material lain yang lebih ramah lingkungan seperti baja dan kayu.

Berdasarkan proses produksinya, terdapat dua jenis baja yang digunakan di dunia konstruksi saat ini, yaitu *hot-rolled steel* (baja canai panas) dan *cold-formed steel* (baja canai dingin). *Hot-rolled steel* adalah jenis baja yang proses produksinya berupa penggulangan pelat baja pada suhu tinggi, sedangkan proses produksi *cold-formed steel* adalah kelanjutan dari *hot-rolled steel*, namun

dilakukan pada suhu kamar. *Cold-formed steel* (CFS) yang biasanya hanya digunakan sebagai struktur rangka atap, kini mulai diinovasikan sebagai komponen struktur portal seperti pada Rumah Instan Baja Ringan (RISBARI) yang dibangun sebagai rumah darurat pasca Gempa Lombok tahun 2018 (Awaludin dkk., 2020). CFS memiliki kelebihan berupa rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sehingga mobilisasi dan durasi pekerjaan menjadi lebih cepat. Pada bangunan bertingkat, CFS dapat difungsikan sebagai *joist* yang dikombinasikan dengan panil berbahan dasar kayu di sisi atasnya sebagai sistem lantai komposit. Beberapa jenis panil berbahan dasar kayu di antaranya adalah *particle board*, *oriented strand board* (OSB), dan *plywood*. *Plywood* memiliki kekakuan yang paling superior dibanding dua material lainnya, yang juga sejalan dengan kapasitas momen yang dimilikinya (Karki dkk., 2021).

Sistem lantai komposit dari *cold-formed steel* dan panil kayu sudah beberapa kali diteliti sebelumnya. Zhou dkk. (2019) meneliti tentang kapasitas lentur sistem lantai komposit dari CFS dan OSB, namun dalam penelitian tersebut masih belum membahas mengenai pengaruh sambungan yang digunakan. Penelitian mengenai sambungan komposit antara CFS dengan panil kayu dari *particle board* pertama kali dilakukan oleh Kyvelou dkk. (2017). Selanjutnya, Karki dkk. (2022) meneliti tentang perilaku sambungan komposit antara CFS dengan *plywood* dengan variasi tiga jenis sambungan mekanis, yaitu *self-drilling screw*, *coach screw*, dan *nut & bolt*. Hasilnya menunjukkan bahwa *self-drilling screw* memiliki kekakuan dan daktilitas yang cukup ideal untuk digunakan dalam desain dibandingkan dengan tipe sambungan lainnya.

Sambungan mekanis memang memiliki kelebihan dalam kemudahan instalasinya di lapangan, namun jenis sambungan ini juga memiliki beberapa kekurangan. Dalam proses pengerjaan sambungan mekanis, ketebalan elemen yang tipis dapat menyebabkan keruntuhan/kegagalan dini pada sistem

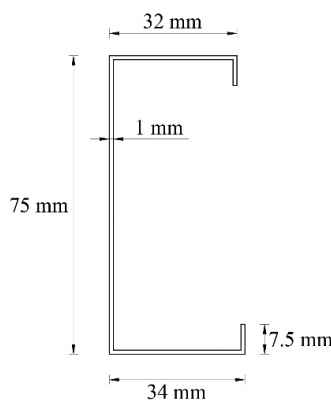
struktur *cold-formed steel* (Anwar dkk., 2014). Kekurangan lainnya adalah kemungkinan terjadinya *imperfection* pada sambungan mekanis, sehingga terjadi pelemahan pada daerah sambungan. Fenomena ini dapat menurunkan kapasitas dari struktur CFS (Anwar dkk., 2015). Oleh karena itu, penggunaan bahan perekat (*adhesive*) dapat menjadi alternatif lain dalam pemilihan jenis sambungan pada struktur CFS.

Dua profil *cold-formed steel* yang disambung menggunakan *adhesive epoxy* menghasilkan kapasitas beban yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan sambungan *self-drilling screw* (Komara, 2018). Selain pada CFS, penggunaan sambungan *adhesive epoxy* juga pernah diteliti pada balok I komposit dari kayu dan kaca. Balok dengan *adhesive epoxy* menghasilkan kekakuan lentur yang paling tinggi dibanding dua jenis bahan perekat lainnya, yaitu silikon dan akrilat (Držečnik dkk., 2022). Sementara itu, penelitian mengenai penggunaan *adhesive epoxy* sebagai sambungan antara CFS dan *plywood* belum pernah dilakukan.

Melalui studi eksperimental ini perilaku dan performa dua jenis sambungan (sambungan mekanis dan perekat) antara *cold-formed steel* dengan *plywood* akan dibandingkan. Sambungan mekanis yang digunakan adalah *self-drilling screw*, sedangkan bahan perekat yang digunakan adalah *adhesive epoxy* merk Sikadur-31 CF Normal. Pengujian yang dilakukan berupa uji geser untuk memperoleh jenis kegagalan, hubungan beban-defleksi, dan daktilitas. Selanjutnya, nilai modulus slip dan modulus geser dari hubungan beban-defleksi digunakan untuk menghitung dan membandingkan kekakuan lentur efektif dari dua jenis sambungan yang digunakan.

**Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini selain dilakukan uji geser untuk mendapatkan hubungan beban-defleksi pada dua jenis sambungan yang diteliti, juga dilakukan pengujian material untuk mendapatkan properti mekanis dari material yang digunakan. Properti mekanis ini akan digunakan sebagai data pendukung pada tahap analisis. Pengujian material yang dilakukan hanya pada material *plywood*, sedangkan properti mekanis material *cold-formed steel* diambil dari penelitian terdahulu yang menggunakan material CFS dengan produsen yang sama. Pada Gambar 1 dapat dilihat dimensi penampang CFS profil kanal-lip yang digunakan dalam uji geser. Sedangkan untuk penampang *plywood* digunakan tebal panel 18 mm.



Gambar 1. Dimensi penampang *cold-formed steel* profil kanal-lip

**Pengujian material**

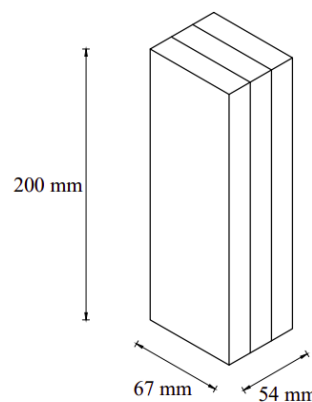
Material *cold-formed steel* yang digunakan dalam penelitian ini didatangkan dari Cahaya Fortuna Steel Yogyakarta. Properti mekanis material CFS yang digunakan diperoleh dari hasil pengujian tarik di Laboratorium Bahan Bangunan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (Making dkk., 2020). Properti

mekanis CFS berupa tegangan leleh ( $f_y$ ), modulus elastisitas ( $E_s$ ), dan angka poisson ( $\nu$ ) dapat dilihat pada Tabel 1.

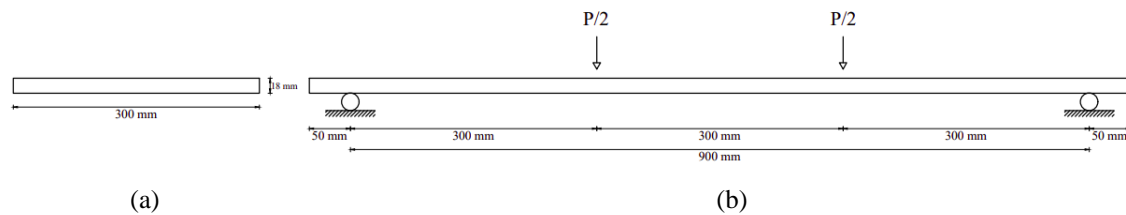
Tabel 1. Properti mekanis material CFS (Making dkk., 2020)

Material	$f_y$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	$\nu$
CFS	619,54	$2 \times 10^5$	0,3

Sementara itu, *plywood* dengan tebal 18 mm diuji tekan dan lentur searah serat, sedangkan untuk uji tarik tidak dapat dilakukan karena keterbatasan alat untuk pemotongan spesimen uji dengan dimensi yang disyaratkan dalam standar. *Plywood* yang digunakan berbahan dasar campuran kayu Meranti dan kayu Sengon yang didatangkan dari Cipta Wijaya Mandiri. Dimensi, penyiapan, dan pengujian spesimen mengacu pada *European Standard EN 789 (CEN, 2004)*. Mengacu pada standar yang sama, pada spesimen uji tekan, *plywood* dengan tebal 18 mm dan lebar 67 mm disusun sebanyak tiga lapis menggunakan bahan perekat *adhesive epoxy* merk Milan, sehingga spesimen memiliki ketebalan total sebesar 54 mm seperti pada Gambar 2. Sedangkan pada spesimen uji lentur, digunakan spesimen *plywood* dengan lebar 300 mm dan panjang 1000 mm seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Dimensi spesimen uji tekan *plywood*



Gambar 3. Dimensi spesimen uji lentur *plywood* pada (a) potongan melintang dan (b) potongan memanjang

Uji tekan *plywood* menggunakan mesin uji tekan berkapasitas 300 ton dan defleksi diukur menggunakan *compressometer*. Sedangkan pada uji lentur *plywood* menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas 30 ton dan defleksi diukur menggunakan *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) yang dihubungkan ke *data logger*. Gambar 4 dan Gambar 5 masing-masing adalah *set-up* untuk uji tekan dan uji lentur. Properti mekanis material *plywood* yang diuji berupa kuat tekan ( $f_c$ ), kuat lentur ( $f_b$ ), modulus elastisitas tekan ( $E_c$ ), dan modulus elastisitas lentur ( $E_b$ ). Setiap jenis pengujian menggunakan tiga spesimen yang hasil reratanya dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. *Set-up* uji tekan *plywood*



Gambar 5. *Set-up* uji lentur *plywood*

Tabel 2. Properti mekanis material *plywood*

Properti Mekanis	Nilai Rerata (MPa)
Kuat tekan ( $f_c$ )	16,99
Kuat lentur ( $f_b$ )	29,98
MoE tekan ( $E_c$ )	6688,03
MoE lentur ( $E_b$ )	7047,30

### Pengujian geser sambungan

Pengujian geser dilakukan di Laboratorium Struktur, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Variasi berupa jenis sambungan yang digunakan, yaitu sambungan mekanis *self-drilling screw* dan perekat *adhesive epoxy*. *Self-drilling screw* yang digunakan berdiameter 5,5 mm dengan panjang 35 mm seperti pada Gambar 6. Untuk *adhesive epoxy* yang digunakan adalah merk Sikadur-31 CF Normal seperti pada Gambar 7. Setiap variasi terdiri dari tiga spesimen, sehingga terdapat total enam spesimen yang diuji. Detail kodefikasi spesimen dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 3, label "G" menunjukkan spesimen uji geser. Sedangkan label "SDS" dan "AD" masing-masing

menunjukkan variasi untuk jenis sambungan *self-drilling screw* dan *adhesive epoxy*.



Gambar 6. *Self-drilling screw* diameter 5,5 mm



Gambar 7. *Adhesive epoxy* Sikadur-31 CF Normal

Tabel 3. Detail spesimen uji geser sambungan

Spesimen	Jenis Sambungan	Jumlah Spesimen
G-SDS	<i>Self-drilling screw</i> (diameter 5,5 mm)	3
G-AD	<i>Adhesive epoxy</i> (Sikadur-31 CF Normal)	3

Konfigurasi spesimen uji geser mengacu pada penelitian Xingxing dkk. (2023) dengan beberapa modifikasi. Alih-alih menggunakan uji geser-tekan (*push-out test*), pada penelitian ini digunakan uji geser-tarik untuk mencegah terjadinya *buckling* pada elemen *cold-formed steel*. Untuk tiap spesimen uji, *plywood* dipotong dengan dimensi 200 x 200 mm<sup>2</sup> sebanyak dua buah dan CFS dipotong sepanjang 200 mm sebanyak empat buah, sehingga masing-masing sisi (kiri dan kanan) terdiri dari satu panil *plywood* dan dua batang CFS. Pada sisi bawah masing-masing panil *plywood* disambung dengan satu batang CFS menggunakan kombinasi empat buah *self-drilling screw* ditambah *adhesive epoxy* di seluruh permukaan CFS yang berinteraksi

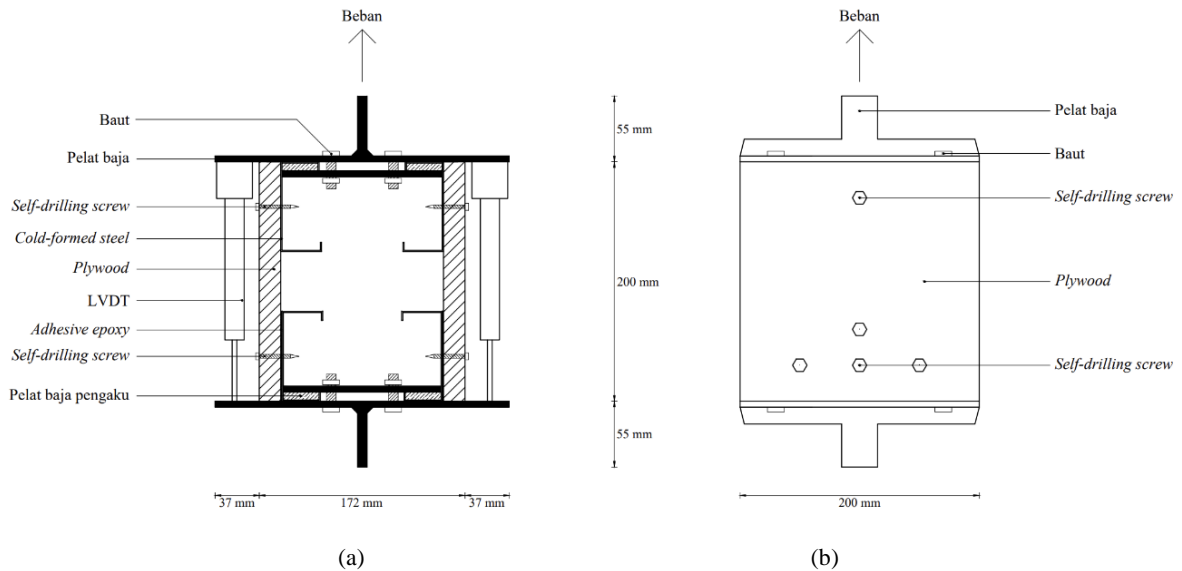
dengan *plywood*. Kombinasi dua jenis sambungan ini untuk mempertahankan kedudukan CFS sisi bawah agar tidak terjadi deformasi/defleksi saat beban diberikan, sehingga defleksi hanya terjadi pada CFS sisi atas dan pengamatan defleksi menjadi lebih terkonsentrasi.

Pada spesimen uji G-SDS, sisi atas masing-masing panil *plywood* disambung dengan batang CFS menggunakan satu buah *self-drilling screw* tanpa *predrilled*, sedangkan pada spesimen G-AD, *adhesive epoxy* diaplikasikan dengan panjang 50 mm, lebar 40 mm, dan tebal 1 mm. Dimensi *adhesive* tidak diaplikasikan pada seluruh permukaan CFS yang berinteraksi dengan *plywood*, karena diharapkan kegagalan terjadi pada sisi ini. Sedangkan untuk tebal *adhesive* 1 mm mengacu pada penelitian Držečnik dkk. (2022) yang menggunakan *adhesive epoxy* dengan merk yang sama. Pengaplikasian *adhesive epoxy* Sikadur-31 CF Normal mengacu pada deskripsi yang ada di produk. Pengaplikasian sambungan *adhesive epoxy* pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 8.

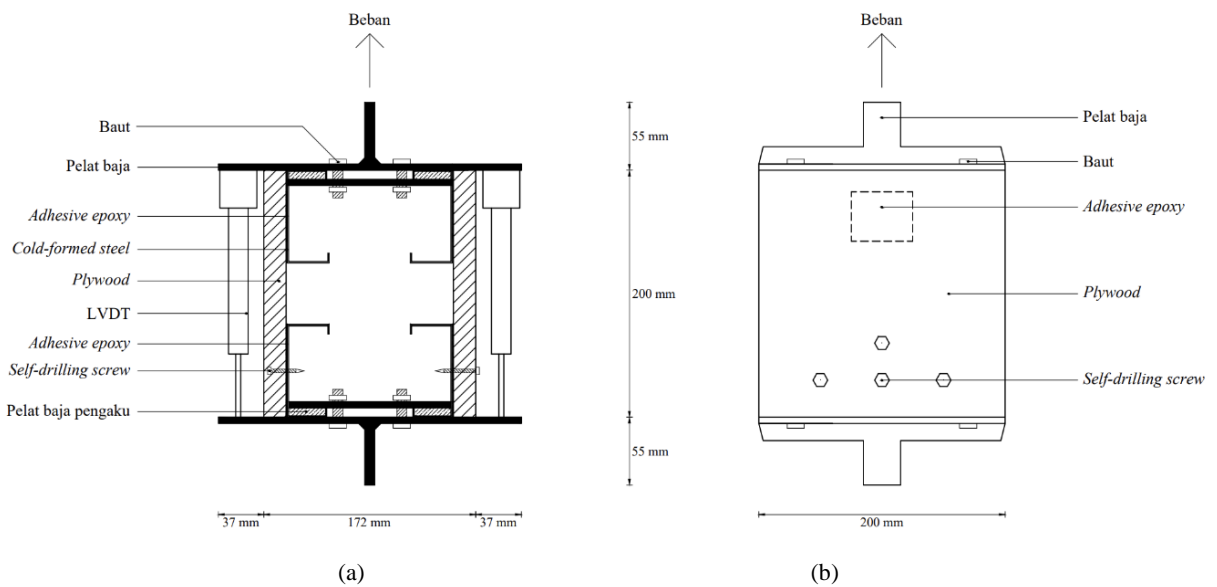


Gambar 8. Pengaplikasian *adhesive epoxy*

Dua sisi spesimen yang masing-masing terdiri dari satu panil *plywood* dan dua buah CFS dengan konfigurasi yang telah disebutkan sebelumnya disatukan dan dirakit pada *extension* yang terbuat dari pelat baja. *Extension* ini terdiri dari sepasang pelat baja yang dihubungkan dengan baut untuk mengunci salah satu sisi sayap CFS. Sepasang pelat baja ini dipasang pada sisi atas dan sisi bawah spesimen, dengan pelat sisi luar diberi pelat tambahan untuk klem ke mesin uji dan untuk perletakan LVDT. Adapun detail spesimen uji untuk spesimen G-SDS dan G-AD masing-masing dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Detail spesimen G-SDS pada (a) potongan melintang dan (b) tampak samping



Gambar 10. Detail spesimen G-AD pada (a) potongan melintang dan (b) tampak samping

Spesimen uji geser diberi beban tarik pada salah satu ujungnya yang diklem pada *Universal Testing Machine* (UTM). Dalam pengujian ini digunakan *load cell* dengan kapasitas 10 ton. Dua buah LVDT kapasitas 50 mm dipasang pada pelat baja *extension* untuk mengukur defleksi yang terjadi. Pembebanan dilakukan dengan *displacement rate* 0,5 mm/menit sampai terjadi kegagalan pada sambungan. *Set-up* pengujian geser sambungan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Set-up pengujian geser sambungan

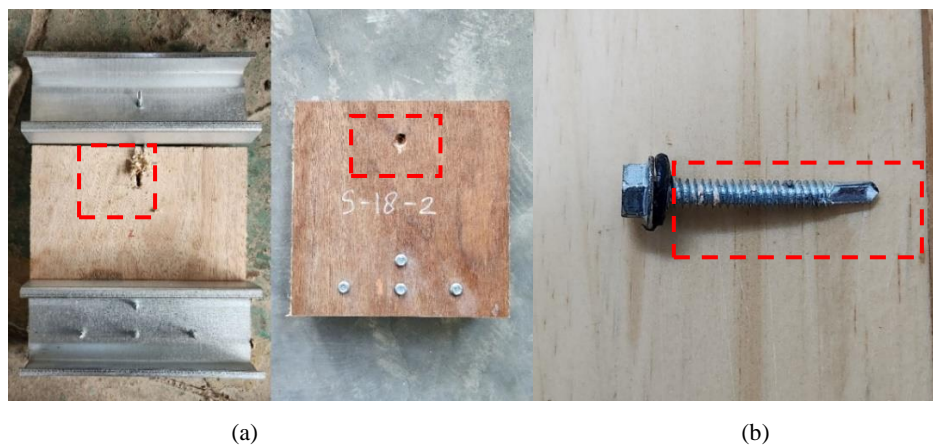
### Hasil dan Pembahasan

Sebanyak total enam spesimen uji geser sambungan jenis *self-drilling screw* dan

*adhesive epoxy* yang telah diuji, dibahas pada bab ini mengenai jenis kegagalan, hubungan beban-defleksi, dan daktilitas. Kemudian untuk membandingkan performa kedua jenis sambungan dalam penggunaannya sebagai sistem rantai komposit, kekakuan lentur ( $EI$ ) dijadikan sebagai parameter perbandingan.

#### Jenis kegagalan

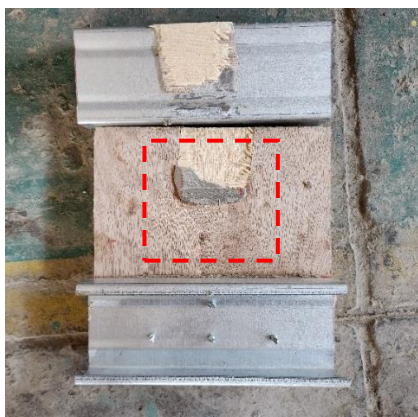
Letak kegagalan yang terjadi sesuai yang direncanakan, yaitu pada sisi atas spesimen. Pada sisi bawah, yaitu sisi yang diberi perkuatan tidak terjadi kegagalan sama sekali. Dua jenis sambungan yang diuji mengalami jenis kegagalan yang berbeda. Pada sambungan jenis *self-drilling screw* (G-SDS) kegagalan yang terjadi berupa kerusakan (*crushing*) pada *plywood* dan sedikit terjadi kegagalan lentur (*bending*) pada *screw*. Sedangkan pada material *cold-formed steel* tidak terjadi kegagalan. Kegagalan pada spesimen G-SDS tidak terjadi secara tiba-tiba, sehingga tergolong kegagalan yang daktil. Kegagalan pada spesimen G-SDS dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kegagalan pada spesimen G-SDS berupa (a) *crushing* pada *plywood* dan (b) gagal lentur pada *screw*.

Berbeda dengan spesimen G-SDS yang mengalami kegagalan daktil, sambungan jenis *adhesive epoxy* (G-AD), mengalami kegagalan getas (*brittle*), ditandai dengan keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba dengan suara nyaring. Hasil ini sesuai dengan penelitian Imanaka dkk. (2017) di mana *steel joint* yang disambung menggunakan *adhesive epoxy* mengalami kegagalan serupa.

Kegagalan terjadi pada serat *plywood* yang berinteraksi dengan *adhesive epoxy*. Sedangkan pada material CFS tidak terjadi kegagalan. Kegagalan pada spesimen G-AD dapat dilihat pada Gambar 13.



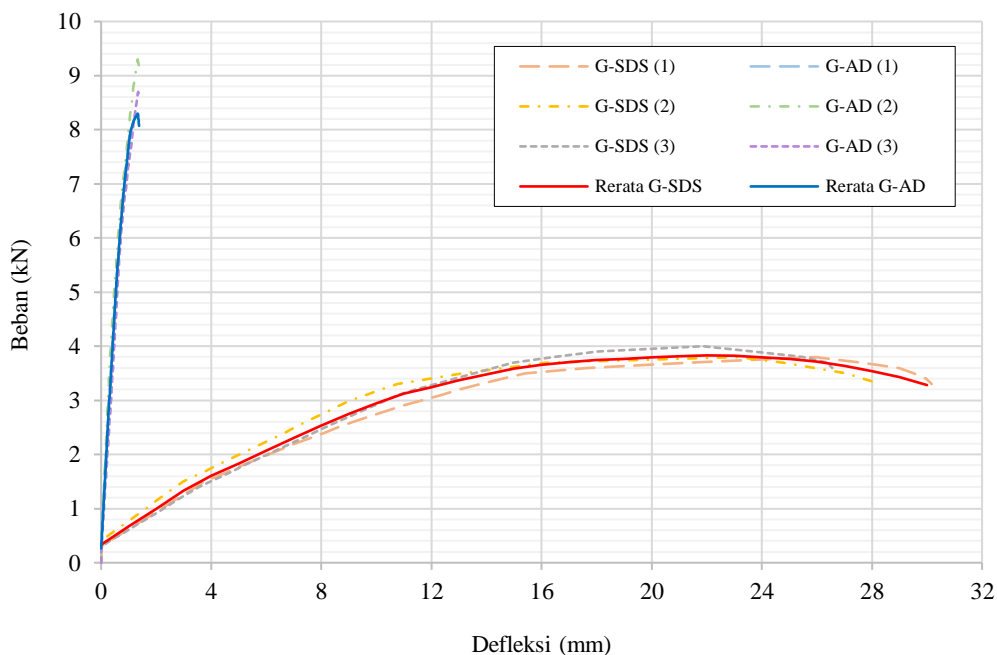
Gambar 13. Kegagalan pada spesimen G-AD

### Hubungan beban-defleksi

Pada sebuah sistem lantai komposit yang tersusun dari *cold-formed steel* dan *plywood*, beban yang diberikan pada *plywood* sebagai sisi pelat terluar diteruskan ke batang CFS melalui sambungan. Akibatnya terjadi defleksi (*slip*) pada sambungan. Perbandingan besarnya beban terhadap defleksi yang terjadi dinamakan modulus slip (Couchman, 2016). Nilai modulus slip dapat dijadikan parameter untuk jenis sambungan mekanis, seperti *self-drilling screw*. Namun, pada sambungan jenis *adhesive epoxy*, volume *adhesive* yang

diaplikasikan turut memengaruhi nilai modulus slip, sehingga untuk sambungan jenis ini parameter yang dihitung berupa modulus geser.

Hubungan beban-defleksi kedua spesimen, G-SDS dan G-AD dapat dilihat pada Gambar 14. Pada spesimen G-SDS, tidak terjadi defleksi/slip sampai beban mencapai 10% dari beban maksimum (*no slip zone*). Mengacu pada BS EN 26891 (CEN, 1991), modulus slip ( $K_s$ ) dihitung berdasarkan perbandingan selisih beban yang bekerja dari *no slip zone* sampai 40% beban maksimum terhadap defleksi yang terjadi pada kondisi yang sama (zona elastis). Karena pada spesimen terdapat total dua buah *screw* yang berdeformasi, maka modulus slip yang diperoleh selanjutnya dibagi dua untuk memperoleh nilai modulus slip tiap *screw* ( $K$ ). Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa kemiringan kurva spesimen G-SDS semakin melandai yang menandakan adanya penurunan kekakuan dari sambungan (setelah 40% beban maksimum). Pembebanan dihentikan saat kepala *screw* terlihat masuk ke dalam *plywood* (*pull through*). Besarnya beban maksimum dan modulus slip dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 14. Hubungan beban-defleksi spesimen G-SDS dan G-AD

Tabel 4. Beban maksimum dan modulus slip spesimen G-SDS

Spesimen	Beban maksimum, $P_u$ (kN)	Modulus slip, $K_s$ (kN/mm)	Modulus slip per screw, $K$ (kN/mm)
G-SDS (1)	3,8	0,32	0,16
G-SDS (2)	3,8	0,37	0,18
G-SDS (3)	4	0,30	0,15
Rerata	3,87	0,33	0,16

Dari Gambar 14, dapat dilihat pada spesimen G-AD terdapat *no slip zone* sampai 4% dari beban maksimum. Modulus geser ( $G_a$ ) dihitung berdasarkan perbandingan tegangan geser ( $\tau$ ) terhadap regangan geser ( $\gamma$ ) dari kondisi akhir *no slip zone* sampai 40% beban maksimum (zona elastis). Tegangan geser dan regangan geser masing-masing dihitung menggunakan Pers. (1) dan Pers. (2). Dimana  $P$  adalah beban pada zona elastis (N),  $\delta$  adalah defleksi saat beban  $P$  (mm),  $b$  adalah lebar *adhesive* (mm),  $h$  adalah panjang *adhesive* (mm), dan  $t$  adalah tebal *adhesive* (mm).

$$\tau = \frac{P}{bh} \tag{1}$$

$$\gamma = \frac{\delta}{t} \tag{2}$$

Karena terdapat dua sisi yang diberi *adhesive epoxy*, maka untuk memperoleh modulus geser tiap sisi ( $G$ ), nilai modulus geser dibagi dengan dua. Pada kurva hubungan beban-defleksi spesimen G-AD, terlihat kemiringan kurva yang lebih tegak dibandingkan dengan spesimen G-SDS. Hal ini menunjukkan kekakuan spesimen G-AD lebih tinggi. Pembebanan berhenti saat CFS terlepas seluruhnya dari *plywood*. Besarnya beban maksimum dan modulus geser dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Beban maksimum dan modulus geser spesimen G-AD

Spesimen	Beban maksimum, $P_u$ (kN)	Modulus geser, $G_a$ (MPa)	Modulus geser per sisi, $G$ (MPa)
G-AD (1)	8	4,92	2,46
G-AD (2)	9,3	5,92	2,96
G-AD (3)	8,7	4,19	2,09
Rerata	8,67	5,01	2,51

Perilaku spesimen dengan sambungan *adhesive epoxy* (G-AD) lebih mendekati aksi komposit, dimana friksi yang terjadi sangat kecil. Hal ini ditandai dengan peningkatan beban yang signifikan, namun dengan pertambahan defleksi yang sangat kecil.

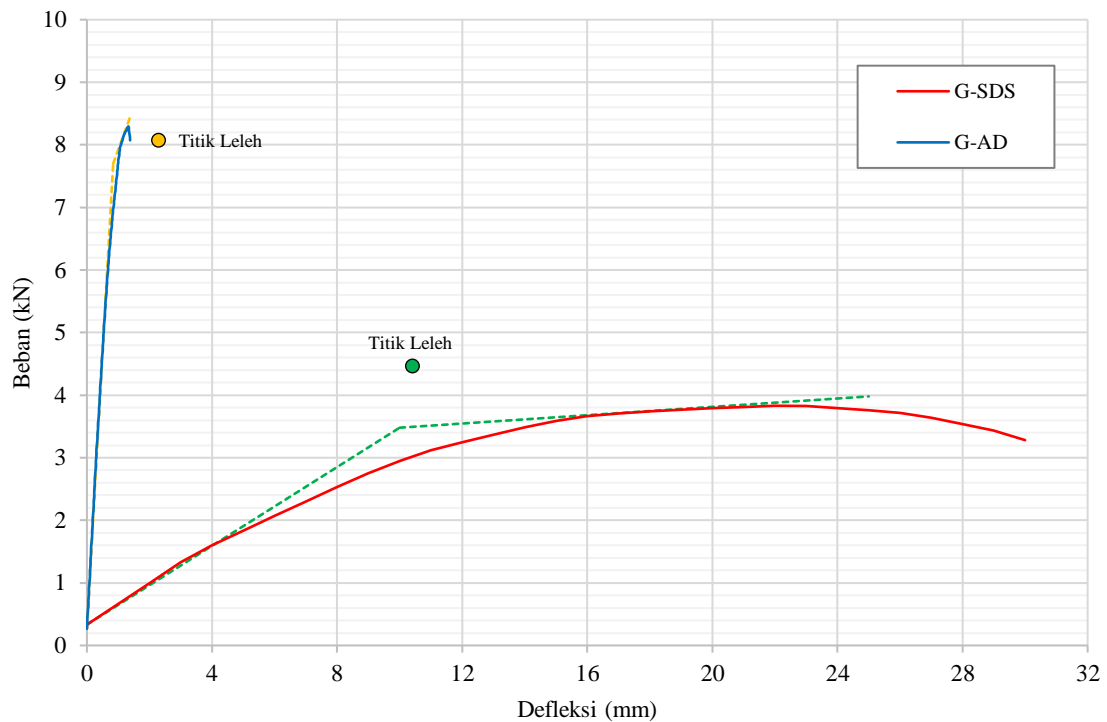
Selanjutnya, dari hubungan beban-defleksi kedua jenis sambungan yang diteliti juga dapat diperoleh daktilitasnya. Mengacu pada BS EN 12512 (CEN, 2005), daktilitas sistem sambungan dihitung menggunakan Pers. (3).

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \tag{3}$$

Dengan  $\delta_u$  dan  $\delta_y$  masing-masing adalah defleksi saat beban maksimum dan defleksi saat beban leleh. Beban leleh adalah beban yang terjadi saat sistem struktur mulai memasuki fase plastis. Titik leleh ditentukan berdasarkan perpotongan dua kurva linier, yaitu kurva linier fase elastis dan kurva linier fase plastis seperti yang dijelaskan dalam BS EN 12512 (CEN, 2005). Penentuan titik leleh dapat dilihat pada Gambar 15, sedangkan perbandingan nilai daktilitas kedua jenis sambungan G-SDS dan G-AD dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Daktilitas spesimen G-SDS dan G-AD

Spesimen	Daktilitas, $\mu$
G-SDS	2,20
G-AD	1,58



Gambar 15. Penentuan titik leleh spesimen G-SDS dan G-AD

Berdasarkan Tabel 6, spesimen G-SDS termasuk dalam kategori daktilitas rendah, sedangkan spesimen G-AD termasuk kategori *brittle* (Smith dkk., 2006). Sambungan dengan daktilitas tinggi menunjukkan kemampuan berdeformasi yang lebih besar tanpa terjadi penurunan kekuatan yang tiba-tiba. Sebaliknya, sambungan dengan daktilitas rendah menunjukkan kekakuan yang lebih tinggi, namun dengan kemampuan deformasi yang kecil.

#### Kekakuan lentur efektif

Melalui pengujian geser sambungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai modulus slip pada sambungan jenis *self-drilling screw* dan modulus geser pada sambungan jenis *adhesive epoxy*. Selanjutnya dengan nilai modulus slip dan modulus geser tersebut, maka dapat dihitung estimasi kekakuan lentur efektif pada sebuah sistem lantai komposit. Kekakuan lentur efektif ( $(EI)_{eff}$ ) adalah kekakuan lentur pada sebuah sistem balok komposit yang turut mempertimbangkan pengaruh sambungan di dalam perhitungannya (*partially composite*). Salah satu pendekatan dalam menentukan

$(EI)_{eff}$  adalah metode gamma (*gamma method*) yang dijelaskan dalam Eurocode 5 (CEN, 2004) dan dihitung menggunakan Pers. (4).

$$(EI)_{eff} = (E_t I_t + \gamma E_t A_t a_1) + (E_s I_s + E_s A_s a_2) \quad (4)$$

Dengan  $E_t$ ,  $I_t$ ,  $A_t$ ,  $a_t$  masing-masing adalah modulus elastisitas (MPa), inersia ( $\text{mm}^4$ ), luas penampang ( $\text{mm}^2$ ), dan jarak titik berat *plywood* ke titik berat penampang komposit (mm).  $E_s$ ,  $I_s$ ,  $A_s$ ,  $a_s$  masing-masing adalah modulus elastisitas (MPa), inersia ( $\text{mm}^4$ ), luas penampang ( $\text{mm}^2$ ), dan jarak titik berat CFS ke titik berat penampang komposit (mm). Sedangkan  $\gamma$  adalah faktor gamma, yaitu pengaruh keberadaan sambungan yang dihitung menggunakan Pers. (5).

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 s E_t A_t}{KL^2}} \quad (5)$$

Dengan  $s$  adalah spasi/jarak antar sambungan (mm),  $L$  adalah panjang bentang sistem lantai yang direncanakan (mm), dan  $K$  adalah modulus slip dari hasil pengujian geser sambungan (N/mm). Pada sambungan jenis

*adhesive epoxy* yang pengaplikasiannya menerus, spasi sambungan (*s*) tidak dapat ditentukan. Držečnik dkk. (2022) kemudian melalui Pers. (6) menyatakan hubungan antara modulus slip dan spasi sambungan dengan modulus geser, lebar, dan ketebalan *adhesive*. Sehingga faktor gamma ( $\gamma$ ) untuk sambungan jenis *adhesive epoxy* dapat ditentukan, dimana  $b_a$  adalah lebar *adhesive* (mm),  $t_a$  adalah tebal *adhesive* (mm), dan  $G$  adalah modulus geser *adhesive* dari hasil pengujian geser sambungan (MPa).

$$\frac{K}{s} = \frac{G \cdot b_a}{t_a} \tag{6}$$

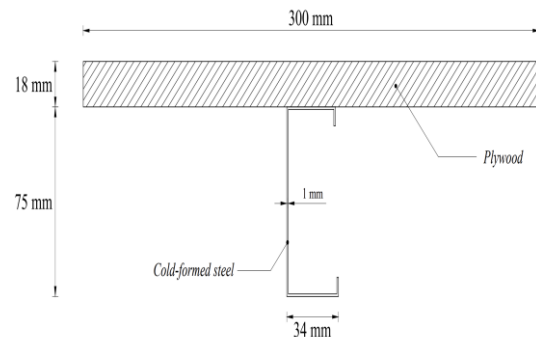
Pada sebuah sistem lantai komposit CFS-*plywood*, analisis umumnya dilakukan pada tiap *joist* CFS dengan lebar efektif *plywood* diambil sebesar jarak antar CFS. Adapun dalam analisis perhitungan kekakuan lentur efektif kali ini, direncanakan sebuah sistem lantai komposit CFS-*plywood* dengan lebar efektif *plywood* sebesar 300 mm dan panjang bentang 2400 mm. Spasi/jarak antar *screw* (*s*) yang digunakan adalah sebesar 100 mm mengacu pada penelitian Kyvelou dkk. (2015), sedangkan tebal *adhesive epoxy* ( $t_a$ ) diambil sebesar 1 mm, sesuai dengan yang

Tabel 7. Perbandingan kekakuan efektif sistem lantai komposit antara dua jenis sambungan

Jenis Sambungan	Faktor gamma, $\gamma$	Kekakuan lentur CFS, $E_s I_s$ (Nmm <sup>2</sup> )	Kekakuan lentur efektif, $(EI)_{eff}$ (Nmm <sup>2</sup> )	Peningkatan kekakuan (%)
<i>Self-drilling screw</i>	0,0239	$2,74 \times 10^{10}$	$2,89 \times 10^{10}$	5,4
<i>Adhesive epoxy</i>	0,5519	$2,74 \times 10^{10}$	$4,48 \times 10^{10}$	63,4

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa sistem lantai komposit CFS-*plywood* yang menggunakan sambungan jenis *adhesive epoxy* memiliki kekakuan lentur efektif ( $(EI)_{eff}$ ) yang lebih tinggi dibandingkan sistem lantai dengan sambungan jenis *self-drilling screw*. Penggunaan *plywood* sebagai panil pelat pada sistem lantai komposit yang menggunakan sambungan *adhesive epoxy* mampu meningkatkan kekakuan *joist* CFS hingga 63,4%, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan

digunakan dalam pengujian geser sambungan. Adapun dimensi penampang efektif sistem lantai komposit CFS-*plywood* yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Penampang sistem lantai komposit CFS-*plywood* yang direncanakan

Dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya dan konfigurasi rencana sistem lantai komposit seperti pada Gambar 16, maka diperoleh perbandingan kekakuan lentur efektif ( $(EI)_{eff}$ ) sistem lantai komposit CFS-*plywood* untuk masing-masing jenis sambungan, yaitu *self-drilling screw* dan *adhesive epoxy* seperti pada Tabel 7. Nilai  $(EI)_{eff}$  yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kekakuan efektif *joist* CFS tunggal ( $E_s I_s$ ).

peningkatan kekakuan yang diberikan sambungan *self-drilling screw* yang hanya 5,4%. Hasil ini sejalan dengan nilai daktilitas yang diperoleh pada analisis sebelumnya dan hasil penelitian Karki dkk. (2022) yang menyatakan sistem komposit yang menggunakan sambungan *self-drilling screw* dan dikombinasikan dengan *adhesive epoxy* pada permukaan kedua material mampu meningkatkan kekakuan lentur hingga empat kali lipat terhadap kekakuan lentur sistem

komposit yang hanya menggunakan sambungan *self-drilling screw*.

### Kesimpulan

Enam spesimen sistem komposit CFS-plywood yang menggunakan sambungan jenis *self-drilling screw* dan *adhesive epoxy* diuji geser untuk membandingkan perilaku dan performanya. Spesimen dengan sambungan *self-drilling screw* memiliki daktilitas yang lebih baik dibandingkan spesimen dengan sambungan *adhesive epoxy* yang termasuk kategori *brittle*. Untuk membandingkan performa kedua jenis sambungan dalam sebuah sistem lantai komposit, nilai kekakuan lentur efektif dijadikan sebagai parameter pembanding. Kekakuan lentur yang dihitung dengan menyertakan pengaruh sambungan (kekakuan lentur efektif) dapat memberikan hasil desain, seperti defleksi dan vibrasi yang lebih akurat. Sistem lantai komposit yang menggunakan sambungan *adhesive epoxy* mampu memberikan peningkatan kekakuan lentur yang jauh lebih tinggi dibandingkan peningkatan kekakuan yang diberikan oleh sambungan *self-drilling screw*. Kekakuan lentur yang lebih tinggi ini salah satunya berperan dalam mengurangi defleksi vertikal yang terjadi, sehingga lebih dapat memenuhi persyaratan desain. Selain itu, penggunaan *adhesive epoxy* sebagai sambungan memberikan keuntungan lain berupa permukaan lantai yang lebih rata, sehingga memberikan kenyamanan yang lebih baik. Untuk memvalidasi hasil hitungan analisis empirik, pengujian eksperimental sistem lantai komposit *cold formed steel-plywood* skala penuh (*full scale test*) sedang dikembangkan dalam penelitian yang sedang berjalan.

### Daftar Pustaka

- Anwar, S.N.R., Suprobo, P., & Wahyuni, E. (2015). Axial and flexural performance of adhesive connection on cold-formed steel structure. *International Journal of Technology*, 6 (4), 699-708. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i4.932>
- Anwar, S.N.R., Wahyuni, E., & Suprobo, P. (2014). Tensile performance of adhesive joint on the cold-formed steel structure. *International Journal of Engineering Trend and Technology*, 10 (5). <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V10P244>
- Awaludin, A., Adiyuano, Y., & Mursyid, F. A. (2020). RISBARI: an alternative house model for the 2018 Lombok earthquake affected people. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/849/1/012069>
- CEN. (1991). *BS EN 26891:1991 Timber structures-Joints made with mechanical fasteners-General principles for the determination of strength and deformation characteristics*. European Committee for Standardization.
- CEN. (2004). *EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures-Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.
- CEN. (2004). *EN 789:2004 Timber structures-Test methods-Determination of mechanical properties of wood based panels*. European Committee for Standardization.
- CEN. (2005). *BS EN 12512:2001 (E) Timber structures-Test methods-Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners (include amendment A1:2005)*. European Committee for Standardization.
- Couchman, G. H. (2016). *Minimum degree of shear connection rules for UK construction to Eurocode 4*. Steel Construction Institute.
- Držečnik, M., Štrukelj, A., & Premrov, M. (2022). Influence of the Bonding Boundary Conditions of Timber-Glass I-Beams on Load-Bearing Capacity and Stiffness. *Applied Sciences*, 12, 1770. <https://doi.org/10.3390/app12041770>
- Imanaka, M., Liu, X., & Kimoto, M. (2017). Comparison of fracture behavior between acrylic and epoxy adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 75, 31-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.02.011>
- Karki, D., Far, H., & Al-hunity, S. (2022). Determination of slip modulus of cold-formed steel composite members sheathed with plywood structural panels. *Steel and Composite Structures*, 43 (4), 511-522. <https://doi.org/10.12989/scs.2022.43.4.511>
- Karki, D., Far, H., & Saleh, A. (2021). Numerical studies into factors affecting structural behaviour of composite cold-formed steel and timber flooring systems. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102692>
- Komara, I., Wahyuni, E., Suprobo, P., & Taşkın, K. (2018). Assessing the Tensile Capacity of Cold-Formed Steel Connections using Self-Drilling Screws and Adhesive Materials. *International Journal on Advanced Science, Engineering Information Technology*, 8 (2). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.2.4314>
- Kyvelou, P., Gardner, L., & Nethercot, D. A. (2015). Composite Action Between Cold-Formed Steel Beams and Wood-Based Floorboards.

- International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 15 (8). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1142/S0219455415400295>
- Kyvelou, P., Gardner, L., & Nethercot, D. A. (2017). Testing and Analysis of Composite Cold-Formed Steel and Wood-Based Flooring Systems. *Journal of Structural Engineering*, 143 (11). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001885](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001885)
- Making, M. Y. M., Awaludin, A., & Supriyadi, B. (2020). Pengaruh Jarak Sekrup terhadap Kapasitas dan Perilaku Penampang Tersusun Boks (*Closed Section*) Baja Canai Dingin. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26 (2), 163-173. <https://doi.org/10.14710/mkts.v26i2.3150>
- Meyer, C. (2013). The Greening of the Concrete Industry.
- Smith, I., Asiz, A., Snow, M., & Chui, Y. H. (2006). Possible Canadian/ISO Approach to Deriving Design Values from Test Data. In *Proceedings of the CIB-W18 Meeting*.
- Xingxing, W., Wei, W., Jihong, Y., & Yutian, W. (2023). Seismic damage model for gypsum board-to-CFS stud screw connections considering ground motion duration. *Engineering Structures*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115688>
- Zhou, X., Shi, Y., Xu, L., Yao, X., & Wang, W. (2019). A simplified method to evaluate the flexural capacity of lightweight cold-formed steel floor system with oriented strand board subfloor. *Thin-Walled Structures*, 134, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.09.006>