

REVIEW PERILAKU LANTAI/DECK KOMPOSIT BETON-KAYU

A. Chintia^{1*}, A. Awaludin², A. Saputra³

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, INDONESIA

*Email: aisyahchintia@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Metode konstruksi kayu-beton komposit telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir, antara lain untuk konstruksi seperti gedung bertingkat dan jembatan bentang pendek. Makalah ini menyajikan review tentang penelitian kayu-beton komposit dari tahun-tahun sebelumnya. Referensi literatur dipilih dan ditinjau dengan cermat untuk memberikan gambaran dan pengembangan teknik konstruksi Timber Concrete Composite. Lantai TCC memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan lantai kayu tradisional atau sistem beton bertulang. Kuat tekan beton yang tinggi dan kuat tarik yang tinggi pada kayu memberikan keuntungan kinerja struktur bila disatukan menjadi struktur komposit.

Kata kunci: Kayu beton komposit, Kayu laminasi, Struktur komposit.

PENDAHULUAN

Sistem komposit kayu-beton (*Timber-Concrete Composite*) adalah teknik konstruksi yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan lantai kayu yang ada serta untuk konstruksi baru seperti gedung bertingkat dan jembatan bentang pendek. Struktur TCC mencakup tiga komponen yang berbeda, yaitu kayu, beton, dan sambungan. Komponen tersebut tidak hanya menahan gaya yang sama, tetapi juga menunjukkan perilaku yang berbeda. Pelat beton biasanya tahan terhadap kompresi, sedangkan kayu biasanya menahan tegangan yang disebabkan oleh tekuk, dan sistem sambungan dapat menahan slip antara kayu dan beton dalam struktur TCC.

Keunggulan Sistem Komposit

Deck jembatan TCC memiliki kekuatan tekuk yang jauh lebih tinggi dan defleksi yang lebih rendah daripada deck kayu (non-komposit) dengan dimensi yang sama (Ceccotti, 2002). Potensi keuntungan dari semua jembatan kayu termasuk kapasitas beban dan kekakuan yang lebih besar karena modulus elastisitas beton yang lebih tinggi terhadap kayu, kerentanan yang lebih sedikit terhadap getaran, peningkatan daya tahan karena pelat beton melindungi kayu dari kontak langsung dengan air akibat hujan dan angin, serta perlindungan bagian kayu dari benturan roda. Dibandingkan dengan jembatan beton bertulang, jembatan TCC lebih ringan karena berat kayu hanya seperempat beton dan memiliki kekuatan tekan dan tegangan yang hampir sama, tidak memerlukan tulangan baja tambahan, lebih berkelanjutan karena kayu memisahkan karbon dioksida dari atmosfer dan memiliki lebih sedikit energi yang terwujud, dan secara estetika menyenangkan (Fragiacomo et al., 2018)

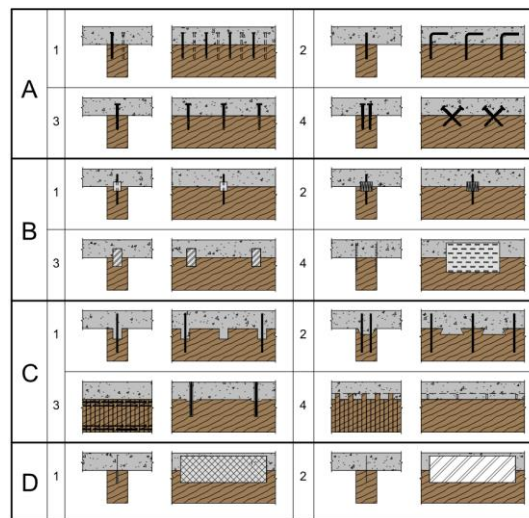
Metode Desain

Eurocode 5, Bagian 2 (CEN 2004) menjelaskan secara singkat, desain jembatan TCC. Pendekatan ini, yang dikenal sebagai metode gamma, menggunakan kekakuan lentur yang efektif yang mempertimbangkan kekakuan sambungan melalui koefisien komposit γ mulai dari 0 untuk tanpa aksi komposit hingga 1 untuk aksi komposit penuh. Metode gamma dapat digunakan dengan asumsi berikut kayu dan beton dihubungkan oleh sambungan mekanik dengan *slip modulus* K dan jarak s yang konstan atau bervariasi sesuai dengan gaya geser antara s_{min} dan s_{max} , dengan $s_{max} \leq 4s_{min}$, dan beban bekerja tegak lurus terhadap sumbu (dalam arah z) dengan memberikan momen bervariasi secara sinusoidal atau parabola dan gaya geser.

Shear Connector (Sambungan Geser)

Sistem koneksi adalah bagian penting dari sistem TCC mana pun. Sambungan harus kaku dan kuat untuk memaksimalkan aksi komposit, tetapi jumlah konektor dan waktu pemasangan harus minimal sehingga membuat sistem hemat biaya (Deam et al., 2008). Alat sambung dapat meneruskan gaya geser serta mencegah atau mengurangi gerakan antara kayu dengan slab beton. Oleh karena itu,

performa mekanik kayu dan beton sangat dipengaruhi oleh kualitas alat sambung antara kayu dan beton. Alat sambung juga harus terdeformasi secara plastis sebelum terjadi kerusakan pada bagian kayu ataupun beton (Auclair et al., 2016).



Gambar 1. Contoh sambungan geser kayu-beton: (A1) paku; (A2) *glued reinforced concrete steel bars*; (A3) sekrup; (A4) sekrup miring; (B1) *split rings*; (B2) *toothed plates*; (B3) *steel tubes*; (B4) *steel punched metal plates*; (C1) lubang bundar pada kayu dan pengencang yang mencegah *uplift*; (C2) lekukan persegi dan pengencang; (C3) *cup indentation* dan batang baja prategang; (C4) deck papan kayu yang dipaku dan pelat geser baja yang dimasukkan sampai ke papan yang lebih dalam; (D1) kisi baja yang direkatkan ke kayu; (D2) pelat baja yang direkatkan pada kayu. (Ceccotti, 2002)

RISET TENTANG *TIMBER CONCRETE COMPOSITE*

Telah banyak dilakukan uji keruntuhan jangka pendek pada lantai TCC. Uji runtuh ini penting untuk mengukur aksi komposit dalam menahan beban dan kegagalan. *Push-out tests* pada sambungan harus selalu mendahului uji keruntuhan untuk mendapatkan sifat mekanis sambungan. Kekakuan dan kekuatan konektor geser sangat mempengaruhi tingkat aksi komposit dalam struktur. Berikut ringkasan dari beberapa artikel yang mengenai uji keruntuhan jangka pendek dalam beberapa tahun terakhir yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan perilaku deck komposit beton-kayu dari beberapa tahun yang lalu

No	Referensi	Deskripsi	Keterangan
1.	Clouston, P. et al (2005)	Kayu glulam sepanjang 10 m, pelat beton 120x960 mm, dan tiga baris jaring baja sepanjang bentang. Jaring baja (<i>steel mesh</i>) memiliki panjang 1 m. Dilakukan <i>four point bending test</i> dan perhitungan desain dengan metode gamma yang mengacu pada Eurocode 5. Beban elastis maksimum aktual pada balok adalah 250 kN dan kegagalan ultimit terjadi pada 291 kN.	<ol style="list-style-type: none"> Perhitungan menunjukkan bahwa balok yang diuji bekerja dengan aksi komposit penuh, 97% kekakuan efektif dan 99% kekuatan balok dengan aksi komposit penuh. Dengan metode gamma, diperkirakan terjadi kegagalan sebesar 312 kN dibandingkan dengan 315 kN untuk aksi komposit penuh.
2.	Deam, B. L. et al (2008)	Empat spesimen balok kayu beton komposit dengan LVL <i>joist</i> sepanjang 6 m. Satu spesimen dengan LVL biasa, sambungan geser yang kuat, dan pelat beton. Tiga spesimen lainnya menyelidiki	<ol style="list-style-type: none"> Kekakuan balok komposit non prategang terbukti hampir tiga kali lipat dari <i>bare LVL joist</i>, tetapi hanya 74% lebih kuat. Prategang balok komposit memiliki pengaruh yang kecil

- penggunaan panel beton nonstruktural ringan sebagai pelat, tendon prategang lurus dan sambungan geser yang kuat dan tendon prategang yang dibungkus dan sambungan geser yang lebih lemah. Dilakukan *Dinamic test* dan *quasi-static four-point bending tests*
3. Lukaszewska, E. et al (2010) Lima balok glulam komposit kayu-beton dengan panjang 4,8 m. Pelat beton dengan ukuran 60 x 1600 x 4800 mm dibuat di luar lokasi dengan konektor yang terpasang. Tiga spesimen dengan *lag screw* yang dikelilingi oleh pipa baja yang tertanam di beton, dan dua spesimen dengan pelat logam yang dipaku pada balok glulam untuk menghubungkan pelat beton ke balok glulam. Dilakukan *full-scale bending tests* sampai gagal.
4. Yeoh, D. et al (2011) 11 Balok T LVL- beton komposit dengan variabel yang berbeda seperti panjang bentang 8 dan 10 m, lebar 600 dan 1.200 mm, jenis sambungan dan beton diselidiki. Semua balok diuji kira-kira 4-5 bulan setelah konstruksi. Setiap balok hanya ditopang dan diuji 4 titik, *quasi-static bending test* sampai gagal menggunakan beban 400 kN aktuator hidrolik yang dikendalikan.
5. Fragiacomio, M. and Lukaszewska, E. (2011) Lima balok glulam komposit kayu-beton dengan panjang 4,8 m. Pelat beton dengan ukuran 60 x 1600 x 4800 mm dibuat di luar lokasi dengan konektor yang terpasang. Tiga spesimen dengan *lag screw* yang dikelilingi oleh pipa baja yang tertanam di beton, dan dua spesimen dengan pelat logam yang dipaku pada balok glulam untuk menghubungkan pelat beton ke balok glulam. Dilakukan Uji statis
- baik terhadap kekakuan maupun kekuatannya. Namun, prategang mengurangi defleksi midspan.
1. Hasil uji eksperimental dan analisis numerik menunjukkan bahwa koneksi berlekuk bersama dengan pipa baja dan *lag screw* dapat memberikan kinerja struktur yang baik dan dapat meningkatkan efisiensi koneksi.
2. Balok dengan tipe konektor ST+S+N berperilaku linier sampai konektor menjadi plastis akibat kegagalan geser pada takik beton. Jenis sambungan ini adalah yang terkaku dan terkuat. Runtuhnya balok terjadi karena patahnya kayu yang mengalami tegangan, dengan konektornya sudah menjadi plastis, tetapi jauh sebelum terjadi slip ultimit. Secara keseluruhan, balok komposit jenis ini sangat kaku, dengan kekuatan tinggi 372 kN dan daktilitas yang rendah.
1. Metode kekakuan tekuk efektif atau metode γ menurut Lampiran B Eurocode 5 digunakan untuk merancang balok di bawah beban desain 3 kN/m² dan beban permanen desain 1 kN/m² di samping bobot sendiri. Enam balok dirancang *well-designed* dan lima dirancang *underdesigned*. Semua balok menunjukkan aksi komposit tingkat tinggi, antara 86,8% dan 99,9%.
1. Hasil terbaik dapat diperoleh dengan menggunakan konektor takik yang diperkuat dengan *coach screw*, yang ternyata jauh lebih kaku daripada konfigurasi alternatif yang hanya *coach screw* atau pelat baja yang dipaku ke kayu.
2. Frekuensi natural sebagian besar melebihi nilai 8 Hz, membuktikan bahwa sistem

- dan dinamis dan analisis numerik.
6. Khorsandnia, N. et al (2012) 4 balok TCC memiliki bentang 5,8 m dan panjang totalnya adalah 6,0 m. Tiga jenis sambungan (NS, SFS dan BM) digunakan pada balok dengan jarak yang berbeda dan jumlah pengencang yang berbeda pada panjang balok. Pelat beton memiliki lebar 600 mm dan tebal 75 mm serta tebal balok LVL 250 mm dan lebar 48 mm. Dilakukan uji *push-out* pada sambungan dan *four point bending test* pada balok TCC. Pada balok TCC pembebanan dihentikan pada defleksi bentang tengah 10 mm.
 1. Kekakuan sambungan NS pada balok B-NS jauh lebih kecil dibandingkan dengan total kekakuan sambungan SFS dan BM.
 2. Berdasarkan distribusi regangan yang diamati pada kedalaman penampang, semua balok menunjukkan perilaku semi-komposit.
 7. Boccadoro, L and Frangi, A. (2014) Benda uji berukuran 6 m x 600 x 160 mm. Pelat LVL kayu beech berukuran 40 mm dengan lapisan beton setebal 120 mm. Kayu dan beton dihubungkan dengan takik sedalam 15 mm di pelat LVL. Dilakukan *four-point bending tests*.
 1. Daya dukung beban tertinggi diukur dalam spesimen dengan takik persegi panjang (1A dan 1B) dan menunjukkan bahwa takik persegi panjang memastikan perilaku struktural yang lebih baik daripada gelombang berlekuk.
 2. Antara beban kegagalan benda uji 1A (55 kN) dan 1B (50 kN) terdapat selisih sebesar 9%, karena kualitas beton yang lebih rendah pada benda uji 1B sehingga mengalami kegagalan akibat kegagalan geser pada beton. Sedangkan spesimen 1A mengalami kerusakan kayu
 8. Mai, K. Q. et al (2018) Lima spesimen lantai dibuat dengan dimensi yang sama, lebar dan panjang 900 mm 6000 mm. Di antara lima spesimen, empat adalah lantai beton CLT *hybrid*, dengan jenis konektor yang bervariasi, sudut (45 dan 90), dan jarak, dan sisanya hanya CLT, dianggap spesimen standar. Lapisan atas beton dengan ketebalan 100 mm. Dilakukan *4-point bending test* dan *dynamic test*.
 1. Frekuensi utama lantai meningkat secara signifikan dengan topping beton 100 mm, menjadi sekitar 25% lebih tinggi daripada spesimen tanpa topping. Rasio redaman lantai komposit sekitar 1%, dan kemungkinan akan berkurang dengan tambahan topping beton.
 2. Spesimen lantai beton-CLT hibrida menunjukkan peningkatan kapasitas tekuk yang signifikan, dari 3-5 kali lebih tinggi, dibandingkan dengan spesimen lantai CLT.

- | | | |
|---------------------------|--|---|
| 9. Mudie, J. et al (2019) | Detail dari spesimen ini, yaitu bentang 4,9 m, <i>joist</i> LVL kayu beech pada pusat 700 mm, pelat dengan kedalaman 80 mm dan konektor geser <i>steel mesh</i> . Pada penelitian ini dilakukan <i>double-shear tests</i> dan <i>load-to-failure test</i> . | <ol style="list-style-type: none"> 1. Hasilnya menunjukkan bahwa momen tengah bentang dan berbagi reaksi keduanya berbeda secara nonlinear dengan beban, tetapi dengan cara yang sangat berbeda satu sama lain (dengan perbedaan hingga hampir 20% diamati di antara keduanya), dalam perkembangan antara tidak retak, retak, dan sambungan daktilitas. 2. Setelah mencapai beban puncak pada spesimen TCC, konektor terus berubah bentuk. Rekaman dari <i>linear potentiometers high light</i> bahwa terjadi slip di ujung spesimen antara beton dan balok kayu mencapai hingga 7,8 mm sebelum fraktur kayu terjadi. |
| 10. Du, H. et al (2021) | Dua balok glulam beton komposit dengan sekrup miring dan konekter berlekuk. Sekrup yang digunakan adalah <i>lag screw</i> . Setiap spesimen balok komposit terdiri dari satu balok kayu berukuran 150 mm × 300 mm yang dihubungkan ke satu pelat beton 800 mm × 80 mm dengan konektor geser. Interlayer memiliki lebar 400 mm, tebal 15 mm dan panjang 1500 mm. Pada penelitian ini dilakukan <i>four-point bending test</i> . | <ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil percobaan menunjukkan bahwa daya dukung dan kekakuan balok komposit GCCB-1 dengan sekrup miring lebih besar dibandingkan dengan balok komposit GCCB-2 dengan konektor berlekuk. Alasan utamanya adalah balok komposit GCCB-1 memiliki rasio sambungan geser yang lebih besar dibandingkan dengan balok komposit GCCB-2. |

PEMBAHASAN

Perilaku jangka pendek struktur TCC telah diselidiki dari beberapa review di Tabel 1. Berbagai jenis balok TCC dengan koneksi berbeda telah dilakukan uji tekuk empat titik (*four-point bending test*) untuk mengukur aksi komposit sebenarnya dari sistem, kapasitas dukung beban, mekanisme kegagalan dan untuk mengevaluasi *load-deflection response* yang terjadi pada struktur tersebut. Hasil dari uji tekuk menunjukkan bahwa kapasitas dukung beban yang tinggi dapat diharapkan dari TCC. Perilaku jangka pendek memperlakukan kayu, beton, dan perilaku sambungan sebagai elastis linier dan mengabaikan deformasi geser.

Perilaku jangka panjang dari sistem komposit ini dipengaruhi oleh fenomena yang berbeda seperti *creep*. Selain itu, perilaku jangka panjang lantai TCC dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti ukuran kayu, sifat permukaan, jenis pembebanan, panjang siklus lingkungan dan bahkan difusi kelembapan yang cukup kompleks dan bersifat non-linier. Defleksi maksimum di bawah beban *Serviceability Limit State* (SLS) adalah parameter yang paling berpengaruh pada kinerja balok TCC bentang menengah hingga panjang yang mengalami kondisi lingkungan yang parah (Fragiacomo & Schänzlin, 2010). Oleh karena itu, perlu dilakukan penyelidikan perilaku struktur di bawah pembebanan jangka panjang.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dalam studi ini membuktikan bahwa TCC memiliki potensi besar sebagai solusi inovatif untuk lantai/deck yang berkelanjutan. TCC juga merupakan pilihan yang baik karena kombinasi yang baik dengan bobot yang ringan, mudah dibangun dan mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan lantai komposit kayu-beton.

Untuk penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengetahui pengaruh kinerja jangka panjang jembatan TCC di bawah beban layan, termasuk analisis efek rangkai beton, dan pada perilaku *fatigue* pada sistem sambungan. Penelitian tentang ketahanan api, dan kerentanan terhadap perilaku getaran perlu dilakukan karena tuntutan akan kenyamanan dan keamanan pada bangunan tidak boleh diabaikan..

DAFTAR PUSTAKA

- Auclair, S.C., Sorelli, L., & Salenikovich, A., 2016, A New Composite Connector for Timber-Concrete Composite Structures, *Construction and Building Materials*, Vol. 112, Hal. 84-92
- Boccardo, L., dan Frangi, A., 2014, Experimental Analysis of the Structural Behavior of Timber-Concrete Composite Slabs made of Beech-Laminated Veneer Lumber, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 28 (6).
- Ceccotti, A. (2002). "Composite concrete-timber structures," *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 4, Hal. 264-275.
- Clouston, P., Bathon, L. A., and Schreyer A., 2005, Shear and Bending Performance of a Novel Wood-Concrete Composite System, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 131, hal. 1404-1412.
- Deam, B. L, Fragiaco, M., and Gross, L. S., 2008, Experimental Behavior of Prestressed LVL-Concrete Composite Beams, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 134, Hal. 801-809.
- Du, H., Hu, X., Han, G., and Shi, D., 2021, Experimental and analytical investigation on flexural behaviour of glulam-concrete composite beams with interlayer, *Journal of Building Engineering*, Vol. 38.
- European Committee for Standardization, 2004, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 2: Bridges, Brussels, Belgium.
- Fragiacomo, M., and Lukaszewska, E., 2011, Development of prefabricated timber-concrete composite floor systems, *Structures and Buildings*, Vol. 164, Hal. 117-129.
- Fragiacomo, M., Gregori, A., Xue J., Demartino, C., and Toso, M., 2018, Timber-concrete composite bridges: Three case studies, *Journal Traffic Transportation Engineering*, Vol. 5, Hal. 429-438.
- Fragiacomo, M., and Schänzlin, J. 2010, The effect of moisture and temperature variations on timber-concrete composite beams, *paper presented to the 11th WCTE 2010*, Riva del Garda, Trentino, Italy.
- Khorsandnia, N., Valipour, H. R., and Crews, K., 2012, Experimental and analytical Investigation of Short-term Behaviour of LVL-Concrete Composite Connections and Beams, *Construction and Building Materials*, Vol. 37, Hal. 229- 238.
- Lukaszewska, E., Fragiaco, M., and Johnsson, H., 2010, Laboratory Tests and Numerical Analyses of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 136, Hal. 46-55.
- Mai, K. Q., Park, A., Nguyen, K. T., and Lee, K., 2018, Full-scale static and dynamic experiments of hybrid CLT-concrete composite floor, *Construction and Building Materials*, Vol. 170, Hal. 55-65.
- Mudie, J., Sebastian, W. M., Norman, J., and Bond I. P., 2019, Experimental study of moment sharing in multi-joist timber-concrete composite floors from zero load up to failure, *Construction and Building Materials*, Vol. 225, Hal. 956-971.
- Yeoh, D., Fragiaco, M., and Deam, B., 2011, Experimental behaviour of LVL-concrete composite floor beams at strength limit state, *Engineering Structures*, Vol. 33, Hal. 2697-2707.