



Sifat tekan komposit sandwich dengan inti beton *cellular* diperkuat pin bambu sebagai bahan panel ringan

Compressive properties of sandwich composites with core of cellular concrete reinforced bamboo pin as lightweight panel material

A.D. Catur*, R. Sutanto, Salman, N.H. Sari, M. Wijana, M.T. Prijaya

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP081353663813

*E-mail: agus.dc@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 17 November 2022

Accepted 11 February 2023

Available online 01 April 2023

Keywords:

Sandwich

Lightweight

Concrete

Bamboo

Cellular lightweight concrete as sandwich composite core has the advantage of its density, with the presence of foam which makes it lighter. However, the presence of foam reduces its strength. Reinforcement with bamboo pins was carried out to increase the compressive strength of the sandwich composite. Bamboo pins connecting the composite skin reinforce the cellular lightweight concrete at an angle of 90°, 70°, 65° to the composite skin. With the addition of bamboo pins, it increases the compressive strength of the sandwich composite in both flat and edge directions.



Dinamika Teknik Mesin, Vol. 13, No. 1 April 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Sistem panel isolasi sebagai alternatif dari metode konstruksi tradisional telah menjadi lebih populer dalam beberapa dekade terakhir. Sistem memberikan perilaku ramah terhadap lingkungan tanpa mengorbankan kekuatan target. Panel isolasi sangat efektif di zona dengan sinar matahari ekstrim seperti negara dingin dan tropis panas, Fatima dkk. (2015). Panel beton ringan menjadi pilihan untuk bahan sekat ruangan karena berat jenis yang lebih kecil sehingga dapat mengurangi berat struktur dan volume struktur penyanggannya. Memakai beton sebagai inti komposit *sandwich* tidak sesuai dengan tujuan pembuatan komposit *sandwich* karena beton mempunyai densitas yang tinggi. Upaya telah dilakukan mengubah beton dengan densitas tinggi menjadi densitas rendah yang kemudian disebut beton ringan. Salah satunya adalah meniadakan agregat kasar dan memasukkan rongga udara ke dalam beton dalam bentuk busa yang dibuat dari *foaming agent* dan air. Beton ringan ini disebut *lightweight foamed concrete* (LFC) atau juga disebut *cellular lightweight concrete* (CLC).

Beton ringan selular memenuhi harapan sebagai inti pada panel berstruktur komposit *sandwich* dalam hal berat jenis, namun konsekuensi dengan adanya rongga udara di dalam beton ringan selular kekuatannya menjadi kecil. Problem yang akan dihadapi ketika memakai beton ringan selular sebagai bahan inti panel komposit *sandwich* adalah material ini tidak kuat menahan tekanan terutama arah *flat*. Gaya reaksi tekan bahan

ini tergantung pada kemampuan menahan dari elemen penyusun bahan yang terlemah yaitu beton ringan selular sebagai inti komposit *sandwich*. Gaya tekan dikenakan ke kulit panel komposit *sandwich* dan diteruskan ke intinya. Kekuatan tekan inti *sandwich* yang kecil menyebabkan kekuatan tekan panel komposit *sandwich* arah sumbu-z juga kecil. Gaya tekan aktuator diteruskan ke inti oleh lapisan kulit komposit *sandwich*, kekuatan tekan inti yang kecil menyebabkan kekuatan tekan komposit *sandwich* arah sumbu-z juga kecil, Sedaghatdoost dkk. (2017), Pamungkas dkk. (2020), Marfranklin dkk. (2019). Bentuk penguatan yang disisipkan pada *sandwich core* berbahan plastik tanpa banyak menambah berat komposit *sandwich* plastik yang dikembangkan oleh para peneliti adalah penguat berbentuk tenunan, jahitan, bundelan, pasak, dan stik, Nanayakkara dkk. (2012).

Qun dkk. (2018) melakukan penelitian pada panel dinding *sandwich* prefabrikasi jenis baru sebagai elemen struktural penahan beban pada bangunan terdiri dari kolom inti yang dibatasi oleh sengkang spiral di sepanjang penampang panel, blok beton pracetak antara dua lapisan struktural sebagai bagian insulasi internal, dan kerangka kawat baja tiga dimensi (3D) di setiap lapisan yang terdiri dari dua jaring kawat baja vertikal dihubungkan oleh batang baja pendek horisontal. Hasil pengujian tekan *axial* menunjukkan bahwa panel dinding memiliki kapasitas dukung beban yang baik dan kekakuan integral tanpa kegagalan lentur di luar bidang. Dibandingkan dengan panel dengan *wire mesh* baja planar di lapisan beton, panel dengan kerangka kawat baja 3D menghadirkan kekuatan yang lebih tinggi dan kekakuan yang lebih baik bahkan dalam kondisi rasio baja yang sama di panel yang memverifikasi bahwa kerangka baja 3D dapat sangat meningkatkan perilaku struktural panel *sandwich*. Untuk memperkuat performa tekan pada panel komposit *sandwich* beton ringan selular, konektor geser dari baja ditemukan efektif dalam memastikan ketahanan komposit sampai kegagalan panel. Panel dengan ketebalan yang relatif lebih kecil mengalami kegagalan tekuk pada penampang yang menjauhi daerah pembebanan sedangkan panel dengan ketebalan yang lebih tinggi mengalami kegagalan tekuk di dekat daerah pembebanan, Joseph dkk. (2018).

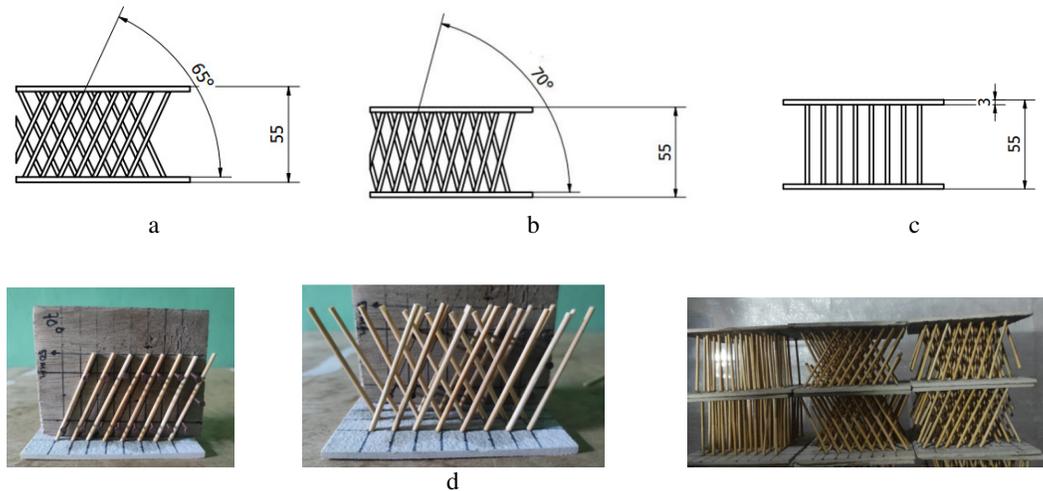
Inti komposit *sandwich* berbahan seluler seperti beton ringan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang kecil, sehingga komposit *sandwich* mengalami gagal saat menerima tekanan arah tegak lurus kulit (arah sumbu-z). Kekuatan tekan komposit *sandwich* dengan inti beton selular tanpa penguatan arah tegak lurus permukaan kulit sangat kecil, kekuatan ini hanya ditentukan oleh tegangan tekan maksimal yang dapat ditahan oleh beton selular saat aktuator ditekan dipermukaannya. Jika kedua kulit dihubungkan dengan bahan yang mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada kekuatan inti *sandwich* maka gaya tekan akan lebih banyak diterima oleh penghubung dua kulit tersebut. Penghubung antara kedua kulit itu disebut z-pin. Bahan yang lebih kuat dari beton ringan selular adalah bambu yang kemudian dibuat menjadi batang kecil (pin bambu) dalam penelitian ini. Pin bambu menghubungkan kedua kulit panel komposit *sandwich* yang mengapit inti berbahan beton ringan.

Bambu yang dimasa ini juga mengalami peningkatan dalam jumlah pemakaian selain menjadi perabotan atau furnitur kebutuhan rumah tangga dan lainnya, bambu merupakan alternatif yang menarik karena bambu mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan dapat dipanen 3-4 tahun, Amada dkk. (1997). Ketersediaan bambu di Indonesia (terutama di Nusa Tenggara Barat) melimpah dan tersebar hampir di sebagian wilayah yang menghasilkan produk nonkayu. Salah satu hasil hutan non kayu adalah bambu. Menurut data dari Dinas kehutanan Propinsi NTB (2011) Hutan NTB menghasilkan produk bambu sebanyak 231.264 batang/tahun yang tersebar di Kabupaten Lombok Barat, Lombok Timur, Lombok Tengah, Sumbawa Barat, Sumbawa, dan Bima. Dengan jumlah yang demikian melimpah, perlu dilakukan rekayasa teknologi terhadap bambu agar menghasilkan produk material yang kuat dan ramah lingkungan. Bambu secara mekanik mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (140-800 MPa), dan modulus elastisitas yang tinggi yaitu 140 GPa (Defoirdt dkk., 2010), setara dengan kekuatan tarik baja ringan. Sehingga serat bambu telah menjadi objek penelitian dalam mengembangkan material baru yang ramah lingkungan dengan digabungkan dengan material lain untuk membentuk material komposit, Anggela (2006), Trisono (2007), Setyawan dan Sugiman (2013), Kalapaksi dkk. (2014), Zaen dkk. (2014).

Untuk menambah kuat tekan komposit *sandwich* beton selular adalah menjadi problem yang menarik untuk diteliti dan dilaporkan, sehingga dapat mencapai kekuatan material struktur yang lebih baik lagi. Usaha memperkuat inti komposit *sandwich* berbahan beton ringan selular dilakukan dan dirancang untuk memperkuat komposit *sandwich* arah *flat*, material penguat *core* menghubungkan kulit atas dan bawah. Belum ada penguatan beton ringan selular pada inti panel komposit *sandwich* yang menggunakan pin yang menghubungkan antara dua kulit yang terbuat dari bahan *biodegradable*. Solusi yang dapat dikembangkan untuk mengatasi problem tersebut adalah dengan menambahkan penguat pada inti panel komposit *sandwich* dengan bahan *biodegradable* yang murah dan mudah dalam pengolahannya yaitu pin bambu. Pin bambu menghubungkan kedua kulit panel komposit *sandwich* yang mengapit inti berbahan beton ringan. Batang bambu kecil yang menghubungkan antara kulit atas dan kulit bawah komposit *sandwich* atau yang biasa disebut *pin* bambu menjadi solusinya, dengan harapan kekuatan mekanik bambu mampu menambah kekuatan mekanik komposit *sandwich* beton ringan selular. Tulisan ini merupakan pembuktian secara eksperimental bahwa pin bambu tersebut mampu menaikkan kekuatan mekanik panel komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular.

2. METODE PENELITIAN

Kulit panel komposit *sandwich* pada penelitian ini berbahan papan *calsiboard* dengan tebal 3 mm yaitu GRC *board*. Papan GRC kemudian dipotong sesuai dengan ukuran spesimen tekan yaitu 10 cm x 10 cm berdasarkan standar uji tekan komposit *sandwich* ASTM C 365/C 365M-05. Pin bambu dibuat dari bambu tali yang sudah tua ditandai dengan warnanya yang hijau memudar dan mulai menguning, bambu kemudian dikeringkan. Bambu dibelah dan diambil dagingnya, bagian kulit dan bagian dalam bambu dibuang. Bambu kemudian dibuat menjadi pin dengan diameter yang seragam yaitu 2,5 mm. Ukuran pin bambu yang digunakan untuk memperkuat inti komposit *sandwich* beton ringan memiliki diameter yang sama, tetapi panjang pin berbeda untuk kemiringan sudut pemasangan pin yang berbeda. Panjang pin bambu untuk variasi sudut 90° adalah 50 mm, untuk sudut 70° adalah 50,2 mm dan untuk variasi sudut 65° adalah 50,8 mm.



Gambar 1. Pin bambu menghubungkan kedua kulit komposit sandwich membentuk sudut a. 65°, b. 75°, c. 90°, d. pin terpasang pada kedua kulit.

Panel komposit *sandwich* beton ringan selular diperkuat dengan pin bambu terdiri dari kulit komposit dari *calsiboard*, inti *sandwich* (*core*) terbuat dari beton ringan *cellular*, dan penguat pin bambu yang menghubungkan kedua kulit panel komposit *sandwich* tersebut. Dalam proses pembuatannya kedua kulit komposit *sandwich* dihubungkan terlebih dahulu dengan *pin* bambu. Pin bambu ditempelkan ke kedua kulit dengan lem *cyanoacrylate etil* (lem G), jarak antar pin adalah 10 mm. Untuk membuat struktur lebih kokoh maka pin bambu dibenamkan ke dalam kulit sedalam 1 mm, pembuatan lubang sedalam 1 mm pada *calsiboard* dibuat dengan drill diameter 2,5 mm. Pemasangan pin bambu divariasikan yaitu membentuk sudut 60°, 75°, dan 90° terhadap horizontal sehingga membentuk ketebalan komposit *sandwich* 55 mm (gambar 1a, b, c).

Pembuatan inti panel komposit *sandwich* berupa beton ringan selular dimulai dengan penimbangan bahan agregat dan air. Adapun bahan yang dipersiapkan adalah semen portland 4 kg, pasir halus 4 kg, dan air 2 liter. Bahan tersebut dicampur dan diaduk di dalam wadah sampai tercampur dengan sempurna dengan menggunakan *mixer* menjadi beton basah. Beton dapat menjadi ringan karena berbentuk seluler yang didalamnya terdapat udara. Gelembung udara diperoleh dengan mencampurkan *foam* ke dalam beton saat masih basah. *Foam* ini dibuat dengan mencampur *foam agent* 200 ml dengan air 3 liter ke dalam *foam reactor*. Agar terbentuk *foam* yang kontinu maka reaktor harus dihubungkan ke udara bertekanan dari kompresor. *Foam* yang ke luar dari *foam reactor* kemudian disemprotkan ke permukaan beton basah dan diaduk menggunakan *mixer* membentuk beton selular basah. Pengadukan dilakukan dengan merata sehingga *foam* dapat tercampur dengan merata ke seluruh adonan. Pemberian dan pengadukan *foam* ke dalam beton basah dilakukan sampai diperoleh berat jenis beton selular basah 1 kg/liter. Pengecekan berat jenis ini harus selalu dilakukan untuk menjaga keseragaman berat jenis beton selular di setiap pencetakan spesimen.

Cetakan dipersiapkan dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 5,5 cm yang didalamnya sudah terdapat dua kulit komposit *sandwich* dan pin bambu yang menghubungkannya. Cetakan dimaksudkan agar beton selular cair yang di tuang diantara kedua kulit komposit *sandwich* tidak mengalir keluar rongga antara kedua kulit komposit *sandwich*. Cetakan sisi bawah dan ke dua sisi samping diolesi dengan oli bekas agar nantinya dapat dibongkar dengan mudah. Beton selular basah kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan diratakan dan dibiarkan menunggu proses pengerasan beton. Pembongkaran cetakan dilakukan setelah panel beton ringan selular telah

mengeras yaitu 12 jam setelah dicetak. Untuk kuat sempurna dibutuhkan waktu yang lama yaitu 28 hari. Setelah 28 hari spesimen dilakukan *finishing* berupa perataan sisi dengan pemotong gerinda.

Karakterisasi sifat fisik panel komposit *sandwich* beton selular didasarkan pada ASTM D792-91 untuk mengukur berat jenis komposit. Spesimen panel komposit *sandwich* diukur dengan jangka sorong. Volume komposit merupakan perkalian antara panjang, lebar dan tebal komposit. Spesimen ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 1 gram. Berat jenis komposit adalah berat komposit dibagi dengan volume komposit. Kekuatan tekan diuji pada arah tegak lurus permukaan komposit (arah *flat*) maupun tekan tepi (*edge*). Standar uji tekan yang diterapkan adalah ASTM C365, spesimen tekan diukur untuk menentukan dimensi spesimen. Pembebanan tekan dilakukan dengan *compressive testing machine* merk controls buatan Italy kapasitas 250 kN, alat uji tekan seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengujian tekan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Berat jenis komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular

Berat jenis bahan yang kecil memudahkan bahan diangkut dengan biaya bahan bakar untuk transportasi yang lebih sedikit. Bahan panel dengan berat jenis yang kecil maka konstruksi mempunyai bobot yang kecil sehingga bila terjadi gempa energi gempa konstruksi kecil. Berat jenis bata merah adalah 1200 kg/m^3 , berat jenis batako berkisar antara $2200 - 2400 \text{ kg/m}^3$, dan berat jenis beton isolasi diantara $1100 - 1600 \text{ kg/m}^3$, Prayuda dkk. (2017), Prayuda dkk. (2018), Mulyono (2015). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa berat jenis panel komposit *sandwich* beton ringan selular rata-rata dengan penguat pin bambu adalah 1031 kg/m^3 . Jika dibandingkan dengan bahan penyekat lain yang terbuat dari bata merah, beton isolasi maupun batako, berat jenis panel komposit *sandwich* beton ringan ini lebih kecil.

Penyusun komposit *sandwich* ini adalah kulit berupa GRC *board* dan inti berupa beton ringan selular dengan penguat pin bambu. Kulit komposit mempunyai berat yang sama untuk komposit yang divariasikan pada *core* nya yaitu seberat *calisbord* dengan ukuran $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 3 \text{ mm}$. Sedangkan berat *core* tergantung pada seberapa banyak material pin yang berada didalamnya. Hasil pengujian berat komposit *sandwich* menunjukkan bahwa pin bambu yang menghubungkan kedua kulit komposit *sandwich* tidak menambah secara signifikan berat komposit *sandwich*. Kehadiran variasi sudut pin tidak memberikan berat jenis yang berbeda pada komposit *sandwich* beton ringan selular. Hal ini dikarenakan komposisi volume pin bambu yang relatif sedikit terhadap volume total spesimen dan berat jenis pin bambu hampir sama dengan berat jenis beton ringan selularnya.

3.2 Kuat tekan komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular

Pengujian tekan dilakukan pada spesimen panel komposit *sandwich* beton ringan selular untuk mengetahui pengaruh penambahan pin bambu pada kekuatan tekan panel *sandwich* beton ringan selular tersebut. Kekuatan tekan komposit ditentukan oleh gaya maksimal yang dapat ditahan oleh *core* saat aktuator ditekan ke permukaan kulit komposit. Gaya tekan dari aktuator diteruskan ke *core* oleh lapisan kulit komposit. Kegagalan tekan komposit *sandwich* terjadi pada *core* yang terbuat dari beton ringan selular, karena bagian inilah yang paling lemah terhadap gaya tekan daripada kedua kulit yang mengapitnya.

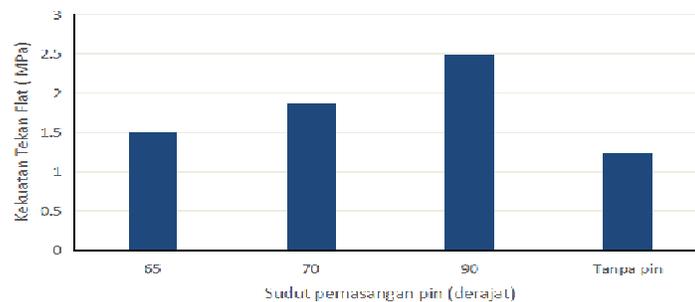
Pin bambu mempunyai sifat keuletan yang jauh lebih baik daripada beton ringan selular. Ketika aktuator tekan dikenakan pada kulit atas komposit *sandwich* maka *core* juga mendapatkan pemampatan/*displacement* tekan. Beton ringan selular dan pin bambu sebagai penyusun *core* mendapatkan *displacement* pemampatan yang sama. Namun karena sifat keuletan pin bambu lebih baik maka gaya tekan dengan *displacement* lebih jauh diterima oleh pin bambu daripada oleh beton ringan selular. Pin yang menghubungkan kulit atas dan bawah di dalam *core* menahan gaya tekan yang dikenakan pada kulit bagian atas komposit *sandwich* sampai pin menjadi patah karena *buckling*. Hal inilah yang menyebabkan komposit *sandwich* yang diperkuat pin bambu mempunyai kekuatan tekan yang lebih besar daripada kekuatan komposit *sandwich* yang tidak diperkuat pin bambu.



Gambar 3. Kegagalan tekan *flat* komposit *sandwich* beton ringan diperkuat pin bambu, a. runtuhnya beton ringan selular, b. pin bambu yang masih menghubungkan kedua kulit walaupun sudah patah dan beton ringan selular sudah runtuh

Kegagalan tekan komposit *sandwich* arah *flat* terjadi pada inti komposit *sandwich* yaitu pada beton ringan selular, karena bagian inilah yang paling lemah terhadap gaya tekan daripada kedua kulit yang mengapitnya. Pada proses pengujian, spesimen akan terus dikenai beban sampai spesimen tersebut menjadi rusak karena tidak mampu menahan beban yang diberikan. Hal ini di tandai dengan retak dan runtuhnya beton ringan selular akibat pembebanan tersebut (gambar 3a). Beton mempunyai sifat yang *brittle*, ketahanan terhadap deformasi yang rendah, sifat elastis yang sangat rendah, sehingga jika diberikan *displacement* yang kecil saja maka terjadi keretakan, perambatan retak, dan keruntuhan. Pada komposit *sandwich* dengan *core* berbahan *polyurethane rigid foam* juga terjadi kegagalan yang sama pada pin bambu yaitu gagal *buckling*, Catur dkk. (2018). Namun kegagalan tekan pada komposit *sandwich* arah *flat* beton ringan selular berbeda dengan yang terjadi pada komposit *sandwich* dengan *core* berbahan *polyurethane rigid foam* karena *plastic foam* ini bersifat plastis sedangkan beton selular bersifat *brittle*. Ketika *polyurethane rigid foam* mendapat beban tekan maka berdeformasi plastis tekan dan tetap menyatu dengan kedua kulit, sedangkan beton ringan selular bersifat *brittle* yang runtuh ketika mendapat gaya tekan melebihi kekuatannya.

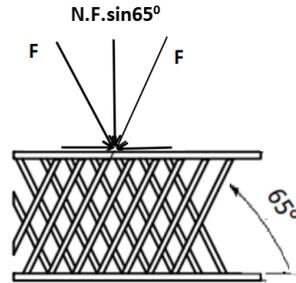
Sifat pin bambu jauh lebih ulet jika dibandingkan dengan beton ringan selular. Di awal pembebanan, komponen beton ringan dan pin bambu secara bersama menahan *displacement* aktuator tekan. Gaya reaksi tekan berasal dari perlawanan pin bambu dan beton ringan selular terhadap gaya aktuator tekan. Saat *displacement* tekan berlanjut menjadi lebih dalam maka beton ringan selular retak namun pin bambu masih dalam kondisi elastis dan utuh. Besar dan orientasi deformasi yang berbeda antara beton selular dan pin bambu menyebabkan terlepasnya beton selular dari ikatan dengan pin bambu dan akhirnya runtuh. Jika *displacement* tekan dilanjutkan maka gaya reaksi tekan hanya dari pin bambu saja sehingga pin bambu mengalami patah *buckling* seperti ditunjukkan pada gambar 3b.



Gambar 4. Kekuatan tekan *flat* komposit *sandwich* beton ringan selular terhadap sudut pemasangan pin bambu

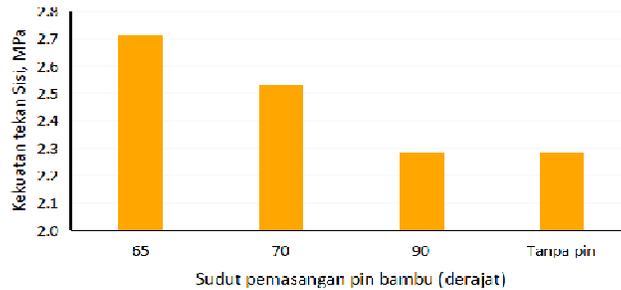
Kekuatan tekan komposit ditentukan oleh gaya maksimal yang dapat ditahan oleh inti komposit *sandwich* saat aktuator ditekan ke permukaan kulit komposit. Gaya tekan dari *actuator* diteruskan ke inti oleh lapisan kulit komposit. Kekuatan tekan komposit sangat tergantung pada kekuatan tekan inti komposit *sandwich*, semakin kuat inti komposit menahan beban tekan maka semakin tinggi kekuatan tekan komposit. Inti komposit *sandwich* yang terbuat dari beton ringan selular mempunyai kekuatan tekan yang rendah akibat adanya gelembung-gelembung udara di dalamnya sebagai konsekuensi berat jenis yang ringan. Untuk menaikkan kuat tekan maka kehadiran material lain diperlukan dalam penelitian ini adalah pin bambu, dan dari hasil eksperimen terbukti bahwa pin bambu mampu menaikkan kekuatan tekan komposit sandwich beton ringan selular tersebut. Grafik kekuatan tekan *flat* terhadap sudut pin bambu ditunjukkan pada gambar 4. Terlihat dari gambar 4 bahwa

pemasangan pin bambu ke dalam inti komposit *sandwich* meningkatkan kekuatan tekan *flat* rata-rata komposit *sandwich* dari 1,23 MPa menjadi antara 1,5 MPa sampai dengan 2,5 MPa, atau terjadi kenaikan kekuatan tekan *flat* rata-rata sebesar 22 % sampai dengan 103% tergantung dari sudut pin. Semakin besar sudut pemasangan pin bambu terhadap horisontal maka semakin besar kekuatan tekan *flat* komposit *sandwich* beton ringan.



Gambar 5. Gaya tekan pada pin bambu

Secara teoritis jika gaya yang mampu ditahan pin bambu pada arah *axial* pin adalah F , jumlah pin bambu N dan pin bambu mempunyai sudut α terhadap horisontal maka komponen gaya vertikalnya adalah $N.F.\sin \alpha$. Gaya $N.F.\sin \alpha$ dari pin bambu ini memberikan kontribusi terhadap gaya tekan komposit. Jika besar sudut α adalah 90° maka $\sin \alpha = 1$, gaya reaksi tekan oleh pin arah vertikal adalah terbesar yaitu $N.F.$, sehingga kekuatan komposit *sandwich* arah *flat* paling besar. Jika besar sudut α adalah 70° maka $\sin \alpha = 0,939$, gaya reaksi tekan oleh pin bambu arah vertikal adalah $0,939 N.F.$ Secara teoritis kekuatan tekan *flat* menjadi lebih kecil lagi jika pin bambu disusun pada sudut 65° (gambar 5). Hal ini terkonfirmasi dengan kekuatan tekan *flat* komposit *sandwich* beton ringan hasil uji secara eksperimental terlihat pada gambar 4 meningkat dengan meningkatnya besar sudut pemasangan pin bambu terhadap horisontal.



Gambar 6. Kekuatan tekan sisi komposit *sandwich* beton ringan selular terhadap sudut pemasangan pin bambu

Adapun kekuatan tekan sisi (arah *edge*) rata-rata komposit *sandwich* beton ringan selular diperlihatkan pada gambar 6. Kekuatan tekan rata-rata terbesar dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan sudut pemasangan pin bambu 65° terhadap horisontal yaitu sebesar 2,7 MPa, kemudian disusul oleh komposit *sandwich* dengan sudut pemasangan pin bambu 70° terhadap horisontal yaitu sebesar 2,5 MPa. Kekuatan tekan rata-rata arah sisi (*edge*) paling kecil dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan sudut pemasangan pin bambu 90° terhadap horisontal dan tanpa pin yaitu sebesar 2,3 MPa. Jika pada pembebanan tekan pada arah *flat* komponen gaya vertikal yang ditahan oleh pin $N.F.\sin \alpha$ maka pada arah *edge* komponen gaya vertikal yang ditahan oleh pin adalah $N.F.\cos \alpha$, sehingga semakin besar sudut α semakin kecil kekuatan tekan komposit *sandwich* arah *edge*. Secara umum bahwa kehadiran pin bambu yang menghubungkan kedua kulit *sandwich* menaikkan kekuatan tekan sisi rata-rata komposit *sandwich*. Hal yang serupa juga terjadi pada panel *sandwich* beton ringan, kuat tekan arah *axial* naik dengan diperkuat baja konektor geser tipe truss, Joseph dkk. (2018). Saat penekan mengenai komposit *sandwich* arah *edge*, beban tekan ditahan oleh *core* dan dua *skin* yang mengapitnya. Kedua material ini mengalami *displacement* yang sama tetapi karena *skin* terbuat dari bahan yang lebih kuat yaitu *calboard* maka beban lebih besar ditahan oleh *skin*. Penekan terus mendesak komposit arah *edge* dan akhirnya komposit mengalami kegagalan.



Gambar 7. Kegagalan tekan *edge* komposit *sandwich*

Jenis kegagalan yang terjadi diantaranya adalah terjadi pemisahan atau delaminasi antara kulit komposit (*calsiboard*) dengan inti komposit (beton ringan selular - pin bambu). Gaya tekan oleh aktuator membuat *calsiboard* melengkung karena *buckling*, sedangkan beton selular lebih cenderung untuk mampat. Disorientasi deformasi inilah yang menyebabkan terjadi pemisahan antara kulit komposit (*calsiboard*) dengan inti komposit (beton ringan selular - pin bambu). Jenis kegagalan tekan tepi pada komposit *sandwich* yang lainnya adalah seperti ditunjukkan pada gambar 7. Terjadi retak yang menjalar dan akhirnya runtuh pada beton selular, sedangkan pada pin bambu terjadi bengkok *buckling* karena gaya tekan *axial*.

4. KESIMPULAN

Penambahan pin bambu yang menghubungkan kulit atas dan kulit bawah pada komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular meningkatkan kuat tekannya baik arah *flat* (naik sampai dengan 103%) maupun arah tepi (naik sampai dengan 17,4%). Kenaikan kuat tekan tergantung pada sudut pemasangan pin bambu. Kuat tekan *flat* terbesar dimiliki komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular diperkuat pin bambu dengan sudut pin 90° yaitu sebesar 2,5 MPa, sedangkan kuat tekan *edge* terbesar 2,7 MPa dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular diperkuat pin bambu dengan sudut pin 65°. Penambahan pin bambu pada komposit *sandwich* dengan inti beton ringan selular tidak berdampak signifikan pada berat jenisnya, rata-rata berat jenis komposit *sandwich* adalah 1030 kg/m³.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pemikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Mataram atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian hibah internal 2022 yang dibiayai melalui DIPA BLU Universitas Mataram dengan nomor perjanjian 1627/UN18.L1/PP/2022. Yang ke tiga penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin dan Laboratorium Struktur Fakultas Teknik atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amada, S., Lchikawa, Y., Munekata, T., Nagase, Y., Shimizu, H., Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo, *Composites Part B*, 288, 13-20, 1997.
- Anggela, N.K.Y.C., Pengaruh jumlah dan konfigurasi lapisan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan tekan komposit hibrid bambu-fiberglass dengan matrik polyester dan epoxy, Skripsi, Universitas Mataram, Mataram, 2006.
- Catur, A.D., Suartika, I.M., Triadi, A.A.A., Wijana, M., Septiyadi, R., Mirmanto, M., Effect of insertion angle and distance of bamboo z-pin on shear and compressive strengths of sandwich composite, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 9(5), 488-497, 2018.
- Defoirdt, N., Subhankar, B., Linde, D., Assessment of tensile properties of coir, bamboo and jute fibre, *Composites Part A: Applied Science and Manufacture*, 41(5), 588 - 595, 2010.
- Fatima, A.I., Refaei, Mahmoud, T., El-Mihilmy, Tarek, M.B., Seismic behavior of sandwich panel walls, *World Applied Sciences Journal* 33(11), 1718-1731, 2015.

- Joseph, J.D.R., Prabakar, J., Alagusundaramoorthy, P., Experimental study on the behavior of lightweight concrete sandwich panels under axial compression, *Journal of Structural Engineering*, 44(6), 568-576, 2018.
- Kalapaksi, G., Setyawan, P.D., Sugiman, Catur, A.D., Ramadhani, M.F., Kekuatan tarik dan tekan komposit laminat hibrid aluminium-fiberglass-bambu, *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20*, UGM Jogjakarta, 2014.
- Marfranklin, M., Risdianto, Y., Pengaruh penambahan serat sabut kelapa pada pembuatan beton ringan cellular lightweight concrete, *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(1), 2019.
- Mulyono, T., *Teknologi beton: dari teori ke praktek*, Universitas Negeri Jakarta, 2015.
- Nanayakkara, A., Feih, S., Mouritz, A.P., Experimental impact damage study of a z pinned foam core sandwich composite, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 14, 469, 2012.
- Pamungkas, M.D., Risdianto, Y., Pengaruh penambahan serat botol plastik sebagai bahan tambah pembuatan beton ringan seluler (CLC), *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 2020.
- Prayuda, H., Nursyahid, H., Fadillawaty, S., Analisis sifat fisik dan mekanik bata beton di Yogyakarta, *Rekayasa Sipil*, 6(1), 29-40, 2017.
- Prayuda, H., Setyawan, E.A., Fadillawaty, S., Analisis sifat fisik dan mekanik batu bata merah di Yogyakarta, *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 1(2), 94-104, 2018.
- Qun, X., Shuai, W., Chun, L., Axial compression behavior of a new type of prefabricated concrete sandwich wall panel, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 317, 012063, 2018.
- Sedaghatdoost, A., Amini, M., Mechanical properties of polyolefin fiber-reinforced light weight concrete, *Civil Engineering Journal*, 3(9), 759-765, 2017.
- Setyawan, P.D., Sugiman, Pengaruh densitas honeycomb bambu sebagai inti komposit sandwich terhadap kekuatan bending komposit sandwich, *Jurnal REFORMA*, 2(2), 2013.
- Trisono, A., Kekuatan bending komposit hibrid bambu-fiberglass/polyester dan bambu-fiberglass/epoxy, *Skripsi*, Universitas Mataram, 2007.
- Zaen, U., Sugiman, Setyawan, P.D., Investigasi kekuatan bending komposit laminat aluminium-fiberglass-bambu, *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20*, UGM, Jogjakarta, 2014.