

PENGARUH *CORE HONEYCOMB* KOMPOSIT SANDWICH TERHADAP KEKUATAN *COMPRESS* DENGAN METODE *VACUUM BAGGING*

¹Darwin, ²Ikbal Rizki Putra, ³Sehono

^{1,2,3}Teknik Dirgantara, STTKD Yogyakarta

Abstrak

Komposit sandwich merupakan kombinasi dua material dengan sifat yang berbeda, ketika digabungkan membentuk satu material yang memiliki sifat dan ketahanan lebih kuat daripada bahan penyusunnya. Struktur ini terdiri dari lapisan permukaan (*skin*) dan bagian inti (*core*). Penelitian ini menggunakan *skin* fiberglass woven roving, *core* polylactid acid (PLA), dan disatukan menggunakan resin polyester. Salah satu teknologi baru yang digunakan saat ini adalah 3D printing, yang memungkinkan pembuatan produk dengan bentuk tiga dimensi. Penelitian bertujuan menghasilkan produk komposit baru dengan menciptakan variasi *core honeycomb* yang berorientasi vertikal dan horizontal, yang dikombinasikan dengan *core* berbahan PLA yang dicetak menggunakan teknologi 3D printing. Proses manufaktur menggunakan metode *vacuum bagging* karena prosesnya lebih sederhana. Pengujian dilakukan dengan metode *flatwise compressive* untuk mengevaluasi ketahanan spesimen terhadap beban kompresi yang diberikan. Hasil pengujian menunjukkan dari keempat spesimen komposit sandwich *core honeycomb* yang berorientasi vertikal, nilai kekuatan tekan maksimum tertinggi terdapat pada *honeycomb* vertikal 3, mencapai 61,310 MPa dengan beban maksimum 46434 N. Sementara itu, pada keempat spesimen komposit sandwich *core honeycomb* yang berorientasi horizontal, nilai kekuatan tekan maksimum tertinggi ditemukan pada *honeycomb* horizontal 2, mencapai 15,265 MPa dengan beban maksimum 13603 N. Dari hasil pengujian tersebut disimpulkan bahwa komposit sandwich *core honeycomb* yang berorientasi vertikal memiliki kekuatan struktur yang lebih unggul.

Kata kunci: Komposit Sandwich, Fiberglass, PLA, 3D printing, Vacuum Bagging, Uji Compress.

Abstract

Sandwich composites are a combination of two materials with different properties, when combined to form one material that has stronger properties and resistance than its constituent materials. This structure consists of a surface layer (*skin*) and a core (*core*). This study used fiberglass woven roving skin, core polylactid acid (PLA), and put together using polyester resin. One of the new technologies used today is 3D printing, which allows the manufacture of products with three-dimensional shapes. The research aims to produce new composite products by creating vertical and horizontally oriented variations of honeycomb cores, combined with PLA cores printed using 3D printing technology. The manufacturing process uses the vacuum bagging method because the process is simpler. The test is performed by flatwise compressive method to evaluate the resistance of the specimen to a given compression load. The test results showed that of the four vertically oriented honeycomb sandwich core composite specimens, the highest maximum compressive strength value was found in vertical honeycomb 3, reaching 61,310 MPa with a maximum load of 46434 N. Meanwhile, in the four horizontally oriented honeycomb sandwich core composite specimens, the highest maximum compressive strength value was found in horizontal honeycomb 2, reaching 15,265 MPa with a maximum load of 13603 N. From the test results It was concluded that the vertically oriented honeycomb sandwich core composite has superior structural strength

Keywords: Sandwich Composite, Fiberglass, PLA, 3D printing, Vacuum Bagging, Compress Test.

Pendahuluan

Seiring dengan populasi manusia yang terus mengalami peningkatan sejalan dengan perkembangan zaman yang semakin modern khususnya didunia penerbangan maka tak luput juga dengan teknologi yang ikut berkembang, salah satunya pada teknologi transportasi udara yang membuat peneliti melakukan pengujian dan berbagai inovasi dari teknologi baru yang berkembang. Kebutuhan akan material pesawat *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang mempunyai sifat kuat, ramah lingkungan dan ringan menjadi aspek pertimbangan utama yang dibutuhkan oleh produsen.

¹Email Address: arwinnurdin3@gmail.com

Received 24 Oktober 2023, Available Online 30 Desember 2023

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.959>

Penggunaan material komposit dalam produksi UAV saat ini mengalami perkembangan yang signifikan sejalan dengan peningkatan pemanfaatan bahan komposit dalam elemen-elemen pesawat terbang khususnya UAV. Komposit merupakan hasil dari menggabungkan minimal dua jenis bahan, terdiri dari bahan pengisi (*filler*) dan *matriks*. Kelebihan komposit dibandingkan dengan bahan lain dalam pembuatan komponen UAV meliputi sifat kekuatan, ringan, ketahanan terhadap korosi, efisiensi biaya, serta daya tahan yang lebih lama (Prakoso and Amrullah, 2020).

Teknologi *3D printing* merupakan teknologi yang berkembang pesat pada saat ini. Teknologi ini dapat membuat objek dengan mencetak lapisan per lapisan dengan material yang telah ada dari input perangkat lunak desain pada *computer aided design* yang prinsip kerjanya mengubah *input* data menjadi *output* berupa bentuk tiga dimensi (Putra and Sari, 2018).

Penerapan konsep ini pada bagian *fuselage* pesawat UAV. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan pengembangan material komponen yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan. Dimana pada penelitian ini penulis akan menggunakan variasi *core honeycomb* yang berorientasi *vertikal* dan *horizontal*, yang dikombinasikan dengan *core* berbahan PLA yang dicetak menggunakan teknologi *3D printing*, metode manufaktur *vacuum bagging* dan nantinya dilakukan pengujian *compress*.

Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

Menurut (Zeng *et al.*, 2021) struktur sandwich adalah komposit laminasi yang ringan dan kokoh. Biasanya, terdiri dari dua lapisan permukaan (*skin*) dan inti (*core*) berbentuk *honeycomb* atau busa *polimer* dengan kepadatan rendah. Ketebalan inti 4mm menghasilkan momen inersia tinggi dan meningkatkan kekuatan struktur komposit *sandwich*. Kemudian pada penelitian yang bertujuan mengukur *modulus* kompresi dan kekuatan inti *honeycomb nomex*. Uji dilakukan pada empat *core honeycomb nomex* dengan kepadatan berbeda: 32, 48, 50, dan 96 kg/m³. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *core* dengan dinding tipis mengalami deformasi luas pada dinding sel dan cenderung miring secara *horizontal* saat diberi beban *vertikal*. *Core* dengan dinding lebih tebal mengalami kegagalan akibat instabilitas geser sel, ditandai dengan miringnya segmen dinding sel *vertikal* (Ayanoglu, Tauhiduzzaman and Carlsson, 2022). Pada penelitian yang melakukan pengujian *compress* pada *honeycomb* yang diperkuat serat karbon. *Honeycomb* diproduksi dengan resin epoksi disuntikkan melalui kain serat karbon dalam cetakan *honeycomb*. Hasil pengujian menunjukkan kekuatan yang signifikan dan kemampuan baik dalam menyerap energi pada variasi tingkat regangan yang diuji (Alia *et al.*, 2020).

Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* adalah struktur yang terdiri dari 2 material atau lebih yang berupa kulit luar (*skin*) yang berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress* dan *core* sebagai bagian inti komposit *sandwich* yang keduanya dipisahkan oleh lapisan bagian dalam material dengan densitas kecil. Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk memiliki efisiensi berat yang optimal, tapi mempunyai tingkat kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Setiyawan, Respati and Dzulfikar, 2020).

Vacuum Bagging

Metode *vacuum bagging* merupakan proses manufaktur material komposit dengan penekanan lapisan laminasi secara bersamaan didalam cetakan menggunakan tekanan atmosfer yang merata. Tujuan tahapan *vacuum* terhadap laminasi yaitu untuk menghilangkan resin berlebih dan menghilangkan udara yang terperangkap pada laminasi (Rahadiyanto, 2018).

3D Printing

Teknologi *3D printing* atau *Manufacturing additive* merupakan teknologi modern yang dapat membuat objek dengan mencetak lapisan per lapisan dengan material yang telah ada dari perangkat lunak desain pada *computer aided design (CAD)* (Shahrudin, Lee and Ramlan, 2019).

Pengujian Compress

Uji tekan (*Compression Test*) merupakan salah satu bentuk pengujian yang menentukan perilaku material dibawah beban tekan yang terus meningkat. Selama pengujian, tekanan yang diterapkan pada spesimen menggunakan pelat kompresi atau alat khusus yang dipasang pada mesin uji universal guna untuk menentukan berbagai sifat material yang diuji. Data dari pengujian memberikan hasil dalam bentuk *stress – strain diagram* yang menampilkan batas elastis, batas proporsionalitas, *yield point*, dan beban tekanan. Pengujian *compress* memiliki dua metode diantaranya, *Edgewise Compressive* dan *Flatwise Compressive* (Mokoagow *et al.*, 2022). Dibawah ini merupakan Persamaan (1) yang digunakan sebagai rumus perhitungan.

Kekuatan *Compress*

$$\rho = \frac{F}{A} \dots \dots (1)$$

Keterangan:

ρ = Kekuatan tekan maksimum (MPa)

F = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan (mm^2)

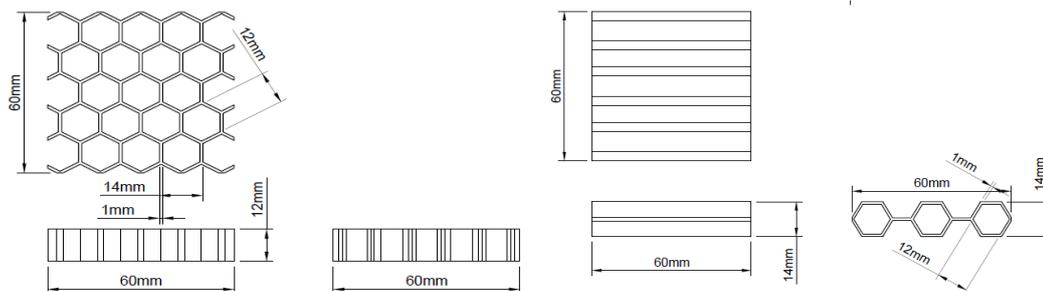
Metode Penelitian

Rancangan Penelitian

Langkah awal peneliti yaitu menentukan *requirement* yang dibutuhkan, kemudian setelahnya dilakukan pengujian *compress* guna mendapatkan data untuk dilakukan analisis terhadap kekuatan masing-masing spesimen.

Desain Spesimen

Pada penelitian ini pembuatan desain dilakukan secara manual menggunakan aplikasi perangkat lunak Fusion360. Desain dibuat dengan mengacu pada standar *American Society for Testing and Materials International, 2003 (ASTM) C365*. Setelah itu dilakukan proses *3D printing* untuk menghasilkan produk yang berupa bentuk tiga dimensi. Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis desain variasi *core honeycomb* dengan posisi *vertikal* dan *horizontal* yang ditunjukkan pada Gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Desain Honeycomb Dengan Posisi (a) Vertikal, (b) Horizontal

Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang dilaksanakan sebagai berikut:

1. Studi literatur memahami serta mempelajari perangkat lunak Fusion 360 untuk pembuatan desain *core*.
2. Pengaplikasian secara langsung pada aplikasi fusion dengan parameter ukuran desain yang digunakan menyesuaikan standar ASTM C365. Terkait variasi desain yang digunakan meliputi bentuk *infill* pada bagian inti yaitu *honeycomb* dengan posisi *vertikal* dan *horizontal*.
3. Proses input data untuk dilakukan pembuatan spesimen dengan mesin 3D *printing*. Dalam hal ini ada beberapa aspek yang harus disesuaikan tergantung dari bahan yang digunakan seperti, suhu meja, kerapatan dan suhu *nozzle*.
4. Proses manufaktur, pada rangkaian ini semua komponen penyusun komposit *sandwich* digabungkan menjadi satu bagian utuh dengan metode *vacuum bagging*.
5. Melakukan pengujian bending guna mendapatkan data yang valid dari spesimen yang telah diujikan.

Hasil dan Pembahasan

Spesimen berjumlah 8 buah, masing-masing 4 buah untuk variasi komposit *sandwich core honeycomb* dengan posisi *horizontal*, 4 buah *komposit sandwich core honeycomb* dengan posisi *vertikal*. Pengujian *compress* dilaksanakan menggunakan alat *Mechanical Testing Machine* (MTS E64) di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Negeri Yogyakarta (FT-UNY) dengan standar dimensi komposit sesuai ASTM C365. Berikut merupakan tabel hasil pengujian *compress*.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Compress*

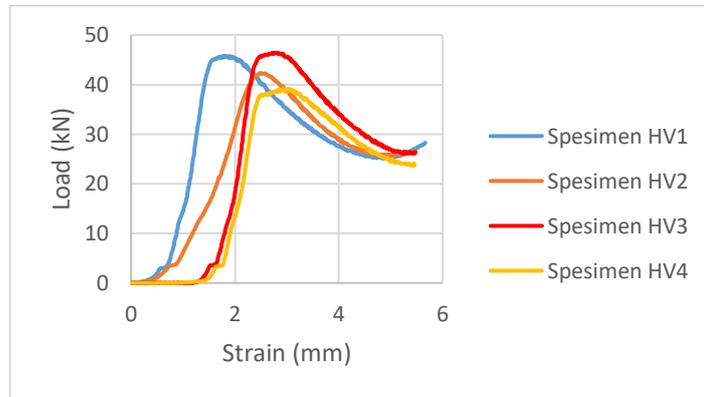
No.	Kode Spesimen	Beban Maksimum		Modulus Elastisitas kN/mm ²	Luas Permukaan Area mm ²	Kekuatan Tekan Maksimum $\rho = F/A$ (MPa)
		(N)	(kN)			
1	HV1	45777	45,777	1,497	756,075	60,546
2	HV2	42320	42,320	0,730	781,830	54,129
3	HV3	46434	46,434	1,619	757,358	61,310
4	HV4	39124	39,124	1,423	749,887	52,173
Rata rata		43413,750	43,414	1,317		57,040
5	HH1	11743	11,743	0,370	902,878	13,006
6	HH2	13603	13,603	0,414	891,130	15,265
7	HH3	13417	13,417	0,448	891,103	15,057
8	HH4	3935	3,935	0,147	873,292	4,506
Rata rata		10674,50	10,675	0,34		11,958

Berdasarkan hasil pengujian *compress* yang telah dilakukan, terlihat pada tabel 1. Beban maksimum tertinggi pada komposit *sandwich core honeycomb vertical position* ada pada spesimen HV3 yaitu 46434 N, serta memiliki kekuatan tekan maksimum sebesar 61,310 MPa dan beban maksimum terendah terdapat pada spesimen HV4 yaitu 39124 N dengan nilai kekuatan tekan maksimum sebesar 52,173 MPa. Sedangkan pada variasi komposit *sandwich core honeycomb horizontal position* beban maksimum ada pada spesimen HH2 yaitu 13603 N, serta memiliki kekuatan tekan maksimum sebesar 15,265 MPa dan beban maksimum terendah terdapat pada spesimen HH4 yaitu 3935N dengan kekuatan tekan maksimum sebesar 4,506 MPa.

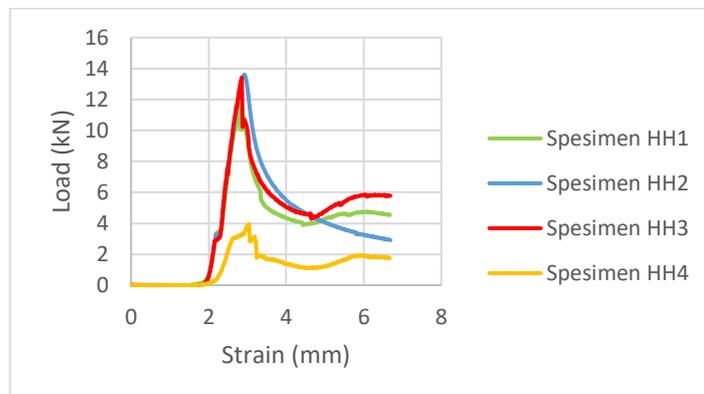
Untuk rata-rata dari nilai beban maksimum pada komposit *sandwich core honeycomb vertical*

position yaitu sebesar 43413,750 N atau 43,414 kN, rata-rata dari nilai *modulus elastisitas* yaitu 1.317 kN/mm², dan rata-rata dari nilai kekuatan tekan maksimum sebesar 57,040 MPa. Sedangkan rata-rata nilai beban maksimum pada variasi komposit *sandwich core honeycomb horizontal position* sebesar 10674,50 N atau 10,675 kN, rata-rata nilai *modulus elastisitas* yaitu 0,34 kN/mm², dan rata-rata nilai dari kekuatan tekan maksimum sebesar 11,958 MPa.

Selanjutnya pada Gambar 2 dan 3. berikut menunjukkan kurva hubungan antara *load* (kN) vs *strain* (mm) pada spesimen komposit *sandwich core honeycomb vertikal position* dan *horizontal position*.

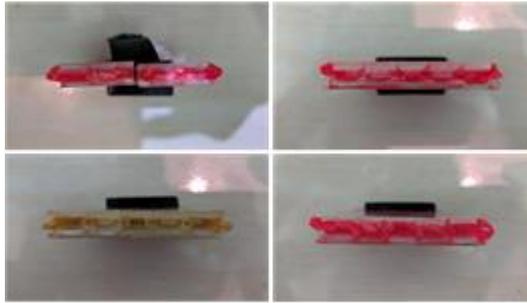


Gambar 2. Kurva *Load* (kN) vs *Strain* (mm) Pada Komposit *Sandwich Core Honeycomb Vertikal Position*.



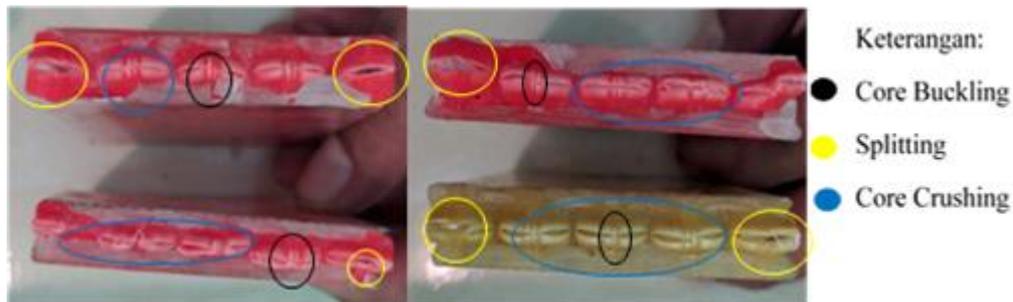
Gambar 3. Kurva *Load* (kN) vs *Strain* (mm) Pada Komposit *Sandwich Core Honeycomb Horizontal Position*.

Pada Gambar 2 dan 3 diatas, terlihat puncak yang menunjukkan nilai beban maksimum yang mampu dihasilkan oleh material sebelum terjadi kerusakan atau kegagalan pada spesimen. Setelah mengalami deformasi, maka akan terbentuknya puncak utama (*peak load*) dan setelah melewati *peak load* tersebut maka akan terjadi penekukan (*folding*) dan penghancuran (*crushing*) pada spesimen. Panjang kurva akan berubah seiring dengan kenaikan beban permenitnya. Pada Gambar 2. Beban maksimum tertinggi terdapat pada spesimen HV3 yaitu sebesar 46,434 kN dan beban maksimum terendah terdapat pada spesimen HV4 dengan nilai sebesar 39,124 kN. Sedangkan, nilai *strain* tertinggi ada pada spesimen HV1 sebesar 5,67 mm dan nilai *strain* terendah terdapat pada spesimen HV4 yaitu 5,44 mm. sedangkan pada gambar 3 Nilai Beban maksimum tertinggi terdapat pada spesimen HH2 yaitu sebesar 13,603 kN, dan beban maksimum terendah ada pada spesimen HH4 dengan nilai sebesar 3,935 kN. Sedangkan, nilai *strain* tertinggi terdapat pada spesimen HH3 sebesar 6,69 mm dan nilai *strain* terendah terdapat pada spesimen HH1 yaitu 6,65 mm.



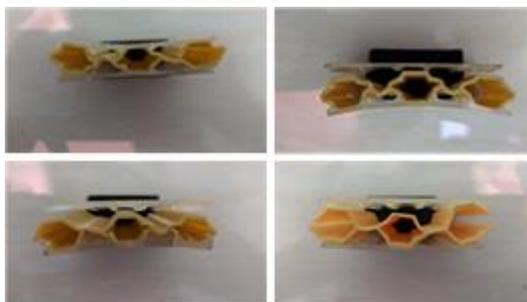
Gambar 4. Effect Vacuum Bagging Pada Skin Komposit Sandwich Vertikal Position Setelah Dilakukan Pengujian

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa meskipun spesimen telah mengalami proses pengujian, lapisan kulit (*skin*) dan inti (*core*) tetap terikat dengan kuat dan tidak ada retakan yang terlihat pada setiap *skin*. Selain itu, tidak terdapat resin yang masuk pada beberapa bagian *infill core*.



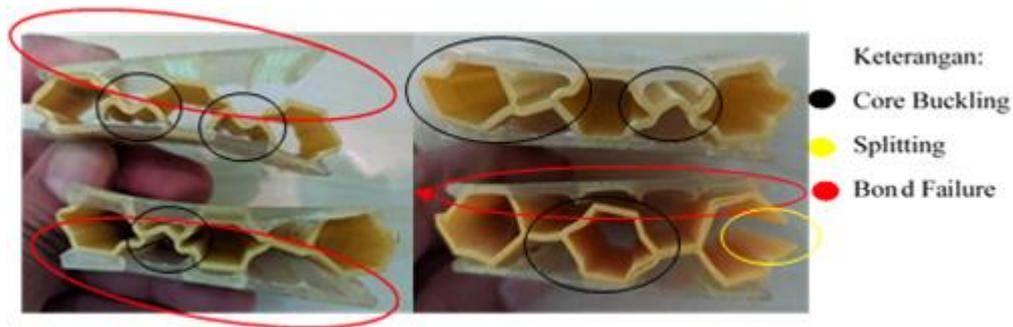
Gambar 5. Effect Vacuum Bagging Pada Core Komposit Sandwich Vertikal Position Setelah Dilakukan Pengujian

Pada Gambar 5. Terlihat Seluruh spesimen mengalami bentuk kegagalan yang cenderung sama yaitu *core buckling* yang dimana terjadi karena adanya pemberian beban terhadap spesimen sehingga menyebabkan *core* menekuk dan terjadi deformasi. Terjadi *splitting* pada beberapa spesimen yang dimana menyebabkan terjadinya pecahan pada area *core* yang disebabkan ketidakmampuan *core* dalam menahan beban *compress*. Selain itu terjadi *core crushing* pada seluruh spesimen yang disebabkan karena ketidakmampuan *core* dalam menahan beban *compress* yang diberikan pada saat pengujian sehingga mengakibatkan *core* menjadi rusak dan terjadi deformasi.



Gambar 6. Effect Vacuum Bagging Pada Skin Komposit Sandwich Horizontall Position Setelah Dilakukan Pengujian

Pada Gambar 6. menunjukkan setelah spesimen mengalami proses pengujian, spesimen mengalami penekukan (*folding*) yang mengakibatkan lapisan kulit (*skin*) terpisah dari inti (*core*). Hal ini terjadi karena desain *core honeycomb horizontal position* memiliki luas permukaan yang lebih licin sehingga mengakibatkan kurangnya daya rekat antara *skin* dan *core*.



Gambar 7. Effect Vacuum Bagging Pada Core Komposit Sandwich Horizontal Position Setelah Dilakukan Pengujian

Terlihat pada Gambar 7. Seluruh spesimen mengalami bentuk kegagalan yang cenderung sama yaitu *core buckling* yang dimana terjadi karena adanya pemberian beban terhadap spesimen sehingga menyebabkan *core* menekuk dan terjadi deformasi. Selain itu pada tiga buah spesimen mengalami bentuk kegagalan *bond failure* yang dimana terjadi karena adanya pemberian beban terhadap spesimen sehingga menyebabkan antara *skin* dan *core* terlepas. Terjadi *splitting* pada satu buah spesimen yang dimana menyebabkan terjadinya pecahan pada area *core* yang disebabkan ketidakmampuan *core* dalam menahan beban *compress*. Kesimpulannya pada variasi *core honeycomb horizontal position* memiliki kerusakan yang lebih sedikit dibandingkan pada *core honeycomb vertikal position*. Ini dikarenakan *core honeycomb vertikal position* memiliki variasi yang lebih kompleks sehingga dapat mengikat resin dan serat dengan baik. Selain itu, pada spesimen *honeycomb vertikal position* memiliki persebaran beban yang lebih banyak jika dibandingkan dengan spesimen *honeycomb horizontal position*.

Kesimpulan

Didapatkan hasil pengujian *compress* bahwa variasi komposit *sandwich core honeycomb vertikal position* memiliki kekuatan yang lebih baik daripada *sandwich core honeycomb horizontal position*. Dimana beban rata-rata pada variasi *honeycomb* berorientasi *vertikal* didapatkan sebesar 57,040 MPa dan kekuatan *bending* rata-rata sebesar 43413,750 N atau 43,414 kN. *Core honeycomb vertikal position* memiliki kekuatan yang lebih unggul karena memiliki persebaran beban yang lebih luas. Penggunaan metode *vacuum bagging* lebih unggul untuk komposit *sandwich core honeycomb vertikal position*. Hal ini disebabkan setelah dilakukan pengujian *compress*, *skin* dan *core* pada komposit *sandwich core honeycomb vertikal position* tetap terikat dengan baik tanpa mengalami *crushing* pada *skin*.

Daftar Pustaka

- Alia, R. A. *et al.* (2020) 'The effect of loading rate on the compression properties of carbon fibre-reinforced epoxy honeycomb structures', *Journal of Composite Materials*, 54(19), pp. 2565–2576. doi: 10.1177/0021998319900364.
- Ayanoglu, M. O., Tauhiduzzaman, M. and Carlsson, L. A. (2022) 'In-plane compression modulus and strength of Nomex honeycomb cores', *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 24(1), pp. 627–642. doi: 10.1177/10996362211021888.
- Materials, C. (2003) 'Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores 1', *Current*, i, pp. 2–4. doi: 10.1520/C0365.
- Mokoagow, M. A. *et al.* (2022) 'Mekanik Dan Morfologi Patahan Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon Ud 12k Layer 2c2'.
- Prakoso, A. and Amrullah, F. (2020) 'Analisa Kekuatan Struktur Dan Pembuatan Fuselage UAV Dengan Metode Vacuum Bagging', *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 6, pp. 107–114. doi: 10.28989/senatik.v6i0.432.
- Putra, K. S. and Sari, U. R. (2018) 'Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup', *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018*, pp. 1–6.
- Rahadiyanto, A. (2018) 'Perbaikan Proses Pembuatan Produk Komposit Dengan Metode Vacuum Bagging', *Tugas Akhir*.

Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, p. 9.

- Setiyawan, D., Respati, S. M. B. and Dzulfikar, M. (2020) 'Analisa Kekuatan Komposit Sandwich Karbon Fiber Dengan Core Styrofoam Sebagai Material Pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik & Uji Bending)', *Jurnal Ilmiah Momentum*, 16(1), pp. 1–5. doi: 10.36499/mim.v16i1.3345.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C. and Ramlan, R. (2019) 'An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications', *Procedia Manufacturing*, 35, pp. 1286–1296. doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- Zeng, C. *et al.* (2021) 'Bending performance and failure behavior of 3D printed continuous fiber reinforced composite corrugated sandwich structures with shape memory capability', *Composite Structures*, 262(August 2020), p. 113626. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113626.