

Karakteristik mekanik *honeycomb sandwich* komposit *fiberglass* dengan dimensi *cell-pitch* 40 mm dan *cell height* 15 mm

Marsono¹, Daud Haluk¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Jl. PKH. Mustapha No. 23. Bandung, 40124, Indonesia
Email korespondensi: marsono@itenas.ac.id

Abstrak

Material dengan struktur *honeycomb sandwich* telah banyak dimanfaatkan karena kekuatan strukturnya yang relatif tinggi dengan bobot yang ringan. Material jenis ini cocok digunakan pada mobil hemat energi, yaitu dalam rangka meningkatkan *power to weight ratio*. Kajian ini dilakukan untuk melanjutkan penelitian sebelumnya dengan inti pembahasan pada kekuatan lentur dan kekakuan panel *honeycomb sandwich*. Panel *honeycomb sandwich* yang dibuat dari bahan komposit serat kaca nantinya akan diterapkan untuk *chassis monocoque*. Beberapa panel *honeycomb sandwich* dibuat dengan variasi ketebalan dinding sel yang diperoleh dari variasi penerapan lapisan *fiberglass*, yaitu 1 lapis, 2 lapis dan 4 lapis *fiberglass*. Ketebalan dinding sel *honeycomb* dibuat bervariasi untuk melihat perbedaan kekuatan lentur dan kekakuan dari setiap panel *honeycomb sandwich*. Pengujian lentur yang dilakukan menunjukkan bahwa dinding sel *honeycomb* dengan 4 lapis *fiberglass* memberikan kekuatan lentur tertinggi yaitu 2,158 kg/mm². Kekakuan terbesar juga dicapai pada panel dengan dinding sel *honeycomb* dengan 4 lapis *fiberglass*, yaitu 7,41 kg/mm.

Kata kunci: *honeycomb sandwich*, komposit *fiberglass*, kekuatan lentur, kekakuan.

Abstract

Material with *honeycomb sandwich* structure is widely used due to its relatively high structural strength and light weight. This material for use in energy-efficient vehicle, in order to increase *power to weight ratio*. This research is continuation of previous research with the core discussion on the *honeycomb sandwich* panel flexural strength and stiffness. *Honeycomb sandwich* panels that were made from *fiberglass* composite will be applied for *monocoque chassis*. Some *honeycomb sandwich* panels are made with variations in cell wall thickness as an effect of a number of *fiberglass* layers that is used, which are 1 layer, 2 layers and 4 layers of *fiberglass*. The thickness of the *honeycomb* cell wall is varied to see the difference in flexural strength and stiffness of each panel. The bending tests that have been carried out showed that *honeycomb* cell walls with 4 layers of *fiberglass* provide the highest flexural strength, which is 2.158 kg / mm². The highest stiffness was also achieved in panels with *honeycomb* cell walls with 4 layers of *fiberglass*, which is 7.41 kg / mm.

Keywords: *honeycomb sandwich*, *fiberglass* composite, flexural strength, stiffness.

1. Pendahuluan

Kendaraan dengan penggerak motor listrik adalah salah satu solusi untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat emisi karbondioksida dan sulfur-dioksida yang ditimbulkan oleh kendaraan dengan penggerak motor bakar. Kendaraan listrik juga mampu mengurangi penggunaan bahan bakar minyak dan pada gilirannya akan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar minyak. Menipisnya cadangan minyak bumi akibat penggunaan kendaraan bermotor mempercepat terjadinya krisis energi serta melambungnya harga minyak bumi. Pemanfaatan kendaraan berpengerak motor listrik akan menjadi alternatif solusi pengurangan penggunaan bahan bakar fosil dan memperlambat terjadinya krisis energi [1].

Pengembangan mobil listrik masih memiliki banyak tantangan, mulai dari harga yang lebih mahal daripada mobil dengan penggerak motor bakar, teknologi

baterai *ion lithium* yang mahal sampai kepada masalah efisiensi energi. Pemanfaatan energi secara maksimal salah satunya dapat dicapai dengan membuat bobot kendaraan yang ringan untuk mendapatkan *power to weight ratio* yang maksimal. *Power to weight ratio* yang besar dapat diperoleh melalui penggunaan *chassis* yang ringan dengan memanfaatkan teknologi bahan dengan struktur *honeycomb sandwich*. Kajian ini membahas mengenai pengembangan material dengan struktur *honeycomb sandwich* yang akan digunakan dalam pembuatan *chassis* mobil hemat energi jenis *monocoque*. Dalam kajian ini, dibuat panel *honeycomb sandwich* dengan ukuran *cell-pitch* yang sama dengan panel *honeycomb sandwich* pada kajian sebelumnya, tetapi dengan ukuran *cell-height* yang lebih kecil. Panel *honeycomb sandwich* juga dibuat dengan variasi ketebalan dinding sel *honeycomb*. Material yang digunakan adalah komposit *fiberglass*. Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan angka

kekuatan lentur (*flexural strength*) dan kekakuan (*stiffness*) dari setiap panel dengan variasi ketebalan sel *honeycomb* serta menambah data dari kajian sebelumnya.

2. Metode

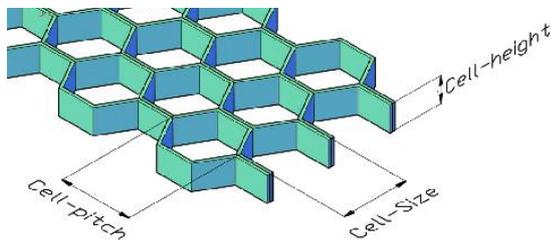
Honeycomb sandwich adalah pengembangan teknik struktur untuk material komposit. Pengurangan berat menjadi pertimbangan utama dalam pengembangan struktur *honeycomb sandwich*. Metode peningkatan kekuatan melalui pemanfaatan struktur *honeycomb sandwich* ini menjadi pilihan yang lebih baik dibanding dengan penambahan ketebalan material. Struktur *honeycomb sandwich* memberikan efisiensi struktural yang sangat baik, yaitu, dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi [2].

Honeycomb sandwich banyak digunakan dalam rancangan dan konstruksi sistem transportasi ringan untuk mendapatkan *power to weight ratio* yang besar. *Honeycomb sandwich* dengan aluminium mulai dikembangkan pada tahun 1962 dan diterapkan pada *chassis* mobil balap formula jenis *monocoque*. Banyak tim balap formula yang ikut menggunakan *chassis monocoque* ini. Penggunaan komposit serat karbon sebagai bahan *honeycomb sandwich* juga ikut membantu perkembangan *chassis monocoque* [3].

Rancangan Panel Honeycomb Sandwich

Honeycomb sandwich dibentuk dari dua lapisan kulit (*skin*) yang di antaranya terdapat material inti (*core*). Sel-sel inti *honeycomb* dibentuk dari lembaran-lembaran yang sangat tipis dengan posisi tegak lurus terhadap lapisan kulit. Inti *honeycomb sandwich* ini berbentuk seperti sarang lebah (*honeycomb*), yaitu berbentuk sel-sel segi enam. Walaupun telah banyak dikembangkan berbagai bentuk sel inti *honeycomb*, namun bentuk sel segi enam adalah bentuk inti *honeycomb* yang paling populer [2].

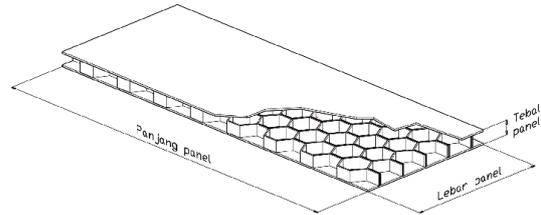
Spesifikasi struktur *honeycomb* yang dibuat dan diuji dalam kajian ini memiliki ukuran rinci: *cell-pitch* 40 mm, *cell-size* 36,64 mm dan *cell-height* 15 mm. Definisi *cell-pitch*, *cell-size* dan *cell-height* dari *honeycomb* terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Cell-pitch, cell-size dan cell height core honeycomb.

Panel *honeycomb sandwich* yang dibuat memiliki panjang 500 mm dan lebar antara 180 mm sampai 200 mm. Tebal panel adalah 19 mm, termasuk *skin* atas

dan bawah, merujuk pada nomenklatur panel *honeycomb sandwich* yang terlihat pada Gambar 2.

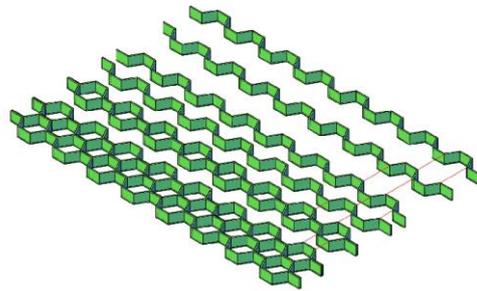


Gambar 2. Nomenklatur panel honeycomb sandwich.

Panel *honeycomb sandwich* dibuat dengan beberapa variasi ketebalan dinding sel *honeycomb*. Variasi ketebalan dinding sel *honeycomb* diperoleh dari variasi jumlah lapisan serat *fiberglass* yang digunakan pada dinding sel *honeycomb*, yaitu 1 lapis, 2 lapis dan 4 lapis *fiberglass*.

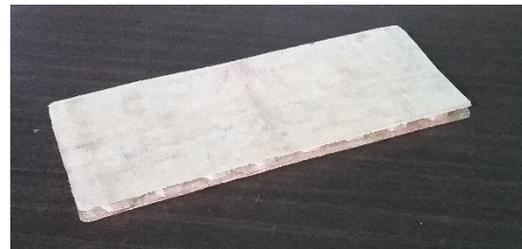
Pembuatan Spesimen Panel Struktur Honeycomb

Panel *honeycomb sandwich* tersusun dari lembaran bergelombang (*corrugated sheet*). Susunan lembaran-lembaran bergelombang akan membentuk susunan sel segi enam yang merupakan inti (*core*) dari panel *honeycomb sandwich*. Susunan lembaran bergelombang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan lembaran bergelombang disusun membentuk inti (core) honeycomb [4].

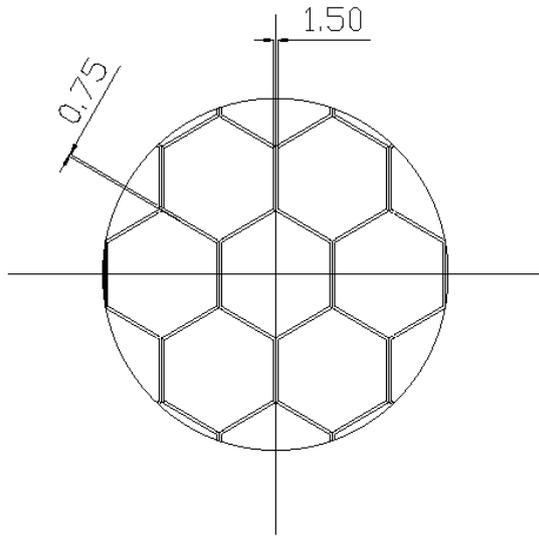
Susunan lembaran bergelombang yang telah membentuk inti panel *honeycomb sandwich* kemudian ditutup di bagian atas dan bawah dengan kulit (*skin*). *Skin* dibuat dari 2 lapis *fiberglass* dan resin. Bentuk akhir panel *honeycomb sandwich* terlihat pada Gambar 4.



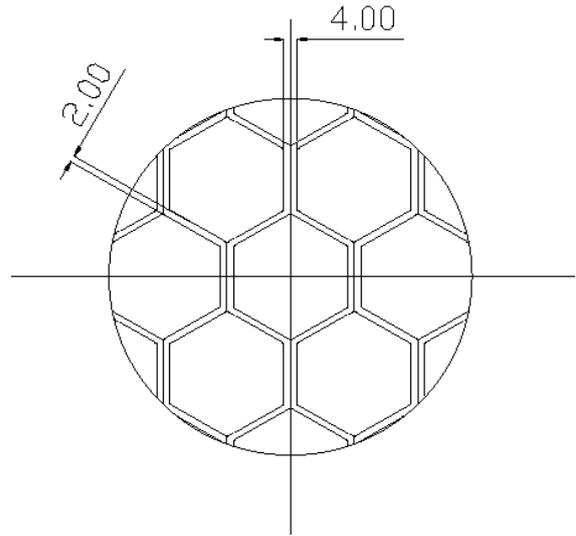
Gambar 4. Panel honeycomb sandwich yang telah selesai dibuat.

Tebal Dinding Sel Honeycomb

Panel *honeycomb* dibuat dengan tiga variasi ketebalan dinding sel *honeycomb* sebagai efek dari jumlah lapisan *fiberglass*. Perbedaan ketebalan dinding sel *honeycomb* yang diperoleh dari hasil pembuatan terlihat pada Gambar 5 (a), 5 (b), dan 5 (c).



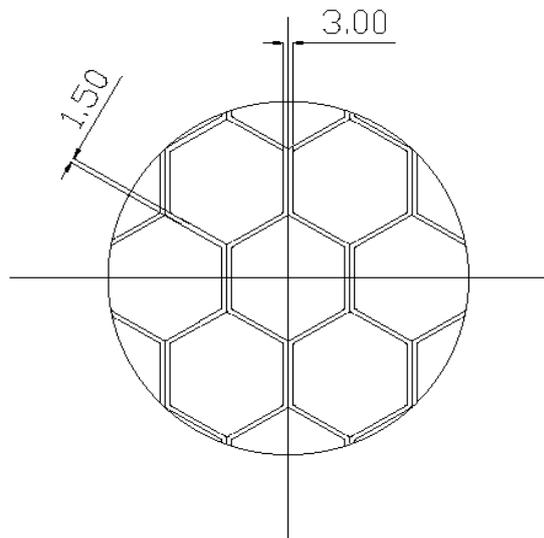
(a) 1 lapis fiberglass



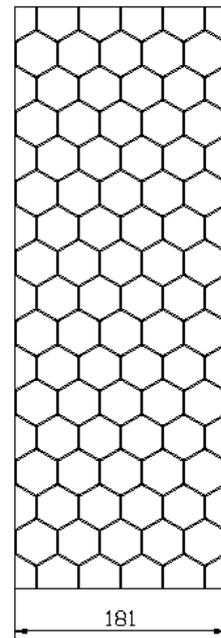
(c) 4 lapis fiberglass

Gambar 5. Ketebalan dinding sel honeycomb.

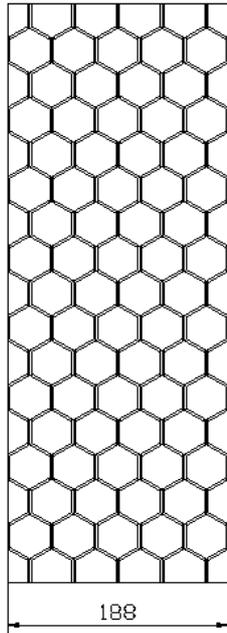
Perbedaan tebal dinding sel *honeycomb* berdampak kepada perbedaan lebar setiap panel *honeycomb sandwich*. Adapun panjang dan tebal panel tetap sama. Perbedaan lebar panel *honeycomb sandwich* terlihat pada Gambar 6 (a), 6 (b), dan 6 (c).



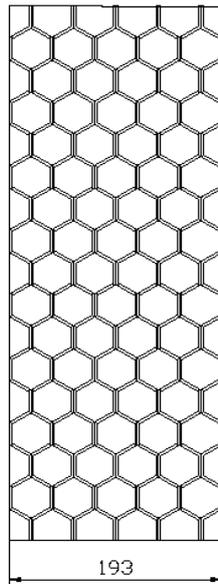
(b) 2 lapis fiberglass



(a) 1 lapis fiberglass



(b) 2 lapis fiberglass

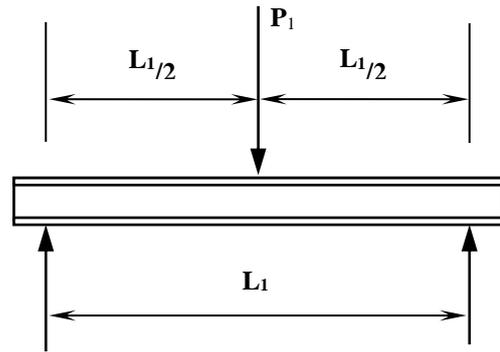


(c) 4 lapis fiberglass

Gambar 6. Variasi lebar panel honeycomb.

Standar Pengujian Panel Honeycomb Sandwich

Karakteristik mekanik dari panel *honeycomb sandwich*, yaitu kekuatan lentur dan kekakuan diperoleh melalui pengujian lentur (*bending*). *Honeycomb sandwich* berbahan komposit *fiberglass* ini diuji dengan menggunakan standar ASTM C393-00 Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions.



Gambar 7. Pengujian dengan pembebanan satu titik [6].

Instalasi uji lentur dirancang dengan mengacu kepada standar pengujian stuktur *sandwich* ASTM C393-00, yaitu dengan pembebanan di satu titik, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 7. Jarak antara tumpuan (L_1) adalah 420 mm dengan pembebanan tepat berada di tengah jarak tumpuan.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Fisik

Melalui pengukuran dimensi dan penimbangan, didapatkan beberapa karakteristik fisik panel *honeycomb sandwich* berupa massa jenis, serta fraksi berat serat *fiberglass* dan fraksi berat resin. Massa jenis panel *honeycomb sandwich* diperoleh berdasarkan berat dan volum panel *honeycomb sandwich* yang telah jadi. Massa jenis panel *honeycomb sandwich* terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan massa jenis panel honeycomb.

No	Variasi Lapisan	Berat total panel (gram)	Ukuran panel (P x L x T) (mm)	Volum panel (m ³)	Massa jenis panel (kg/m ³)
1	1 lapis	308	P: 500	0.00172	179.12
			L: 181		
			T: 19		
2	2 lapis	416	P: 500	0.00179	232.92
			L: 188		
			T: 19		
3	4 lapis	526	P: 500	0.00183	286.88
			L: 193		
			T: 19		

Tebal dinding sel *honeycomb* berpengaruh langsung kepada berat dan volum panel *honeycomb*. Pertambahan berat sebagai akibat dari pertambahan ketebalan dinding *honeycomb* terjadi lebih cepat dibanding dengan pertambahan volum. Hal ini membuat massa jenis panel *honeycomb* bertambah sejalan dengan pertambahan ketebalan dinding sel *honeycomb*, hal ini terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pertambahan berat, volume dan massa jenis panel honeycomb sandwich.

Variasi lapisan dinding sel honeycomb	Berat panel haoney-comb (kg)	Volum panel honey-comb (m ³)	Massa jenis honey-comb (kg/m ³)	Perta mbahambah n berat	Perta mbahambah n volum	Perta mmahan massa jenis
1 lapis	308	0.00172	179.12	100%	100%	100%
2 lapis	416	0.00179	232.92	135%	104%	130%
4 lapis	526	0.00183	286.88	171%	107%	160%

Jika dibandingkan dengan data sebelumnya, yaitu kajian *honeycomb sandwich* dengan dimensi *cell-pitch* yang sama, tapi dimensi *cell-height* yang lebih besar, panel *honeycomb sandwich* pada kajian ini masih menunjukkan pola yang sama. Semakin tebal dinding *honeycomb*, maka massa jenis akan semakin meningkat [4], hal ini terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik fisik panel honeycomb sandwich dengan dimensi cell-pitch 40 mm dan cell-height 30 mm [4].

No	Variasi Lapisan	Perbandingan Serat dan Resin		Berat panel (gram)	Massa jenis (kg/m ³)
		Serat	Resin		
1	2	60%	40%	630	205.8
2	4	73%	27%	815	252.3
3	6	80%	20%	1080	317.6

Pada ketebalan dinding sel yang sama, tinggi sel yang lebih besar akan membentuk ruang kosong yang lebih besar dalam volum total panel. Oleh sebab itu, *honeycomb* dengan tinggi sel yang lebih besar akan memiliki massa jenis yang lebih kecil. Perbandingan massa jenis antara panel dengan tinggi sel 15 mm dan panel dengan tinggi sel 30 mm bisa dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 3 pada jumlah lapisan *fiberglass* yang sama.

Perbandingan Berat Serat dan Resin

Penimbangan berat serat dan berat panel yang telah jadi digunakan untuk mendapatkan perbandingan berat serat *fiberglass* terhadap berat resin. Berat *fiberglass*, berat resin, berat total, serta persentase berat *fiberglass* dan berat resin terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan berat serat dan resin.

Variasi Lapisan	Berat Total Serat (gr)	Berat Resin (gr)	Berat Total Panel (gr)	Perbandingan Serat dan Resin	
				Serat	Resin
1 lapis	190	118	308	62%	38%
2 lapis	260	156	416	63%	37%
4 lapis	400	126	526	76%	24%

Tabel 4 menunjukkan bahwa persentase penggunaan resin sebagai matriks komposit semakin menurun sejalan dengan peningkatan jumlah lapisan serat. Hal ini menunjukkan adanya pemanfaatan resin yang lebih efisien pada jumlah lapisan serat yang lebih banyak. Pola yang sama juga ditunjukkan pada kajian sebelumnya, yaitu semakin banyak lapisan *fiberglass* yang dipakai maka resin yang diperlukan semakin sedikit [4], hal ini terlihat pada tabel 3.

Karakteristik Mekanik

Uji lentur (*bending*) memberikan harga beban maksimum yang dapat ditahan oleh panel *honeycomb* dan defleksi maksimum yang terjadi pada saat beban maksimum terjadi. Hasil uji lentur terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian panel honeycomb.

No	Variasi Lapisan	Beban maksimum (kg)	Defleksi maksimum (δ) (mm)
1	1 lapis	56.69	11
2	2 lapis	73.39	13
3	4 lapis	133.40	18

Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur dari masing-masing panel dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari uji *bending* serta hasil perhitungan momen inersia penampang panel dengan menggunakan persamaan (1) sebagai berikut [5].

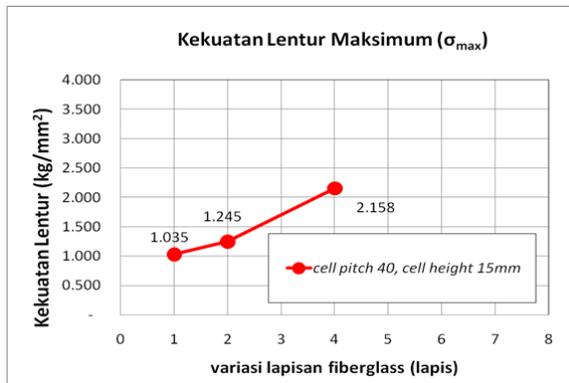
$$\sigma = \frac{M \times c}{I_{xx}} \tag{1}$$

Perhitungan momen inersia penampang dihitung berdasarkan pengukuran detail dimensi setiap panel yang telah jadi. Momen inersia penampang dihitung di bagian yang paling lemah, atau di bagian yang memiliki luas paling kecil, yaitu dibagian tengah panel pada arah memanjang. Kekuatan lentur dari masing-masing panel terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kekuatan lentur.

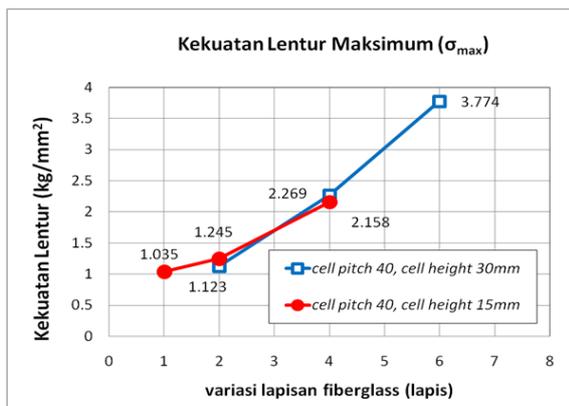
Lapisan fiberglass	Beban maksimum (kg)	Lengan momen (mm)	C (mm)	I _{xx} (mm ⁴)	σ _{max} (kg/mm ²)
1	56.69	210	9,5	54.660	1,035
2	73.39	210	9,5	58.802	1,245
4	133.40	210	9,5	61.659	2,158

Peningkatan kekuatan lentur maksimum sebagai efek dari jumlah lapisan fiberglass pada dinding sel diperlihatkan pada grafik pada Gambar 8. Grafik tersebut menunjukkan peningkatan kekuatan lentur yang masih cenderung mengikuti fungsi linier. Hal ini sejalan dengan persamaan dasar momen inersia penampang, yaitu besar momen inersia penampang berbanding lurus dengan tebal atau lebar penampang.



Gambar 8. Grafik kekuatan lentur terhadap variasi lapisan fiberglass.

Jika dibandingkan dengan kajian sebelumnya terlihat adanya dua nilai kekuatan lentur panel honeycomb sandwich yang hampir berimpit, yaitu pada panel honeycomb dengan ketebalan dinding sel yang dibuat dengan 2 lapis fiberglass dan 4 lapis fiberglass. Hal tersebut terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan kekuatan lentur terhadap variasi lapisan fiberglass pada panel honeycomb sandwich dengan tinggi sel 30 dan 15 mm.

Nilai kekuatan lentur yang hampir sama pada panel honeycomb dengan ketebalan dinding yang sama menunjukkan adanya konsistensi yang cukup baik dalam proses pembuatan panel honeycomb sandwich, baik pada kajian sebelumnya maupun kajian ini. Hal ini didukung dengan angka perbandingan berat serat terhadap resin pada panel-panel tersebut, seperti yang terlihat pada Tabel 3 dan 4. Perbandingan berat serat dan berat resin pada kedua tabel itu menunjukkan angka yang mirip untuk panel dengan ketebalan dinding sel yang sama.

Kekakuan Panel

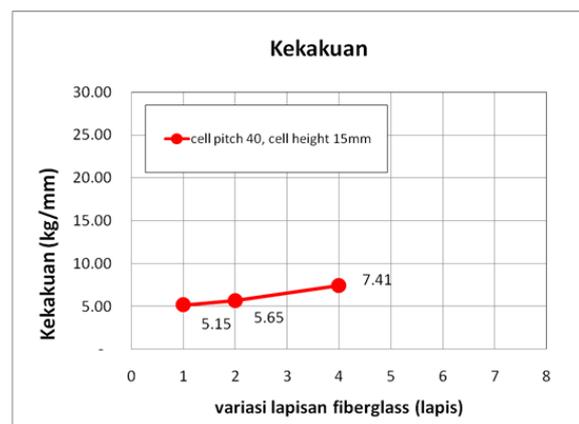
Kekakuan panel diperoleh dari besar gaya maksimum yang dapat ditahan oleh panel honeycomb sandwich dibagi dengan defleksi yang terjadi pada panel tersebut dengan persamaan (2) sebagai berikut [5].

$$K = \frac{P}{\delta} = \frac{6EI}{a^2(3L-a)} \tag{2}$$

Angka kekakuan panel untuk setiap panel dengan variasi ketebalan dinding sel honeycomb terlihat pada Tabel 7. Peningkatan kekakuan panel sebagai efek dari jumlah lapisan fiberglass diperlihatkan pada grafik kekakuan pada Gambar 10.

Tabel 7. Kekakuan panel honeycomb.

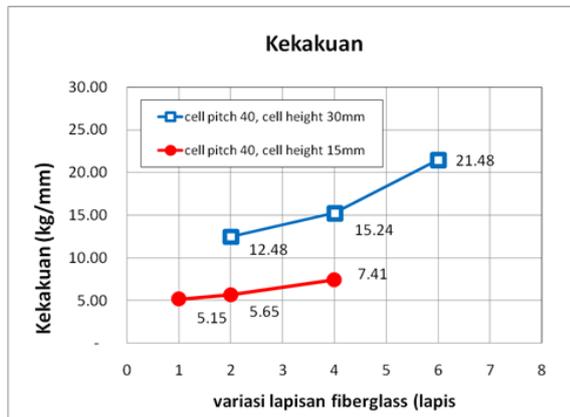
Lapisan fiberglass	Beban maksimum (kg)	δ (mm)	Kekakuan (kg/mm)
1	56.69	11	5,15
2	73.39	13	5,65
4	133.40	18	7,41



Gambar 10. Grafik kekakuan terhadap variasi lapisan fiberglass.

Gambar 10 memperlihatkan bahwa peningkatan kekakuan panel sebagai fungsi dari penambahan ketebalan dinding sel honeycomb cenderung mengikuti fungsi linier. Hal ini sesuai dengan persamaan dasar momen inersia penampang, yaitu besar momen inersia penampang sebanding dengan lebar penampang.

Jika dibandingkan dengan kajian sebelumnya, yaitu kajian mengenai panel *honeycomb* dengan dimensi *cell-pitch* 40 mm dan *cell-height* 30 mm, tinggi sel *honeycomb* yang lebih besar memberikan angka kekakuan yang lebih tinggi, sebagaimana terlihat pada Gambar 11. Hal ini sesuai dengan persamaan kekakuan struktur pada persamaan (2), di mana angka kekakuan (K) suatu struktur sebanding dengan angka momen inersia penampang (I_{xx}).



Gambar 11. Grafik perbandingan kekakuan terhadap variasi lapisan fiberglass pada panel *honeycomb* sandwich dengan tinggi sel 30 dan 15 mm.

4. Kesimpulan

Masa jenis panel dengan tinggi sel 15 mm terkecil didapat pada panel dengan ketebalan dinding sel terkecil, yaitu 179,12 kg/mm³. Untuk ketebalan dinding sel yang sama, tinggi sel *honeycomb* lebih besar akan menghasilkan masa jenis panel yang lebih kecil. Penggunaan resin sebagai matriks semakin menurun sejalan dengan penambahan jumlah lapisan serat yang dipakai. Hal ini menunjukkan adanya pemanfaatan resin yang lebih efisien pada jumlah lapisan serat yang lebih banyak. Efisiensi resin terbaik didapatkan pada panel *honeycomb* dengan penggunaan lapisan *fiberglass* sebanyak 4 lapis, yaitu 76% serat dan 24% resin. Peningkatan lapisan pada dinding sel *honeycomb* akan meningkatkan kekuatan lentur dan kekakuan panel *honeycomb sandwich*. Kekuatan lentur terbesar dicapai pada panel dengan dinding sel *honeycomb* dengan 4 lapis *fiberglass*, yaitu 2,158 kg/mm². Kekakuan terbesar juga dicapai pada panel *honeycomb sandwich* dengan dinding sel yang dibuat dengan 4 lapis *fiberglass*, yaitu 7,41 kg/mm.

Daftar Pustaka

- [1] Sigit J. Purnomo, Pratama, Bangkit H., Hakim, Lukman N., Nurofik, Pambudi, Setya, 2017, Uji Eksperimental Kinerja Mobil Listrik, Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017, Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, ISBN: 978-602-1180-50-1, pp.679-686.
- [2] K. Kantha Rao, K. Jayathirtha Rao, A.G.Sarwade, M.Sarath Chandra, 2012, Strength

Analysis on Honeycomb Sandwich Panels of different Materials, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 365-374.

- [3] Piyush Ram Shahade, Akshay Kumar Kaware, 2014, Structural Performance Analysis of Formula SAE Car, International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology, IJPRET, 2014; Volume 2 (9): pp.307-320.
- [4] Marsono, Ali, Nico Luwis, Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb* sandwich Berbahan Komposit *Fiberglass* dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm, Jurnal Rekayasa Hijau ISSN 2550-1070; No.2 Vol.3 Juli 2019 pp.107-116.
- [5] Robert L. Mott, (2002) "Applied Strength of Materials" 4th Edition, Prentice-Hall, New jersey.
- [6] Anonym, (2000) ASTM C393-00 - Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions.