

# Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit *Fibreglass* dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm

Marsono, Ali, Nico Luwis

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, ITENAS, Bandung

Email: marsono@itenas.ac.id

## ABSTRAK

Rekayasa struktur *honeycomb sandwich* dalam pengembangan material banyak telah dimanfaatkan karena memiliki kekuatan struktur yang relatif tinggi dengan bobot material yang ringan. Material dengan rekayasa struktur *honeycomb* cocok digunakan pada mobil hemat energi, untuk meningkatkan efisiensi energi. Dalam penelitian ini dibuat panel *honeycomb sandwich* berbahan komposit serat kaca (*fibreglass*) dan matriks resin. Panel ini nantinya akan diterapkan pada rangka kendaraan hemat energi. Tiga panel *honeycomb sandwich* dibuat dengan variasi pada ketebalan dinding sel terutama ditujukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan dinding sel terhadap kekuatan dan kekakuan panel *honeycomb sandwich*. Variasi ketebalan dinding sel didapatkan dari variasi penerapan jumlah lapisan *fibreglass* pada dinding sel *honeycomb*, yaitu 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis *fibreglass*. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa panel *honeycomb sandwich* dengan ketebalan dinding sel terbesar, yaitu dengan 6 lapisan *fibreglass*, memberikan kekuatan lentur terbesar yaitu 3,774 kg/mm<sup>2</sup>, dan kekakuan tertinggi, yaitu 21,48 kg/mm.

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

## ABSTRACT

Engineering of *honeycomb sandwich* structure in the materials development has been highly utilized because of its high structural strength with lightweight material. *Honeycomb* structure material is suitable for use in energy-efficient cars, to increase energy efficiency. In this research, *sandwich honeycomb* panel were made from *fibreglass* composite with resin as matrices. This panel will be applied to the frame of energy-efficient vehicle. Three *sandwich honeycomb* panels were made with variations in cell wall thickness. These variations are primarily intended to determine the effect of cell wall thickness to the flexural strength and stiffness of the *honeycomb sandwich* panel. Variations in cell wall thickness were obtained from variations in the application of *fibreglass* layers on *honeycomb* cell walls, which are 2 layers, 4 layers and 6 layers of *fibreglass*. The bending test results show that the *honeycomb sandwich* panel with the largest cell wall thickness, which has 6 layers of *fibreglass*, provides the greatest flexural strength of 3.774 kg/mm<sup>2</sup>, and the highest stiffness of 21.48 kg/mm.

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

## 1. PENDAHULUAN

Chassis atau rangka merupakan bagian dari mobil yang berfungsi menahan atau memikul beban kendaraan [1]. Konstruksi rangka chasis itu sendiri harus memiliki kekuatan, ringan dan mempunyai nilai kelenturan [2]. Sistem chasis monocoque dan stressed skin memiliki pendekatan struktural dengan pembebanan pada kulit luar. Teknologi yang dikembangkan mulai tahun 1962 itu membawa revolusi dalam pengembangan chasis mobil balap formula. Banyak tim yang dengan cepat mengadopsi chasis model ini yang kemudian dikombinasikan dengan *sandwich honeycomb* aluminium. Penggunaan komposit serat karbon juga ikut membantu perkembangan chasis monocoque ini [3]

Pengembangan mobil listrik di Indonesia sangat terbuka lebar, yang mana mobil listrik ini dapat menjadi solusi untuk masalah pencemaran lingkungan akibat emisi karbondioksida dan emisi sulfur-dioksida akibat dari pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor. Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor juga akan mempercepat penipisan cadangan bahan bakar fosil dan mempercepat terjadinya krisis energi. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian bahan bakar fosil untuk transportasi dan menggantikannya dengan energi listrik. Mobil listrik akan menjadi salah satu solusi dalam memperlambat terjadinya krisis energy [1].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan dan pengujian karakteristik mekanik pada panel struktur hexagonal *honeycomb sandwich* yang nantinya akan diaplikasikan untuk chasis mobil listrik, tipe monocoque, karena mobil listrik membutuhkan body maupun chasis yang ringan dan kuat. Bahan yang dipilih untuk chasis mobil listrik ini adalah material komposit, yaitu perpaduan serat *fibreglass* dan resin.

Untuk mengetahui karakteristik mekanik dari panel hexagonal struktur *honeycomb sandwich* ini, akan dilakukan uji bending yang diterapkan untuk beberapa variasi ketebalan dinding sel-struktur *honeycomb* melalui variasi jumlah lapisan serat *fibreglass*, yaitu 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis *fibreglass*

## 2. METODOLOGI

### 2.1. *Honeycomb sandwich*

Panel *Honeycomb Sandwich* merupakan salah satu yang paling berharga dalam inovasi pengembangan Teknik Struktur untuk industri komposit (material komposit). Panel *honeycomb Sandwich* digunakan untuk rancangan dan konstruksi sistem transportasi ringan sebagaimana yang digunakan pada satelit, pesawat terbang, dan kereta cepat. Pengurangan berat struktural menjadi pertimbangan utama dalam penggunaan konstruksi *sandwich* ini. Konstruksi panel *sandwich* menjadi pilihan yang lebih baik daripada metoda peningkatan kekuatan dengan menambah ketebalan material. Konstruksi *sandwich* memberikan efisiensi struktural yang sangat baik, yaitu, dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Keunggulan lain yang ditawarkan oleh konstruksi *sandwich* adalah menghilangkan pengelasan, kualitas insulasi superior dan fleksibilitas desain [4]

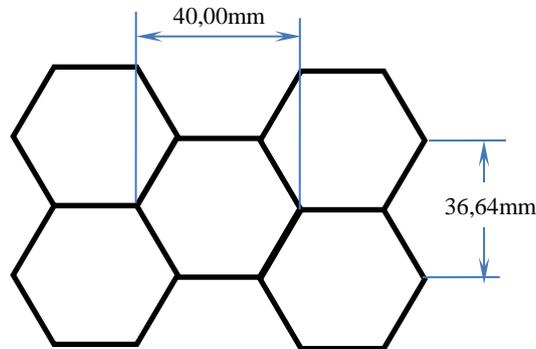
Konstruksi panel struktur *sandwich* terdiri dari dua lapisan kulit tipis yang dipisahkan oleh material inti (core). Beberapa jenis bentuk inti telah banyak diterapkan pada konstruksi struktur *sandwich*. Salah satu bentuk inti yang paling populer adalah bentuk sarang lebah (*honeycomb*) yang dibentuk dari lembaran yang sangat tipis dalam bentuk sel-sel heksagonal yang tegak lurus terhadap lapisan kulit [4]

### 2.2. Rancangan Panel Struktur *Honeycomb Sandwich*

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik *honeycomb sandwich*, terutama kekuatan lentur dan kekakuannya. Struktur *honeycomb sandwich* yang akan diuji dalam

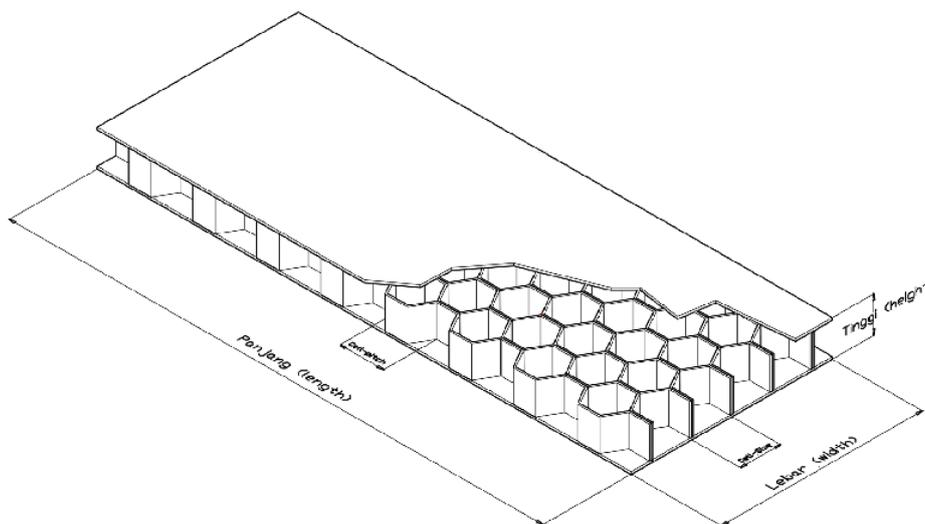
penelitian ini akan dibuat dari bahan komposit *fibreglass*. Material komposit *fibreglass* menjadi pilihan yang cukup baik karena bobotnya yang ringan dan teknik pembuatannya yang relatif lebih mudah, juga karena harga yang murah dan sangat mudah didapatkan.

Spesifikasi dari struktur *honeycomb* yang akan dibuat dan diuji dalam penelitian ini memiliki detail ukuran cell-pitch 40mm dan cell-size 36,64mm seperti Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi cell-pitch dan cell-size

Adapun ukuran panel struktur *honeycomb* yang akan diuji memiliki panjang (*length*) 500mm lebar (*width*)  $\pm 200$ mm dan tebal/tinggi (*cell-height*) 30mm, mengacu pada nomenklatur panel *honeycomb* yang terlihat pada Gambar 2.



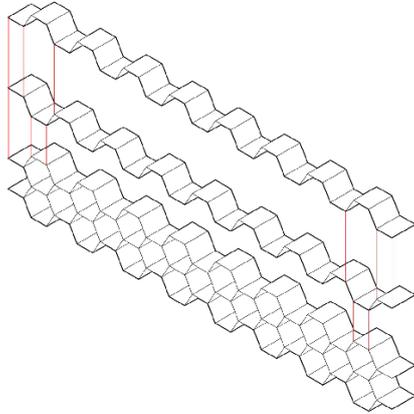
Gambar 2 Nomenklatur Panel Honeycomb Sandwich

Pengujian panel *honeycomb* akan dilakukan untuk beberapa specimen dengan variasi ketebalan dinding cell. Variasi ketebalan dinding cell diperoleh dengan penggunaan jumlah lapisan serat *fibreglass* yang berbeda, yaitu 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis *fibreglass*.

### 2.3. Pembuatan Specimen panel Struktur Honeycomb

Panel struktur *honeycomb sandwich* dibuat dengan cara menyusun lembaran bergelombang (*corrugated sheet*) lapis demi lapis. Lembaran-lembaran bergelombang yang disusun bertumpuk akan membentuk

sel segieman (heksagonal). Lembaran bergelombang ini dibuat dengan menggunakan cetakan berbahan hard-nylon agar resin perkat tidak menempel pada cetakan dan lembaran bergelombang dapat dikeluarkan dari cetakan dengan mudah. Dan selanjutnya, lembaran-lembaran bergelombang akan disusun seperti yang terlihat pada Gambar 3 hingga membentuk panel struktur *honeycomb*.



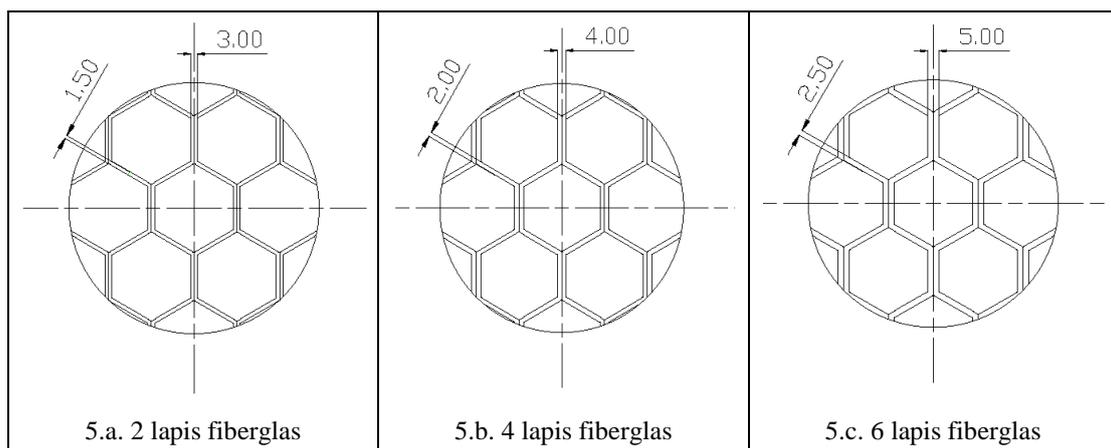
**Gambar 3** Penyesunan lembaran bergelombang hingga membentuk struktur *honeycomb*



**Gambar 4.** Panel *honeycomb sandwich* yang telah jadi

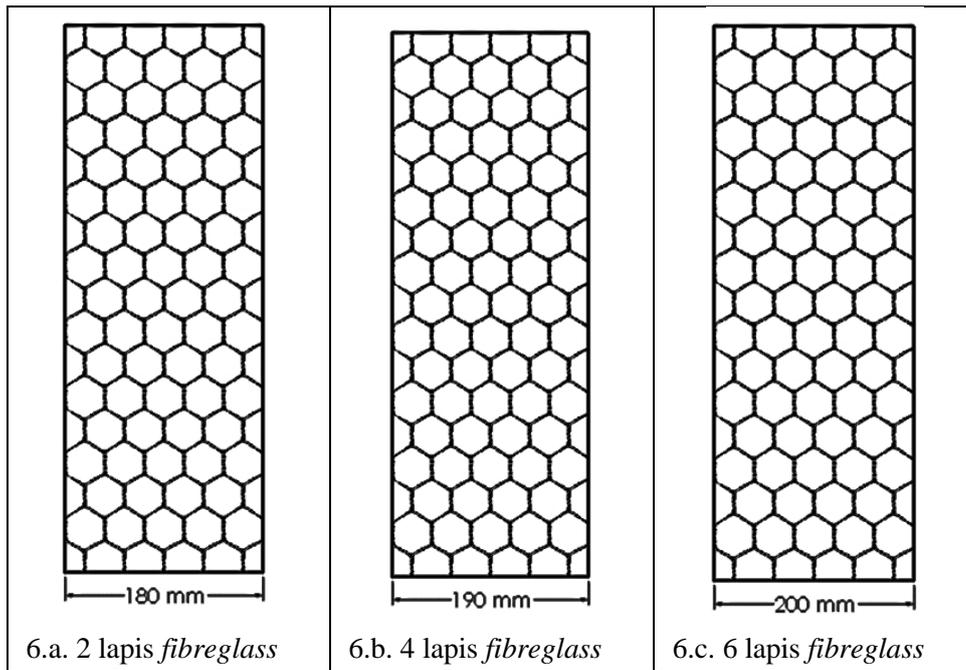
Susunan lembaran bergelombang yang telah jadi selanjutnya ditutup dengan *faceskin* yang terbuat dari 2 lapis *fibreglass* dan resin di kedua sisi hingga didapatkan bentuk akhir panel struktur *honeycomb sandwich* seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Penggunaan jumlah lapisan serat (*fibreglass*) yang berbeda pada saat pembuatan lembaran bergelombang menyebabkan perbedaan ketebalan pada dinding sel *honeycomb*. Dari proses pembuatan panel *honeycomb* telah yang dilakukan, didapatkan ukuran ketebalan dinding sel *honeycomb* untuk penggunaan 3 variasi jumlah lapisan *fibreglass*, yaitu 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis. Perbedaan ketebalan masing-masing sel *honeycomb* terlihat pada Gambar 5a, 5b, dan 5c.



**Gambar 5.** Ketebalan dinding sel heksagonal

Perbedaan ketebalan dinding sel *honeycomb*, terutama pada bagian sambungan lembaran bergelombang berdampak kepada perbedaan lebar setiap panel *honeycomb*, sementara panjang dan tebal panel tidak berbeda. Adapun variasi lebar panel struktur *honeycomb* terlihat pada Gambar 6a, 6b, dan 6c.



Gambar 6. Variasi lebar panel *honeycomb* hasil pembuatan

Dalam pembuatan panel *honeycomb sandwich*, dilakukan beberapa penimbangan, yaitu penimbangan bahan serat yang dipakai dan berat panel yang telah jadi. Penimbangan ini dilakukan untuk menemukan rasio berat *fibreglass* terhadap berat resin. Berat panel *honeycomb sandwich* juga diperlukan untuk menghitung massa jenis panel. Data tentang berat serat (*fibreglass*), berat resin dan berat total dari masing-masing panel terlihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 juga ditampilkan persentase berat serat (*fibreglass*) dan berat resin. Massa jenis panel *honeycomb sandwich* dihitung berdasarkan berat dan dimensi panel seperti yang terlihat pada Tabel 2

Tabel 1. Berat serat (*fibreglass*), berat resin, berat total, serta persentase berat serat *fibreglass* dan resin spesimen panel *honeycomb Sandwich*.

| No | Variasi Lapisan | Berat serat |     | Berat Resin |     | Berat Total (gram) |
|----|-----------------|-------------|-----|-------------|-----|--------------------|
|    |                 | (gr)        | (%) | (gr)        | (%) |                    |
| 1  | 2 lapis         | 410         | 65  | 250         | 35  | 630                |
| 2  | 4 lapis         | 630         | 77  | 215         | 23  | 815                |
| 3  | 6 lapis         | 890         | 82  | 220         | 18  | 1080               |

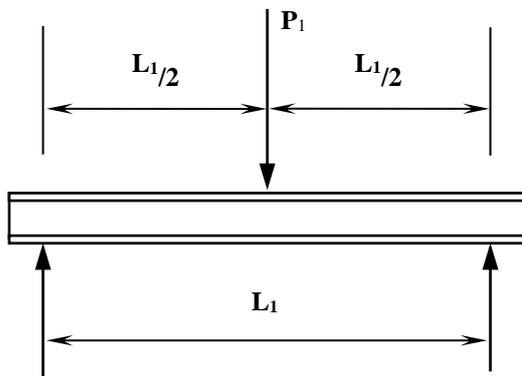
Tabel 2. Perhitungan massa jenis panel *honeycomb*

| No | Variasi Lapisan | Berat total panel (gram) | Dimensi panel (Panjang x Lebar x Tebal) (mm) |         |        | Volume panel (m <sup>3</sup> ) | Massa jenis panel $\rho = m/v$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----|-----------------|--------------------------|--|---------|--------|--------------------------------|---|
|    |                 |                          | P (mm)                                       | L (mm)  | T (mm) |                                |   |
|    |                 |                          | 1  | 2 lapis | 630    |                                |   |
| 2  | 4 lapis         | 815                      | 500  | 190     | 34     | 0.0032                         | 252.3   |
| 3  | 6 lapis         | 1080                     | 500  | 200     | 34     | 0.0034                         | 317.6   |

Berdasarkan dimensi yang didapatkan dari specimen panel *honeycomb* yang telah jadi, dapat dihitung Inersia penampang untuk masing-masing panel struktur *honeycomb*. Inersia penampang ini dihitung di bagian yang paling lemah, atau di bagian yang memiliki luas paling kecil, yaitu di bagian tengah panel pada arah memanjang. Di titik ini juga nantinya akan dikenakan beban pada saat pengujian bending.

#### 2.4. Standar Pengujian Panel *Honeycomb Sandwich*

Pengujian panel *honeycomb sandwich* dilakukan untuk mengetahui karakteristik mekanik dari panel tersebut. Karakteristik mekanik yang ingin diketahui dari panel *honeycomb sandwich* adalah kekuatan lentur (*flexural strength*) dan kekakuan (*stiffness*). Standar yang digunakan dalam pengujian *honeycomb sandwich* adalah ASTM C393-00 *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. (ASTM 393-00, 2000) [5].



Gambar 7. Pembebanan satu titik (ASTM C393-00, 2000)



Gambar 8. Pengujian Panel *Honeycomb Sandwich* menggunakan mesin Gotech Testing Machine

Dengan memperhatikan standar pengujian ASTM C393-00, maka dirancang instalasi uji lentur atau bending dengan pembebanan di satu titik, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 7. Adapun jarak antara tumpuan ( $L_1$ ) adalah 420mm dan beban tepat berada di tengah-tengah jarak tumpuan ( $L_1/2$ ). Pengujian lentur ini dilakukan dengan menggunakan mesin Gotech Testing Machine, Model GT-7001-LS10 dengan kapasitas 100kN, seperti yang terlihat pada Gambar 8.

### 3. HASIL DAN PEMBAHSAN

#### 3.1. Karakteristik fisik

Pengukuran dan pengujian yang dilakukan telah memberikan data tentang beberapa karakteristik fisik dari panel *honeycomb sandwich*, yaitu komposisi (perbandingan) berat antara serat (*fibreglass*) dan matriks (resin), serta massa jenis dari panel *honeycomb sandwich* tersebut. Karakteristik fisik dari panel *honeycomb sandwich* terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Karakteristik fisik panel honeycomb sandwich**

| No | Variasi Lapisan | Perbandingan Serat dan Resin |         |              |         | Berat panel (gram) | Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----|-----------------|------------------------------|---------|--------------|---------|--------------------|----------------------------------|
|    |                 | Serat                        |         | Resin        |         |                    |                                  |
|    |                 | Berat (gram)                 | % berat | Berat (gram) | % berat |                    |                                  |
| 1  | 2               | 410                          | 65%     | 220          | 35%     | 630                | 205.8                            |
| 2  | 4               | 630                          | 77%     | 185          | 23%     | 815                | 252.3                            |
| 3  | 6               | 890                          | 82%     | 190          | 18%     | 1080               | 317.6                            |

Tabel 3 memperlihatkan adanya penurunan persentase penggunaan matriks (resin) terhadap penambahan jumlah lapisan serat. Hal ini menunjukkan adanya pemanfaatan resin yang lebih efisien pada jumlah lapisan serat yang lebih banyak.

Penambahan lapisan *fibreglass* pada dinding sel *honeycomb* berdampak kepada penambahan ketebalan dinding sel *honeycomb*, seperti yang terlihat pada Gambar 5.1, 5.b dan 5.c. Selanjutnya, penambahan ketebalan dinding sel juga akan berdampak kepada kenaikan berat panel *honeycomb sandwich* dan penambahan lebar panel *honeycomb sandwich* (Gambar 6.a, 6.b dan 6.c). Penambahan lebar panel tentunya berdampak kepada volume panel, sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Kenaikan berat panel sebagai fungsi dari penambahan ketebalan dinding *honeycomb* lebih besar dibandingkan kenaikan volume panel sehingga massa jenis panel *honeycomb* juga ikut meningkat walaupun tidak sebesar kenaikan berat panel *honeycomb*. Hal ini terlihat pada Tabel 4. Jika dilihat dari sisi ini, maka sebaiknya *honeycomb* dibuat dengan dinding yang lebih tipis untuk mendapatkan bobot yang ringan dan massa jenis yang kecil, tetapi tetap tidak boleh melupakan faktor kekuatan.

**Tabel 4. Kenaikan berat dan massa jenis terhadap jumlah lapisan**

| No | Variasi Lapisan | Berat panel (gram) | Kenaikan berat | Volume panel (m <sup>2</sup> ) | Kenaikan Volume | Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> ) | Kenaikan massa jenis |
|----|-----------------|--------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------|
| 1  | 2               | 630                | 1              | 0.0031                         | 1               | 205.8                            | 1                    |
| 2  | 4               | 815                | 1,29           | 0.0032                         | 1.03            | 252.3                            | 1,23                 |
| 3  | 6               | 1080               | 1.71           | 0.0034                         | 1.09            | 317.6                            | 1,54                 |

### 3.2. Karakteristik Mekanik

Karakteristik mekanik panel *honeycomb sandwich* didapatkan dari uji bending sesuai ASTM C393-00 *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. Data yang didapatkan dari pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat ditahan oleh panel *honeycomb sandwich* serta defleksi maksimum yang terjadi pada saat beban maksimum terjadi. Hasil uji bending terlihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil pengujian specimen**

| No | Variasi Lapisan | Beban maksimum (kg) | Defleksi maksimum (δ) (mm) |
|----|-----------------|---------------------|----------------------------|
| 1  | 2 lapis         | 137.3               | 11                         |
| 2  | 4 lapis         | 213.37              | 14                         |
| 3  | 6 lapis         | 386.71              | 18                         |

**Kekuatan Lentur Panel**

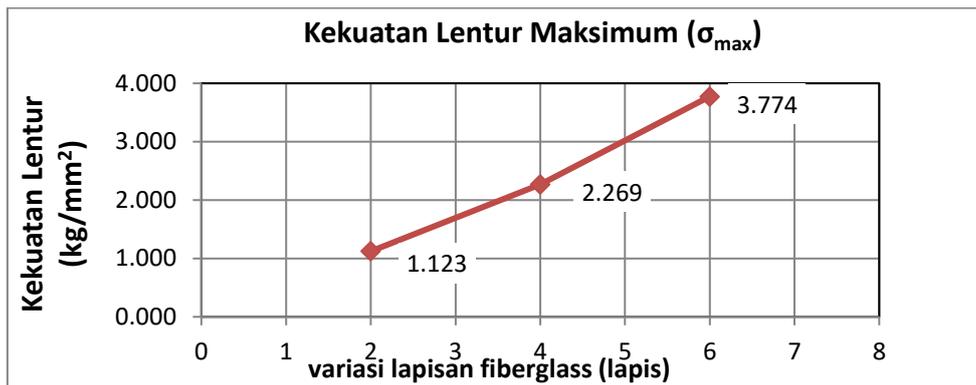
Data yang diperoleh dari uji bending yang berupa beban lentur maksimum serta hasil perhitungan momen inersia penampang panel, diolah untuk mendapatkan kekuatan lentur maksimum dari masing-masing panel dengan persamaan (1) sebagai berikut [6]:

$$\sigma = \frac{M \times C}{I_{xx}} \dots\dots\dots (1)$$

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh kekuatan lentur maksimum ( $\sigma_{max}$ ) dari masing-masing panel seperti yang terlihat pada tabel 6. Peningkatan kekuatan lentur sebagai efek dari jumlah lapisan *fibreglass* pada dinding sel *honeycomb* diperlihatkan pada grafik kekuatan lentur maksimum pada gambar 9.

**Tabel 6. Perhitungan kekuatan lentur maksimum**

| No | Lapisan <i>fibreglass</i> | Beban Maksimum (kg) | Lengan Momen (mm) | C (mm) | Penampang Inersia $I_{xx}$ (mm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{max}$ (kg/mm <sup>2</sup> ) |
|----|---------------------------|---------------------|-------------------|--------|---|--------------------------------------|
| 1  | 2                         | 137,30              | 210               | 17     | 218.310                                       | 1,123                                |
| 2  | 4                         | 213,37              | 210               | 17     | 239.813                                       | 2,269                                |
| 3  | 6                         | 386,71              | 210               | 17     | 261.317                                       | 3,774                                |



**Gambar 9. Grafik Kekuatan lentur terhadap Variasi lapisan *fibreglass***

Uji bending yang dilakukan pada panel *boneycomb sandwich* dengan variasi tebal dinding sel dengan 2, 4 dan 6 lapisan *fibreglass* menunjukkan peningkatan kekuatan yang cenderung mengikuti fungsi linier. Hal ini sejalan dengan persamaan inersia penampang dari bentuk persegi yang berbanding lurus dengan tebal penampang persegi.

**Kekakuan panel**

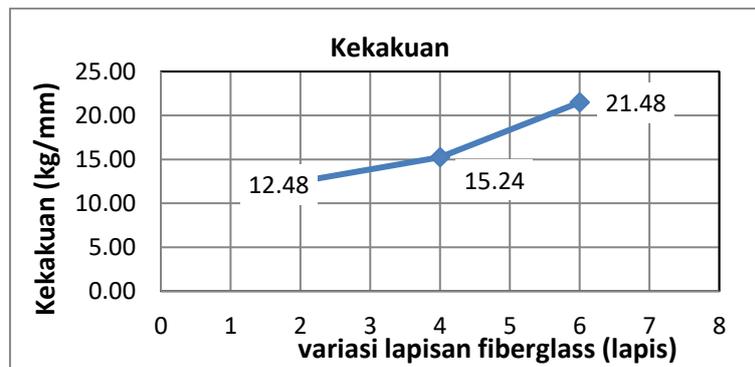
Kekakuan panel dihitung berdasarkan gaya maksimum yang dapat ditahan oleh panel *honeycomb sandwich* dan defleksi yang terjadi pada panel tersebut, dengan persamaan (2) sebagai berikut [6] :

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

Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh kekakuan panel seperti yang terlihat pada Tabel 7 Peningkatan kekakuan panel sebagai efek dari jumlah lapisan *fibreglass* diperlihatkan pada grafik kekakuan pada Gambar 10.

**Tabel 7. Kekakuan panel honeycomb sandwich**

| Lapisan fiberglass | beban maksimum (kg) | $\delta$ (mm) | kekakuan (kg/mm) |
|--------------------|---------------------|---------------|------------------|
| 2                  | 137,30              | 11            | 12,48            |
| 4                  | 213,37              | 14            | 15,24            |
| 6                  | 386,71              | 18            | 21,48            |



**Gambar 10. Grafik Kekakuan terhadap Variasi lapisan fiberglass**

Penambahan jumlah lapisan fiberglass pada dinding sel honeycomb memperlihatkan adanya peningkatan kekakuan panel honeycomb sandwich. Hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan, menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan panel sebagai efek dari penambahan ketebalan dinding sel honeycomb sandwich juga masih cenderung mengikuti fungsi linier.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa jenis terkecil honeycomb sandwich didapatkan pada panel dengan ketebalan sel yang paling rendah dengan 2 lapis fiberglass, yang mana didapatkan massa jenis sebesar 205.8 kg/mm<sup>3</sup>.

Kekuatan lentur dan kekakuan terbesar ditemukan pada panel dengan ketebalan dinding sel terbesar, yaitu ketebalan dinding sel dengan 6 lapis fiberglass. Pada ketebalan dinding tersebut kekuatan lentur yang dicapai adalah 3,774 kg/mm<sup>2</sup> sedangkan kekakuan yang dicapai adalah 21,48 kg/mm.

Pengujian yang telah dilakukan terhadap 3 macam panel honeycomb sandwich juga menunjukkan bahwa penambahan penggunaan lapisan fiberglass pada dinding sel honeycomb akan meningkatkan kekuatan lentur dan kekakuan panel pada fungsi linier.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnomo, Sigit J., Pratama, Bangkit H., Hakim, Lukman N., Nurofik, Pambudi Setya, 2107, 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] Ali Sadikin, 2013, Perancangan Rangka Chasis Mobil Listrik Untuk 4 Penumpang Menggunakan Software 3D Siemens NX8, [skripsi], Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

- [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): pp307-320.
- [4] K.Kantha Rao1, K. Jayathirtha Rao, A.G.Sarwade, M.Sarath Chandra, 2012, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 365-374
- [5] Anonim, 2000 ASTM C393-00 - Standard Test Method for Flexural Properties of *Sandwich* Constructions.
- [6] Mott, Robert L., 2002 “Applied Strength of Materials” 4<sup>th</sup> Edition, Prentice-Hall, New jersey