

## Proses Perancangan Papan *Skateboard* dengan Menggunakan Struktur *Sandwich Composite*

Erlangga Andriana, Djoko Suharto<sup>(1)</sup>, Hermawan Judawisastra<sup>(2)</sup>  
Kelompok Keahlian Perancangan Mesin<sup>(1)</sup>, Ilmu dan Teknik Material<sup>(2)</sup>  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

### Abstrak

Papan skateboard yang banyak dijual di pasaran terbuat dari 7 (tujuh) lapis kayu Maple. Berdasarkan hasil penelitian di lapangan, papan Maple memiliki masa pakai yang singkat, yaitu hanya sekitar 1 (satu) bulan apabila digunakan secara intensif. Kekurangan tersebut sangat dipengaruhi oleh ketahanan papan Maple terhadap lingkungan. Selain itu, pemain skateboard juga menginginkan papan yang lebih ringan tetapi tetap nyaman bila dipakai. Struktur sandwich composite merupakan salah satu pilihan yang dapat memenuhi kriteria-kriteria tersebut. Tujuannya agar dihasilkan papan yang lebih ringan, lebih kuat, tetap nyaman, dan lebih tahan lama. Pada penelitian ini dicoba lima alternatif desain yang dihitung berdasarkan Teori Laminat Klasik dengan menggunakan perangkat lunak GENLAM. Masing-masing alternatif desain dikaji dan dibandingkan dengan papan yang terbuat dari kayu Maple agar dapat dihasilkan papan sandwich yang sesuai dengan kriteria-kriteria di atas. Alternatif desain yang paling optimum adalah struktur sandwich dengan material face dari E-Glass/Epoxy Unidirectional Prepreg dan core dari kayu Balsa dengan massa jenis 96 kg/m<sup>3</sup>. Selain itu dilakukan uji coba pembuatan dengan material yang dapat diperoleh di Indonesia.

### Abstract

Skateboard's decks sold in the market now days are made from seven-ply of Maple wood. They are not durable if played continuously. The durability of Maple wood is influenced by the environment. Besides, skateboarders also want a deck which is lighter than Maple's deck but still comfortable to be used. To fulfill the criteria of the design, a sandwich composite structure is chosen to produce a lighter, stronger, still comfortable, and more durable deck. In this paper, five alternative designs are created and calculated based on the Classical Lamination Theory using GENLAM software. In order to obtain the deck which is suitable with the mentioned criteria, each of the alternative design is analyzed and compared with the Maple's deck. The most optimum design is a sandwich structure consisting of E-Glass/Epoxy Unidirectional Prepreg facing and a 96 kg/m<sup>3</sup> Balsa core. Furthermore, a trial production is conducted using materials that available in Indonesia.

**Keywords:** Design, skateboard, sandwich composite

## 1. PENDAHULUAN

Permainan *skateboard* bukanlah sekedar permainan biasa, namun telah berubah menjadi suatu gaya hidup. Budaya baru yang tercipta dari *skateboard* telah meluas hampir ke seluruh dunia. Saat ini, baik di Indonesia maupun di luar negeri, papan *skateboard* yang masih digunakan dan banyak tersedia merupakan papan yang terbuat dari 7 (tujuh) lapis kayu Maple. Berdasarkan hasil penelitian di lapangan, papan ini memiliki waktu pakai yang cukup singkat apabila dimainkan secara intensif, yaitu hanya sekitar satu bulan saja [1]. Salah satu faktor yang menentukan waktu pakai adalah ketahanan kayu Maple terhadap lingkungan, yang dapat menurunkan sifat mekaniknya. Selain itu, pemain menginginkan papan yang memiliki masa yang lebih ringan dari papan Maple namun tetap nyaman untuk dipakai.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan rancang ulang papan *skateboard* dengan menggunakan struktur *sandwich composite* agar dihasilkan produk yang lebih ringan, lebih kuat, tetap nyaman, dan lebih tahan lama daripada papan Maple. Informasi dan data yang diperlukan pada proses perancangan ini diperoleh dari 2 (dua) sumber antara lain Green et.al [2] dan situs internet. Selanjutnya, informasi dan data tersebut dijadikan masukan untuk melakukan analisis dan pemilihan alternatif rancang.

Analisis pembebanan dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang dimiliki oleh papan *skateboard* yang pada umumnya terbuat dari kayu Maple. Hasil yang ingin diperoleh dari analisis ini adalah momen lentur maksimum dan gaya geser maksimum yang terjadi pada papan Maple untuk suatu kasus pembebanan tertentu. Selain itu perlu dihitung pula faktor keselamatan, dan kekakuan lenturnya. Faktor keselamatan, kekakuan lentur dan masa jenis yang dimiliki oleh papan Maple dijadikan pembandingan dalam pemilihan alternatif rancang. Selanjutnya dilakukan pengkajian sehingga didapat alternatif rancang yang paling optimal.

## 2. ANALISIS PEMBEBANAN PAPAN SKATEBOARD

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, analisis pembebanan dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter yang berpengaruh dalam proses perancangan ini, yaitu momen lentur maksimum, gaya geser maksimum, faktor keselamatan, dan kekakuan lentur yang dimiliki oleh papan *skateboard* yang terbuat dari kayu Maple. Papan Maple ini merupakan suatu konstruksi komposit laminat yang terdiri dari 7 (tujuh) lapis kayu Maple. Kayu Maple memiliki sifat anisotropik dengan masa jenis  $676 \text{ kg/m}^3$ .

Gaya permainan yang dapat dimainkan oleh pemain sangat beragam dan menghasilkan tipe pembebanan yang berbeda-beda pula. Untuk penyederhanaan proses perancangan, dipilih 4 (empat) jenis kasus pembebanan utama. Pada setiap kasus pembebanan akan dihitung momen lentur maksimum dan gaya geser maksimum yang terjadi pada papan dengan menggunakan metode irisan, sedangkan tegangan-tegangan normal dihitung berdasarkan Teori Laminat Klasik (*Classical Lamination Theory / CLT*) dengan menggunakan perangkat lunak GENLAM [3]. Melalui perangkat lunak ini, matriks kekakuan dan konstanta-konstanta teknik suatu laminat dapat diperoleh berdasarkan masukan sifat-sifat mekanik dan fisik, orientasi serta susunan tumpukan lamina. Selanjutnya, keluaran tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap lamina dapat dihitung dan dianalisis berdasarkan data masukan beban beserta arahnya yang diberikan pada laminat tersebut.

### 2.1 Kasus Pembebanan I

Kasus pembebanan I terjadi ketika pemain akan melakukan gaya permainan *ollie*. Papan *skateboard* diasumsikan meluncur dengan kecepatan konstan dan memiliki perbandingan gaya pada kaki depan dan belakang yang sama, yaitu 1 : 1. Gambar 1 memperlihatkan pembebanan yang terjadi pada kasus pembebanan I.



**Gambar 1.** Kasus Pembebanan I [ 4]

### 2.2 Kasus Pembebanan II

Bentuk pembebanan yang terjadi pada kasus pembebanan II sama dengan kasus pembebanan I. Namun pada kasus ini, asumsi perbandingan antara gaya yang diberikan oleh kaki depan dan belakang adalah 1 : 2. Gambar 2 memperlihatkan pembebanan yang terjadi pada kasus pembebanan II.



**Gambar 2.** Kasus Pembebanan II [ 4]

### 2.3 Kasus Pembebanan III

Kasus pembebanan III terjadi ketika papan *skateboard* hanya ditumpu oleh satu poros saja, yaitu oleh roda belakang. Selanjutnya analisis dilakukan dengan mengasumsikan bahwa papan dalam keadaan setimbang dengan kemiringan  $24^\circ$  terhadap tanah dan meluncur dengan kecepatan konstan. Gambar 3 memperlihatkan pembebanan yang terjadi pada kasus pembebanan III.



**Gambar 3.** Kasus Pembebanan III [ 4]

### 2.4 Kasus Pembebanan IV

Kasus pembebanan IV terjadi ketika pemain sedang melakukan gaya permainan *boardslide*. Pada kondisi ini, papan *skateboard* hanya ditumpu pada satu poros yaitu pada bagian tengah papan. Biasanya gaya permainan ini dilakukan pada suatu *handrail* atau *handle* sebuah tangga. Gambar 4 memperlihatkan pembebanan yang terjadi pada kasus pembebanan IV.

Perhitungan faktor keselamatan dilakukan berdasarkan hasil perbandingan antara data sifat mekanik kayu Maple dan perhitungan tegangan maksimum (normal dan geser) yang terjadi. Tegangan tarik dan tekan maksimum arah-x (arah memanjang *skateboard*) terjadi pada kasus pembebanan IV, sedangkan tegangan tarik dan tekan maksimum arah-y (arah melebar *skateboard*) dan tegangan geser maksimum arah-x terjadi pada kasus pembebanan III.



**Gambar 4.** Kasus Pembebanan IV [ 4]

Hasil faktor keselamatan papan Maple ditampilkan berikut ini. Faktor keselamatan tegangan tarik dan tekan arah y yang tak terhingga mengindikasikan beban yang sangat kecil pada arah tersebut. Walaupun demikian, hal yang perlu diwaspadai adalah fenomena delaminasi pada daerah sisi kayu Maple maupun *struktur sandwich composite* yang bisa terjadi pada beban yang relatif kecil.

- Tegangan tarik arah-x  
Faktor keselamatan = 2,24
- Tegangan tekan arah-x  
Faktor keselamatan = 1,12
- Tegangan tarik arah-y  
Faktor keselamatan =  $6,5 \times 10^7$  (~)
- Tegangan tekan arah-y  
Faktor keselamatan =  $4,63 \times 10^7$  (~)
- Tegangan geser bidang-xy  
Faktor keselamatan = 9

Data yang dihasilkan berdasarkan perhitungan di atas memberikan gambaran mengenai kriteria-kriteria papan skateboard yang terbuat dari kayu Maple, yang selanjutnya akan dijadikan pembandingan dalam melakukan pemilihan alternatif rancang.

### 3. PEMILIHAN DAN PENGKAJIAN ALTERNATIF RANCANG

Produk akan dirancang dengan menggunakan struktur *sandwich composite*. Struktur *sandwich* terdiri dari 2 (dua) jenis komponen yaitu *face* dan *core*. *Face* akan mengalami beban maksimum berupa tegangan normal akibat momen lentur, sedangkan *core* akan mengalami beban maksimum berupa tegangan geser akibat momen lentur. Selain itu, hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa *core* akan mengalami beban kompresi arah tegak lurus bidang. Hal-hal yang kritis yang telah disebutkan itu merupakan dasar dalam melakukan pemilihan alternatif rancang. *Face* akan dipilih dari material komposit polimer berpenguat serat yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi agar dapat dihasilkan papan *sandwich* dengan kekakuan lentur yang tinggi dan faktor keselamatan yang aman. Selain itu, dengan adanya matriks polimer, ketahanan terhadap lingkungan papan *sandwich* akan jauh lebih baik dibandingkan dengan papan Maple. Namun material *face* biasanya berdensitas tinggi, artinya berat papan *sandwich* akan sangat ditentukan oleh tingkat ketebalan dari *face*. Sedangkan *core* akan dipilih dari material yang memiliki densitas rendah, dan memiliki kekuatan geser dan kekuatan

kompresi arah tegak lurus bidang yang cukup agar dapat menghasilkan faktor keselamatan yang aman bagi papan *sandwich*.

Selanjutnya, masing-masing alternatif rancang akan dikaji agar dapat dihasilkan papan sandwich yang sesuai dengan kriteria-kriteria yang diinginkan yaitu lebih ringan, lebih kuat, tetap nyaman, dan lebih tahan lama dibandingkan dengan papan yang terbuat dari kayu Maple. Kriteria-kriteria tersebut dapat dianalisis dengan cara membandingkan beberapa parameter yang akan dijelaskan di bawah ini :

- Kenyamanan dalam bermain skateboard dapat dicapai apabila kekakuan lentur yang dimiliki oleh papan sandwich, besarnya mendekati dengan yang dimiliki oleh papan Maple [6].
- Berat papan sangat berhubungan dengan besarnya densitas yang dimiliki oleh material penyusun dengan asumsi bahwa produk akan dirancang dengan volume yang sama besar dengan papan yang terbuat dari kayu Maple. Oleh karena itu, sifat mekanik spesifik seperti kekakuan lentur spesifik (kekakuan lentur per satuan massa jenis) dapat dijadikan parameter dalam membandingkan berat yang dimiliki oleh papan *skateboard*.
- Faktor keselamatan merupakan perbandingan antara kekuatan yang dimiliki oleh suatu material dengan beban yang terjadi pada material tersebut. Apabila diasumsikan bahwa papan sandwich mengalami beban yang sama dengan papan Maple, maka faktor keselamatan dapat dijadikan sebagai parameter dalam membandingkan kekuatan kedua jenis papan *skateboard*.

### 3.1 Pemilihan Material Core

Parameter yang kritis pada perancangan dengan menggunakan struktur *sandwich* ialah tegangan geser dan beban kompresi yang terjadi pada material *core*. Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan geser maksimum yang terjadi pada papan Maple dengan tebal 10 mm ialah  $\tau = 0,76$  MPa. Material *core* yang dipilih harus memiliki kekuatan geser yang melebihi tegangan geser maksimum agar didapatkan faktor keselamatan yang aman. Tegangan geser yang terjadi pada struktur *sandwich* tidak sama dengan 0,76 MPa sebab besarnya dipengaruhi juga oleh modulus elastisitas dan tebal yang dimiliki oleh masing-masing *face* dan *core*. Perbandingan pengaruh *face* dan *core* terhadap tegangan geser adalah 1 : 4 [5].

Beban kompresi yang terjadi pada papan diasumsikan terjadi akibat gaya tekan permukaan *truck* (komponen pembawa roda) sebesar 1500 N dengan luas  $5,3 \times 7,8$  cm<sup>2</sup>. Maka tegangan kompresi yang terjadi adalah sebesar 0,36 MPa. Oleh karena itu, material *core* yang dipilih harus memiliki kekuatan kompresi di atas tegangan tersebut. Jadi parameter dasar dalam memilih material *core* adalah :

- Kekuatan geser harus lebih besar dari 0,76 MPa
- Kekuatan tekan/kompresi harus lebih besar dari 0,36 MPa
- Memiliki densitas yang lebih rendah dari kayu Maple yaitu 676 kg/m<sup>3</sup>

Berdasarkan faktor-faktor yang telah disebutkan di atas, material *core* yang dipilih ialah kayu Balsa dengan massa jenis 96 kg/m<sup>3</sup>. Balsa tersebut memiliki kekuatan geser 1,85 MPa dan kekuatan tekan 6,9 MPa, sehingga diperoleh faktor keselamatan untuk beban geser dan beban tekan yang sangat aman. Kayu Balsa yang terdapat di Indonesia memiliki massa jenis 180 kg/m<sup>3</sup>. Kayu Balsa ini memiliki sifat mekanik yang lebih baik (kekuatan geser 3,46 Mpa dan kekuatan tekan 15,7 MPa) daripada kayu Balsa yang berdensitas 96 kg/m<sup>3</sup> tetapi memiliki masa jenis yang lebih tinggi. Kayu balsa ini akan dipilih pula sebagai salah satu material untuk *core*.

### 3.2 Kriteria Pemilihan Material Face dan Tebal Core

Material *face* sangat berperan penting dalam menghasilkan faktor keselamatan untuk tegangan normal akibat momen lentur. Tapi tingkat ketebalan *face* juga sangat mempengaruhi berat papan *sandwich* yang akan dirancang. Apabila dilakukan perbandingan antara sifat mekanik kayu Maple dengan material *face*, maka terlihat bahwa kekuatan sebagian besar material *face* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Maple. Hal ini menunjukkan bahwa faktor keselamatan untuk tegangan normal akibat momen lentur yang nantinya dihasilkan oleh struktur *sandwich* adalah sangat aman.

Tingkat kenyamanan bermain juga dijadikan parameter dalam melakukan perancangan ini. Berdasarkan hasil pengamatan baik dari literatur maupun praktik di lapangan [6], disimpulkan bahwa :

- Kenyamanan dalam bermain *skateboard* dipengaruhi oleh defleksi yang terjadi ketika bermain. Defleksi berhubungan dengan kekakuan lentur.
- Para pemain sangat menyukai karakteristik yang dimiliki oleh kayu Maple. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa kenyamanan dipengaruhi oleh kekakuan lentur yang mendekati kayu Maple, yaitu  $D = EI = 212,89 \text{ Nm}^2$ .

Dari pertimbangan di atas, maka hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memilih material *face* sebagai bagian dari alternatif desain ialah :

- Faktor keselamatan untuk tegangan normal harus cukup aman.
- Tingkat ketebalan *sandwich* yang sangat dipengaruhi oleh tebal *face* harus diperhitungkan agar menghasilkan kekakuan lentur papan *sandwich* yang mendekati kayu Maple dan berat yang lebih ringan daripada papan Maple.

Merujuk pada faktor-faktor yang telah disebutkan, dipilih 5 (lima) jenis material *face*, yaitu :

- AS/3501 Carbon/Epoxy Unidirectional Prepreg
- AS4/APC2 Carbon/PEEK Unidirectional Pre-preg
- Generic E-glass/Epoxy Unidirectional Prepreg
- Generic S-glass/Epoxy Unidirectional Prepreg
- E-Glass/Epoxy Woven Fabric

### 3.3 Alternatif Desain

Berdasarkan hasil pemilihan material *face* dan *core* yang telah dijelaskan di atas, maka dipilih 5 (lima) jenis alternatif desain berdasarkan rujukan [7] yaitu:

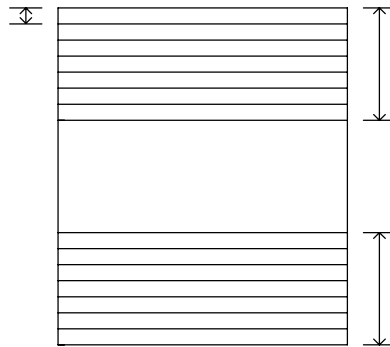
- Alternatif Desain I :  
AS/3501 Carbon/Epoxy Unidirectional Prepreg – Balsa ( $96 \text{ kg/m}^3$ )
- Alternatif Desain II :  
AS4/APC2 Carbon/PEEK Unidirectional Prepreg – Balsa ( $96 \text{ kg/m}^3$ )
- Alternatif Desain III :  
Generic E-glass/Epoxy Unidirectional Prepreg – Balsa ( $96 \text{ kg/m}^3$ )
- Alternatif Desain IV :  
Generic S-glass/Epoxy Unidirectional Prepreg – Balsa ( $96 \text{ kg/m}^3$ )
- Alternatif Desain V :  
E-Glass/Epoxy Woven Fabric – Balsa ( $180 \text{ kg/m}^3$ )

### 3.4 Pemilihan Arah Orientasi Serat

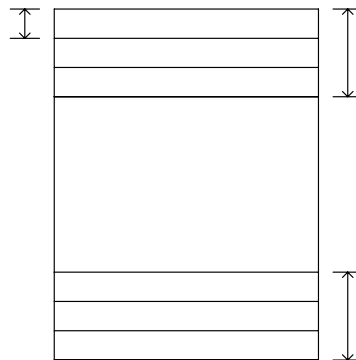
Laminat yang dirancang untuk papan *sandwich* pada alternatif desain I sampai dengan IV terdiri dari 7 (tujuh) lapis lamina material *face* dan 1 (satu) lapis lamina material *core* dengan tebal  $\frac{1}{2}$  (setengah) material *core* sehingga dapat dituliskan sebagai  $((0/90/45/-45/45/90/0)_1/\frac{1}{2}core)_s$  seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Dalam perhitungan dilakukan iterasi dengan 2 lapis laminat  $((0/90/45/-45/45/90/0)_2/\frac{1}{2}core)_s$  atau 3 lapis  $((0/90/45/-45/45/90/0)_3/\frac{1}{2}core)_s$ , dan seterusnya. Tebal lamina pada material *face* diperkirakan sekitar 0.125 mm. Penambahan 7 (tujuh) lapis lamina pada *face* bagian atas dan bawah dilakukan secara simetri (lihat Gambar 5), sehingga dapat diketahui tebal *face*, *core*, dan papan yang paling optimal menurut kriteria-kriteria desain. Di bawah ini diuraikan beberapa tujuan yang dijadikan sebagai dasar pemilihan arah orientasi serat yaitu :

- Arah  $0^\circ$  dibuat agar *face* memiliki kekuatan yang tinggi pada arah panjang papan, sebab beban tarik-tekan akan sering terjadi pada arah tersebut.

- Arah 90° dibuat agar *face* dapat menanggung beban tarik-tekan yang terjadi pada arah tegak lurus panjang papan.
- Arah ± 45° bertujuan agar *face* dapat menanggung beban torsi arah *searah panjang papan*.
- Tujuan penyusunan arah serat secara simetri ialah agar tidak terjadi kopel.



**Gambar 5.** Penambahan laminat pada *face* bagian atas dan bawah untuk Alternatif Desain I sampai dengan IV.



**Gambar 6.** Penambahan laminat pada *face* bagian atas dan bawah untuk Alternatif Desain V.

0.125

Laminat untuk papan *sandwich* pada alternatif desain V terdiri dari 3 (tiga) lapis lamina material *face* yang terbuat dari serat WR (*Woven Roving*) dan 1 (satu) lapis lamina material *core* dengan tebal  $\frac{1}{2}$  (setengah) material *core* sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:  $((WR_{0,90}/WR_{\pm 45}/WR_{0,90})_1/\frac{1}{2}core)_s$  seperti disajikan di Gambar 6. Iterasi juga dilakukan untuk 2 lapis laminat  $((WR_{0,90}/WR_{\pm 45}/WR_{0,90})_2/\frac{1}{2}core)_s$ , serta 3 lapis laminat  $((WR_{0,90}/WR_{\pm 45}/WR_{0,90})_3/\frac{1}{2}core)_s$ , dan seterusnya. Tebal lamina pada material *face* diperkirakan sekitar 0,25 mm. Pada alternatif desain ini, serat yang digunakan merupakan jenis *woven*. Maka untuk setiap lamina, serat memiliki orientasi dalam dua arah sekaligus yang saling tegak lurus. Penambahan 3 (tiga) lapis lamina pada *face* bagian atas dan bawah dilakukan secara simetri (lihat Gambar 6), sehingga dapat diketahui tebal *face*, *core*, dan papan yang paling optimal menurut kriteria-kriteria perancangan.

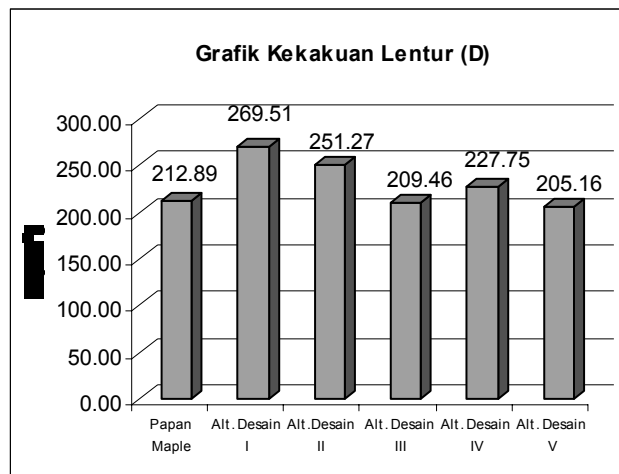
### 3.5 Pengkajian Alternatif Desain

Berdasarkan hasil perhitungan menurut kekakuan lentur (yang mendekati papan Maple), maka dipilih tingkat ketebalan papan, *face*, dan *core* untuk masing-masing alternatif desain seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Perbandingan kekakuan lentur dan kekakuan lentur spesifik masing-masing alternatif desain diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8.

**Tabel I.** Pemilihan tebal papan, *face*, dan *core* pada masing-masing alternatif desain

NO	NAMA	t	t <sub>f</sub>	t <sub>c</sub>	D	D/ρ	ΔD	Δ(D/ρ)
1	Papan Maple	10	-	-	212,89	0,31	-	-
2	Alt. Desain I	8	0,875	6,25	269,51	0,56	26,60%	79,34%
3	Alt. Desain II	8	0,875	6,25	251,27	0,53	14,24%	38,93%
4	Alt. Desain III	11	0,875	9,25	209,46	0,46	-1,37%	28,02%
5	Alt. Desain IV	11	0,875	9,25	227,75	0,53	7,10%	45,31%
6	Alt. Desain V	11	0,75	9,5	205,16	0,43	-3,39%	22,41%

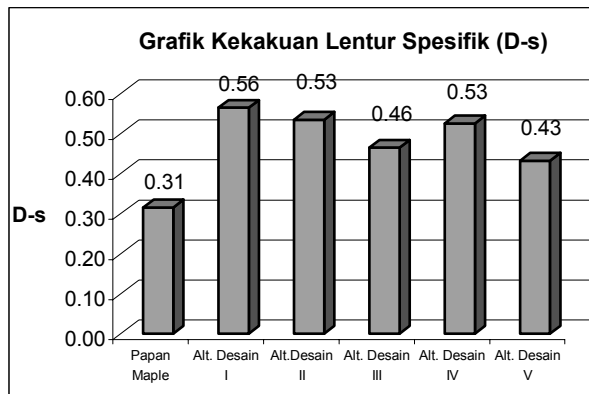
- t = tebal papan (mm)
- t<sub>f</sub> = tebal *face* (mm)
- t<sub>c</sub> = tebal *core* (mm)
- D = kekakuan lentur (Nm<sup>2</sup>)
- ρ = masa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- D/ρ = kekakuan lentur spesifik (Nm<sup>2</sup>/(kg/m<sup>3</sup>))
- ΔD = D<sub>Alt desain</sub> - D<sub>Maple</sub>
- Δ(D/ρ) = (D/ρ)<sub>Alt desain</sub> - (D/ρ)<sub>Maple</sub>



**Gambar 7.** Grafik kekakuan lentur (D).

Gambar 7 memperlihatkan bahwa Alternatif Desain III memiliki kekakuan lentur yang paling mendekati papan Maple dibandingkan dengan alternatif desain lainnya. Gambar 8 memperlihatkan bahwa seluruh alternatif desain menghasilkan kekakuan lentur spesifik yang lebih besar daripada papan Maple. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk kekakuan lentur yang hampir sama, masa jenis yang dimiliki oleh seluruh alternatif desain lebih rendah dari kayu Maple. Setelah dipilih tebal papan, *face*, dan *core* kemudian dihitung faktor keselamatan dan kekuatan spesifik yang dimiliki oleh papan Maple dan masing-masing alternatif desain (lihat Tabel 2). Perbandingan faktor keselamatan masing-masing alternatif desain diperlihatkan pada Gambar 9.



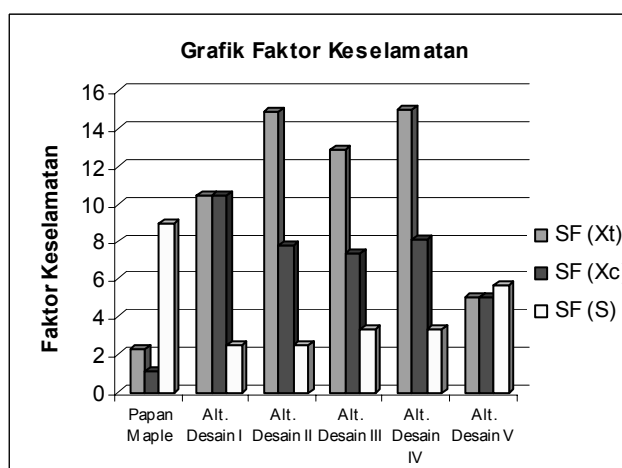


Gambar 8. Grafik kekakuan lentur spesfik (D/ρ).

Tabel II. Faktor keselamatan dan kekuatan spesifik

NO	NAMA	SF (X <sub>t</sub> )	SF (X <sub>c</sub> )	SF (S)	X <sub>t</sub> /ρ	X <sub>c</sub> /ρ
1	Papan Maple	2,24	1,12	9	1,60E+05	7,99E+04
2	Alt. Desain I	10,41	10,41	2,51	3,03E+06	3,03E+06
3	Alt. Desain II	14,85	7,79	2,51	4,38E+06	2,30E+06
4	Alt. Desain III	12,82	7,36	3,34	2,40E+06	1,38E+06
5	Alt. Desain IV	15,00	8,08	3,37	2,95E+06	1,59E+06
6	Alt. Desain V	5,00	5,00	5,68	7,70E+05	7,70E+05

SF (X<sub>t</sub>) = faktor keselamatan kekuatan tarik arah-x,  
 SF (X<sub>c</sub>) = faktor keselamatan kekuatan tekan arah-x  
 SF (S) = faktor keselamatan kekuatan geser bidang-xy  
 X<sub>t</sub>/ρ = kekuatan tarik arah-x spesifik (Pa/(kg/m<sup>3</sup>))  
 X<sub>c</sub>/ρ = kekuatan tekan arah-x spesifik (Pa/(kg/m<sup>3</sup>))



Gambar 9. Grafik Faktor Keselamatan.

Berdasarkan Grafik Faktor Keselamatan, terlihat bahwa seluruh alternatif desain memiliki faktor keselamatan untuk beban normal arah-x yang lebih besar daripada papan Maple. Sedangkan untuk

beban geser, faktor keselamatan seluruh alternatif desain lebih rendah daripada papan Maple. Hal ini merupakan salah satu kekurangan yang dimiliki oleh papan *sandwich*. Walaupun faktor keselamatan untuk beban gesernya rendah, namun papan *sandwich* masih tergolong aman karena mempunyai faktor keselamatan yang lebih besar dari 2 (dua).

### 3.6 Pemilihan Alternatif Desain

Pemilihan alternatif desain dilihat dari nilai kekakuan lentur dan kekakuan lentur spesifik yang dimiliki oleh masing-masing alternatif desain agar dapat dihasilkan produk desain yang optimal. Tabel 3 memperlihatkan perbandingan relatif antara kelima alternatif desain tersebut.

**Tabel III.** Tabel Perbandingan Relatif

NO	NAMA	D	D/ρ	NILAI
1	Alt. Desain I	Datum	Datum	0
2	Alt. Desain II	+	-	0
3	Alt. Desain III	++++	---	1
4	Alt. Desain IV	++	--	0
5	Alt. Desain V	+++	----	-1

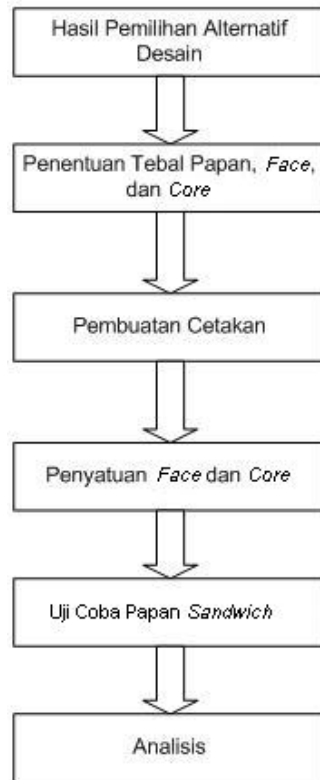
Solusi optimal dipilih dengan menggunakan Tabel Perbandingan Relatif. Alternatif Desain I dijadikan acuan dan disebut sebagai datum. Tabel Perbandingan Relatif menunjukkan bahwa Alternatif Desain III memiliki selisih kekakuan lentur yang paling kecil dibandingkan dengan alternatif desain lainnya (diberi nilai ++++ karena mendekati kekakuan kayu Maple). Sedangkan Alternatif Desain V memiliki selisih kekakuan lentur spesifik yang paling kecil dibandingkan dengan alternatif desain lainnya (diberi nilai ---- karena relatif berat). Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai total masing-masing alternatif desain relatif terhadap Alternatif Desain I sebagai berikut :

- Alternatif desain I = 0
- Alternatif desain II = 0
- Alternatif desain III = 1
- Alternatif desain IV = 0
- Alternatif desain V = -1

Dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa alternatif desain yang paling optimal adalah Alternatif Desain III.

### 4. UJI COBA PEMBUATAN

Karena *preform Unidirectional Prepreg* memiliki harga yang sangat mahal dan jarang dipasarkan di Indonesia, uji coba pembuatan papan *sandwich* dilakukan untuk Alternatif Desain V (serat WR) yang sebenarnya merupakan alternatif desain terburuk. Langkah-langkah proses uji coba pembuatan diperlihatkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Proses Uji Coba Pembuatan Papan *Sandwich*.

Proses uji coba pembuatan papan *sandwich* ini merujuk pada papan model dari pasar. Setelah diputuskan tebal papan, *face*, dan *core* yang akan dibuat, kemudian dilakukan proses pembuatan cetakan. Cetakan dibuat mengikuti profil papan model dan komposit dengan serat WR dibuat dengan proses *hand lay up*. Selanjutnya dilakukan proses penyatuan material *face* dan *core* sehingga tercipta struktur *sandwich*. Papan *sandwich* yang dihasilkan dari uji coba ini selanjutnya dites langsung oleh pemain agar dapat dianalisis kekurangannya. Gambar 11 memperlihatkan *skateboard* hasil uji coba ini yang masih sedikit terlalu berat (200 gram) dan terlalu lentur karena keterbatasan material dan proses pembuatannya (proses *wet/hand layup* [8]). Saat proses produksi berlangsung terjadi penambahan volume cetakan sehingga fraksi volume serat berkurang dan berdampak pada menurunnya kekakuan lentur dan kekuatan normal *face*.



**Gambar 11.** Hasil Uji Coba Pembuatan

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Alternatif desain yang paling optimal menurut hasil perhitungan Tabel Perbandingan Relatif adalah Alternatif Desain III, yaitu struktur *sandwich* dengan material *face* dari *Generic E-Glass/Epoxy Unidirectional Prepreg* dan *core* dari kayu Balsa dengan massa jenis  $96 \text{ kg/m}^3$ . Susunan laminat *sandwich* dapat dituliskan sebagai berikut  $(0/90/45/-45/45/90/0/1/2\text{core})_s$ . Ketebalan papan, *face*, dan *core* hasil perancangan tersebut masing-masing adalah 11, 0,875, dan 9,25 mm.
2. Bahan baku komposit berjenis *unidirectional prepreg* sukar ditemui di pasaran Indonesia. Uji coba pembuatan papan *sandwich* dilakukan untuk Alternatif Desain V dan menggunakan material yang mudah diperoleh, yaitu material *face* dari *E-Glass/Epoxy woven fabric* dan *core* dari kayu Balsa yang berdensitas  $180 \text{ kg/m}^3$ . Susunan laminat *sandwich* dapat dituliskan sebagai berikut  $(WR_{0,90}/WR_{\pm 45}/WR_{0,90}/1/2\text{core})_s$ . Papan yang dihasilkan oleh uji coba memiliki beberapa kekurangan, yaitu masa papan uji coba lebih besar 200 g terhadap papan Maple dan 500 g terhadap Alternatif Desain V. Selain itu, kekakuan lenturnya juga lebih rendah dibandingkan papan Maple dan Alternatif Desain V.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] <http://www.isask8.com>
- [2.] Green, D.W, J.E. Winandy, and D.E. Kretschmann, 1999, *Mechanical Properties of Wood*, Forest Product Laboratory, Madison, WI.
- [3.] Keunings, R., 1997, *Macromechanics of Composites*, EUPOCO Handbook – Module 4, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [4.] <http://www.exploratium.edu>.
- [5.] Zenkert, D., 1995, *An Introduction to Sandwich Construction*, Chameleon Press Ltd., London, UK.
- [6.] Diskusi dengan beberapa pemain *skateboard Indonesia*, yaitu: Harris Iskandarsyah, Budiman Raharjo, Gemara S, dan Bayu Hanandhika..
- [7.] <http://www.composite.about.com>.
- [8.] Searle, T.J and J. Summerscales, 2000, *Open Mold Techniques for Thermoset Composites*, Comprehensive Composite Materials – Vol. 2, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK.