

REKAYASA DAN MANUFAKTUR KOMPOSIT SANDWICH HIBRID UNTUK PANEL

Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura

Email: agus.hariyanto@ums.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi volume core terhadap peningkatan kekuatan Impak komposit sandwich hibrid berpenguat kombinasi serat rami woven dan serat gelas woven bermatrix polyester dengan core berpenguat kombinasi serbuk kayu jati dan mahoni bermatrix polyester. Mekanisme perpatahan diamati dengan foto makro.

Bahan yang digunakan untuk skin adalah serat rami (woven), serat E-Glass (woven), resin unsaturated polyester 157 BQTN (UPRs). Bahan yang digunakan untuk core adalah serbuk kayu jati dan mahoni dengan mesh 30 pada fraksi volume 30%, 40%, dan 50%, resin unsaturated polyester 157 BQTN. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Komposit sandwich hibrid tersusun terdiri dari dua skin komposit hibrid dengan core hibrid ditengahnya. Skin komposit hibrid sebagai lamina terdiri dari dua lamina serat gelas anyam dan satu lamina serat rami (woven - woven – woven). Fraksi volume serat komposit skin hibrid adalah 30%. Komposit core hibrid yang digunakan adalah serbuk kayu jati dan mahoni dengan mesh 30 pada fraksi volume 30%, 40%, dan 50% dengan resin unsaturated polyester 157 BQTN. Variabel utama penelitian yaitu fraksi volume core (30%, 40%, dan 50%). Spesimen dan prosedur pengujian Impak mengacu pada standard ASTM D 5942.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume core mampu meningkatkan energi serap dan kekuatan impak komposit sandwich hibrid. Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.

Kata Kunci: *komposit sandwich hibrid, kekuatan impak, fraksi volume, mekanisme patahan.*

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate the effect of core's volume fraction to the increment of impact strength of sandwich hybrid composite reinforced with the combination of ramie fiber and polyester matrixed woven glass fiber with the core reinforced with the combination of teakwood powder and polyester matrixed mahony. The fracture mechanism is observed with macro photo.

Materials that are utilized for skin are ramie fiber (woven), fiber E-Glass (woven), and 157 BQTN unsaturated polyester resin (UPRs). Materials that are utilized for core are teakwood and mahony powder with 30 meshes on 30%, 40%, and 50% volume fraction

of 157 BQTN unsaturated polyester resin. Hardener which is utilized is MEKPO with 1% concentration. Composite is made by print presses method. Sandwich hybrid composite consists of two skins hybrid composite with hybrid core between them. Hybrid composite skin as lamina consists of two lamina of glass fiber woven and one lamina ramie fiber (woven- woven – woven). Volume fraction of hybrid composite skin is 30%. Hybrid cores composite which are used are teakwood and mahony powder with 30 meshes 30%, 40%, and 50% volume fraction of 157 BQTN unsaturated polyester resin. The main variable of this experiment is the volume fraction of the core (30%, 40%, and 50%). Specimen and impact examination procedure reffer on ASTM D 5942 standard.

The results show that the increment of the volume fraction of the core can increase absorb energy and impact strengness of sandwich hybrid composite. The fracture mechanism was started by the failure of the tensile part of composite's skin, followed by shear failure of the core, and ended up by the failure of compression side of the skin. On the boundary region between core and skin pointed out that there was delamination failure.

Keyword: sandwich hybrid composite, impact strength, volume fraction, fracture mechanism.

PENDAHULUAN

Munculnya *issue* permasalahan limbah *non-organik* serat sintetis yang semakin bertambah mampu mendorong perubahan *trend* teknologi komposit menuju *natural composite* yang ramah lingkungan. Serat alam mencoba menggeser serat sintetis, seperti *E-Glass*, *Kevlar-49*, *Carbon/Graphite*, *Silicone carbide*, *Aluminium Oxide*, dan *Boron*. Salah satu jenis serat alam yang tersedia secara melimpah adalah serat rami. Keuntungan penggunaan komposit antara lain ringan, tahan korosi, tahan air, *performance*-nya menarik, dan tanpa proses pemesinan. Beban konstruksi juga menjadi lebih ringan. Harga produk komponen yang dibuat dari komposit *glass fibre reinforced polyester (GFRP)* dapat turun hingga 60%, dibanding produk logam (Abdullah dan Handiko, 2000). Komposit *sandwich* hibrid merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit ini terdiri dari *flat* hibrid komposit dan *core* hibrid. *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvynil Clorida (PVC)*, dan *honeycomb*.

Ketersediaan *serbuk kayu jati dan mahoni* yang berlimpah, merupakan SDA yang dapat direkayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* hibrid komposit *sandwich* hibrid. Rekayasa *core* hibrid dapat dilakukan dari kayu utuh ataupun limbah serbuk/potongan kayu. Konsep rekayasa *core* hibrid ini merupakan tahapan alih teknologi yang diilhami oleh masuknya *core impor kayu balsa* dari Australia. Sifat fisik serbuk kayu jati dan mahoni hampir sama dengan kayu balsa.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian tentang rekayasa komposit *sandwich* hibrid dengan *core* hibrid limbah serbuk kayu jati dan mahoni merupakan kajian yang sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Berhubung mayoritas beban yang diterima berbagai panel komposit *sandwich* hibrid adalah bending, maka kajian mekanis yang dipandang sangat penting dilakukan adalah kajian kekuatan bending.

TINJAUAN PUSTAKA

Hariyanto meneliti pengaruh ketebalan *core* dan perlakuan alkali serat kenaf terhadap peningkatan kekuatan bending komposit *hybrid sandwich* kombinasi serat kenaf dan serat

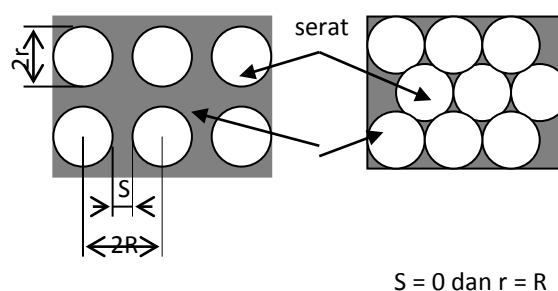
gelas bermatrix *Polyester* dengan *core* kayu sengon laut [1]. Bahan yang digunakan adalah serat kenaf (acak, anyam), serat *E-Glass* (anyam), *resin unsaturated polyester 157 BQTN (UPRs)*, kayu sengon laut, dan *NaOH* teknis. *Hardener* yang digunakan adalah *MEKPO* dengan konsentrasi 1%. Variabel utama penelitian yaitu perlakuan alkali serat kenaf (0 & 2 jam) dan tebal *core* (5, 10, 15, 20 mm). Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Fraksi volume serat komposit adalah 30%. Pengujian komposit sesuai dengan standar *ASTM* yang digunakan pengujian bending yang mengacu pada standar *ASTM C 393-00*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketebalan *core* mampu meningkatkan kekuatan bending dan momen bending komposit *hybrid sandwich*. Perlakuan alkali pada serat kenaf menurunkan kekuatan bending pada komposit *hybrid sandwich*. Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit *skin* bagian tarik, *core* gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan *skin* sisi tekan. Pada bagian daerah batas *core* dan komposit *skin* menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.

Sifat Mekanis Komposit *Sandwich*

Wahyanto dan Diharjo menyimpulkan bahwa komposit *sandwich* serat gelas acak 300 gr/m² pada $V_f = 30\%$ bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm memiliki kekuatan bending dan impak 125,44 MPa dan 0,045 Mpa [2]. Menurut Febrianto dan Diharjo pada komposit hibrid *sandwich* serat *E-glass* acak 300 gr/m² dan kenaf anyam 810 gr/m² pada $V_f = 30\%$ bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm, kekuatan bending dengan *core* arah serat kayu horisontal adalah 263,28 MPa, lebih besar 81% di atas komposit *sandwich* hibrid dengan *core* kayu vertikal 97,5 Mpa [3]. Kekuatan impak komposit *sandwich* dengan *core* vertikal 0,0604 J/mm², lebih besar 4,4% di atas kekuatan impak dengan *core* arah serat kayu horisontal 0,0578 J/mm².

Aspek Geometri

Menurut Gibson penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi, dan fraksi volume, agar dihasilkan komposit berkekuatan tinggi [4]. Untuk suatu lamina *unidirectional*, dengan serat kontinu dengan jarak antar serat yang sama, dan direkatkan secara baik oleh matrik, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Fraksi volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [5]:



$$V_f = \frac{\pi}{4} \left[\frac{r}{R} \right]$$

$$V_f = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left[\frac{r}{R} \right]^2$$

Gambar 1 Struktur mikro komposit dengan peletakan serat teratur [4].

$$V_1 = \frac{W_1 / \rho_1}{W_1 / \rho_1 + W_2 / \rho_2 + \dots} \quad (1)$$

$$W_1 = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots} \quad (2)$$

dengan catatan :

V_1, V_2, \dots = fraksi volume, (%)

W_1, W_2, \dots = fraksi berat, (%)

ρ_1, ρ_2, \dots = densitas bahan pembentuk, (gr/Cm³)

Kekuatan komposit dapat ditentukan dengan persamaan [5]:

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (3)$$

Kekuatan Impak Komposit *Sandwich*

Pada umumnya, material komposit mempunyai nilai impact dan energi serap. Akibat pengujian impact, pada bagian sisi kanan spesimen mengalami tekanan, dan bagian sisi kiri mengalami tarikan. Kegagalan yang terjadi akibat uji impact komposit yaitu mengalami patah pada bagian sisi kiri karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Kekuatan impact komposit dapat ditentukan dengan persamaan (4) [6]:

$$a_{cu} = \frac{W}{h \times b} \times 10^3 = \frac{W}{h \times b} \quad (4)$$

Energi serap dapat ditentukan dengan persamaan (5) [6]:

$$W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (5)$$

Mode Kegagalan Impact Komposit *Sandwich*

Hillger mengemukakan bahwa ada beberapa macam tipe kerusakan pada pengujian impact yang dapat dideteksi seperti: retak, delaminasi pada *skin*, *debonding* antara *skin* dan *core*, serta kerusakan di dalam *core* [7]. Luas kerusakan impact pada struktur *sandwich* dipengaruhi oleh material *core* dari tumpukan laminasi permukaan *sandwich*, ukuran, massa, kecepatan pendulum dan kemampuan dari komponen *sandwich* untuk menyerap beban kejut. Pada struktur *sandwich* dengan *core*, delaminasi dapat dideteksi pada daerah terimpak yang berada di antara *skin* dan *core*. Macam-macam kerusakan akibat beban impact ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Kerusakan pada struktur sandwich akibat beban impact [7]

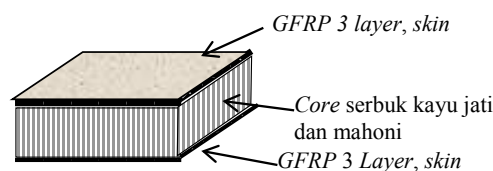
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama penelitian adalah *serat rami (woven)* dengan *density* 1.6 gr/m³, *serat E-Glass (woven)* dengan *density* 450 gr/m², bahan *core* serbuk kayu jati dan mahoni pada *mesh* 30 dengan *density* 0.68 gr/m³ dan 0.62 gr/m³, *unsaturated poliester type 157 BQTN*, dan *hardener MEKPO* dengan kadar 1%. Peralatan yang digunakan adalah Mesin uji impact *Charpy*, timbangan untuk menentukan fraksi volume serat foto makro, *oven pengering*, *press mold*.

Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji komposit *sandwich* hibrid dibuat dengan metode *press mold*. Fraksi volume serat lamina komposit hibrid/ *skin* bagian ditentukan 30%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit *sandwich* hibrid saat pencetakan. Komposit *sandwich* hibrid tersusun dari dua *skin* komposit hibrid dengan *core* hibrid *serbuk kayu jati dan mahoni* di bagian tengahnya. Lamina komposit hibrid tersusun dari 2 lamina serat *E-glass woven* dan 1 lamina serat rami *woven*. Posisi serat *E-glass* ditempatkan pada sisi terluar yang menerima beban lebih berat. Serat rami yang digunakan terdiri dari serat tanpa perlakuan. *Core* hibrid serbuk kayu jati dan mahoni dibuat dengan metode *press mold*. Fraksi volume *core* divariasikan 30%, 40%, dan 50% ditunjukkan seperti pada gambar 3.

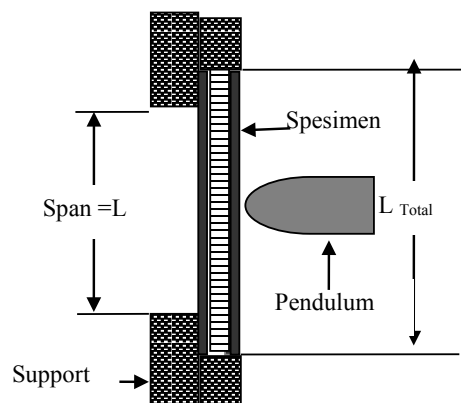


Gambar 3. Komposit *sandwich* hibrid [8]

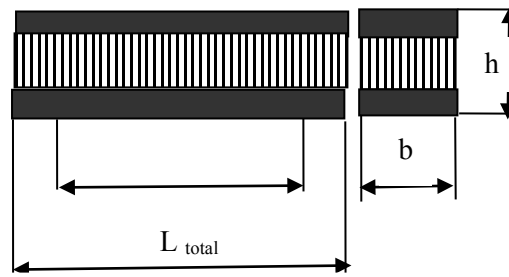
Agar hasil penelitian lebih komprehensif, maka komponen penyusun komposit *sandwich hibrid* juga dilakukan uji impact. Pembuatan spesimen ini dilakukan tersendiri dengan mengacu standar *ASTM D 5942* (untuk impact komposit *sandwich*).

Metode Pengujian Spesimen Uji

Berhubung aplikasi komposit *sandwich* hibrid adalah untuk *panelling/kereta api*, bis, maka pengujian yang penting dilakukan adalah uji impact. Pengujian impact dilakukan menurut standar *ASTM D 5942*. ditunjukkan pada gambar 4 dan 5 untuk Pemasangan spesimen uji impact (*flat wise impact*) dan spesimen uji impact *charpy*.



Gambar 4. Pemasangan spesimen uji impact (Flat wise Impact)



Gambar 5. Spesimen uji impact Charpy

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis Kekuatan Impact

Tabel 1

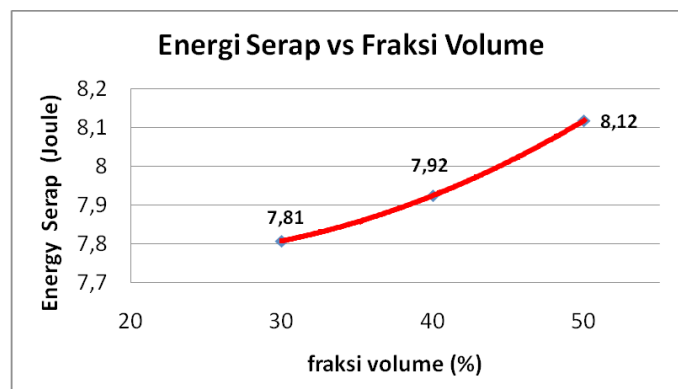
Energi serap komposit sandwich hibrid	
Fraksi Volume (%)	Energi Serap W(Joule)
30	7.81
40	7.92
50	8.12

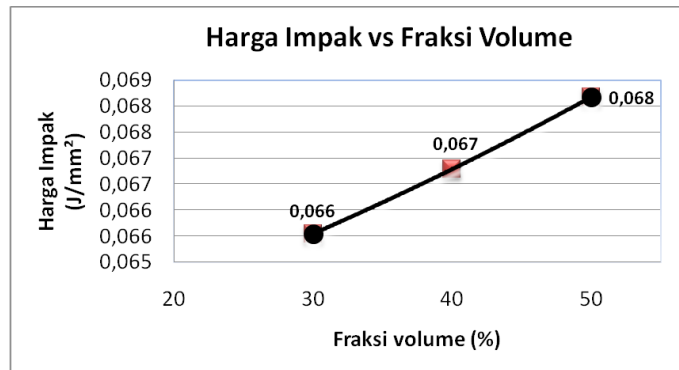
Tabel 2

Kekuatan impact komposit sandwich hibrit	
Fraksi Volume (%)	Kekuatan Impact a_{cu} (J/mm ²)
30	0.066
40	0.067
50	0.068

Komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat rami dan *E-Glass* tanpa perlakuan mampu menyerap energi yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Energe serap meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich hibrid* menunjukkan secara signifikan peningkatan kemampuan menyerap energi. Sifat material yang lebih lunak (*core* hibrid serbuk kayu jati dan mahoni) dan penambahan fraksi volume menyebabkan memiliki kemampuan menyerap energi yang lebih tinggi.

Bila ditinjau dari segi kekuatan impact seperti ditunjukkan pada gambar 7, kekuatan impact komposit *sandwich* hibrid meningkat secara signifikan seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Kekuatan impact *optimum* pada fraksi volume *core* 50 %.

Gambar 6 Kurva energy serap komposit *sandwich* hibrid.



Gambar 7 Kurva kekuatan impak komposit *sandwich* hibrid.

Berdasarkan analisis yang dihitung dengan standar *ASTM D 5942*, komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat rami dan *E-Glass* tanpa perlakuan, memiliki kekuatan impak yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Hal yang sama menunjukkan bahwa energi serap yang paling optimum terjadi pada komposit *sandwich* hibrid dengan fraksi volume *core* 50 %.

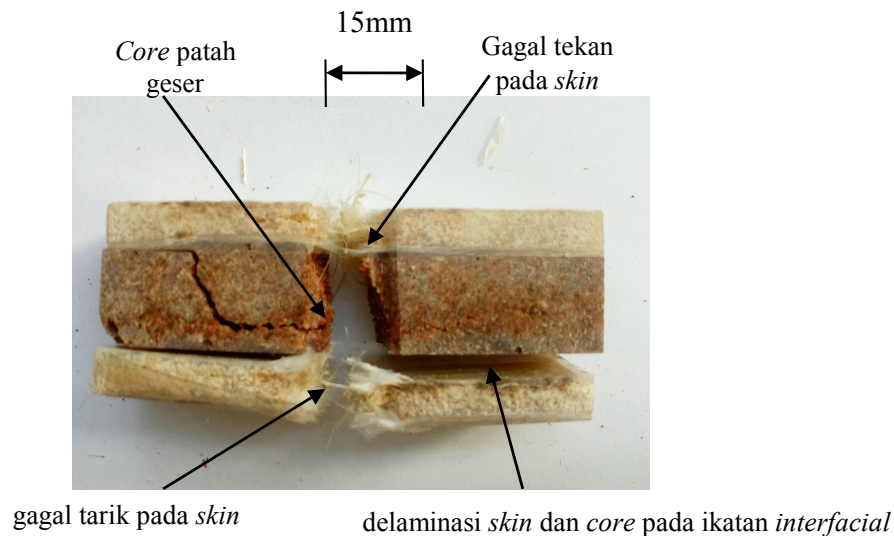
Analisis Pola Kegagalan



Gambar 8 Permukaan patah komposit *sandwich* hibrid pada $V_f = 30\%$



Gambar 9. Permukaan patah komposit *sandwich* hibrid pada $V_f = 40\%$



Gambar 10. Penampang patahan komposit *sandwich* hibrid pada $V_f = 50\%$

Kegagalan impak komposit *sandwich* hibrid ditunjukkan pada gambar 8, 9, dan 10. Secara umum, pola kegagalan diawali dengan retakan pada komposit *skin* yang menderita tegangan tarik. Kemudian, beban impak tersebut didistribusikan pada *core* sehingga menyebabkan *core* mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core*. Gambar 10 menunjukkan secara jelas adanya kegagalan tarik pada komposit *skin* bawah, gagal geser *core* dan kegagalan tekan pada *skin* atas. Mekanisme patahan terjadi karena kegagalan komposit *sandwich* hibrid akibat beban bending berawal dari *skin* komposit sisi belakang (bawah) dan dilanjutkan dengan kegagalan *core*, delaminasi *skin* dan *core* pada ikatan *interfacial*.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi volume *core* pada 30% hingga 50% pada komposit *sandwich hybrid* meningkatkan energi serap sebesar 7.81 hingga 8.12 Joule. Harga yang optimum pada fraksi volume *core* 50% sebesar 8.12 Joule.
2. Penambahan fraksi volume *core* pada 30% hingga 50% pada komposit *sandwich hybrid* meningkatkan kekuatan impak sebesar 0.066 menjadi 0.068 Joule/mm². Harga yang optimum pada fraksi volume *core* 50 % sebesar 0.068 Joule/mm².
3. Tahapan pola kegagalan komposit *sandwich* hibrid adalah kegagalan tarik *skin* komposit sisi bawah, kegagalan geser *core*, delaminasi *skin* komposit sisi atas dengan *core*, kegagalan *skin* komposit sisi atas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hariyanto, A., 2006. *Studi Perlakuan Alkali dan Tebal Core Terhadap Sifat Bending dan Impak Komposit Hybrid Sandwich Serat Kenaf dan Gelas Bermatrik Polyester dengan Core Kayu Sengon Laut*, Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [2] Wahyanto, B, Diharjo, K, 2004, *Karakterisasi Uji Bending Dan Impak Komposit Sandwich GRFP dengan Core Kayu Sengon Laut*, Skripsi, UNS, Surakarta.

- [3] Febrianto, B, Diharjo, K, 2004, *Kekuatan Bending dan Impak Komposit Hibrid Sandwich Kombinasi Serat Karung Goni dan Serat Gelas Polyester dengan Core Kayu Sengon Laut*, Skripsi, UNS, Surakarta.
- [4] Gibson, O. F., 1994. *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- [5] Shackelford, 1992. *Introduction to Materials Science for Engineer*, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.
- [6] Annual Book of Standards, Section 8, D 5942-96, *Standard Test Methods for Determining Charpy Impact Strength of Plastics*, ASTM, 1996.
- [7] Hillger, 1998, *Inspection of CFRP and GFRP Sandwich Components*, Wilhelm Raabe Weg 13, D-3 8110 Braunschweig.
- [8] Allen, H.G., 1969, *Analisis and design of structural sandwich Panels*, Pergamon press.
- [9] *Annual Book of Standards, Section 8, D 790-02, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials1"*, ASTM, 2002.