

PENGARUH VARIASI JENIS *CORE*, TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING* TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON DENGAN METODE *VACUUM INFUSION*

Wahyu Budi Utomo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: wahyu.17050754075@mhs.unesa.ac.id

Novi Sukma Drastiawati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: novidrastiawati@unesa.ac.id

Abstrak

Mahasiswa jurusan Teknik Mesin mempunyai sebuah tim mobil hemat energi bernama Garuda Unesa (Garnesa). Garnesa adalah kendaraan urban yang didesain khusus untuk mengikuti lomba kendaraan hemat energi, rendah emisi, dan ramah lingkungan yang mengikuti lomba KMHE dan SEM. Persaingan dengan peserta dari universitas lain sangat ketat, sehingga diperlukan riset yang mendalam, kreativitas, dan inovasi dalam bidang teknologi otomotif. Salah satunya adalah mengurangi massa kendaraan (reduksi massa) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar tetapi kendaraan harus tetap mempertimbangkan faktor keamanan. Reduksi massa mengakibatkan performa engine sebagai penggerak kendaraan menjadi semakin ringan yang akan berakibat pada hasil akhir konsumsi bahan bakar. Bagian utama kendaraan yang dapat direduksi massanya adalah sasis dan bodi. Dalam upaya untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu adanya inovasi pada bidang material, salah satunya adalah penggantian sasis kendaraan yang sebelumnya terbuat dari logam menjadi komposit. Pembuatan bodi kendaraan yang sebelumnya terbuat dari *fiberglass* dengan metode *hand lay up* diperbaiki dengan *carbon fiber* metode *vacuum infusion*.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa hasil terbesar terdapat pada *core* kayu balsa dengan nilai kekuatan *bending* sebesar 27,04MPa, *core honeycomb polypropylene* (PP) memiliki nilai kekuatan *bending* sebesar 14,66MPa, dan hasil kekuatan *bending* terendah terdapat pada *core PVC foam board* dengan nilai sebesar 10,69MPa. Nilai kekuatan *bending* dari komposit *core* kayu balsa dengan temperatur *curing* ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) adalah yang paling tinggi dengan nilai 38,31MPa. Pada *core honeycomb polypropylene* (PP) nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada temperatur *curing* ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) + *Post-Curing* 90°C dengan nilai 20,68MPa. *Core PVC foam board* nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada temperatur *curing* ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) + *post-curing* 90°C dengan nilai 12,97MPa. Peningkatan temperatur melebihi batas *tg* menurunkan jumlah ikatan *crosslink* pada matrik *epoxy*. Spesimen dengan perlakuan *curing* ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai hasil uji *bending* lebih tinggi dibandingkan dengan *curing* (90°C).

Kata Kunci: Jenis *Core*, *Curing*, *Post-Curing*, *Bending*, Komposit *Sandwich*, Serat Karbon, *Vacuum Infusion*

Abstract

Students majoring in Mechanical Engineering have an energy-efficient car team called Garuda Unesa (Garnesa). Garnesa is an urban vehicle specially designed to take part in the energy-efficient, low-emission, and environmentally friendly vehicle competition that takes part in the KMHE and SEM competitions. Competition with participants from other universities is very tight, so in-depth research, creativity, and innovation in automotive technology are needed. One of them is to reduce the mass of the vehicle (mass reduction) to increase the efficiency of fuel use but the vehicle must still consider the safety factor. Mass reduction results in lighter engine performance as a vehicle propulsion which will result in the final result of fuel consumption. The main parts of a vehicle that can be reduced in mass are the chassis and body. In an effort to overcome this, it is necessary to innovate in the material sector, one of which is the replacement of vehicle chassis that were previously made of metal into composites. The manufacture of the vehicle body which was previously made of fiberglass with the hand lay up method was repaired with carbon fiber with the vacuum infusion method.

Based on the results of research and data analysis, it can be concluded that the greatest results are found in balsa wood cores with a bending strength value of 27.04 MPa, honeycomb polypropylene (PP) cores

have a bending strength value of 14.66 MPa, and the lowest bending strength results are found in PVC foam cores. board with a value of 10.69MPa. The bending strength value of balsa wood core composite with curing temperature ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) was the highest with a value of 38.31MPa. In the honeycomb polypropylene (PP) core, the highest bending strength value is found at curing temperature ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) + Post-Curing 90°C with a value of 20.68MPa. Core PVC foam board has the highest bending strength value at curing temperature ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) + post-curing 90°C with a value of 12.97MPa. Increasing the temperature beyond the *T_g* limit decreases the number of crosslink bonds in the epoxy matrix. Specimens with curing treatment ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) had higher bending test results than those with curing (90°C).

Keywords: Core Type, Curing, Post-Curing, Bending, Sandwich Composite, Carbon Fiber, Vacuum Infusion

PENDAHULUAN

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Material komposit mempunyai keunggulan *strength to weight ratio* yang tinggi, kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi dibandingkan dengan logam (Prastyadi Chandra, 2017). Pengembangan komposit *sandwich* merupakan suatu hal yang sangat potensial. Komposit *sandwich* tersusun dari dua *skin* dan *core*. *Core* tersebut dapat berasal dari bahan sintesis seperti *honeycomb*, *polyurethane (PU)* dan *PVC foam* atau dari bahan alam seperti kayu balsa dan sengon. Berbagai jenis material bisa dipakai sebagai *skin* didalam struktur *sandwich*, seperti aluminium, titanium, baja, dan komposit polymer. Kekuatan struktur *sandwich* dipengaruhi oleh sifat mekanis *core* dan *skin*, tebal *core* dan *skin*, dan kuatnya ikatan antara *core* dan *skin* (Diharjo, 2011). Tahun 2010, Cesim Atas dan Cenk Sevim melaksanakan penelitian bab komposit *sandwich* dengan bahan *core PVC foam* dan kayu balsa untuk membandingkan kekakuan material tersebut dengan uji *impact*. Diharjo (2011) menghasilkan *core* kayu balsa menghasilkan kekakuan yang lebih tinggi daripada *PVC foam*.

Proses *curing* merupakan proses *polimerisasi* atau pemanasan material komposit agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat yang dilakukan diatas temperatur kamar. Peningkatan temperatur *curing* menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* sehingga dapat memberikan *cross-linking* pada material komposit, tetapi kekakuan material menurun. Proses *curing* dan *post-curing* di atas temperatur kamar ini dapat dilakukan dengan oven listrik dan *furnace*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Svenska, Scania Mariella (2016) dengan judul "Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* Dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Polyester-Hollow Glass Microspheres iM30K*" Penelitian yang dilakukan dengan variasi fraksi volume HGM 10% sampai 17% dengan penambahan 1%. Tiga perlakuan temperatur yang berbeda diterima spesimen yaitu, spesimen kode A di-*curing* pada temperatur ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam, spesimen

kode B di-*curing* pada temperatur ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan spesimen kode C di-*curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam. Hasil penelitian didapatkan bahwa tegangan *bending* komposit maksimum terdapat pada fraksi volume HGM sebesar 10% dengan nilai 126.61Mpa pada temperatur *curing* 27°C . Komposit dengan proses *curing* 27°C selama 24 jam menghasilkan nilai *bending* yang paling tinggi dibandingkan dengan spesimen *curing* 90°C .

Terdapat metode yang paling sering dipakai pada pembuatan komposit seperti *vacuum bagging*, manual *hand lay up*, dan *vacuum infusion*. Beberapa tahun belakangan, proses resin *infusion* dalam manufaktur struktur komposit karbon dengan matriks *epoxy* semakin populer karena memiliki beberapa keunggulan. Contohnya pada proses resin *infusion* dapat menghasilkan *part* dengan desain yang sulit dan menghasilkan sifat mekanik yang baik dan *waste* lebih sedikit (Wang et al., 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Suyadi, Hafez Haris Ariya (2015) dengan judul "Pengaruh Metode *Hand Lay Up* Dan *Vacuum Infusion* Terhadap Sifat Mekanik Material *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)* Pada Pembuatan Kapal Patroli *Bea Cukai*". Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, nilai rata-rata uji *bending* metode *vacuum infusion* adalah $3007,58\text{kg/cm}^2$, untuk *hand lay up* adalah 2583kg/cm^2 . Segi waktu pembuatan, *vacuum infusion* lebih efisien 11,11%, hasil ini menggunakan material dengan luasan sama. Dari sisi material yang dihabiskan metode *hand lay up* memerlukan resin *epoxy* 6,3kg dan *hardener* 63cc, metode *vacuum infusion* memerlukan resin *epoxy* 3kg dan *hardener* 15cc. disimpulkan bahwa penggunaan metode *vacuum* untuk kebutuhan material bisa mengefisiensi 64,285% apabila dibandingkan metode *hand lay up*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa metode *vacuum infusion* lebih efisien dari segi kebutuhan material, sifat mekanik, dan kebutuhan waktu.

Beberapa peneliti telah banyak melakukan riset dibidang komposit karbon, tetapi masih belum banyak yang melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion*. Untuk

Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion*

mengembangkan penelitian tersebut, peneliti tertarik melakukan kajian dan meneliti bagaimana meningkatkan kekuatan *bending* dan keringanan komposit dengan memvariasikan jenis *core*, temperatur *curing* dan *post-curing* menggunakan metode *vacuum infusion*. Harapan dari penelitian eksperimen ini adalah menghasilkan material komposit yang kuat, ulet, dan ringan sehingga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan sasis dan bodi kendaraan hemat energi Garnesa.

METODE

Metode pendekatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pendekatan kuantitatif yang salah satu jenisnya merupakan penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan (Sugiyono, 2016).

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Pembuatan spesimen dilakukan di Workshop Garuda Unesa Racing Team (GARNESA) Universitas Negeri Surabaya. Proses *curing* dan *post-curing* akan dilakukan di Laboratorium Mekatronika A9 Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Pengujian *bending* spesimen akan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pengujian SEM akan dilakukan di Laboratorium SEM Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai April 2021.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Variabel Bebas (*Independent Variabel*)

Dalam Penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi jenis *core* kayu balsa, *honeycomb polypropylene (PP)*, dan *PVC foam board*. Temperatur *curing* dan *post-curing* ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) dengan waktu 24 jam, ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) waktu 24 jam + 90°C dengan waktu 5 jam, dan 90°C waktu 24 jam.

Variabel Terikat (*Dependent Variabel*)

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* serat karbon yang didukung hasil uji SEM (mikro).

Variabel Kontrol (*Control Variabel*)

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- Matriks yang digunakan berjenis *epoxy bisphenol a-epiclorohydrin* dengan *hardener polyiminoamide*.

- Perbandingan matriks dan *hardener* adalah 10:3.
- Layer *carbon fiber* yang digunakan sebanyak lima lapis.
- Tekanan *vacuum* yang digunakan sebesar 1 HP dengan perpindahan udara 12 *cubic foot per-minute (cfm)*.
- Fraksi volume *skin* (serat karbon) 20%.
- Tebal *core* komposit *sandwich* sebesar 10mm.

Rancangan Penelitian

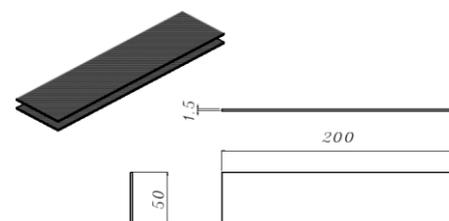
Langkah-langkah dalam penelitian mengikuti diagram alir (*Flowchart*) dibawah.



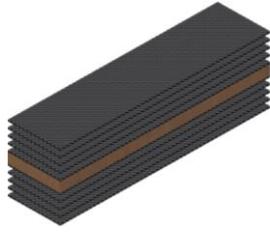
Gambar 1. *Flowchart* Penelitian



Gambar 2. a) *Core* Kayu Balsa b) Dimensi *Core*



Gambar 3. Serat Karbon



Gambar 4. Susunan Komposit Sandwich Dengan Skin Lima Layer

Proses Pembuatan Komposit
Proses Pembuatan Core, Komposit Sandwich, dan Vacuum Infusion



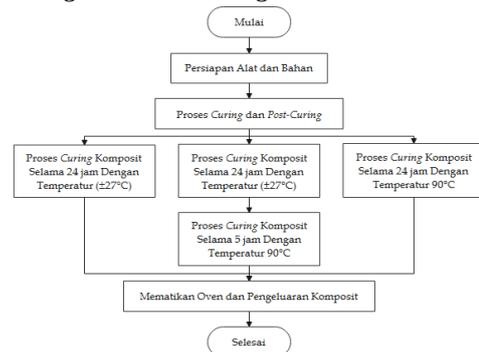
Gambar 5. Flowchart Proses Pembuatan Core, Komposit Sandwich, dan Vacuum Infusion

Berikut ini adalah flowchart dan tahap-tahap dalam pembuatan komposit sandwich:

- Persiapan alat dan bahan.
- Pengeringan bahan core menggunakan oven listrik dengan temperatur 90°C selama 24 jam.

- Pembuatan core dari bahan kayu balsa, honeycomb polypropylene (PP), dan PVC foam board dengan panjang 200mm, lebar 150mm, dan tinggi 10mm.
- Pembuatan komposit sandwich dan vacuum infusion dimulai dengan pemotongan carbon fiber, peel ply, infusion mesh, vacuum bagging film, dan spiral tube sesuai dengan ukuran cetakan.
- Pemberian release agent (wax) dilanjutkan PVA ke cetakan dan menunggu hingga kering.
- Peletakan carbon fiber lima layer. Peletakan antar layer carbon fiber harus disemprot aerosol spray terlebih dahulu agar carbon fiber tidak bergeser ketika dilakukan proses vacuum infusion.
- Peletakan core komposit sandwich.
- Peletakan carbon fiber lima layer seperti pada bagian sekunder (layer bawah).
- Peletakan peel ply (kain nilon), infusion mesh (jaring dari PE), spiral tube, dan vacuum bagging film (plastik kedap udara) secara berurutan.
- Perlekatan vacuum bagging film ke cetakan dengan menggunakan sealant tape.
- Pemasangan infusion tube dibagian yang menghubungkan wadah resin epoxy dan cetakan, cetakan dan tangki silinder, serta tangki silinder dan pompa vacuum.
- Pemasangan tangki silinder dilanjutkan dengan pemasangan pompa vacuum.
- Perhitungan fraksi volume bahan seperti resin epoxy dan hardener bertujuan agar bahan tersebut tidak berlebih ketika proses pembuatan komposit.
- Pengadukan campuran resin epoxy dan hardener hingga merata dan membiarkan selama beberapa menit untuk menghilangkan gelembung.
- Proses vacuum dimulai dengan menghilangkan udara dalam cetakan. Setelah udara menghilang, dilanjutkan proses vacuum resin epoxy. Menunggu hingga resin merata pada permukaan komposit.
- Pemasangan klem pada infusion tube ketika sudah selesai proses vacuum. Pemasangan tersebut agar resin dan udara tidak masuk kembali ke cetakan.

Proses Curing dan Post-Curing



Gambar 6. Flowchart Proses Curing dan Post-Curing

Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion*

- Menyalakan oven dengan temperatur 90°C dan menunggu hingga satu jam.
- Melakukan pengecekan temperatur dengan menggunakan termokopel. Jika temperatur oven stabil pada temperatur 90°C maka dapat dilanjutkan proses berikutnya.
- Memasukkan komposit kedalam oven (Komposit tetap dalam cetakan).
- Spesimen pertama dilakukan proses *curing* selama 24 jam dengan temperatur ($\pm 27^\circ\text{C}$).
- Spesimen kedua dilakukan proses *curing* selama 24 jam dengan temperatur ($\pm 27^\circ\text{C}$) kemudian proses *post-curing* dengan temperatur 90°C selama 5 jam.
- Spesimen ketiga dilakukan proses *curing* selama 24 jam dengan temperatur 90°C.
- Mematikan oven.
- Mengeluarkan komposit menggunakan sarung tangan anti panas.

Pengamatan Bentuk Fisik Komposit

Jika terdapat kerusakan pada komposit *sandwich* seperti retak, terdapat *void*, resin tidak merata, *skin* tidak merekat sempurna pada *core*, dan terdapat bahan lain yang melekat pada permukaan komposit. Maka komposit tidak bisa dipakai dan proses pembuatannya harus dilakukan kembali.

Pemotongan Spesimen

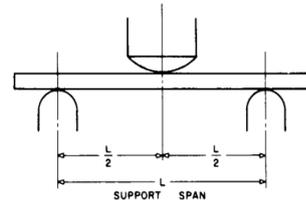
Setelah komposit diamati dan tidak terdapat cacat, selanjutnya komposit dibentuk menjadi spesimen sesuai dengan ukuran. Spesimen uji dibentuk menggunakan gerinda tangan. Proses pemotongan perlu dilakukan dengan perlahan, supaya material komposit tidak mengalami retak dan pecah ketika proses pembentukan menjadi spesimen uji mekanik. Dimensi spesimen uji harus sesuai dengan standar pengujian *bending* ASTM D 790-03.

Perhitungan Massa Spesimen

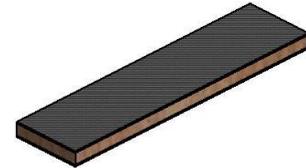
Perhitungan massa spesimen dilakukan setelah proses pemotongan spesimen selesai. Perhitungan massa menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Perhitungan massa bertujuan untuk membandingkan pengaruh massa pada setiap variasi spesimen terhadap perlakuan yang digunakan. Langkah pertama adalah menghitung massa setiap spesimen menggunakan timbangan digital. Langkah kedua adalah menghitung rata-rata massa dari tiga spesimen yang digunakan.

Prosedur Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* menggunakan standar ASTM D790-03 yang mempunyai ukuran panjang, lebar, dan tebal masing-masing 200mm, 50mm, dan 15mm dengan toleransi disetiap dimenisnya sebesar $\pm 0,5\text{mm}$.



Gambar 7. Pengujian *Bending* ASTM D790-03



Gambar 8. Spesimen Uji *Bending*

Pengujian *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM)

Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit Serat Karbon, adanya cacat rongga udara (*void*), retak matrik, *debonding* ataupun delaminasi spesimen akibat dari perlakuan *curing* dan *post-curing*. Pengujian SEM dilakukan dibagian *core* dan *skin* yang mengalami retak atau bagian pusat pengujian *bending*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Massa Spesimen

Tabel 1. Data Hasil Massa Spesimen

Variasi <i>Core</i>	Temperatur <i>Curing</i> dan <i>Post-Curing</i>	Spesimen	Massa (gram)
Kayu Balsa	$\pm 27^\circ\text{C}$	1	61
		2	59
		3	71
		Rata - Rata	63,67
	$\pm 27^\circ\text{C}$ + 90°C	1	64
		2	65
		3	69
		Rata - Rata	66
	90°C	1	66
		2	70
		3	67
		Rata - Rata	67,67
<i>Honeycomb Polypropylene (PP)</i>	$\pm 27^\circ\text{C}$	1	55
		2	55
		3	58
		Rata - Rata	56
	$\pm 27^\circ\text{C}$ + 90°C	1	54
		2	54
		3	57
		Rata - Rata	55
	90°C	1	51
		2	52
		3	50
		Rata - Rata	51

Variasi Core	Temperatur Curing dan Post-Curing	Spesimen	Massa (gram)
PVC Foam Board	±27°C	1	41
		2	43
		3	41
		Rata - Rata	41,67
	±27°C + 90°C	1	48
		2	44
		3	43
		Rata - Rata	45
	90°C	1	39
		2	43
		3	44
		Rata - Rata	42

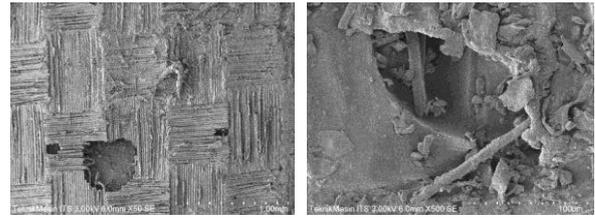
• Hasil Uji Bending

Tabel 2. Data Hasil Uji Bending

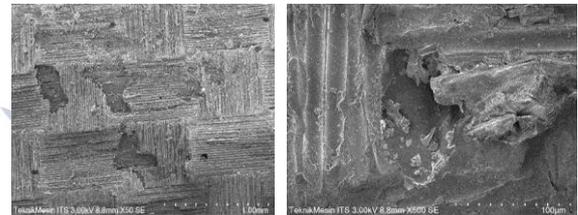
Variasi Core	Temperatur Curing dan Post-Curing	Spesimen	Hasil Uji Bending (MPa)
Kayu Balsa	±27°C	1	25,97
		2	31,98
		3	54,68
		Rata - Rata	37,54
	±27°C + 90°C	1	16,77
		2	20,90
		3	31,94
		Rata - Rata	23,21
	90°C	1	17,94
		2	24,41
		3	13,88
		Rata - Rata	18,75
Honeycomb Polypropylene (PP)	±27°C	1	14,75
		2	12,17
		3	9,68
		Rata - Rata	12,20
	±27°C + 90°C	1	20,63
		2	22,07
		3	19,34
		Rata - Rata	20,68
	90°C	1	6,88
		2	14,79
		3	11,67
		Rata - Rata	11,11
PVC Foam Board	±27°C	1	7,26
		2	10,70
		3	11,47
		Rata - Rata	9,81
	±27°C + 90°C	1	17,35
		2	10,01
		3	10,78
		Rata - Rata	12,71
	90°C	1	9,48
		2	7,64
		3	9,63
		Rata - Rata	8,92

Hasil Uji Struktur Mikro (SEM)

Data hasil uji *Scanning Electron Microscope (SEM)* pada spesimen dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 9. Hasil Uji SEM Kayu Balsa



Gambar 10. Hasil Uji SEM PVC Foam Board

Pembahasan

Uji Statistika Kruskal Wallis (Non Parametrik)

Pengujian non parametrik yang sangat identik dengan uji one way anova adalah uji kruskal wallis, sehingga uji ini adalah salah satu pengganti uji one way anova jika syarat asumsi normalitas dan homogenitas tidak terpenuhi. Uji ini merupakan uji non parametris dimana asumsi normalitas boleh dilanggar, maka tidak perlu lagi ada uji lain.

Analisa menggunakan metode uji kruskal wallis (non parametrik) harus mempunyai hipotesa sebelum mengambil simpulan, hipotesa yang dikemukakan sebagai berikut:

- Ho
Tidak terdapat perbedaan yang signifikan kekuatan *bending* pada spesimen komposit *sandwich* berpenguat serat karbon dengan variasi jenis *core* kayu balsa, *honeycomb polypropylene (PP)*, *PVC foam*, temperatur *curing* dan *post-curing*.
- Ha
Terdapat perbedaan yang signifikan kekuatan *bending* pada spesimen komposit *sandwich* berpenguat serat karbon dengan variasi jenis *core* kayu balsa, *honeycomb polypropylene (PP)*, dan *PVC foam*, temperatur *curing* dan *post-curing*.

Tabel 3. Hasil Uji Kruskal Wallis (Non Parametrik)

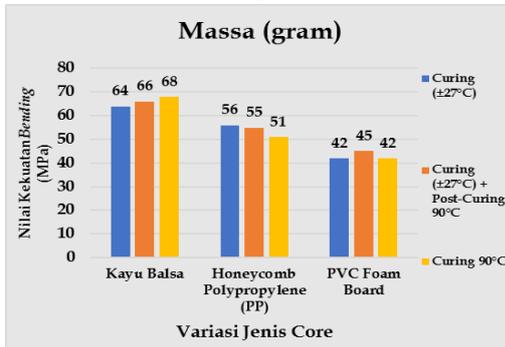
Test Statistic ^{a,b}	
	Hasil Uji Bending
Kruskal-Wallis H	20,866
Df	2
Asymp. Sig	,000
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: Jenis Core	

Nilai Sig. hasil hitung kruskal wallis pada tabel 3 adalah 0,000. Berdasarkan nilai Sig. maka dapat diambil

Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion*

keputusan bahwa H_0 ditolak dan H_a diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi jenis *core* kayu balsa, *honeycomb polypropylene (PP)*, dan *PVC foam*, temperatur *curing* dan *post-curing* komposit *sandwich* serat karbon dengan metode *vacuum infusion* terhadap kekuatan *bending*.

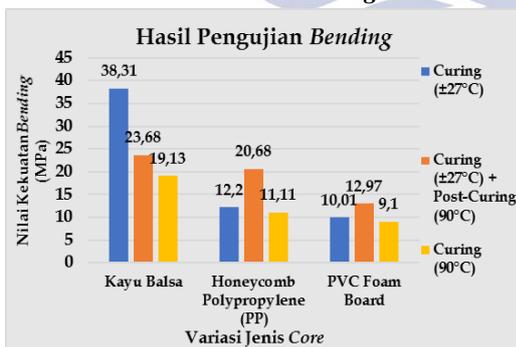
Analisa Data Nilai Massa Spesimen



Gambar 11. Grafik Hubungan Jenis *Core*, Temperatur *Curing*, dan *Post-Curing* Terhadap Massa Spesimen

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat hubungan antara jenis *core*, temperatur *curing*, dan *post-curing* terhadap massa spesimen, dimana pada gambar 11 menunjukkan bahwa berdasarkan variasi jenis *core*, kayu balsa memiliki rata-rata nilai massa tertinggi dari pada *honeycomb polypropylene (PP)* dan *PVC foam board*. Kayu balsa memiliki rata-rata nilai massa sebesar 66gram, *honeycomb polypropylene (PP)* memiliki nilai rata-rata massa sebesar 54gram, dan *PVC foam board* memiliki nilai rata-rata massa sebesar 43gram.

Analisa Data Nilai Kekuatan *Bending*

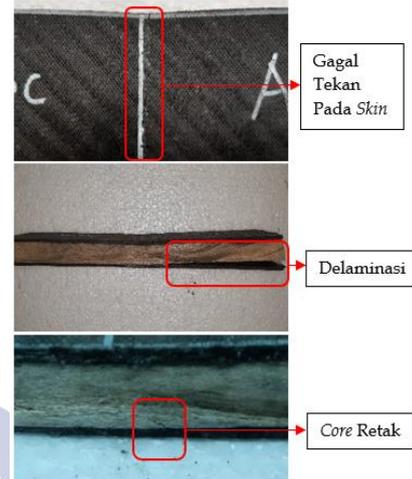


Gambar 12. Grafik Hubungan Jenis *Core*, Temperatur *Curing*, dan *Post-Curing* Terhadap Kekuatan *Bending*

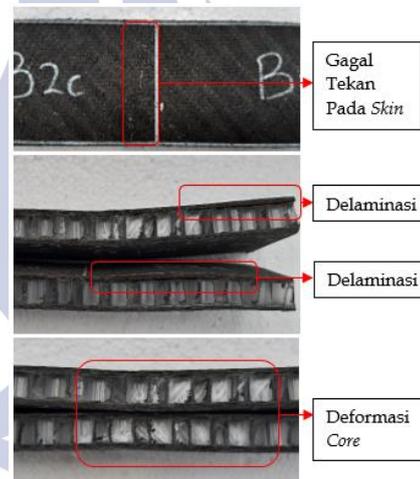
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat hubungan antara variasi jenis *core* terhadap nilai kekuatan *bending*, dimana pada gambar 12 menunjukkan bahwa nilai uji *bending* dari jenis *core* kayu balsa memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi daripada jenis *core* *honeycomb polypropylene (PP)* dan *PVC foam board*. *Core* kayu balsa memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 27,04MPa, sedangkan *core* *honeycomb polypropylene (PP)* memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar

14,66MPa dan *core* *PVC foam board* memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 10,69MPa.

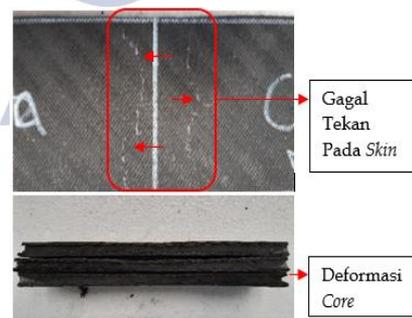
Analisa Kegagalan Hasil Uji *Bending*



Gambar 13. Kegagalan *Core* Kayu Balsa



Gambar 14. Kegagalan *Core* *Honeycomb Polypropylene*

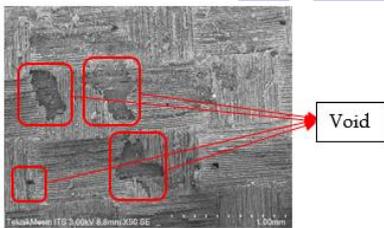


Gambar 15. Kegagalan *Core* *PVC Foam Board*

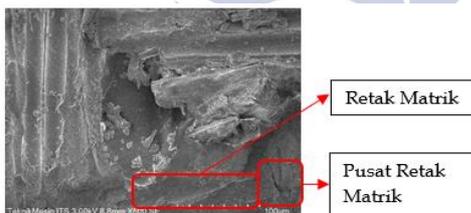
Pada spesimen *bending core* kayu balsa jenis keagalannya didominasi oleh gagal tekan pada *skin*, delaminasi, dan *core* retak. Pada spesimen *bending core* *honeycomb polypropylene (PP)* jenis keagalannya didominasi oleh gagal tekan pada *skin*, delaminasi, dan deformasi *core*. Pada spesimen *bending core* *PVC* jenis keagalannya didominasi oleh gagal tekan pada *skin* dan deformasi *core*.

Delaminasi adalah proses terlepasnya lapisan skin dari *core*. Delaminasi terjadi karena gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah (Hariyanto, 2017). Delaminasi juga disebabkan karena tidak meratanya resin *epoxy* ketika proses *vacuum infusion*. Resin yang tidak merata karena pada proses *vacuum infusion* disebabkan peneliti sulit untuk mengontrol aliran resin pada *skin* atas dan *skin* bawah. *Core* retak dan deformasi *core* disebabkan beban *bending* berlebih yang didistribusikan dari *skin* bawah ke bagian *core*. *Core* tidak mampu menahan beban tersebut sehingga mengalami retak. Hal itu dibuktikan dengan bagian *core* yang mengalami retak terletak dibagian bawah. Gagal tekan pada *skin* disebabkan *skin* bagian atas telah melewati batas elastisitasnya ketika melakukan deformasi. *Skin* yang semula mengalami beban tekan akhirnya terjadi kegagalan setelah gagalnya *core* akibat beban *bending*.

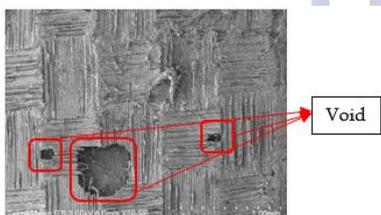
Analisa Hasil Uji Scanning Electron Microscope (SEM)



Gambar 16. Hasil Uji SEM PVC Foam Perbesaran X50 SE



Gambar 17. Hasil Uji SEM PVC Foam Perbesaran X500 SE



Gambar 18. Hasil Uji SEM Kayu Balsa Perbesaran X50 SE



Gambar 19. Hasil Uji SEM Kayu Balsa Perbesaran X500 SE

Setelah dilakukan pengamatan mikro (SEM) terhadap dua komposit yang mengalami retak *skin* dan *core*, disimpulkan bahwa spesimen memiliki penyebab jenis kegagalan yang hampir sama, yaitu adanya *void* (gelembung udara), dimana *void* akan mempengaruhi terhadap nilai kekuatan tekan yang menurun karena terjadi pemusatan tegangan pada bagian *void*. *Debonding* dan *void* disebabkan karena proses pengadukan matrik yang tidak sempurna, *void* tersebut terperangkap dalam ikatan matrik *skin* dan matrik *core*. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 18 dengan *core* kayu balsa. Dalam gambar tersebut terdapat tiga *void*, satu besar dan dua kecil. Sedangkan pada gambar 16 dengan *core* PVC foam board terdapat empat *void* dalam sampel uji SEM. Semakin banyak *void* dalam spesimen akan menurunkan kekuatan *bending* dari spesimen. Hal itu dapat dilihat pada data uji *bending* dengan nilai kekuatan *bending* PVC foam board lebih rendah dari kayu balsa karena terdapat *void* yang lebih banyak.

Pada gambar hasil uji SEM dapat dilihat bahwa pada temperatur *curing* 90°C terdapat lebih banyak *void* apabila dibandingkan dengan temperatur *curing* 27°C. Adanya *void* sangat mempengaruhi terhadap kekuatan *bending*, karena *void* dapat mengakibatkan beberapa macam tipe kegagalan pada komposit. Telah dilakukan penelitian yang menyatakan bahwa sifat mekanik seperti kekuatan tekan akan turun sejalan dengan bertambahnya kandungan *void*. Dari perbandingan diatas jelas bahwa komposit dengan temperatur *curing* 27°C akan mempunyai nilai *bending* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan komposit yang dilakukan perlakuan pada temperatur *curing* 90°C.

Matrix cracking adalah penyebab lain dari berkurangnya nilai *bending*. *Matrix cracking* muncul karena matriks tidak kuat menerima beban uji *bending* yang berlebih. Temperatur *curing* 90°C paling banyak ditemukan *matrix cracking*. Kegagalan *matrix cracking* bisa diamati dengan alat uji (SEM) seperti pada gambar 17, dalam gambar dapat dilihat bahwa terdapat pusat retakan yang akan menjalar dari matrik menuju *skin* dan *core*. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 19 dengan *core* kayu balsa. Dalam gambar tersebut tidak terdapat *matrix cracking*. Sedangkan pada gambar 17 dengan *core* PVC foam board terdapat *matrix cracking* dalam sampel uji SEM. Semakin banyak *matrix cracking* dalam spesimen akan menurunkan kekuatan *bending* dari spesimen. Hal itu dapat dilihat pada data uji *bending* dengan nilai kekuatan *bending* PVC foam board lebih rendah dari kayu balsa karena terdapat *void* yang lebih banyak. Komposit dengan temperatur *curing* 27°C memiliki kekuatan *bending* yang lebih tinggi daripada komposit dengan temperatur *curing* 90°C.

Analisis Pengaruh Massa Spesimen, Kegagalan *Bending*, dan Uji SEM Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Variasi Jenis *Core*

- Kayu Balsa
Core kayu balsa memiliki *densitas* yang tinggi yaitu 120-180kg/m³, rata-rata nilai massa spesimen yang tinggi 66gram, struktur yang lebih rapat dan padat. Dengan struktur yang rapat *core* kayu balsa mampu menahan beban *bending* secara maksimal dan mendistribusikannya secara merata pada seluruh area spesimen. Sehingga *core* kayu balsa memiliki nilai rata-rata uji *bending* tertinggi 27,04MPa. Nilai uji *bending* yang tinggi pada kayu balsa didukung dengan minimnya kegagalan yang dialami spesimen. Jenis keagalannya didominasi delaminasi, *core* retak, dan gagal *skin*. Pada kayu balsa hasil uji *bending*, *core* masih utuh dan hanya terdapat sedikit retak *core* dibagian bawah. Uji SEM membuktikan bahwa pada spesimen kayu balsa terdapat lebih sedikit *void* dan tidak terdapat retak matrik (gambar 18 dan 19).
- Honeycomb Polypropylene (PP)
Core honeycomb polypropylene (PP) memiliki *densitas* tertinggi kedua yaitu 80 kg/m³, rata-rata nilai massa spesimen yang cukup tinggi 54gram, dan geometri dan bentuk seperti sarang lebah (segi enam) yang baik dalam menahan tekanan. Struktur sarang lebah khusus membuat *HolyCore* sangat baik dalam menyerap energi, *impact resistance* dan berbagi beban (Tasuns, 2020). Sehingga *core honeycomb polypropylene* (PP) memiliki nilai rata-rata uji *bending* tertinggi kedua 14,66MPa. Jenis kegagalan *core honeycomb* didominasi deformasi *core*, delaminasi, dan gagal *skin*. Pada *honeycomb* hasil uji *bending*, *core* mengalami deformasi dibagian titik *bending* disebabkan tidak kuat menahan beban pengujian *bending*.
- PVC foam board
PVC foam board memiliki *densitas* terendah yaitu 30-100kg/m³, rata-rata nilai massa spesimen yang rendah 43gram, dan struktur yang ringan dan mudah mengalami deformasi, sehingga *PVC foam* memiliki nilai rata-rata uji *bending* terendah 10,69MPa. Nilai uji *bending* yang rendah pada *PVC* disebabkan dengan banyaknya kegagalan yang dialami spesimen. Jenis keagalannya didominasi deformasi *core* dan gagal *skin*. Pada *PVC* hasil uji *bending*, *core* mengalami deformasi yaitu penyusutan volume akibat tidak kuat menahan tekanan vakum dan pengujian *bending*. Uji SEM membuktikan bahwa pada spesimen *PVC* terdapat lebih banyak *void* dan terdapat retak matrik (gambar 16 dan 17) yang menurunkan kekuatan *bending*.

Temperatur *Curing* dan *Post-Curing*

- *Curing* 27°C
Tingginya nilai massa pada temperatur *curing* 27°C disebabkan resin *epoxy* yang mengikat serat dan *core* menguap secara lebih pelan pada temperatur tersebut. Pada proses *curing* 27°C molekul-molekul *epoxy* dan *hardener* akan memiliki energi lebih banyak untuk bergerak aktif membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar. Ikatan *crosslink* adalah ikatan antar molekul-molekul dalam resin *epoxy*. Sehingga spesimen dengan proses *curing* 27°C memiliki sedikit penyusutan volume, sedikit terbentuk *void*, *viskositas* yang tetap tinggi, massa yang tinggi, dan ikatan *crosslink* yang lebih banyak sehingga menghasilkan nilai uji *bending* yang tinggi. Nilai uji *bending* yang tinggi pada *curing* 27°C didukung dengan sedikitnya kegagalan yang dialami spesimen. Jenis keagalannya didominasi delaminasi, *core* retak, dan gagal *skin*. Uji SEM membuktikan bahwa pada spesimen dengan *curing* (27°C) terdapat sedikit *void* dan tidak terdapat retak matrik (gambar 18 dan 19).
- *Curing* 27°C + *Post-Curing* (90°C)
Pada temperatur *curing* 27°C selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam resin *epoxy* dan *void* menguap dalam jumlah yang sama banyak dan cepat dengan temperatur rendah. Hal itu disebabkan ketika dilakukan *post-curing* 90°C selama 5 resin *epoxy* sudah dalam keadaan kering yang diakibatkan proses *curing* sebelumnya. Pada *curing* 27°C selama 24 jam molekul-molekul *epoxy* dan *hardener* akan memiliki energi lebih banyak untuk bergerak aktif membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar. Ikatan *crosslink* adalah ikatan antar molekul-molekul dalam resin *epoxy*. Sedangkan ketika dilakukan *post-curing* 90°C selama 5 jam resin tidak mengalami perubahan karena sudah mengering. Sehingga spesimen dengan *curing* 27°C + *post-curing* 90°C tetap memiliki sedikit penyusutan volume, sedikit terbentuk *void*, *viskositas* yang tetap tinggi, massa yang tinggi, dan ikatan *crosslink* yang lebih banyak sehingga menghasilkan nilai uji *bending* yang tinggi. Nilai uji *bending* yang tinggi pada *curing* 27°C + *post-curing* 90°C didukung dengan sedikitnya kegagalan yang dialami spesimen. Hal itu dapat dilihat dalam *core* kayu balsa yang mengalami sedikit kerusakan terutama dibagian *core* bawah. Pada *core honeycomb* terjadi sedikit kerusakan delaminasi dan deformasi *core*. Kerusakan delaminasi didominasi *skin* bagian atas.
- *Curing* 90°C
Pada temperatur *curing* 90°C resin *epoxy* dan *void* menguap dalam jumlah yang banyak dan cepat akibat temperatur tinggi. Pada proses *curing* 90°C molekul-molekul *epoxy* dan *hardener* akan memiliki

energi lebih sedikit untuk bergerak aktif membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar. karena sudah melebihi batas *tg* resin *epoxy*. Ikatan *crosslink* adalah ikatan antar molekul-molekul dalam resin *epoxy*. Sehingga spesimen dengan *curing* 90°C memiliki banyak penyusutan volume, banyak terbentuk *void*, *viskositas* yang rendah, massa yang rendah, dan ikatan *crosslink* yang lebih sedikit sehingga menghasilkan nilai uji *bending* yang rendah. Nilai uji *bending* yang rendah pada proses *curing* 90°C didukung dengan banyaknya kegagalan yang dialami spesimen. Jenis kegagalannya didominasi delaminasi, *core* retak, deformasi *core* dan gagal *skin*. Uji SEM membuktikan bahwa pada spesimen dengan *curing* 90°C terdapat lebih banyak *void* dan terdapat retak matrik (gambar 16 dan 17) yang menurunkan kekuatan *bending*.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang sudah dilaksanakan pada komposit *sandwich* serat karbon, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat pengaruh variasi jenis *core* (kayu balsa, *honeycomb polypropylene* (PP), *PVC foam board*), dan temperatur *curing* 27°C, *curing* 27°C + *post-curing* 90°C, *curing* 90°C terhadap nilai uji *bending* dengan hasil sebagai berikut:

- Hasil terbesar terdapat pada *core* kayu balsa dengan nilai kekuatan *bending* sebesar 27,04MPa, *core honeycomb polypropylene* (PP) memiliki nilai kekuatan *bending* sebesar 14,66MPa, dan hasil kekuatan *bending* terendah terdapat pada *core PVC foam board* dengan nilai sebesar 10,69MPa.
- Nilai kekuatan *bending* dari komposit *core* kayu balsa dengan temperatur *curing* 27°C adalah yang paling tinggi dengan nilai 38,31MPa. Pada *core honeycomb polypropylene* (PP) nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada temperatur *curing* 27°C dan *Post-Curing* 90°C dengan nilai 20,68MPa. *Core PVC foam board* nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada temperatur *curing* 27°C dan *post-curing* 90°C dengan nilai 12,97MPa. Peningkatan temperatur melebihi batas *tg* menurunkan jumlah ikatan *crosslink* pada matrik *epoxy*. Spesimen dengan perlakuan *curing* 27°C memiliki nilai hasil uji *bending* lebih tinggi dibandingkan dengan *curing* 90°C.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diperoleh saran sebagai berikut:

- Perlu diperhatikan proses pengadukan dan pencetakan matrik untuk menghindari *void* yang terjebak dalam material komposit sehingga dapat menurunkan kekuatan *bending*.

- Jenis kegagalan komposit didominasi oleh kegagalan delaminasi sehingga diperlukan *spray adhesive* yang lebih banyak dan papan penekan pada proses pengeringan komposit supaya *core* dan *skin* dapat menempel secara sempurna.
- Pada proses *vacuum infusion* perlu diperhatikan arah aliran resin *epoxy* supaya hasilnya rata pada *skin* bagian atas dan bawah.
- Sebelum proses *vacuum infusion* perlu dilakukan pengecekan kebocoran secara berulang pada cetakan, sambungan selang, *catch pot*, dan kran.
- Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan temperatur *curing* dibawah batas *tg* resin epoxy yaitu 60°C, 70°C, dan 80°C.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2003. D790-03 *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. United states.
- Atas, Cesim & Cenk Sevim. 2010. "On the impact response of sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam". *Composite Structures*, 40-48.
- Diharjo, Kuncoro. 2011. "Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Divinycell-PVC H-60 (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap Kekuatan Bending)". *MEKANIKA Volume 9 Nomor 2, Maret 2011*. – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret.
- Prastyadi, Chandra. 2017. "Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu Curing Dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Polyester – Partikel Hollow Glass Microspheres (HGM) IM30k". Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: PT Alfabet.
- Suyadi, Hafez Haris Ariya. 2015. "Pengaruh Metode Hand Lay Up Dan Vacuum Infusion Terhadap Sifat Mekanik Material Fiberglass Rainforced Plastic (FRP) Pada Pembuatan Kapal Patroli Bea Cukai". Diploma Thesis. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya: Surabaya.
- Svenska, Scania Mariella. 2016. "Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing Dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Bending Komposit Polyester-Hollow Glass Microspheres iM30K". Skripsi. Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Wang, P, dkk. 2011. *Numerical and Experimental Analyses of Resin Infusion Manufacturing Processes of Composite Materials*. *Journal of Composite Materials* 46(13) 1617-1631.