

PENGARUH KETEBALAN SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH DENGAN *hONEYCOMB POLYPROPYLENE* SEBAGAI CORE

Agung Prayoga, Bimo Eryawanto dan Qomarul Hadi*

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Indralaya
e-mail: qoma2007@yahoo.co.id

ABSTRAK

Komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat berbeda dari material pengusungannya. Komposit sandwich merupakan komposit struktur yang tersusun dari 3 atau lebih lapisan, yang terdiri dari komposit plat sebagai kulit (skin) serta material inti (core) di bagian tengahnya. Komposit sandwich dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam menentukan karakteristik komposit sandwich adalah bentuk matrik, penguat, skin serta core yang digunakan. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk ketebalan skin dengan variasi skin yang digunakan, yaitu ; 2,3 dan 4 lapis. Komposit sandwich dibuat dengan metode vacuum assisted resin infusion dengan standar spesimen yang digunakan yaitu ASTM C393 untuk pengujian bending dan ASTM D638 untuk pengujian tarik. Dari hasil pengujian bending dan tarik, komposit dengan skin 4 lapis serat memiliki nilai kekuatan 11,11% dan 36,554% lebih besar dari pada skin 2 lapis serat. Kemudian dilakukan pengamatan secara makro untuk mengamati ikatan antar lapisan maupun kegagalan yang terjadi pada komposit.

Kata Kunci : Komposit *sandwich*, *Vacuum assisted resin infusion*,

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya teknologi yang ada saat ini mengakibatkan meningkatnya jumlah permintaan terhadap material yang digunakan baik pada dunia industri besar maupun pada penggunaan sehari hari, diperlukan material-material baru yang dapat mengisi permintaan material yang diperlukan saat ini. Berbagai jenis material-material baru dibuat saat ini guna memenuhi permintaan tersebut salah satunya adalah komposit.

Komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuk dan memiliki sifat yang berbeda dari komponen pembentuknya. Penggunaan komposit telah berkembang pesat karena komposit memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan bahan teknik alternatif lainnya seperti bahan komposit lebih kuat, tahan terhadap korosi, lebih ekonomis dan sebagainya. Komposit terdiri dari matriks yang berfungsi sebagai perekat atau pengikat dan *reinforcement* (penguat/serat) dari kerusakan *eksternal* dan berfungsi sebagai penguat.

Berbagai jenis komposit telah dikembangkan saat ini baik dengan bahan sintesis maupun dari bahan alam dengan berbagai kelebihan serta kekurangannya masing-masing. Sifat komposit diperoleh dari penggabungan matriks utama dengan *reinforcement* (penguat) melalui proses pembuatan yang bervariasi. Beberapa keuntungan dapat diperoleh dari material metal matriks komposit tersebut, tergantung dari sifat matriks utama dan juga penguat. Kelebihan yang dapat diperoleh adalah

peningkatan daya redam energi material, ringan, desain fleksibel, daya tahan terhadap korosi lebih baik, dan lainnya. Adapun kekurangan dari jenis material komposit adalah desain kompleks, biaya tinggi, karakteristik terhadap temperatur relatif kurang baik.

Beberapa faktor dari penguat yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik dari komposit, yaitu jenis *core*, ukuran *core*, bentuk *core*, ukuran serat, bentuk serat, orientasi serat, konsentrasi serat, dan distribusi serat [10]. Untuk menentukan karakteristik dari komposit *sandwich* yang ingin dibuat, faktor utama yang harus dipertimbangkan adalah perbandingan matrik, penguat, pengisi, *skin* serta *core* yang digunakan. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk ketebalan skin. Umumnya pembuatan komposit *sandwich* bertujuan untuk meningkatkan kekuatan sehingga kekuatan komposit akan semakin tinggi. Untuk mendapatkan material komposit yang memiliki berat lebih ringan tanpa mengurangi kelebihan dari material komposit, maka saat ini dikembangkan material berupa polimer *plasscore* komposit. Material ini diproduksi dengan cara menambahkan *core* pada komposit sandwich pada komposit tersebut. *Core* tersebut berbentuk *honeycomb* dengan bahan *polypropylene*.

Polymer Matrix Composites (PMC)

Bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan disebut, Polimer Berpenguatan Serat (FRP – Fibre Reinforced Polymers or Plastics), bahan ini menggunakan suatu polimer sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (kevlar) sebagai penguatannya.

-Polymer dikelompokkan menjadi dua, [10] yaitu:

Thermoset

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan termoset melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin.

Thermoplastic

Thermoplastic adalah *plastic* yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. Thermoplastic merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Polymer *thermoplastic* meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan.

Berdasarkan penguatnya komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu:

- Komposit penguat partikel
- Komposit penguat serat
- Komposit penguat *structural*

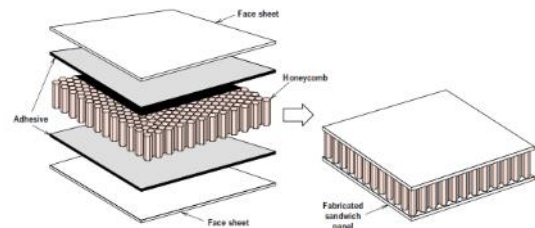
Komposit Sandwich

Komposit lamina atau komposit *sandwich* disebut juga dengan panel *sandwich*, terdiri dari panel kulit yang kuat pada sisi atas dan bawah, dan keduanya dipisahkan oleh lapisan bagian dalam material dengan densitas kecil, yang disebut dengan *core* (inti) [3] komposit sandwich memiliki struktur yang tersusun dari:

Skin, bagian ini berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*. Material-material konvensional seperti aluminium, baja, juga *stainless steel* bisa digunakan untuk bagian ini. Material-material berbentuk *plastic* yang diperkuat dengan serat gelas dan *fiber* menjadi pilihan yang baik karena bahan-bahan ini memiliki keunggulan seperti mudah untuk digabungkan, desain dapat dirancang sesuai kebutuhan, serta bentuk permukaan yang baik [5].

Core, merupakan bagian inti dari komposit sandwich, dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya *core* harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk *core*, karena kekakuan pada *sandwich* akan berkurang atau hilang. Tidak hanya kuat dan mempunyai densitas yang rendah, *core* biasanya mempunyai syarat lain, seperti tingkat kadar air, *buckling*, umur panjang dan lain sebagainya [5].

Adesif, selain untuk menyatukan antara *skin* dan *core*, adesif harus mampu mentransfer gaya geser antara *skin* dan *core* agar kekuatan dari *sandwich* tetap terjaga. Adesif juga harus mampu menahan regangan dan gaya geser.



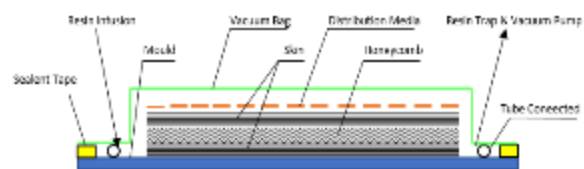
Gambar 1 Struktur Komposit Sandwich [3]

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)

Vacuum assisted resin infusion adalah penggabungan dari metode *vacuum bag moulding* dengan *resin infusion moulding*. Metode *vacuum bag* termasuk dalam proses cetakan terbuka. Tujuan dan kelebihan dari penggunaan metode ini adalah mengurangi kemungkinan udara yang terperangkap dalam komposit dan penggunaan resin yang lebih efektif. Metode ini juga seringkali disebut sebagai penyempurnaan dari metode *hand lay-up*.

Resin infusion termasuk ke dalam proses cetakan tertutup dalam pembuatan komposit. Dalam metode ini penguat atau serat disusun sesuai dengan kebutuhan tanpa resin lalu dibungkus dengan plastik yang berfungsi sebagai pembungkus untuk memberikan udara vakum pada serat dengan bantuan pompa vakum. Ketika udara dalam plastik sudah benar-benar vakum maka resin akan dialirkan dengan tekanan vakum. Resin secara otomatis akan mengalir dan mengisi seluruh bagian dari serat, setelah itu resin dibiarkan mengering. Keuntungan dari metode ini adalah dapat memproduksi bagian-bagian dengan kekuatan yang lebih baik, dan kualitas penampilan produk yang lebih rapi.

Keuntungan dari metode ini adalah dapat memberikan penggunaan resin yang lebih efisien karena dapat memberikan rasio perbandingan resin dan serat yang baik serta menghasilkan komposit yang lebih kuat tetapi lebih ringan.



Gambar 2 Skematik Metode VARI

Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji tegangan-regangan (*stress strain test*) untuk mencari tegangan dan regangan yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) merupakan salah satu sifat penting suatu material.

Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending Dan Tarik Komposit Sandwich

Langkah uji tarik dilakukan dengan memberikan beban tarik pada kedua ujung spesimen uji secara perlahan-lahan ditingkatkan hingga spesimen tersebut mengalami putus dan terbelah menjadi dua bagian. Dengan pengujian tarik kita dapat mengetahui kekuatan tarik, beban luluh (mulur) dan modulus (modulus young) tegangan profil tarikan yang lengkap berupa kurva hasil pengujian adalah grafik beban versus perpanjangan (elongasi) dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang. Pengujian dilakukan sampai spesimen patah, maka pada saat yang sama diamati pertambahan panjang yang dialami spesimen. Kekuatan tarik atau tekan diukur dari besarnya beban maksimum (F_{maks}) yang digunakan untuk memutuskan atau mematahkan spesimen dengan luas awal.

Pengujian Kekuatan Bending

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material komposit tersebut. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan.

Akibat Pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah.

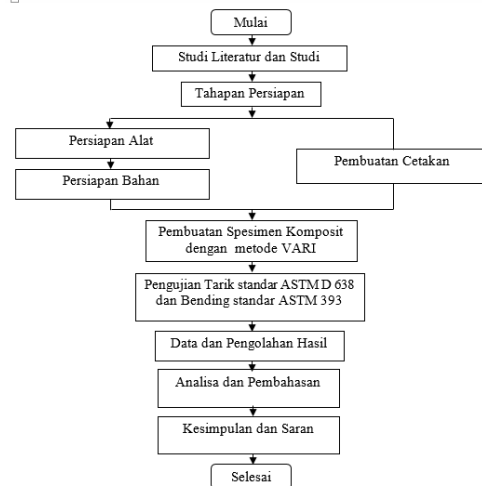
Model kegagalan komposit sandwich yang mengalami beban bending (three/four point bending) biasanya berupa micro buckling/face yield, core shear, core crushing dan indentation. Kegagalan micro buckling biasanya terjadi pada skin komposit sandwich yang relatif tipis terhadap tebal core. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan bending secara drastis. Perilaku gagal core shear biasanya terjadi pada balok sandwich dengan skin yang relatif tebal dengan span yang pendek.

Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan core yang digunakan. Kegagalan indentation akan muncul pada balok sandwich dengan core yang relative tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya. Kegagalan core crushing ditunjukkan oleh hancurnya core karena tidak mampu menahan beban geser sehingga kegagalan terjadi menyeluruh pada semua bagian core[13].

2. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

Gambar 3 Metodologi Penelitian



Tahapan Penelitian

Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan dengan pencarian bahan dengan cara survei kelapangan dan pencarian via internet.

Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan penelitian yang akan dibahas. Referensi ini dapat dicari dari jurnal, artikel laporan penelitian, maupun *handbook*. Dari studi literatur ini akan diperoleh sumber referensi sebagai acuan dalam penelitian.

Persiapan Bahan

Persiapan bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu:

Honeycomb Polypropylene, Fiber Glass, Resin *polyester*, Katalis, Wax, Persiapan Alat. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Alat Uji, alat uji *bending* dan tarik dengan standar ASTM , Alat Cetak, alat cetak untuk metode *vacuum assisted resin infusion*. Alat Pembuatan, alat yang digunakan dalam proses pembuatan komposit adalah pompa vakum, selang, *spiral tube*, *sealant tape*, plastik vakum. Alat ukur, Timbangan digital, mistar Alat bantu, Cetakan spesimen, kikir, amplas, penggaris, dan gelas ukur.

Pembuatan Spesimen Komposit

Pembuatan spesimen komposit dilakukan dengan metode *vacuum assisted resin infusion*. Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen ini adalah pompa vakum untuk membuat area vakum dalam cetakan.

Pemotongan Spesimen

Komposit yang telah dibuat tadi dipotong potong dan dihaluskan sesuai dengan ukuran dan bentuk spesimen yang diinginkan, komposit yang dibuat dalam bentuk persegi kemudian di potong agar mendapatkan kondisi yang seragam untuk dilakukan pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan komposit *sandwich* dengan core *honeycomb polypropylene* ini dilakukan dengan metode VARI. Pengujian mekanik yang dilakukan terhadap komposit ini adalah pengujian bending dan tarik serta dilakukan foto

makro untuk memperlihatkan area patahan dari komposit yang diberikan pengujian. Komposit yang diuji adalah komposit sandwich dengan variasi skin yang digunakan adalah 2,3,4 lapis. Berikut adalah hasil pengujian yang dilakukan terhadap spesimen komposit.

Pengujian Bending

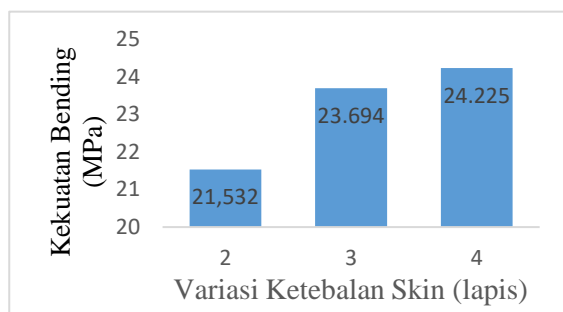
Setelah dilakukan pengujian bending, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. Data Awal Pengujian Bending

Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang Span/S (mm)	F _{max} (N)
A1	10	76	150	784,532
A2	10	76	150	686,466
A3	10	76	150	710,982
B1	11	76	150	992,923
B2	11	76	150	894,857
B3	11	76	150	1017,44
C1	12	76	150	1159,25
C2	12	76	150	1203,766
C3	12	76	150	1171,895

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengujian Bending

Spesimen	σ_f / Face Bending	τ /Tegangan Geser Core	σ_b / Kekuatan Bending
A1	163,44	0,573	23,226
A2	143,01	0,502	20,323
A3	148,12	0,520	21,049
B1	118,77	0,688	24,294
B2	107,04	0,620	21,895
B3	121,70	0,705	24,894
C1	90,57	0,763	23,833
C2	94,04	0,792	24,748
C3	91,55	0,771	24,093

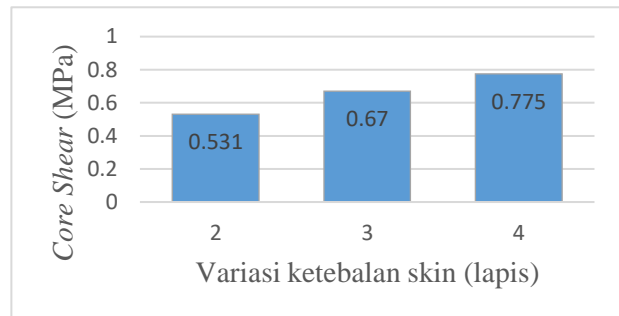


Gambar 4. Grafik Nilai Kekuatan Bending

Tabel 3 Nilai Kekuatan Geser Core

Spesimen	Tegangan Geser Core (MPa)	Tegangan Geser Core Rata-rata (MPa)
A1	0,573	0,531
A2	0,501	

A3	0,519	
B1	0,687	
B2	0,619	0,670
B3	0,704	
C1	0,762	
C2	0,791	0,775
C3	0,770	



Gambar 5 Grafik Kekuatan Geser Core

Pengujian Tarik

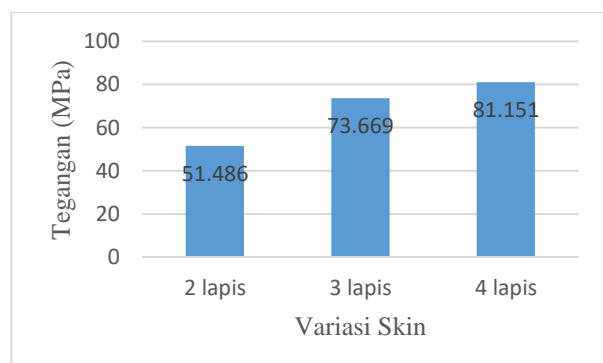
Dari pengujian tarik yang dilakukan didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. Data Awal Pengujian Tarik

Spesimen	A ₀ (mm ²)	F _{mak} (kgf)	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)
A ₁	190	880	57	59
A ₂	190	1120	57	60,3
A ₃	190	992,5	57	59,5
B ₁	209	1485	57	61,5
B ₂	209	1830	57	60,7
B ₃	209	1395	57	59,7
C ₁	228	1985	57	59,3
C ₂	228	1925	57	61,7
C ₃	228	1750	57	61,5

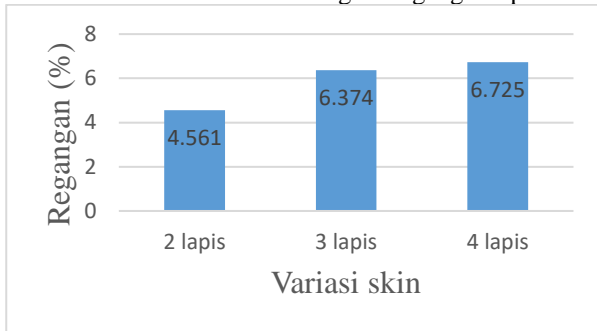
Tabel 5. Hasil Perhitungan Uji Tarik

Spesimen	elong (%)	σ_u (MPa)
A1	3,508	45,421
A2	5,789	57,809
A3	4,385	51,228
B1	7,894	69,681
B2	6,491	85,869
B3	4,736	65,458
C1	4,035	85,381
C2	8,245	82,801
C3	7,894	75,273



Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending Dan Tarik Komposit Sandwich

Gambar 6. Grafik Perbandingan Tegangan Spesimen



Gambar 7. Grafik Perbandingan Regangan Spesimen

Hasil Foto Makro

1. Hasil Foto Makro Komposit Sandwich 2 Lapis Pengujian Bending

Pada foto A (tampak atas) adalah *skin* dari komposit *sandwich* yang mengalami tekanan terlihat terjadi gagal *skin* pada foto A, foto B (tampak bawah) adalah *skin* dari komposit yang mengalami tarikan akibat uji *bending* terlihat juga terjadi gagal *skin* pada *skin* bawah akibat pengujian yang dilakukan sedangkan pada foto C (tampak samping) terjadi gagal *core* sepanjang tekanan dan terjadi deformasi *core* pada area sekitar area yang mengalami gagal *core*. Berikut adalah hasil foto makro pada spesimen komposit *sandwich* 2 lapis.



Gambar 8. Hasil Foto Makro Skin 2 Lapis Perbesaran 67x Hasil Foto Makro Pengujian Tarik Komposit Sandwich Variasi Skin 2 Lapis

Foto makro dilakukan untuk memperlihatkan kondisi patahan dari spesimen komposit *polyester* berpenguat *woven fiber* yang telah diuji tarik. Foto makro ini dilakukan dengan perbesaran 67 kali.



(a) Tampak Depan (b) Tampak Samping

Gambar 9. Hasil Foto MAKRO Skin 2 Lapis perbesaran 67x

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Setelah dilakukan pengujian *bending* di dapatkan hasil bahwa terdapat kenaikan nilai kekuatan *bending* seiring dengan bertambahnya ketebalan *skin*, pada komposit dengan variasi *skin* 2 lapis didapatkan nilai kekuatan *bending* rata-rata sebesar 21,5326 MPa dan pada variasi *skin* 3 lapis didapatkan nilai kekuatan *bending* sebesar 23,6941 MPa sedangkan pada variasi *skin* 4 lapis didapatkan nilai kekuatan *bending* sebesar 24,2249 MPa. Dan terjadi pertambahan nilai kekuatan *bending* sebesar 11,11% antara variasi *skin* 2 dan 4 lapis.
2. Pada nilai kekuatan geser *core* terjadi pertambahan nilai kekuatan geser *core* seiring dengan bertambahnya nilai ketebalan *skin* hal ini dapat dibuktikan dengan pada variasi ketebalan *skin* 2 dan 3 lapis terjadi kegagalan *core* akibat *core* tidak dapat menahan beban sedangkan pada variasi *skin* 4 lapis tidak terjadi gagal *core*. Pada komposit *sandwich* dengan variasi *skin* 2 lapis didapatkan nilai kekuatan *core* rata-rata sebesar 0,5316 MPa dan 0,607 serta 0,772 MPa untuk variasi komposit *sandwich* dengan *skin* 3 dan 4 lapis.
3. Semua komposit *sandwich* dengan variasi *skin* 2,3 dan 4 lapis yang telah dibuat dan dilakukan pengujian *bending* semuanya mengalami kegagalan *skin* dan deformasi *core*, pada variasi *skin* 2 dan 3 terjadi gagal *core* dan pada komposit *sandwich* dengan variasi *skin* 2 dan 3 lapis mengalami delaminasi yang sangat kecil sedangkan pada komposit 4 lapis mengalami delaminasi yang cukup besar.
4. Sedangkan pengujian tarik yang dilakukan terhadap tiga jenis spesimen menghasilkan nilai yang berbeda. dengan menggunakan data yang ada, dilakukan pengolahan data untuk mencari tegangan dan regangan dari spesimen. Pada gambar 5 grafik menunjukkan bahwa komposit dengan *skin* 2 lapis, 3 lapis, dan 4 lapis fiber memiliki tegangan rata-rata 51,486 MPa, 73,669 Mpa, dan 81,151 MPa. Kemudian pada gambar 5 grafik menunjukkan regangan yang dihasilkan dari komposit *sandwich* dengan variasi *skin* 2 lapis, 3 lapis, dan 4 lapis fiber memiliki regangan rata-rata 4, 5,61 %, 6,374 % dan 6,725 %.
5. Komposit dengan *skin* 4 lapis memiliki tegangan 36,554% lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan *skin* 2 lapis. Komposit dengan *skin* 4 lapis

memiliki regangan 32,173% lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan skin 2 lapis.

5. SIMPULAN

Setelah melakukan pembuatan hingga pengujian pada komposit *polyester* berpenguat *woven fiber* dengan core polypropylene menggunakan metode *vacuum bagging*, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah lapisan serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan mekanik dari komposit. karena pada nilai kekuatan *bending* dan tarik terjadi peningkatan seiring dengan meningkatnya ketebalan *skin*, begitu juga dengan nilai tegangan geser *core*, terjadi peningkatan, namun pada nilai *face bending stress* terjadi penurunan seiring dengan meningkatnya ketebalan *skin*.
2. Pada pengujian bending yang dilakukan komposit sandwich dengan variasi skin 4 lapis memiliki nilai kekuatan bending yang paling besar dibandingkan dengan variasi skin yang lain, dengan selisih 11,11% lebih besar pada variasi skin 4 dan 2 lapis, 24,22 MPa untuk komposit sandwich dengan variasi skin 4 lapis dan 21,53 MPa untuk komposit sandwich 2 lapis.
3. Dari pengujian tarik yang dilakukan, didapatkan nilai tegangan dan regangan rata-rata serbesar 81,151 N/mm² dan 6,725% untuk komposit *sandwich* dengan *skin* 4 lapis serat. Sedangkan untuk komposit dengan jumlah lapisan 3, dan 2 lapis serat memiliki nilai tegangan dan regangan rata-rata sebesar 73,669 N/mm², 51,586 N/mm², Dan Nilai regangan rata-rata sebesar 6,374% dan 4,561%.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Agarwal, B. D., Broutman, L. J. and Chandrashekhara, K. (2015) *Analysis And Performance Of Fiber Composites Third Edition*. Third. New Delhi: Wiley India Pvt. Ltd.
- [2] ASTM-C393 (2015) 'Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam', pp. 1–8. doi: 10.1520/C0393.
- [3] Callister, W. D. J. (2001) *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. 5th edn. United State Of America: Jhon Wiley and Sons, Inc.
- [4] Gibson, R. F. (1994) *Principles of composite material mechanics*. United State Of America: McGraw-Hill, inc.
- [5] Hartono, Y., Hidayat, A. and Manik, P. (2016) 'Analisa teknis komposit sandwich berpenguat serat daun nanas dengan core serbuk gergaji kayu sengon laut ditinjau dari kekuatan tekuk dan impak', 4(1), pp. 265–273.
- [6] Istanto, Ismayanto, A. and Permatasari, R. (2006) 'Kajian Optimasi Pengaruh Orientasi Serat Dan Tebal Core Terhadap Peningkatan Kekuatan Bending Dan Impak Komposit Sandwich Gfrp Dengan Core Pvc'.
- [7] Jones, M R. 1999. *Mechanis of Composite Materials-2nd*. Taylor and Fancis Group. United States of America.
- [8] Kaw, A. K. (2006) *Mechanics of Composite Materials*. 2nd edn. United State Of America: Taylor and Francis Group.
- [9] Markopoulos, A. P. (2013) *Finite Element Method in Machining Processes*. London: Spinger.
- [10] Nayiroh, N. (2015) 'Teknologi Material Komposit'.
- [11] Plasscore (2014) 'PP Polypropylene Honeycomb', pp. 3–4.
- [12] Rifki Nugraha, Wahyu Wijanarko, dan Putu Suwarta. Analisa Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Dengan Variasi Ketebalan Inti (*core*) *Epoxy*. Institut Sepuluh November. Surabaya
- [13] Steeves, C. A. and Fleck, N. A. (2004) 'Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending . Part I: analytical models and minimum weight design', 46, pp. 561–583. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2004.04.003.