

Perbandingan Kekuatan *Bending* Material Komposit Penguat Carbon Fiber Dengan Hasil Metode Pembuatan *Vacuum Infusion* Dan *Manual Hand Lay-Up*

Fauzan Maulana^{1*}, Donny Fernandez¹, Hasan Maksum¹, M. Yasep Setiawan¹

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*e-mail: pojan.fauzan21@gmail.com

(Diajukan: 03 November 2024, direvisi: 06 November 2024, disetujui: 20 November 2024, dipublikasikan: 20 November 2024)

Abstrak

Material komposit penguat carbon fiber merupakan material pengganti logam dan baja menjadi *body part carbon fiber* yang dapat mereduksi berat kendaraan supaya meningkatkan efisiensi bahan bakar. Tujuan penelitian untuk mengetahui kekuatan *bending* komposit *carbon fiber* dengan hasil metode pembuatan *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up*. Teknik pengujian dengan *three point bending*. Hasil penelitian dari metode *vacuum infusion* menghasilkan spesimen dengan kekuatan maksimum 11.460 N, *modulus elastisitas* 803.185 N/mm dan *bending strength* 23.581 N/mm. Metode *manual hand lay-up* menghasilkan kekuatan maksimum 19.442 N, *modulus elastisitas* 1128.394 N/mm dan *bending strength* 23.806 N/mm. Jika mementingkan kekuatan dan ekonomis disarankan menggunakan metode *manual hand lay-up*, kelenturan dan keringanan disarankan metode *vacuum infusion*.

Kata Kunci: *Bending, Komposit, Carbon Fiber, Vacuum Infusion, Manual Hand Lay-Up.*

Abstract

Carbon fiber-reinforced composite material is an alternative to metal and steel for vehicle body parts, designed to reduce vehicle weight and improve fuel efficiency. This study aims to evaluate the bending strength of carbon fiber composites produced using vacuum infusion and manual hand lay-up methods. The testing technique used was three-point bending. The results show that the vacuum infusion method produced specimens with a maximum strength of 11,460 N, an elasticity modulus of 803.185 N/mm, and a bending strength of 23.581 N/mm. The manual hand lay-up method produced a maximum strength of 19,442 N, an elasticity modulus of 1,128.394 N/mm, and a bending strength of 23.806 N/mm. If prioritizing strength and cost-effectiveness, the manual hand lay-up method is recommended. For flexibility and lighter weight, the vacuum infusion method is preferable.

Keywords: *Bending, Composite, Carbon Fiber, Vacuum Infusion, Manual Hand Lay-Up*

PENDAHULUAN

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki karakteristik yang berbeda, bergabung menjadi satu membentuk material baru dengan tetap mempertahankan bentuk asli material, atau dengan kata lain tidak merubah struktur kandungan material awal penyusun komposit dengan dua material yang berbeda tersebut membentuk material baru dengan sifat baru [1].

Serat karbon, atau yang dikenal juga sebagai karbon fiber, merupakan opsi yang dapat digunakan sebagai pengganti serat grafit. Karbon fiber terbuat dari serat yang sangat halus, dengan ukuran sekitar 0.005-0.010 mm, dan sebagian besar terdiri dari atom karbon [2]. Sifat dari karbon fiber dipengaruhi oleh beberapa faktor, satu faktor yang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Serat karbon khususnya dan material komposit lain pada umumnya disebut sebagai material anisotropik, maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah serat penyusunnya, Sehingga kekuatan serat karbon sangat bergantung terhadap bentuk dan arah serat karbon penyusunnya [3].

Body carbon fiber dianggap sebagai tren modifikasi yang populer dan diminati karena beberapa kelebihan yang ditawarkannya. Salah satu kelebihan utama adalah bobot yang lebih ringan, yang dapat meningkatkan performa kendaraan, serta tampilan yang lebih mewah dan sporty. Christopher Nicholas, produsen Vulkan *Carbon*, mengatakan bahwa *body carbon fiber* lebih ringan sekitar 30-50 persen dibandingkan dengan *cover body* berbahan plastik yang biasa digunakan di motor. Hal ini membuat *body carbon fiber* sangat diminati oleh pengguna kendaraan.

Bobot kendaraan akan mempengaruhi efisiensi penggunaan bahan bakar, salah satu alternatif untuk mengurangi bobot kendaraan adalah menggantikan bahan bodi kendaraan dari plat besi ke bahan *carbon fiber* tanpa mengurangi fungsi bodi pada kendaraan.

Bending

Uji *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual, selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan dari spesimen. Salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap spesimen dan bahan, baik bahan yang akan digunakan pada konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan terhadap suatu bahan pada satu titik tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan adalah pengujian *bending*. Pada perlakuan uji bending spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi akibat uji bending yaitu mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik [4].

Komposit

Komposit merupakan material yang terbentuk dari gabungan antar dua atau lebih material penyusun yang memiliki tujuan untuk mendapatkan mechanical properties atau sifat mekanis yang lebih baik dan lebih bernilai. Dengan kata lain, komposit adalah material baru yang dibuat agar memiliki kualitas baik dari material-material penyusun [5]. Material komposit terdiri dari dua unsur yaitu *matriks* sebagai pengikat dan pengisi berserat, meskipun serat dalam komposit merupakan elemen utama, elemen pengikatnya adalah *matriks* yang mudah dibentuk, Oleh karena itu pemilihan jenis serat yang digunakan sangat penting untuk menentukan kekuatan dan sifat mekanik lainnya dari material komposit [6].

Carbon Fiber

Carbon fiber termasuk serat kontinu (grafit), *carbon fiber* dan *nanotube carbon* dikembangkan menjadi serat yang kuat. *Carbon fiber* adalah jenis bahan nonlogam baru, yang memiliki karakteristik sangat kuat bahkan lebih kuat dari baja. Serat karbon adalah sejenis serat polikristalin dengan grafit yang tidak mengkristal yang tersusun di sepanjang aksial serat. Semua serat karbon kontinu komersial dibuat dari prekursor karbon diikuti dengan pemintalan menjadi bentuk serat (tahap pemintalan), pengikatan silang menggunakan bahan yang tepat (tahap stabilisasi), dan pemanasan hingga 1200–3000 °C di bawah gas inert untuk menghilangkan non-karbon elemen (langkah karbonasi). Serat karbon menjadi salah satu bahan penguat komposit, yang populer namun mahal karena sifatnya yang sangat kuat [7].

Vacuum Infusion

Vacuum infusion adalah salah satu proses pembuatan komposit, proses *vacuum infusion* kita hanya membutuhkan tenaga untuk menata *carbon fiber* saja, sedangkan pengikat (*matriks*) akan disuntikkan ke *molding* dengan mekanisme *vacuum*, Jadi nantinya *matriks* akan disedot menggunakan mesin *vacuum* dalam keadaan kedap udara, sehingga distribusi *matriks* akan tersebar merata ke segala sudut *molding*, dan ketebalan pada semua bidang akan sama. Namun proses ini membutuhkan banyak peralatan pendukung yang banyak dan jarang ada di pasaran, sehingga biaya yang diperlukan cenderung mahal [8].

Vacuum infusion metode alat yang digunakan untuk membuat material komposit dengan cara *modern*, lebih efisien dan ringan. Proses *vacuum infusion* adalah proses cetakan tertutup yang mampu menghasilkan kinerja tinggi skala besar dengan biaya perkakas rendah. Keunggulan *vacuum infusion* adalah desain perkakas cetakan yang fleksibel dan pemilihan bahan cetakan, mampu memproduksi bagian komposit yang besar dan kompleks dengan kualitas yang baik [9].

Metode ini adalah variasi dari *vacuum bag molding* dimana resin yang dituangkan dalam ruang hampa masuk dalam cetakan dan membentuk laminasi. Pada metode ini tekanan dalam rongga cetakan lebih rendah dibandingkan tekanan atmosferik udara. Setelah spesimen dipenuhi resin kemudian dilapisi dengan *fiber reinforcement* dapat menggunakan tangan yang disebut dengan istilah *lay-up dry*, kemudian resin diinfuskan kembali kedalam cetakan untuk menyempurnakan system laminasi komposit sehingga tidak terdapat ruang kelebihan resin. Rasio resin yang sangat tinggi terhadap *fiber glass* yang digunakan memungkinkan penggunaan metode *vacuum infusion* yang menghasilkan sifat mekanik system laminasi yang sangat baik. *vacuum infusion* dapat digunakan untuk proses dengan volume yang rendah [10].

Manual Hand Lay-Up

Manual hand lay-up merupakan metode pembuatan komposit termudah dan sederhana. Bisa dikatakan mudah karena cara membuatnya yang dilakukan dengan menuangkan resin ke serat kemudian dirakatan dengan menggunakan *roller* atau kuas dan diberikan tekanan. Proses *manual hand lay-up* juga tidak memerlukan peralatan khusus pada pengerjaannya [11].

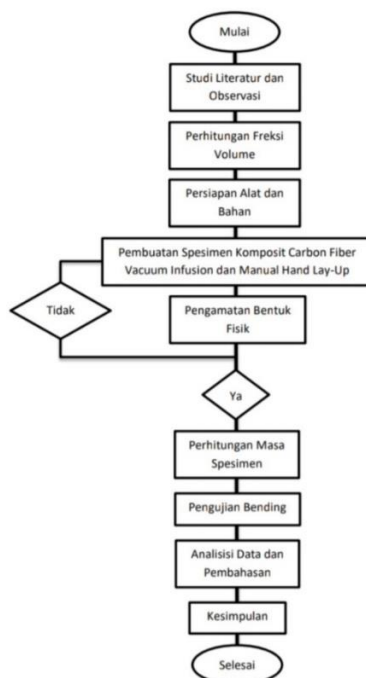
Manual Hand lay-up adalah metode pencetakan terbuka yang cocok untuk membuat berbagai macam produk komposit dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar. Proses *manual hand lay-up* dilakukan dengan cara serat dan resin ditempatkan pada cetakan,

kemudian disapu atau diroll. Proses penyapuan ini fungsinya untuk menghilangkan/mengeluarkan *void* yang terjebak dalam resin. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur ruang [12].

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Serat bahan komposit ditata sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya, sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan [13].

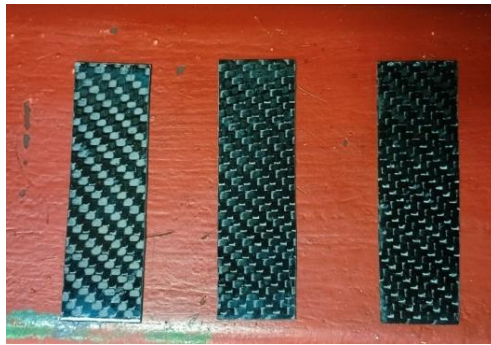
METODE

Jenis penelitian ini digolongkan sebagai penelitian eksperimen [14]. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan kekuatan *bending* material komposit penguat *carbon fiber* dengan hasil metode pembuatan *Vacuum Infusion* dan *Manual Hand Lay Up* [15]. Penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membandingkan kekuatan bending dari komposit penguat serat *carbon fiber* dari hasil pembuatan dengan metode *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui apakah ada perbandingan kekuatan bending komposit penguat serat carbon fiber yang akan dibuat dengan metode yang berbeda tetapi jenis carbon fiber dan resin sama. Kerangka berfikir dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1:



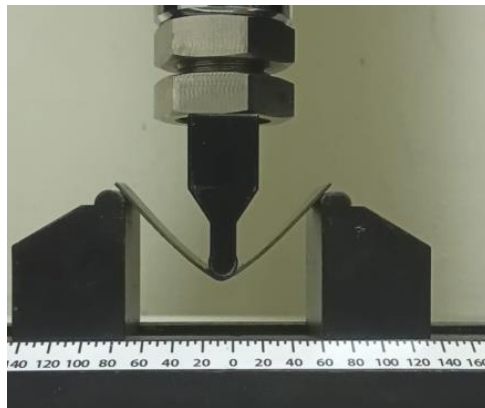
Gambar 1. Kerangka Berpikir

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pada material *carbon fiber* yang akan dibuat terlebih dahulu di Workshop Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Menggunakan metode pembuatan *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up* dengan ukuran spesimen standar ASTM C 393, panjang 100 mm dan lebar 30 mm, setiap spesimen dibuat dengan 3 layer *carbon fiber* dan pengikatnya resin *epoxy*, untuk rasio resin dan hardener 100:50 gram. Untuk objek penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Objek Penelitian

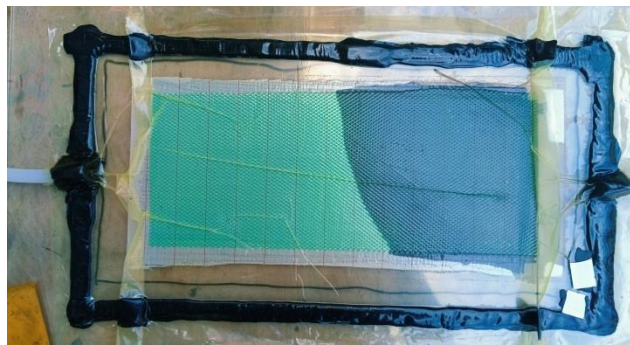
Setelah melakukan pembuatan material dilanjutkan dengan pengujian uji *bending* yang akan diuji di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, pada bulan September tahun 2024 dapat dilihat pada [gambar 3](#). Alat untuk uji *Bending* (*computer universal testing machines* HT-2402).

Gambar 3. Uji *Bending*

Persiapan alat dan bahan meliputi mesin *vacuum*, resin *trap vacuum chamber*, timbangan, gerinda, gelas kaca, gunting, stik pengaduk, akrilik, sarung tangan, *roller*, kuas, *vanier caliper*, *infusion valve*, *Carbon Fiber Fabric 6K plain 320gs*, resin *epoxy*, *pell ply*, *flow mesh resin*, *vacuum bagging film*, *mold release wax*, *spray adhesive 3M*, *sealant tape*, selang spiral dan selang *vacuum infusion*.

Proses *vacuum infusion* dapat dilihat pada [gambar 4](#), langkah pertama lapisi akrilik dengan *miracle gloss*, tunggu sampai 10-15 menit sampai kering lalu lap dengan tisu. Potong *sealant tape* tempelkan pada akrilik. Potong selang *vacuum infusion* sesuai ukuran yang dibutuhkan, lalu tempelkan di atas *sealant tape* pada input dan output akrilik, tempelkan lagi *sealant tape* di atas selang *vacuum infusion* dan ratakan, supaya tidak terjadi kebocoran. Potong *carbon fiber* sesuai ukuran dan lebihkan sekitaran 0,5-1 cm setiap sisi. Potong *pell ply*, *flow mesh resin* lebihkan potongan sekitaran 1-3 cm. Semprot sedikit saja *spray adhesive 3M* pada akrilik, jangan terlalu banyak tetapi merata. Tempelkan *carbon fiber* pada akrilik, lakukan hal serupa sampai tiga *layer carbon fiber*. Semprotkan *spray adhesive 3M* lalu tempelkan *pell ply*. Semprotkan *spray adhesive 3M* lalu tempelkan *flow mesh resin*. Potong *vacuum bagging film* lebihkan potongan sekitaran 3-4 cm dari ukuran *sealant tape* yang telah ditempelkan pada akrilik, lalu tempelkan di atas dan ratakan semaksimal mungkin, supaya tidak terjadi kebocoran. Potong selang *vacuum infusion* di bagian tengah-tengah *input* dan *output* selang dan pasang *infusion*

valve. Sambungkan *output valve* selang dengan *input resin trap chamber* dilanjutkan sambungkan selang dari *output resin trap chamber* ke mesin *vacuum*. Tutup *infusion valve input*. Nyalakan mesin *vacuum* sampai indikator pada resin *trap chamber* menunjukkan di angka 30psi. Diamkan 20-30 menit. Setelah itu periksa pada akrilik apakah terjadi kebocoran, jika terjadi kebocoran tambal dengan *sealant tape* di tempat yang bocor lalu *vacuum* lagi sampai tidak ada kebocoran lagi. Campur resin *epoxy* dengan *hardener* 100:50 lalu aduk sampai merata. Masukkan selang *input* ke dalam gelas kaca resin. Nyalakan mesin *vacuum* lalu buka *valve* selang input $\frac{1}{2}$ perhatikan laju resin. Jika resin sudah sampai pada *valve output* lalu tutup *valve input*, tunggu sebentar agar resin lebih pada akrilik terhidap agar kevakuman sempurna lalu tutup *valve output* dan matikan mesin *vacuum*. Copot selang *output* akrilik yang terhubung dengan resin *trap chamber* dan selang dari resin *trap chamber* ke mesin *vacuum*. Diamkan pada suhu ruangan selama 1x24 jam sampai kering sempurna.



Gambar 4. Proses *Vacuum Infusion*

Metode *manual hand lay-up* dapat dilihat pada [gambar 5](#), langkah pertama lapis akrilik dengan *miracle gloss*, tunggu sampai 10-15 menit sampai kering lalu lap dengan tisu. Potong *carbon fiber* sesuai ukuran dan lebihkan sekitaran 0,5-1 cm setiap sisi. Campur resin *epoxy* dengan *hardener* 100:50 sesuai yang dibutuhkan untuk sekali oleh, kenapa harus sekali oles? karena pada metode *manual* ditempel *carbon fiber* perlu didiamkan selama 10 menit supaya pas saat melakukan *roller* rajutan *carbon fiber* tidak geser, jika rajutannya tergeser maka ada ruang kosong yang akan terisi resin lebih banyak makan akan terpengaruh pada kekuatan material nantinya, lalu aduk resin *epoxy* dengan *hardener* sampai merata. Oleskan pada akrilik terlebih dahulu lalu tempelkan *carbon fiber* dan *roller carbon fiber* diamkan selama 10 menit. lakukan berulang kali sampai tiga *layer*. Diamkan 1x24 jam sampai kering sempurna.



Gambar 5. Proses *Manual Hand Lay-Up*

Selanjutnya diberikan perlakuan uji *bending* dengan mesin *press hydraulic* untuk mengetahui kekuatan dari material komposit penguat *carbon fiber* yang dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up*, lalu ambil data dari hasil pengujian *bending*.

Pengumpulan data dilakukan langsung dari hasil kekuatan dari uji *bending* yang bisa ditahan oleh spesimen komposit *carbon fiber* dari mesin *press hydraulic*. Untuk menganalisis keseluruhan data yang diperoleh dan mengetahui hasil uji *bending* dengan proses pengujian dilakukan dengan 3 kali uji dari metode *vacuum infusion* dan 3 kali uji dari metode *manual hand lay-up* sehingga pengujian dilakukan 6 kali terhadap spesimen material komposit penguat *carbon fiber* yaitu dengan uji *bending*.

Rumus Uji *Bending*

$$\sigma f = \frac{3 PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Keterangan : σf : teggangan lengkung (kgf/mm²)
 P : Beban atau gaya yang terjadi (kgf)
 L : jarak point (mm)
 b : lebar benda uji (mm)
 d : ketebalan benda uji (mm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil data penelitian pengujian *bending* material komposit penguat *carbon fiber* dengan hasil dari metode pembuatan *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up* yang telah melakukan pengujian *bending* pada spesimen komposit *carbon fiber* dan dilanjutkan dengan pengolahan data untuk melihat perbedaan data yang dihasilkan dari metode *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up* menggunakan uji anova. Tabel 2 dan 3 menunjukkan hasil penelitian yang dilakukan.

Tabel 2. Data Spesifikasi Spesimen

Metode	Spesimen	Length (mm)	Width (mm)	Thick (mm)	Weight (g)
<i>Vacuum Infusion</i>	1	100	30	1,35	5
	2	100	30	1,35	5
	3	100	30	1,35	5
<i>Manual Hand Lay Up</i>	1	100	30	1,75	6
	2	100	30	1,75	6
	3	100	30	1,75	6

Tabel 3. Hasil Pengujian *Bending* Spesimen

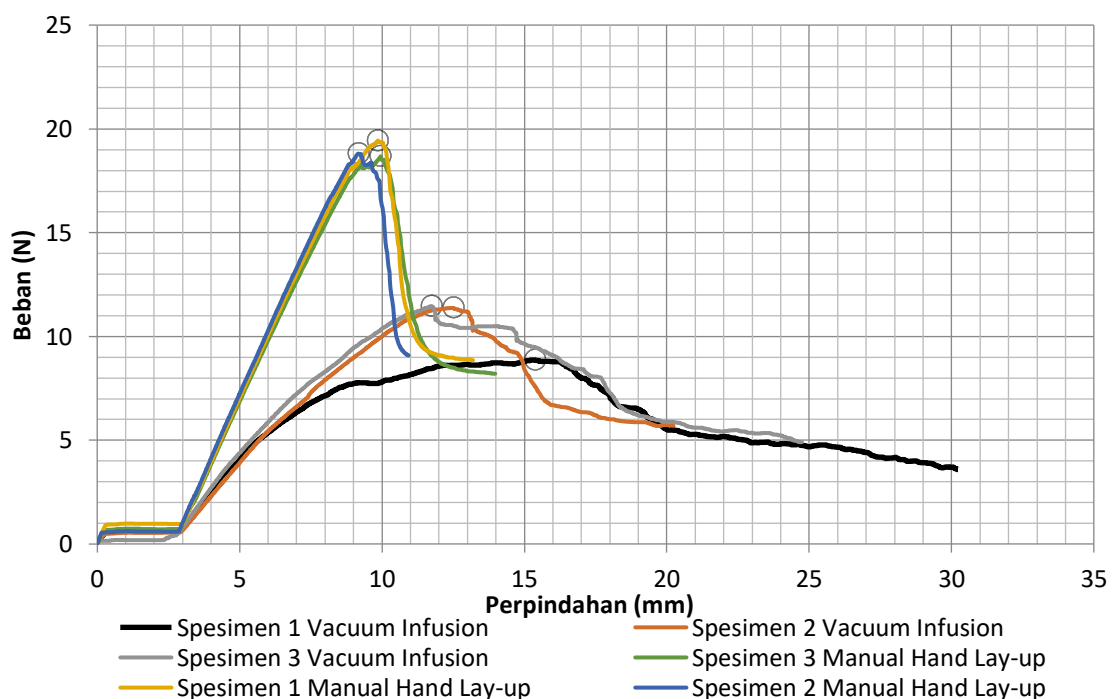
Metode	Spesimen	Spesimen Area (mm ²)	Kekuatan maksimal (N)	Modulus elastisitas (N/mm)	<i>Bending strength</i> (N/mm)	Defleksi (mm)
<i>Vacuum Infusion</i>	1	40,500	8,867	419,185	18,245	2,15
	2	40,500	11,375	803,185	23,405	1,65
	3	40,500	11,460	661,734	23,581	2,15
<i>Manual Hand Lay-up</i>	1	51.000	19,442	966,438	23,806	0,9
	2	51.000	18,812	1128,394	23,035	1,1
	3	51.000	18,684	876,942	22,878	0,45

Dari data tabel 2 spesimen *vacuum infusion* memiliki panjang 100 mm, lebar 30 mm, ketebalan 1,35 mm, dan berat 5 gram. Spesimen *manual hand lay-up* memiliki panjang 100 mm, lebar 30 mm, ketebalan 1,75 mm, dan berat 6 gram.

Setelah melakukan pengujian *bending* diperoleh data pada tabel 3 dari tiga spesimen metode *vacuum infusion*. Rata-rata luas area spesimen adalah sekitar 40.500 mm² dengan kekuatan maksimal berkisar antara 8.867 N hingga 11.460 N. *Modulus elastisitas* berkisar dari 419.185 hingga 803.185 N/mm. Nilai *Bending Strength* berkisar antara 18.245 hingga 23.581 N/mm. Nilai defleksi berkisar antara 1,65 mm hingga 2,15 mm. Spesimen *manual hand lay-up* yang telah diuji *bending* mendapatkan hasil. Rata-rata luas area spesimen adalah sebesar 51.000 mm². Kekuatan maksimal yang diterima berkisar antara 18.684 N hingga 19.442 N. *Modulus elastisita* bervariasi antara 876.942 hingga 1128.394 N/mm. *Bending Strength* berkisar dari 22.878 hingga 23.806 N/mm. Nilai defleksi berkisar antara 0,45 mm hingga 1,1 mm.

Pembahasan

Berdasarkan grafik pada gambar 6 menunjukkan ada perbedaan kekuatan *bending* dari spesimen material komposit penguat *carbon fiber* dengan hasil metode pembuatan *vacuum infusion* titik tertinggi 11,460 N dan *manual hand hand lay-up* 19,442 N.



Gambar 6. Grafik Uji Bending

Metode *vacuum infusion* memberikan keuntungan berupa pemerataan resin yang lebih baik karena prosesnya berada dalam kondisi kedap udara. Resin yang tersebar merata meningkatkan kekuatan mekanis dan mengurangi risiko kerusakan pada material. Ketebalan yang konsisten di seluruh spesimen juga mempengaruhi kekuatan *bending* secara positif. Namun, kekurangan dari metode ini adalah biaya peralatan yang relatif tinggi dan membutuhkan keterampilan serta persiapan yang lebih matang dibandingkan dengan metode *manual*. Selain itu, proses ini memerlukan waktu yang lebih lama karena

pengaturan *vacuum* dan peralatan pendukung lainnya, yang mungkin kurang efisien untuk produksi dalam jumlah kecil atau prototipe.

Metode *manual hand lay-up* lebih mudah dilakukan karena tidak memerlukan peralatan khusus, hanya membutuhkan kuas, *roller*, dan resin yang dioleskan secara *manual*. Meskipun hasilnya cukup baik, kualitas material yang dihasilkan kurang konsisten dibandingkan dengan *vacuum infusion*. Beberapa kelemahan yang terlihat pada metode ini termasuk potensi tidak meratanya distribusi resin, adanya *void* yang mungkin tertinggal, dan hasil akhir yang lebih bervariasi dalam hal ketebalan dan kekuatan *bending*. Ini menyebabkan material komposit yang dihasilkan dengan metode ini cenderung lebih lemah dan rentan terhadap retak atau patah di bawah tekanan yang tinggi.

Sesuai dengan teori menyatakan bahwa metode *vacuum infusion* memiliki kekuatan *bending* yang lebih kuat dari pada metode *manual hand lay-up*, sedangkan pada penelitian ini metode *manual hand lay-up* yang menghasilkan kekuatan *bending* yang lebih tinggi dari pada metode *vacuum infusion*, peneliti menyadari bahwa adanya kesalahan ketika proses pembuatan spesimen *vacuum infusion* pada saat resin sudah terinfus dengan merata tidak menunggu lebih lama saat terjadinya kevakuman, maka kurangnya kevakuman pada spesimen *vacuum infusion* disebabkan kesalahan itu, maka spesimen *vacuum infusion* tidak menghasilkan kekuatan *bending* yang lebih tinggi dari spesimen *manual hand lay-up*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Perancangan media pembelajaran berbasis video interaktif untuk materi Metode *vacuum infusion* memberikan konsistensi kekuatan dan *Modulus elastisitas* yang lebih tinggi meskipun nilai *bending strength* maksimum masih lebih rendah dibandingkan metode *manual hand lay-up*. Dikarenakan proses *vacuum infusion* membantu dalam pemerataan resin dan meminimalkan *void*. Kekuatan *bending* maksimum pada metode *vacuum infusion* mencapai 11.460 N, sementara pada metode *manual hand lay-up* dapat mencapai 19.442 N. Meskipun metode *manual hand lay-up* menunjukkan lebih sederhana, murah dan kekuatan maksimum yang lebih tinggi, variasi besar dalam *modulus elastisitas* menandakan ketidakteraturan distribusi resin, cenderung menghasilkan material dengan variasi kekuatan yang lebih besar dan rentan terhadap adanya *void*, yang dapat memengaruhi daya tahan material dalam jangka panjang. Secara keseluruhan, metode *vacuum infusion* lebih direkomendasikan untuk produksi komposit yang membutuhkan ketahanan dan kekuatan mekanis yang tinggi, terutama dalam industri otomotif dan aplikasi yang memerlukan material yang kokoh dan ringan. Walaupun begitu Metode *manual hand lay-up* juga dapat digunakan untuk produksi yang tidak memerlukan spesifikasi kekuatan tinggi atau hanya untuk prototipe.

Peneliti memberikan saran kepada peneliti selanjutnya untuk pengembangan metode *hybrid* antara *vacuum infusion* dan *manual hand lay-up* untuk menemukan keseimbangan biaya dan kualitas yang optimal.

REFERENSI

- [1] Edi Widodo. Iswanto, *Mekanika Komposit dan Bio-Komposit*, vol. 58, no. 12. 2022. doi: 10.1128/AAC.03728-14.
- [2] S. P. S. Gatot Eka Pramono, “PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SERAT KARBON ANTARA METODE MANUAL LAY_UP DAN VACUUM INFUSION DENGAN PENGGUNAAN FRAKSI BERAT SERAT 60%,” *Eka Saudur Sihombing , Rindi Sitepu*, vol. 15, no. 11, pp. 102–106, 2019.
- [3] F. Sag, “Dikenal Lebih Kuat Dari Baja, Ini Kekurangan Serat Karbon,” *mobilmo.com*. Accessed: Nov. 03, 2024. [Online]. Available: <https://mobilmo.com/pasar-mobil/dikenal-lebih-kuat-dari-baja-ini-kekurangan-serat-karbon-aid3654>
- [4] A. Rosyid, “Analisa Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Resin Polyester Yang Diperkuat Serat Rami Tenun Dengan Orientasi Arah Sudut 0° Dan 45° Sebagai Alternatif Bumper Mobil,” *Skripsi Tek. Mesin Univ. Sultan Ageng Tirtayasa*, 2022, [Online]. Available: <https://eprints.untirta.ac.id/id/eprint/27281>
- [5] M. Perdana, “Pengaruh Fraksi Volume Penguat Terhadap Kekuatan Lentur Green Composite Untuk Aplikasi Pada Bodi Kendaraan,” *J. Ipteks Terap.*, vol. 9, no. 4, pp. 71–77, 2016, doi: 10.22216/jit.2015.v9i4.409.
- [6] R. N. Huda, “PENGARUH VARIASI VOLUME SERAT PELEPAH PISANG PADA KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT,” 2018, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:139286984>
- [7] E. Widiyono, M. Y. Mahdum, H. Rahman, and D. Z. Noor, “Komposit Carbon Fiber Sandwich Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Alumunium Alloy 6063 Pada Knuckle Plate Mobil Nogogeni 5 Evo,” *J. Nas. Apl. Mekatronika, Otomasi dan Robot Ind.*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j27213560.v2i1.9120.
- [8] W. B. Utomo, “Pengaruh Variasi jenis core, temperatur curing dan post-curing karakteristik bending komposit sandwich serat karbon dengan metode vacuum infusion,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 45–54, 2021.
- [9] N. Sari, “Analisa Pengaruh Sudut Karbon Twill Dan Fiber E-Glass Dengan Core Polyurethane Pada Komposit Sandwich Menggunakan Metode Bagging Vacuum Dan ...,” pp. 1–90, 2018, [Online]. Available: [https://repository.its.ac.id/59306/1/sudah jadi 1 buku fix.pdf](https://repository.its.ac.id/59306/1/sudah%20jadi%201%20buku%20fix.pdf)
- [10] I. M. Pramudiana, “ANALISA UJI IMPAK KOMPOSIT MATRIKS EPOXY-KARET 30%, 40%, 50% PENGUAT SERAT KARBON, RAMI, DAN KENAF SEBAGAI BODY ARMOR,” *J. Phys. A Math. Theor.*, vol. 44, no. 8, p. 085201, Nov. 2010, doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201.
- [11] M. A. Mokoagow, “Analisis Metode Pembuatan Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Patahan Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon Ud 12K Layer 2C2,” p. 134, 2022.
- [12] M. Azissyukhron and S. Hidayat, “Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite,” *J. Tek. Mesin, Politek. Negeri Bandung*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [13] L. Kusnandar, “PEMBUATAN COVER BODYMOTOR DARI BAHAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT GELAS DENGAN METODE HAND LAY UP,” 2008. [Online]. Available: <http://dspace.uui.ac.id/123456789/24853>
- [14] Sugiyono, *Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. ALFABETA, 2012.
- [15] A. Suharsimi, *Prosedur penelitian suatu pendekatan praktik*, vol. 134. 2006.