

Manufaktur Vacuum Resin Infusion Untuk Pembuatan Material Komposit

Ilham Romdhani¹ Ferry Setiawan² Dimas Wicaksono³

Program Studi S1 Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta,
Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta,^{1,2,3}

Email:

Abstrak

Penggunaan material komposit dalam industri penerbangan semakin meningkat, menggantikan baja dan aluminium. Metode Vacuum Resin Infusion yang lebih efisien dibandingkan metode tradisional seperti Hand Lay-Up telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dan menurunkan biaya produksi komposit yang digunakan pada struktur pesawat, UAV, dan drone. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan dua teknik pembuatan komposit: Vacuum Infusion dan Hand Lay-Up. Spesimen dibuat menggunakan variasi pipa spiral pada metode Vacuum Infusion. Pengujian meliputi evaluasi void menggunakan foto mikroskop dan pengukuran berat jenis material untuk membandingkan kualitas komposit yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Mengetahui perbedaan kualitas material komposit yang dihasilkan oleh metode Vacuum Infusion dan Hand Lay-Up berdasarkan void dan berat jenisnya. Metode Vacuum Infusion dengan spiral out menunjukkan jumlah void paling sedikit dan nilai berat jenis tertinggi sebesar 0.00157 gram/mm³ dibandingkan dengan metode lain, menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan komposit dengan kualitas dan kerapatan yang lebih baik, sehingga lebih unggul dalam hal kekuatan dan ketahanan material.

Kata Kunci: *Vacuum Infusion, Hand Lay-Up, Komposit Material, Pesawat*

Abstract

The use of composite materials in the aviation industry is increasing, replacing steel and aluminum. A Vacuum Resin Infusion method that is more efficient than traditional methods such as Hand Lay-Up has been developed to improve the quality and lower the production cost of composites used in aircraft, UAV and drone structures. This research utilizes an experimental method with two composite manufacturing techniques: Vacuum Infusion and Hand Lay-Up. Specimens were made using a variety of spiral pipes in the Vacuum Infusion method. Tests included void evaluation using a photo microscope and measurement of material specific gravity to compare the quality of composites produced by the two methods. Knowing the difference in the quality of composite materials produced by the Vacuum Infusion and Hand Lay-Up methods based on voids and specific gravity. The Vacuum Infusion method with spiral out showed the least number of voids and the highest specific gravity value of 0.00157 grams/mm³ compared to the other methods, indicating that this method produces composites with better quality and density, thus superior in terms of material strength and durability.

Keywords: *Vacuum Infusion, Hand Lay-Up, Composite Materials, Aircraft*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Penggunaan material komposit dalam struktur utama terus meningkat secara signifikan. Pertumbuhannya jauh melampaui bahan lainnya, dengan komposit semakin banyak menggantikan baja dan aluminium di berbagai aplikasi seperti pesawat terbang, turbin angin, dan mobil. Material komposit juga sangat umum digunakan di industri, terutama dalam sektor kedirgantaraan. Menurut *Federal Aviation Agency* (FAA), material komposit sudah digunakan sejak Perang Dunia II, dan pada tahun 2012, sekitar 50% dari struktur pesawat 787 Dreamliner terdiri dari komposit. Hal ini karena keunggulan komposit yang ringan, kuat, dan tahan korosi (Hidayat, 2013). Di industri penerbangan, termasuk pada *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau

yang sering disebut drone, material komposit banyak dipakai karena sifat mekaniknya yang unggul dan bobotnya yang ringan. Biasanya, komposit yang digunakan untuk keperluan komersial dibuat dari matriks polimer yang diperkuat dengan serat tekstil seperti kaca, aramid, dan karbon (A. Goren dan C.Aatas, 2008). Proses pembuatan komposit bisa dilakukan dengan beberapa metode, seperti *Hand lay-up*, *Vacuum Bag*, atau *Vacuum infusion*. Di antara metode-metode ini, *Hand lay-up* adalah yang paling sederhana dalam pembuatan komposit. Metode ini memungkinkan pembuatan berbagai bentuk komposit. Namun, penting diketahui bahwa penggunaan metode yang berbeda dalam pembuatan komposit akan menghasilkan karakteristik material yang berbeda pula. (L. geng dan K.Wu, 2017).

Metode yang masih sering digunakan dalam pembuatan material komposit adalah metode *hand lay-up* laminasi basah. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah sulitnya mengontrol jumlah resin yang digunakan, yang dapat menyebabkan material menjadi terlalu berat atau ketebalannya tidak merata karena proses laminasi dilakukan secara manual. Selain itu, ada risiko terperangkapnya gelembung udara yang dapat mempengaruhi kualitas material. Hasil dari metode ini sangat bergantung pada keterampilan teknisi, sehingga produk yang dihasilkan sering kali tidak konsisten, baik antara produk pertama dan berikutnya maupun antara teknisi yang berbeda. (Hidayat, 2013). Saat ini, berbagai teknik manufaktur telah dikembangkan untuk menciptakan komposit yang berkinerja tinggi dengan biaya yang lebih rendah. Kedua faktor ini menjadi alasan utama mengapa beberapa teknik manufaktur dirancang untuk mengotomatisasi proses produksi. Salah satu teknik yang dikembangkan adalah teknologi resin infusion, yang bertujuan menjaga konsistensi berat dan ketebalan produk melalui proses laminasi otomatis di bawah kondisi *vacuum*. Awalnya, metode *vacuum infusion* ini banyak digunakan dalam industri perahu atau kapal laut. Namun, seiring perkembangan, metode ini mulai diterapkan dalam pembuatan pesawat guna mengurangi biaya produksi yang biasanya lebih tinggi pada teknologi *autoclave* (V.B Equipment, 2015).

Penelitian berjudul "Rancang Bangun Peralatan *Vacuum Resin Infusion* dengan Feeder Pipa *Spiral* untuk Pembuatan Material Komposit Wahana Terbang" diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini bisa menjadi acuan untuk metode infus resin vakum yang praktis, efisien, berbiaya rendah, dan mampu menghasilkan komposit berkualitas lebih baik.
2. Mempelajari desain dan pembuatan alat *vacuum infusion* yang dapat menghasilkan material komposit dengan kualitas lebih baik dibandingkan dengan metode *hand lay-up* atau *vacuum bag*.
3. Peralatan *Vacuum Resin Infusion* yang dihasilkan dari penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian lain, seperti dalam proses pembuatan wahana terbang, termasuk drone dan UAV. Contohnya, alat ini bisa diterapkan dalam pembuatan bodi, sayap, baling-baling, dan komponen lainnya.
4. Peralatan *Vacuum Resin Infusion* yang dihasilkan dari penelitian ini bisa digunakan untuk penelitian lain, terutama pada studi material komposit dengan matriks resin dan berbagai jenis *filler* (baik serat maupun partikel) menggunakan metode *vacuum resin infusion*.
5. Dari hasil penelitian, penggunaan *Vacuum Resin Infusion* dapat meningkatkan fasilitas dan peralatan di workshop STTKD.

Berdasarkan penjelasan yang telah disampaikan di bagian pendahuluan, pertanyaan-pertanyaan utama dalam penelitian ini adalah: Bagaimana proses pembuatan peralatan *vacuum infusion*? Bagaimana perbandingan *void* yang dihasilkan dari metode vakum infusion dan *hand lay-up* menggunakan foto mikroskop? Bagaimana perbandingan material komposit yang dihasilkan dari metode vakum infusion dan *hand lay-up* menggunakan basic berat jenis?

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah Pengujian hasil kepadatan material yang dihasilkan dari metode vakum infusio, Bagaimana manufaktur peralatan vakum resin invusio untuk pembuat material komposit. Berdasarkan uraian dalam rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah: Mengetahui berat jenis material yang dihasilkan; Mengetahui kepadatan material yang dihasilkan.

Tinjauan Pustaka

Penelitian ini menggunakan teknologi manufaktur yang dikenal sebagai *Liquid Resin Infusion* (LRI) atau *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Metode ini, yang diperkenalkan pertama kali oleh Marco, efektif untuk memproduksi bagian-bagian besar dengan biaya yang relatif rendah. (Trochu et al, 2005). Walaupun resin infusio memiliki beberapa kelebihan, masih ada beberapa masalah yang harus diatasi, seperti munculnya *white spot* pada material komposit, viskositas resin yang tidak stabil, serta ketidakaturan dalam geometris dan bentuk laminasi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi terhadap masalah-masalah tersebut dengan merancang dan membuat peralatan *vacuum infusio*. Dalam penelitian ini, penulis akan merancang dan membuat peralatan *vacuum infusio* untuk memproduksi material komposit yang akan digunakan dalam pembuatan UAV dan drone. Fokus utama dari desain peralatan *vacuum infusio* ini adalah meningkatkan kualitas komposit yang dihasilkan, salah satunya dengan menambahkan pipa *feeder spiral* pada cetakan komposit. Dengan tambahan ini, diharapkan kualitas material dapat meningkat. Selain itu, perancangan peralatan ini juga mempertimbangkan biaya pembuatan yang rendah sesuai dengan anggaran penelitian. Rujukan dari penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai dasar untuk desain peralatan ini dapat dilihat pada tabel di bawah:

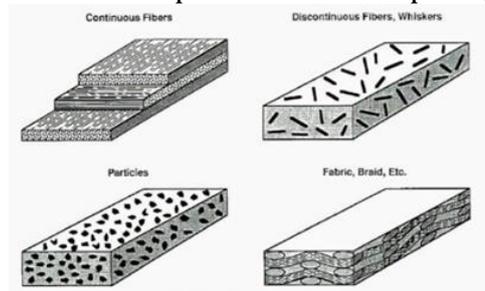
Tabel 1. Penelitian yang Relevan

No	Nama	Judul	Hasil
1	Rival Dinur, 2019	Proses Pembuatan Produk Komposit Sandwich Serat Karbon Menggunakan Metode <i>Vacuum infusio</i>	Dari penelitian yang dilakukan, berhasil dibuat produk komposit dengan permukaan melengkung, ketebalan yang tidak berlebihan, dan hasil akhir yang halus. Penelitian ini menghasilkan produk sandwich komposit berbentuk vas bunga dengan permukaan melengkung. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil produk sandwich komposit ini adalah durasi pemvakuman dan rasio campuran antara resin dan hardener.
2	Kosim Abdurohman, Lidia Kristina Panjaitan 2016	Upgrade Manufaktur Komposit Menggunakan Metode <i>Vacuum Resin Infusio</i> Untuk Struktur Lsu	Material komposit telah dibuat menggunakan metode VARI untuk spesimen yang akan diuji densitas dan ketebalannya. Material yang digunakan adalah serat e-glass WR 185 dan karbon WR 200 dengan matriks poliester. Poliester yang dipakai adalah tipe khusus infusio dengan viskositas 155,92 cps. Dari proses pembuatan komposit dengan metode <i>vacuum infusio</i> , diketahui bahwa rasio massa serat dan resin rata-rata adalah 70%:30%. Densitas komposit e-glass WR185/poliester adalah 1,7 g/cm ³ dengan ketebalan rata-rata per lapis serat 0,16 mm, sedangkan densitas komposit karbon WR200/poliester adalah 1,477 g/cm ³ dengan ketebalan rata-rata per lapis serat 0,22 mm.
3	A H Saputra and G Setyarso 2016	<i>Vacuum infusio</i> equipment design and the influence	Peralatan <i>vacuum infusio</i> yang dirancang untuk pembuatan material komposit terdiri dari cetakan kaca berukuran 1x1 meter, tabung PVC berkapasitas 1 liter untuk menampung resin, tabung kaca berkapasitas 1 liter sebagai perangkap resin, dan pompa vakum HP dengan kecepatan 7 CFM. Resin yang digunakan adalah

		of reinforcement layers addition to the resin infusion time	unsaturated polyester resin (UPR) dan serat penguat yang digunakan adalah fiber glass. Penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak lapisan penguat, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk infus resin. Waktu infus resin (dalam detik) untuk area 15x20 cm dengan jumlah lapisan dari dua hingga enam adalah: 88, 115, 145, 174, dan 196; untuk area 15x25 cm adalah: 119, 142, 168, 198, dan 235; dan untuk area 15x35 cm adalah: 181, 203, 235, 263, dan 303. Jumlah maksimum lapisan struktur tulangan yang dapat ditampung untuk masing-masing area 15x20 cm, 15x25 cm, dan 15x35 cm adalah 31, 29, dan 25 lapisan.
--	--	--	--

Komposit

Komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih jenis material yang berbeda, baik secara fisik maupun kimia, yang dapat terlihat dengan mata telanjang. Gabungan material ini menciptakan sifat baru pada bahan tersebut tanpa merusak komponen-komponennya. Beberapa contoh susunan material komposit bisa dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Material Komposit
(L. geng dan K.Wu, 2017)

Secara umum, ada tiga jenis komposit yang dibedakan berdasarkan jenis penguat yang digunakan, yaitu:

1. **Fibrous Composites** Komposit Serat adalah jenis komposit yang terdiri dari satu lapisan yang diperkuat dengan serat.
2. **Laminated Composite** Komposit Laminat adalah jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu. Setiap lapisan memiliki sifat atau karakteristiknya masing-masing.
3. **Particulate Composite** Komposit Partikel adalah jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai bahan penguatnya, yang tersebar merata dalam matriksnya (V.B equipment).

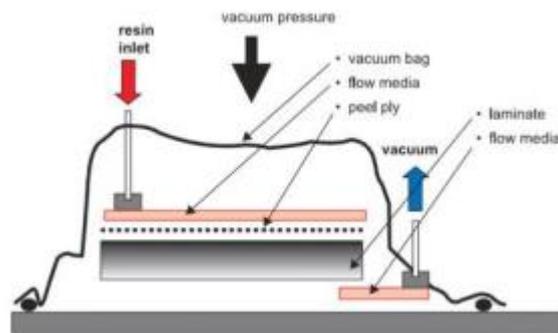
Vacuum Infusion

Di beberapa literatur, ada berbagai istilah untuk proses resin infus. Beberapa sumber menyebutnya sebagai *Resin Infusion Process* (RIP), sementara yang lain menggunakan istilah *vacuum infusion*. *Vacuum infusion* sendiri memiliki berbagai akronim, seperti *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding* (VARTM), *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARIM Moulding), *Seemann Composites Resin Infusion Moulding Process* (SCRIMP™), *Vacuum Bag Resin Transfer Moulding* (VBRTM), dan *Vacuum Assisted Resin Infusion process* (VARI), serta lainnya. Pada dasarnya, semua metode ini menggunakan teknologi yang serupa, yang melibatkan penyerapan *reinforcement* kering oleh resin *thermoset* cair yang dipindahkan melalui vakum (A. Goren dan C. A. Atas, 2008). Perkembangan teknologi dalam pembuatan komposit, terutama teknologi *vacuum infusion*, bertujuan untuk meningkatkan kandungan serat dalam komposit. Dalam makalah ini, teknologi manufaktur yang digunakan adalah *Liquid Resin Infusion* (LRI), yang

juga dikenal sebagai *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Marco dan dapat digunakan untuk memproduksi komponen besar dengan biaya yang relatif rendah (Jouboud et al , 2005) *Vacuum-assisted resin infusion* (VAFI) adalah metode pembuatan komposit yang hemat biaya dan menggunakan teknik inovatif. Dalam proses ini, udara yang terperangkap dalam serat atau bahan pengisi dihilangkan dengan menggunakan alat *vacuum*. Setelah itu, resin mengalir mengikuti aliran vakum dan meresap ke dalam serat, menghasilkan material komposit dengan rasio resin dan serat yang diinginkan. Metode ini dapat mengurangi biaya pembuatan komposit dibandingkan dengan metode lainnya (L.Geng dan K.wu, 2017).

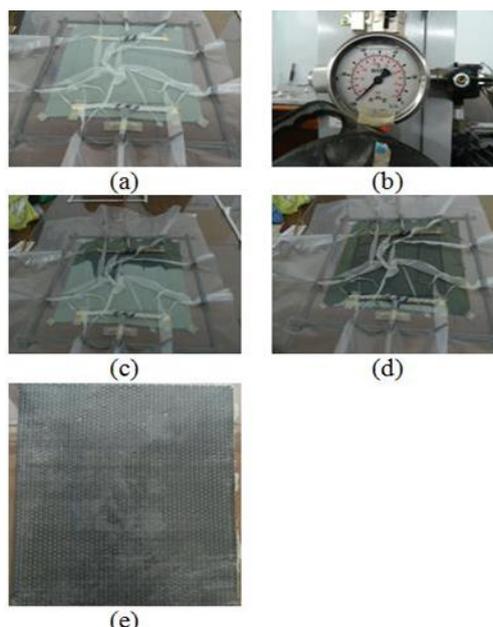
Manufaktur *Vacuum Infusion*

Skema manufaktur komposit dengan teknik *vacuum infusion* menggambarkan urutan material yang digunakan dalam proses tersebut. Ini mencakup inlet resin (tempat masuknya resin), *vacuum bag* (untuk menutup area benda kerja agar bisa divakum), *flow media* (untuk memfasilitasi aliran resin di area laminasi), *peel ply* (untuk memastikan permukaan benda kerja rata), dan *laminat* (susunan serat dalam benda kerja) yang semuanya berfungsi dalam kondisi vakum (Kosim Avdurohman dan Aryandi Marta, 2016).



Gambar 2. Diagram Alir *Vacuum Infusion*

Sumber: (Kosim Avdurohman dan Aryandi Marta, 2016)



Gambar 3. Proses *Vacuum Infusion*

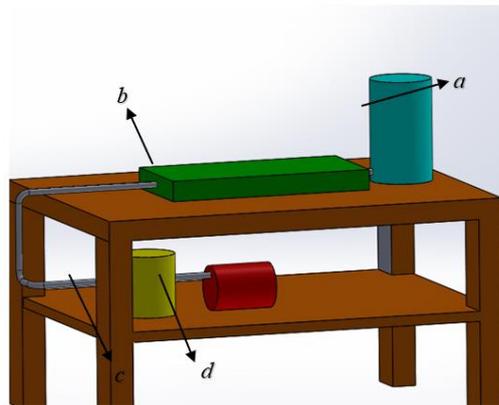
Sumber: (Kosim Avdurohman dan Aryandi Marta, 2016)

Pada Gambar 3, ditunjukkan proses *vacuum infusion*. Proses pada gambar (a) menggambarkan pengaturan area laminasi komposit dengan posisi vacuum pada tekanan -100 kPa atau -1 bar. Kemudian, pada gambar (b) dan (c), terlihat resin mulai mengalir dan meresap ke area laminasi, sedangkan gambar (d) menunjukkan bahwa area laminasi sudah tertutup oleh resin (Kosim Avdurohman dan Aryandi Marta, 2016).

METODE PENELITIAN

Rancangan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental *vacuum infusion* dan *hand lay-up*. Dalam eksperimen ini, akan dibuat dua spesimen, dan kami juga memastikan bahwa alat yang sudah dibuat berfungsi dengan baik. Berikut adalah gambar dari alat dan spesimen tersebut.

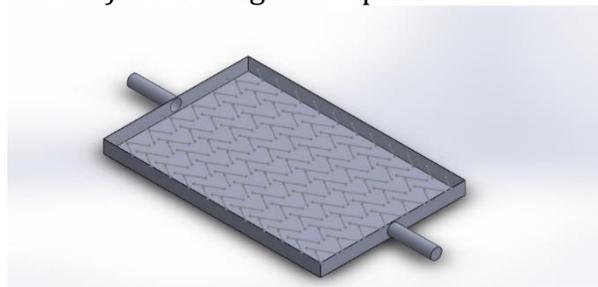


Gambar 4. Assembly Rancangan *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 4 terlihat perakitan *vacuum infusion*. Beberapa komponennya adalah: (a) *mixer*, yang berfungsi sebagai pengaduk, (b) *molding* atau cetakan yang digunakan dalam proses vacuum, (c) *reservoir*, yang berfungsi sebagai penampung resin, dan (d) motor.

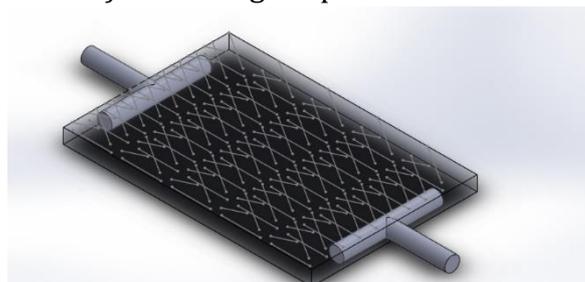
Rencana variasi pengujian peralatan

1. Rancangan variasi *vacuum infusion* dengan no spiral



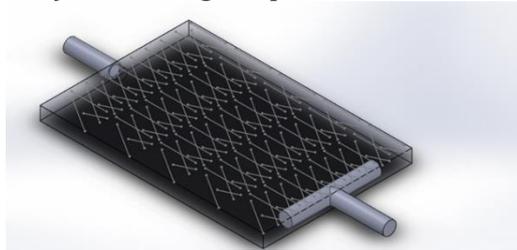
Gambar 5. Metode *Vacuum Infusion* No Spiral

2. Rancangan variasi *vacuum infusion* dengan spiral in out



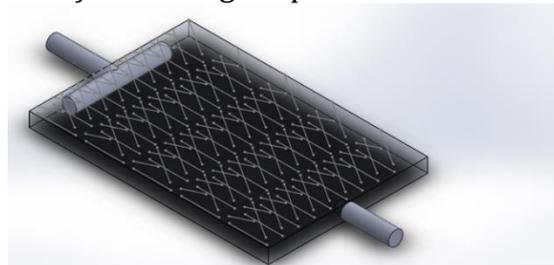
Gambar 6. Metode *vacuum infusion* spiral in out

3. Rancangan variasi *vacuum infusion* dengan spiral in



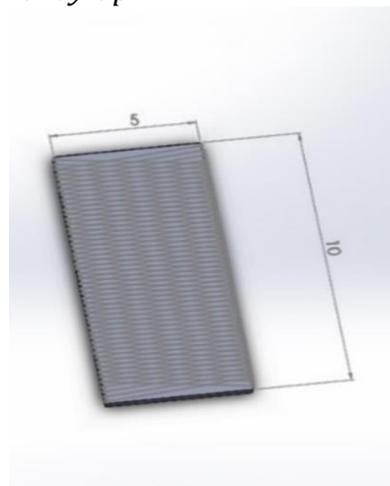
Gambar 7. Metode *vacuum infusion* spiral in

4. Rancangan variasi *vacuum infusion* dengan spiral out



Gambar 8. Metode *vacuum infusion* spiral out

5. Rancangan variasi metode *hand lay-up*



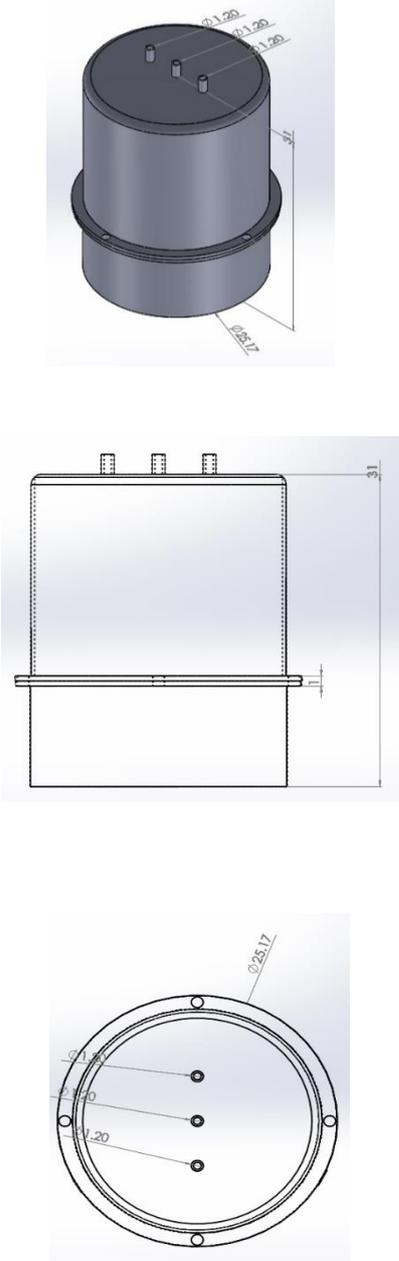
Gambar 9. Metode *hand lay-up*

Rancangan alat dasar metode *vacuum infusion*

Metode *vacuum infusion* memiliki keuntungan dalam pembuatan material serat *fibreglass*, terutama dalam menghasilkan material yang lebih ringan dibandingkan dengan teknik *hand lay-up* serta lebih efisien. Di bawah ini terdapat tabel alat dasar yang digunakan:

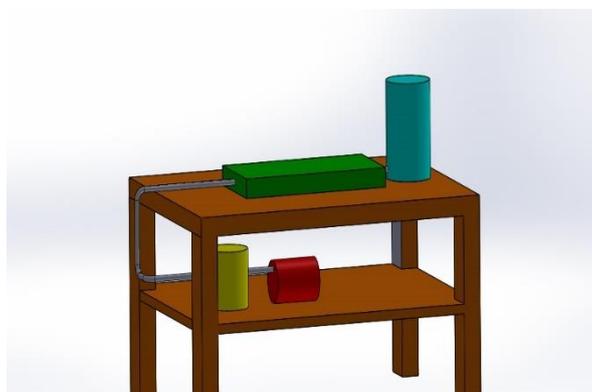
Tabel 2. Bagian Dasar Alat Yang Digunakan

No	Gambar	Penjelasan
1		<p><i>Check valve</i> berfungsi untuk mengatur aliran udara dan juga mencegah terjadinya aliran balik.</p>

2	 	<p>Tabung <i>reservoir</i> digunakan untuk menampung sisa resin supaya tidak masuk ke dalam vacuum pump.</p>
---	--	--

3		<p>Pompa vacuum berfungsi sebagai penghisap udara atau memvakum udara yang berada di baging</p>
4		<p>Selang berfungsi sebagai tempat mengalirnya udara dan resin</p>
5		<p>Konektor T berfungsi sebagai membagi selang menjadi 2 cabang</p>
6		<p>Plastik vacuum mencegah masuknya oksigen ke dalam kantong. Peel ply nylon berfungsi agar resin tedistribusi merata dan lem sealent sebagai perekat.</p>
7		<p>Nepel berfungsi sebagai tempat menancapkan selang dengan alat</p>

8		<p>Pipa spiral berfungsi mengalirkan resin agar terdistribusi</p>
9		<p>Resin berfungsi sebagai perekat material. Hardener sebagai pengeras resin dan mempercepat pengeringan</p>
10		<p>Serat fiber glass sebagai media material yang digunakan</p>
11		<p>Pressure gauge berfungsi untuk mengetahui tekanan udara ketika memvakum</p>
12		<p>Wax Resin Mold Realese berfungsi agar material dapat dilepas dari cetakan.</p>



Gambar 10. Rancangan Vacuum Infusion

Rancangan membuat material fibreglass dengan metode handlyup

Metode *hand lay-up* adalah cara yang sederhana untuk membuat bahan *fibreglass*. Dengan menggunakan kuas dan campuran resin serta *hardener*, pembuatan material menjadi lebih mudah. Namun, material yang dihasilkan cenderung lebih berat karena resin yang tidak merata dan cukup tebal. Berikut ini adalah proses dan alat yang digunakan:



Gambar 11. Perbandingan Fiberglass Resin dan Katalis

Dalam proses pembuatan specimen memerlukan bahan fiberglass, resin dan katalis dengan perbandingan fiberglass dan resin 1:1. Untuk perbandingan resin dan katalis 10:1 dimana resin lebih banyak dibandingkan dengan katalis. Sementara itu resin berfungsi sebagai perekat material. Katalis sebagai pengeras dan mempercepat pengerasan resin dan material.

1. Perhitungan perbandingan resin, serat, katalis, cetakan.

a. Menghitung volume cetakan

Dengan asumsi yang dipakai volume cetakan = volume komposit, sehingga perhitungannya :

Volume cetakan = Volume komposit $V_{cet} = V_{kom}$ Sehingga volume komposit :

$$V_{komposit} = 15 \times 10 \times 0,2 \text{ cm} \\ = 30 \text{ cm}^3$$

b. Menghitung volume serat

$$\text{Volume serat (V serat)} = 30\% \times V_{komposit} \\ = \frac{30}{100} \times 30 \text{ cm}^3 \\ = 9 \text{ cm}^3$$

c. Masa serat dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan volume serat :

masa jenis serat = 2,54

Sehingga massa seratnya :

$$M_{serat} = \rho_{serat} \times V_{serat} = 2,54 \text{ gr/x } 9 \text{ cm}^3 \\ M_{serat} = 22,86 \text{ gr/ cm}^3$$

d. Untuk menghitung jumlah resin dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume resin} = 69,7\% \times V_{komposit} \\ = 69,7\% \times 30 \text{ cm}^3 \\ = 20,91 \text{ cm}^3 \\ = 20,91 \text{ ml}$$

e. Menghitung jumlah katalis yang dipakai :

$$\text{Volume katalis} = 0,3\% \times V_{komposit}$$

$$\begin{aligned} &= 0,3\% \times 30 \text{ cm}^3 \\ &= 0,1 \text{ cm}^3 \\ &= 0,1 \text{ ml} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan komposisi, peneliti dapat memutuskan untuk menggunakan :

Serat = 22,86 gr

Resin = 20,91 ml / 20,91 gr

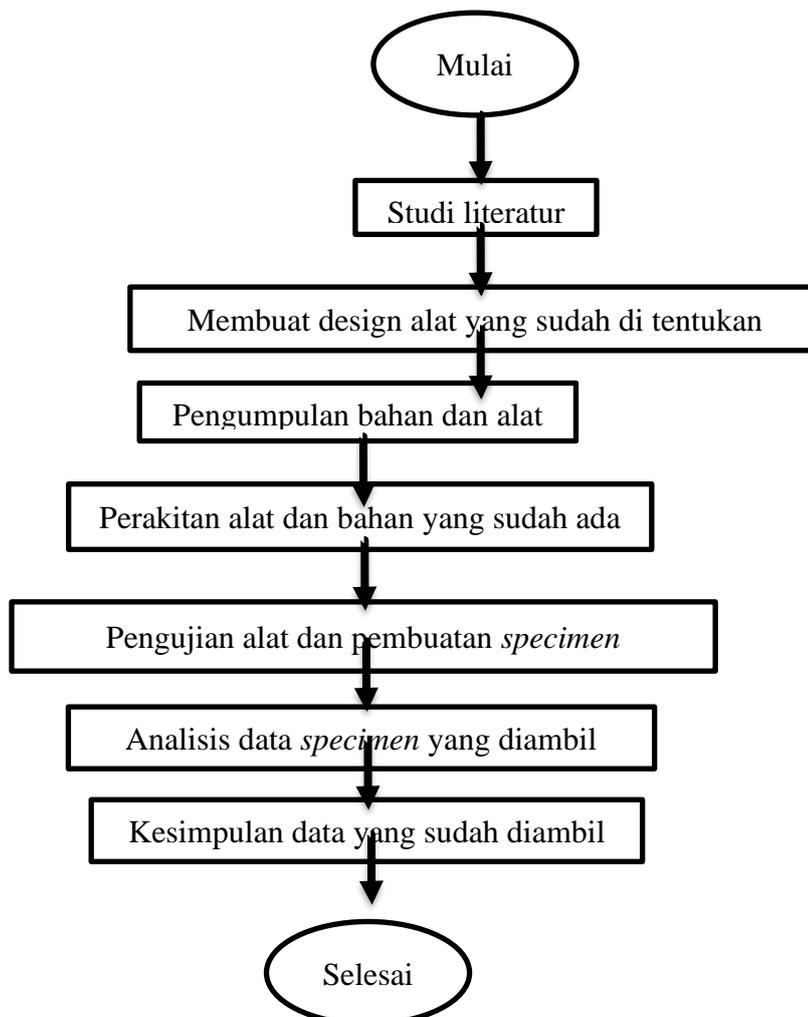
Katalis = 0,09 ml / 0,09 gr

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dengan judul “manufaktur vacum resin infusikan untuk pembuatan material komposit” di lakukan di STTKD Yogyakarta.

Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini bisa dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 12. Tahap Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu *vacuum infusion* dan *hand lay-up*. Terdapat sedikit perbedaan hasil antara dua metode yang sudah dilakukan. Penyajian pembahasan hasil eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan peralatan *vacuum infusion*?
2. Bagaimana perbandingan *void* yang dihasilkan dari metode vakum infusio dan *hand lay-up* menggunakan foto mikroskop
3. Bagaimana perbandingan material komposit yang dihasilkan dari metode vakum infusio dan *hand lay-up* menggunakan basic berat jenis Density atau kerapatan pada serat fiberglass dapat mempengaruhi kekuatan yang ada pada spesimen.

Bagaimana proses pembuatan peralatan *vacuum infusion*

Pada paparan dibawah ini dapat dilihat rancangan proses pembuatan dan alat dasar yang digunakan sebagai eksperimen pembuatan *vacuum infusion*.

1. Pembuatan meja. Meja digunakan untuk alas dan tempat penyusunan alat. Pertama yang perlu disiapkan adalah besi sebagai rangka meja, lalu kemudian disusun menggunakan alat potong dan di las. Kedua menyiapkan papan kayu untuk alas meja material. Ketiga menyiapkan kaca sebagai alas utama cetakan yang diletakkan pada atas meja.



Gambar 13. Meja dan Komponen Alat Dasar

2. Pembuatan *reservoir*. *Reservoir* adalah tempat yang digunakan untuk menampung resin dan katalis. Langkah pertama proses pembuatan reservoir adalah menyiapkan besi yang berbentuk tabung setelah itu membuat penutup sesuai diameter tabung, lubanging 3 bagian atas tabung untuk membuat mounting nepel selang dan *pressure gauge*. Perakitan tabung *reservoir* menggunakan alat las dan grinda



Gambar 14. Reservoir

3. Pompa vakum. Pompa vakum berfungsi sebagai penghisap udara yang ada di vakum bag. Untuk mesin pompa yang digunakan dapat memvakum udara dengan tekanan hisap sebesar 50 Psi



Gambar 15. Pompa Vakum

4. Proses perakitan. Menyiapkan meja sebagai tempat perlatan vakum infusion, menyambungkan pompa/motor ke *reservoir* menggunakan selang. Menancapkan *pressure gauge* pada *reservoir* Menaruh material *fibre glass* di cetakan yang sudah diberi *wax* agar ketika kering bisa dicopot dari cetakan. Cetakan di tutup dengan kain dan plastik, setiap ujung dan sisi plastik di beri lem *seal* agar udara tidak bocor. Kedua sisi cetakan di beri selang, konektor T dan pipa sepiral kedua selang tersebut ada yang sebagai selang in tempat masuknya resin dari tank *mixer* menuju cetakan komposit. Selang *out* menuju *reservoir*.



Gambar 16. Perakitan yang sudah selesai dibuat



Gambar 17. Tekanan Pressure Gauge Yang Akan Digunakan

Pada gambar diatas adalah manufaktur rancangan *vacuum infusion*, ada beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses memvakum adalah tekanan yang digunakan. Pada gambar *pressure gauge* jarum indicator menunjukkan di angka 24 in hg, 62 cm hg. Dalam satuan psi adalah 11.78 psi. Pressure tersebut cukup untuk menghisap udara yang ada di bagging dan menghisap resin untuk pendistribusian ke material yang akan dibuat menjadi specimen.

Proses *vacuum infusion* menggunakan variasi *out spiral* dan *in non spiral*

Pada tabel 2 nomor 1 terdapat foto hasil specimen variasi spiral out, pada gambar dibawah ini terdapat foto proses pembuatan.



Gambar 18. variasi *out spiral* dan *in non spiral*

Variasi pertama hanya menggunakan pipa *spiral* di bagian pipa *out* atau pipa penghisap, pipa *in* tidak menggunakan *spiral*.

Proses *vacuum infusion* menggunakan variasi *in spiral* dan *out non spiral*

Pada tabel 2 nomor 2 terdapat foto hasil specimen variasi spiral in, pada gambar dibawah ini terdapat foto proses pembuatan.



Gambar 19. Variasi *in Spiral* dan *Out Non Spiral*

Variasi kedua hanya menggunakan pipa *spiral* di bagian pipa *in* yang berfungsi sebagai jalur masuknya resin kedalam cetakan. Pada bagian pipa *out* tidak menggunakan pipa *spiral*.

Proses *vacuum infusion* menggunakan variasi *in dan out*

Pada tabel 2 nomor 3 terdapat foto hasil specimen variasi spiral in dan out pada gambar dibawah ini terdapat foto proses pembuatan Variasi ketiga menggunakan pipa sepral in jalur masuknya resin dan out sebagai jalur keluarnya udara.



Gambar 20. Variasi In Dan Out Spiral

Proses *vacuum infusion* menggunakan variasi *non spiral*

Pada tabel 2 nomor 4 terdapat foto hasil specimen variasi *non spiral* pada gambar dibawah ini terdapat foto proses pembuatan.



Gambar 21. variasi *non spiral*

Variasi keempat tidak menggunakan pipa *spiral in* jalur masuknya resin dan *out* jalur keluarnya udara.

Proses pembuatan specimen menggunakan metode *hand lay-up*

Pada proses *hand lay-up*, lapisan serat dan resin diatur secara manual, dan resin diterapkan pada lapisan serat menggunakan kuas.



Gambar 22. Pembuatan Komposit Metode *Hand Lay-Up*

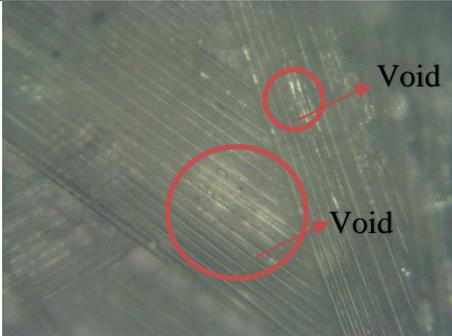
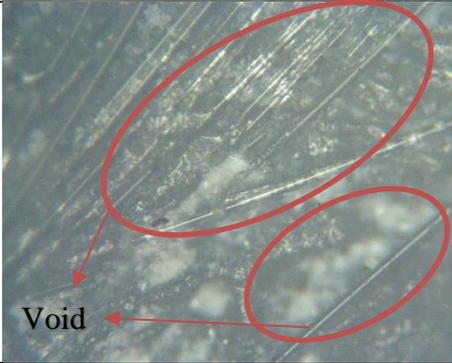
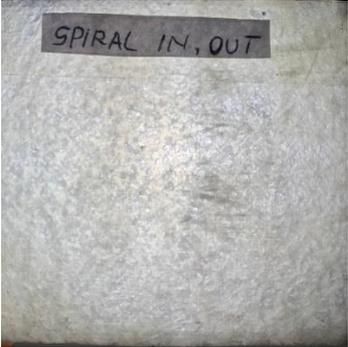
Bagaimana perbandingan void yang dihasilkan dari metode vakum infusikan dan *hand lay-up* menggunakan foto mikroskop

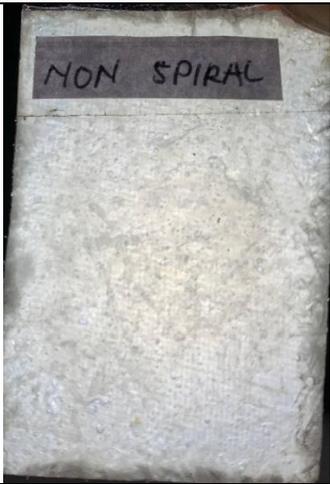
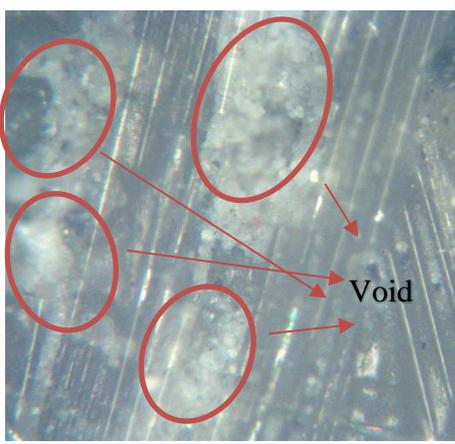
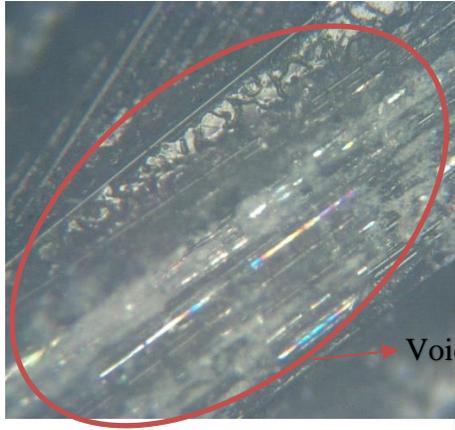
Untuk mengetahui kerapatan pada spesimen, digunakan foto mikroskop dengan perbesaran 100x untuk mengidentifikasi bagian-bagian yang mengandung *void* atau gelembung udara yang terperangkap. *Void* ditandai dengan lingkaran merah pada gambar. *Void* adalah gelembung udara yang terjebak dalam matrik komposit dan seringkali muncul selama proses pembuatan. Keberadaan *void* dapat mengurangi kekuatan komposit, sehingga penting untuk meminimalkan jumlahnya sebanyak mungkin. Lingkaran merah menunjukkan adanya *void* pada material komposit yang telah dibuat.



Gambar 23. Alat Foto Mikroskop

Tabel 3. Hasil Foto Mikroskop

No	Specimen	Foto mikroskop
1		
2		
3		

4		
5		

Hasil foto mikro pada tabel diatas dapat diketahui hasil material komposit yang di buat menggunakan metode vacum infusion dengan fariasi pipa spiral out dan in *non spiral* lebih baik dari fariasi yang lain, dikarenakan *void* lebih sedikit.

Bagaimana perbandingan material komposit yang dihasilkan dari metode vakum infusion dan hand lay-up menggunakan basic berat jenis

Sebelum mengukur berat jenis, langkah pertama adalah menyamakan ukuran panjang, lebar, dan ketebalan spesimen. Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan *caliper vernier* untuk memastikan ukuran yang akurat dan presisi. Volume spesimen harus disamakan karena ini memengaruhi hasil timbangan berat jenis material. Untuk menghitung volume spesimen, ukuran yang digunakan adalah panjang 46 mm, lebar 26 mm, dan ketebalan 2,5 mm.



Gamabar 24. vernier caliper

Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

Persamaan volume : $v = p \times l \times t$

V= volume

P = panjang

L= lebar

T= tinggi

$v = 46 \text{ mm} \times 26 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$

= 2990 mm

Tahap kedua melakukan penimbangan menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan nilai W atau berat dari spesimen tersebut. Dari hasil penimbangan spesimen diketahui

- Spesimen variasi *spiral out* 4,7 gram dan 4,5 gram
- Spesimen variasi *spiral in* 4,3 gram dan 4,2 gram
- Spesimen variasi *spiral in out* 4,1 gram dan 4 gram
- Spesimen variasi non spiral 4 gram dan 3,9 gram
- Spesimen variasi hand lay up 3,9 gram dan 3,9 gram



Gambar 25. Timbangan massa

Hasil dari pengukuran volume dan weight digunakan untuk menghitung berat jenis spesimen, Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{W}{v} = \dots \text{ gram/mm}^3$$

ρ = rho

W= weight

V= volume *Spiral out*

$$\rho = \frac{4,7}{2,99} = 0,00157 \text{ gram/mm}^3$$

$$\rho = \frac{4,5}{2,99} = 0,00150 \text{ gram/mm}^3$$

a. *Spiral in*

$$\rho = \frac{4,39}{2,99} = 0,00143 \text{ gram/mm}^3$$

$$\rho = \frac{4,2}{2,99} = 0,00140 \text{ gram/mm}^3$$

b. *Spiral in out*

$$\rho = \frac{4,1}{2,99} = 0,00137 \text{ gram/mm}^3$$

$$\rho = \frac{4,0}{2,99} = 0,00133 \text{ gram/mm}^3$$

c. *Non spiral*

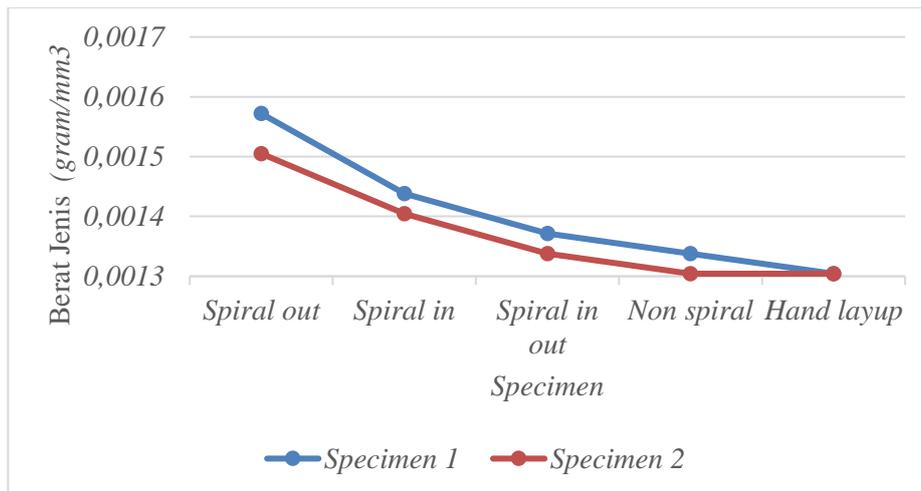
$$\rho = \frac{4,0}{2,99} = 0,00133 \text{ gram/mm}^3$$

$$\rho = \frac{3,9}{2,99} = 0,00130 \text{ gram/mm}^3$$

d. *Hand lay-up*

$$\rho = \frac{3,9}{2,99} = 0,00130 \text{ gram/mm}^3$$

$$\rho = \frac{3,9}{2,99} = 0,00130 \text{ gram/mm}^3$$



Gambar 26. Grafik Hasil Berat Jenis

Perhitungan berat jenis menggunakan metode *vacuum infusion* dan *hand lay-up* menunjukkan perbedaan nilai berat jenis. Nilai berat jenis ini mempengaruhi kepadatan material; semakin tinggi kepadatan, semakin baik kekuatan material. Dari beberapa metode yang diuji, metode *spiral out* memiliki berat jenis tertinggi dibandingkan dengan metode *spiral in*, *spiral in out*, dan *non-spiral*. Metode *spiral out* menunjukkan berat jenis sebesar 0,00157 gram/mm³ dan 0,00150 gram/mm³ pada volume yang sama, yaitu 2990 mm³.

KESIMPULAN

Foto mikroskop yang ditampilkan pada tabel 2 menunjukkan adanya tanda *void*, yang bisa menurunkan kekuatan komposit. Oleh karena itu, jumlah *void* harus dikurangi seminimal mungkin selama proses pembuatan. Dari pengamatan beberapa variasi foto mikroskop, terlihat bahwa variasi *spiral out* memiliki jumlah *void* yang paling sedikit dibandingkan dengan variasi lainnya. Berat jenis material berpengaruh terhadap kerapatan

yang dihasilkannya. Semakin tinggi kerapatan, semakin baik kekuatan materialnya. Dalam beberapa metode yang berbeda, metode *spiral out* menunjukkan nilai berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan *metode spiral in*, *spiral in out*, dan *non spiral*. Metode *spiral out* memiliki nilai berat jenis sebesar 0,00157190 gram/mm³ dan 0,00150501 gram/mm³ untuk volume yang sama yaitu 2990 mm³.

Saran: Diharapkan peneliti selanjutnya dapat mengembangkan alat *vacuum infusion* lebih efisien dan dapat digunakan sebagai pembuat material yang lebih besar agar dapat diterapkan ke transportasi umum. Untuk material dapat diganti dengan serat tumbuhan lain dan serat kain yang lebih kuat dibandingkan *fibre glass*. Saran untuk pengguna selanjutnya agar memperhatikan pipa yang akan digunakan dalam proses vakum. Gunakan pipa yang dapat menahan tekanan hisap yang dihasilkan dari mesin pompa. Jika pipa tidak dapat menahan tekanan hisap maka pipa akan gepeng dan mengakibatkan proses pemvakuman tidak berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Goren, C. A. (2008). Manufacturing of polymer matrix composites using vacuum assisted resin infusion molding. *Archives of Materials Science and Engineering*, 34(2), 117-120.
- Dinur, R. (2019). Proses Pembuatan produk Komposit Sandwich Vacuum infusion. *Equipment*, V. (n.d.). The Equipment and Process of Resin Infusion. 1-14.
- Gurit. (2016). Guide to Resin Infusion. *Easy Composites*, 1-12.
- Hidayat, S. (2013). Alat Vacum Infusion Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit. *Politeknik Negeri Bandung*, 6, 6-11.
- L.Geng, K. (2017). *Metal Matrix Composites*. 2(2017).
- Laurent Jouboud, F. T. (2005). Analysis of Resin flow under flexible cover in Vacum Assisted Resin Infusion. *J. Adv Mater*, 37(2005), 3-10.
- Marta, K. A. (2016). Kajian Experimental Tensil Propertis Komposit polyester berpenguat Serat Karbon Searah Hasil Manufaktur Vacum Infusion Sebagai Mterial Struktur Lsu . *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 14, 61-72.