

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi industri dibidang otomotif dan dirgantara mendorong material komposit banyak digunakan. Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda yaitu material penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*). Komposit memiliki sifat-sifat sebagai berikut yaitu kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan *creep* tinggi, dan kekuatan tarik pada temperatur tinggi yang baik. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diterapkan dalam peralatan berteknologi tinggi dalam bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan [1].

Pesawat N219-A adalah salah satu perkembangan teknologi industri dalam bidang dirgantara. Pesawat N219-A merupakan pengembangan pesawat amfibi dengan melakukan modifikasi terhadap bentuk dasar pesawat N219 dengan mengganti kaki roda pesawat menjadi *float* agar dapat lepas landas dan mendarat di permukaan air. Pusat teknologi pengembangan (pustekbang) Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional (LAPAN) melakukan pengembangan *float* yang bertujuan untuk mengembangkan material *float* N219-A dari yang semula menggunakan material metal menjadi material komposit. Dengan dijalankannya pengembangan ini, diharapkan mampu mendapatkan karakteristik material komposit yang sesuai digunakan untuk struktur *float* N219-A. Keunggulan dari penggunaan material komposit ini yaitu dapat mengurangi berat *float* sehingga dapat meningkatkan kapasitas penumpang [2].

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wijoyo dan Achmad Nurhidayat. Mengenai kajian komprehensif kekuatan bending komposit *sandwich* serat aren-polyester dengan *core* gedebok pohon pisang, diperoleh spesimen uji yang dibuat dengan struktur lapisan komposit *sandwich* bagian atas menggunakan 1, 2, dan 3 *layer* serat aren, sedangkan lapisan bawah 1 *layer* serat aren. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bending komposit *sandwich* serat aren-

polyester dengan *core* gedebok pohon pisang berbanding lurus dengan penambahan variasi jumlah lamina (*layer*) yang diberikan [3]. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widyansyah Ritonga, mengenai pengaruh variasi fraksi volume, temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* IM30k. Didapatkan bahwa komposit yang di-*curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan sebesar 4,68% lebih tinggi yaitu dari 78,18 MPa menjadi 89,25 MPa [1]. Dalam Laporan Akuntabilitas Kinerja 2020 Pusat Teknologi Penerbangan Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional, Pada tahun 2019 sudah dilakukan pemilihan material komposit VARI yakni karbon/*vinil ester* dari Gurit yang dibuat oleh PT Lundin, Karbon/*epoxy* dari Coats Rejo Indonesia yang dibuat oleh BTP/BPPT (Balai Teknologi Polimer / Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) dan Beberapa Komposit dari *Justus* yang dibuat oleh LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). Namun menurut PT DI (Dirgantara Indonesia) nilai kekuatan mekaniknya masih jauh dari material komposit *prepeg* yang selama ini dipakai oleh PT DI terutama kekuatan tekan kompositnya, sehingga perlu dilakukan kembali pemilihan material lain yang mendekati properties *prepeg*. Material yang menjadi kandidat untuk dipilih antara lain adalah karbon toray, serat gelas, serat *kevlar*, resin *crestapol* Scott Bader, resin *vinil ester justus* [2].

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan perbandingan nilai kekuatan komposit *sandwich* dengan variasi *layer* dan perbandingan nilai kekuatan komposit *sandwich* dengan perlakuan *post-curing*. Komposit yang akan digunakan pada penelitian ini adalah penggabungan serat karbon UT70-20G Toray, *divinycell core*, dan resin *crestapol* 1260 dengan metode VARI.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh perbandingan jumlah *layer* serat karbon (2C2, 3C3) dan perlakuan *post curing* terhadap sifat mekanik komposit *sandwich* dengan serat karbon, inti *divinycell*, dan resin *crestapol*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perbandingan jumlah *layer* serat karbon antara 2C2 dan 3C3 dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik komposit *sandwich* dengan serat karbon, inti *divinycell*, dan resin *crestapol*.
2. Mengetahui pengaruh perlakuan panas *post-curing* terhadap sifat mekanik *sandwich* komposit dengan serat karbon, inti *divinycel*, dan resin *crestapol*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi pengembangan potensi material komposit yang diharapkan mampu diterapkan dalam pembuatan *float* pesawat N219 amfibi sebagai bahan dengan sifat yang lebih unggul.

1.5 Batasan Masalah

1. Jenis serat yang digunakan karbon UT70-20G Toray.
2. Jenis inti yang digunakan *divinycell H*.
3. Resin yang digunakan *crestapol 1260*.
4. Metode yang digunakan adalah VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*).
5. *Post-curing* dilakukan pada suhu 63,1°C.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penulisan penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab, yaitu: Bab I Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir. Bab II Tinjauan Pustaka, berisi teori-teori dari berbagai referensi yang digunakan sebagai acuan penulisan laporan. Bab III Metodologi, menguraikan tahapan dan metode-metode yang dilakukan dalam penelitian. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi tentang analisis dan hasil perhitungan. Bab V Penutup, berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

2.1.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit) [4]. Komposit dibentuk dari dua atau lebih material yang berbeda, setiap material mempengaruhi hasil dari komposit. Tidak seperti paduan logam, material yang terkandung dalam komposit tetap berbeda satu sama lain pada tingkat makroskopis. Komposit terdiri dari dua bahan berupa penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*), dimana bahan penguat memberikan kekakuan dan kekuatan sedangkan bahan pengikat menahan material bersama-sama dan berfungsi untuk mentransfer beban di antara bahan penguat yang terputus [5].

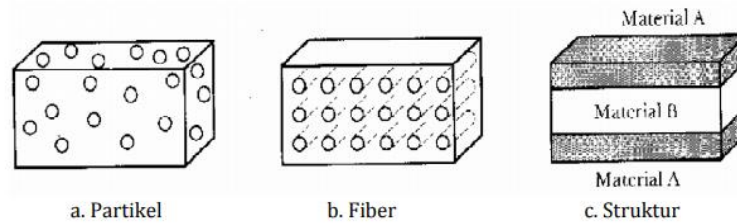
2.1.2 Karakteristik Komposit

Material komposit memiliki beberapa karakteristik atau sifat. Karakteristik atau sifat tersebut ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu [4]:

1. Material yang menjadi penyusun komposit. Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun, menurut *rule of mixture* sehingga hasilnya akan berbanding secara proporsional.
2. Bentuk dan penyusun struktur dari komposit. Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
3. Interaksi antar penyusun. Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit itu.

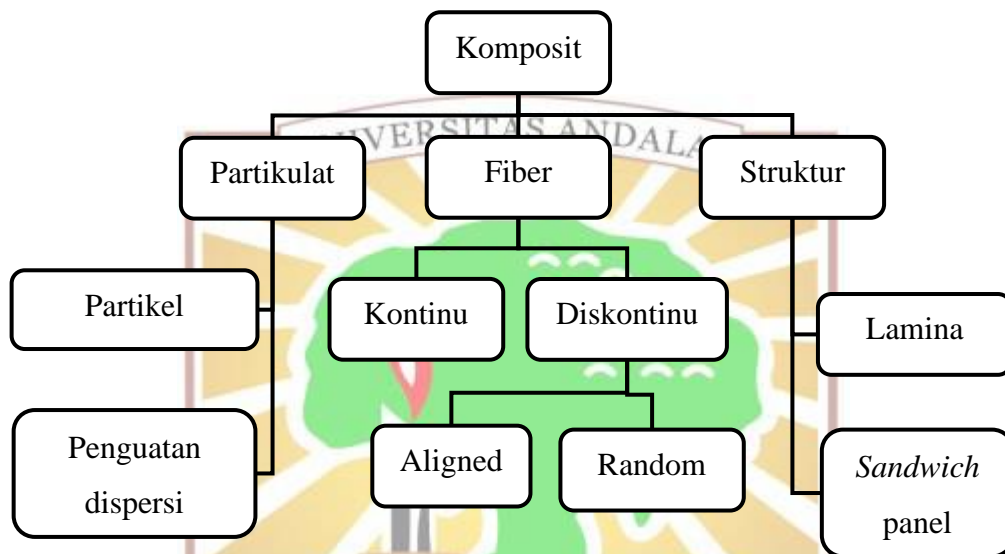
2.1.3 Penguat

Penguat (*reinforcement*) adalah suatu bagian utama komposit yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Penguat ini memiliki sifat yang lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi tiga, yaitu komposit partikulat, komposit *fiber*, dan komposit struktur [1,4]. Ilustrasi komposit berdasarkan penguat dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya [4]

Klasifikasi komposit berdasarkan penguat lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya [4].

Dari Gambar 2.1 berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi tiga, yaitu:

1. Komposit partikulat (particulate composite)

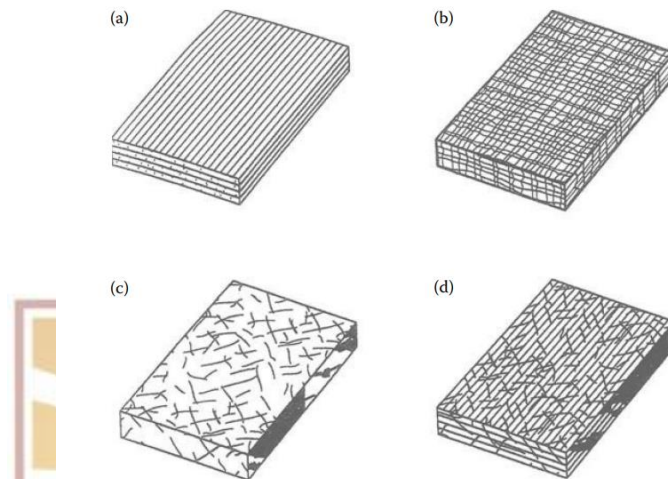
Komposit partikulat adalah komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran. Kelebihan menggunakan penguat partikel ini kekuatan lebih seragam dan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material [1,4]. Panjang partikel dibagi dua yaitu:

- a. Partikel, yaitu penguat dari partikel dimana interaksi antar partikel dan matrik tidak terjadi dalam skala atomik atau molekular.
- b. Penguatan dispersi, yaitu penguat dengan partikel dengan fraksi partikulat dalam skala molekul.

2. Komposit fiber sebagai penguat

Komposit fiber adalah komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi. Fungsi utama serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan

komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada serat [4]. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu:



Gambar 2.2 Tipe penguat serat. (a) Continuous fiber composite, (b) woven composite, (c) chopped fiber composite, dan (d) hybrid composite [6].

- a. Continuous Fiber Composite (uni-directional) terlihat pada Gambar 2.2 (a), yaitu komposit dengan serat penguat kontinu yang mempunyai susunan serat panjang, lurus, dan searah, membentuk lamina diantara matriksnya.
- b. Woven Fiber Composite (bi-directional), yaitu komposit dengan serat penguat tenun dengan susunan serat dua arah (Gambar 2.2 (b)). Komposit ini tahan terhadap delaminasi, tetapi mengorbankan kekuatan dan kekakuannya karena seratnya tidak lurus dan searah seperti serat kontinu.
- c. Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite), yaitu komposit dengan serat penguat diskontinu dimana serat-serat pendek di sebar di dalam matriks, penyebaran serat ini bisa secara tertata (aligned) maupun acak (random) seperti pada Gambar 2.2 (c).
- d. Hybrid composite, yaitu komposit hibrida dengan gabungan antara tipe serat lurus (kontinu) dengan serat pendek (diskontinu). Pertimbangannya adalah agar dapat meminimalisir kekurangan sifat

dari kedua tipe tersebut dan menggabungkan kelebihan keduanya (Gambar 2.2 (d)).

3. Komposit struktur

Komposit struktural dibentuk oleh penguat yang berbentuk lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminata* dan struktur *sandwich* [4].

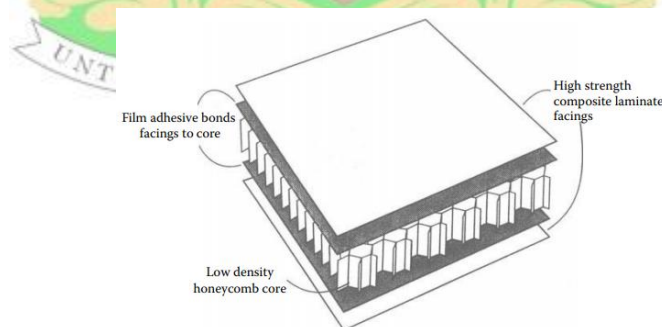
1. *Laminate*

Laminate adalah komposit yang terdiri dari gabungan dari dua atau lebih lamina (lembaran tipis dengan arah serat tertentu). Lamina dapat berupa serat kontinu dan serat diskontinu.

2. Komposit *sandwich*

Komposit *Sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari lamina sebagai kulit permukaan (*skin*) dan material inti (*core*) yang berada di bagian tengah di antara *skin*. Lapisan *skin* biasanya lebih dari satu lamina yang terbuat dari serat karbon ataupun metal, sedangkan bagian *core* dapat berupa *polyurethane* (PU), *polyvinyl chloride* (PVC), dan *honeycomb*, terlihat pada Gambar 2.3.

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban *bending*, dampak, meredam getaran, dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur dengan beban yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi.



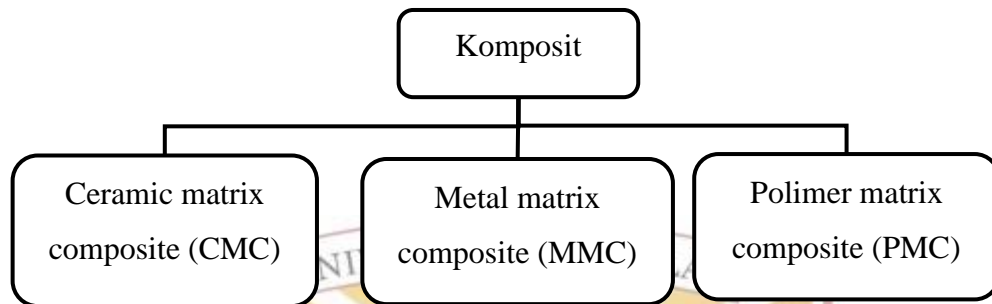
Gambar 2.3 Struktur komposit *sandwich* [6].

2.1.4 Matriks

Matriks (matrix) adalah material yang berperan sebagai pengikat dalam penggabungan komposit dan berfungsi menahan dan melindungi serat, mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat. Dalam beberapa kasus, matriks membutuhkan

bahan dengan sifat seperti keuletan, ketangguhan, dan tahan terhadap listrik. Matriks yang biasa digunakan adalah polimer, metal, dan keramik [6].

Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga terlihat pada Gambar 2.4, yaitu *ceramic matrix composite* (CMC), *metal matrix composite* (MMC), dan *polymer matrix composite* (PMC) [4].



Gambar 2.4 Kategori komposit berdasarkan tipe penguat [4].

Dari Gambar 2.4 dijelaskan:

1. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Ceramic matrix composite adalah matrik yang terbuat dari bahan keramik. Keuntungan dari CMC adalah dimensinya stabil bahkan lebih stabil dari pada logam, mempunyai karakteristik permukaan yang tahan arus, daya tahan terhadap kimia yang tinggi dan tahan terhadap korosi

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Metal Matrix Composite adalah salah satu jenis komposit dengan matrik berupa logam, yang memiliki kuat tekan dan geser yang baik, tidak mudah terbakar dan tidak menyerap kelembaban, tahan terhadap temperature tinggi, memiliki ketahanan arus dan muai termal yang baik serta transfer tegangan dan regangan yang baik dibandingkan PMC. Sedangkan jenis komposit

3. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

Polymer matrix composite adalah salah satu jenis komposit dengan matriks berupa polimer, yang memiliki kekakuan dan kekuatan spesifik yang tinggi serta lebih ringan dari material konvensional.

2.2 Polimer

Polimer atau *polymer* berasal dari kata *poly* yang artinya banyak dan *mer* yang artinya unit atau molekul dan memiliki tiga bentuk yaitu linear, *branched*, dan *cross-linked* seperti terlihat pada Gambar 2.5.

Polimer *linear* hanya berbentuk deretan molekul. Polimer bercabang memiliki cabang pada deretan utama molekulnya secara tiga dimensi sama seperti cabang pohon. Polimer *Cross-linked* adalah polimer dengan deretan molekul yang saling berhubungan secara tiga dimensi. Polimer linear memiliki kekuatan dan kekakuan yang paling rendah, sedangkan *cross-linked* memiliki kekuatan dan kekakuan paling tinggi. Polimer dikelompokkan menjadi tiga, yaitu *rubber*, *thermoplastic* dan *thermoset* [7].

1. *Rubber*

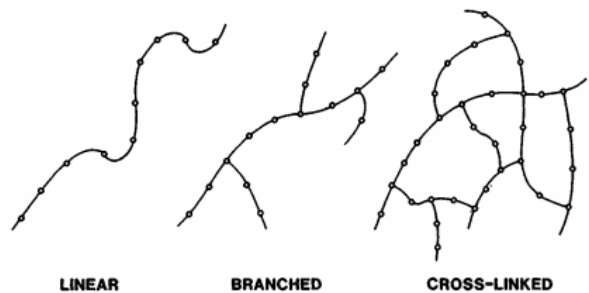
Rubber adalah polimer dengan bentuk molekul *cross-linked* yang memiliki bentuksemi kristal di bawah temperatur ruangan, tetapi akan menjadi karet di atas temperatur ruangan.

2. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah polimer dengan bentuk molekul bercabang, pada umumnya molekulnya tidak saling *cross-linked*. *Thermoplastic* dapat dilunakkan dengan pemanasan dan mengeras kembali dengan pendinginan secara berulang. Contoh dari temoplastic adalah nilon, *polyethilene*, dan *polysulfone*.

3. *Thermoset*

Thermoset adalah polimer yang bereaksi secara kimia, hingga hampir semua melokelulnya *irreversibly cross-linked* dalam jaringan tiga dimensi, sehingga jika sekali pengerasan terjadi maka tidak bisa dilunakkan kembali. Contohnya adalah epoxy, phenolics, dan polymides.



Gambar 2.5 Struktur polimer [7].

2.3 Metode VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion)

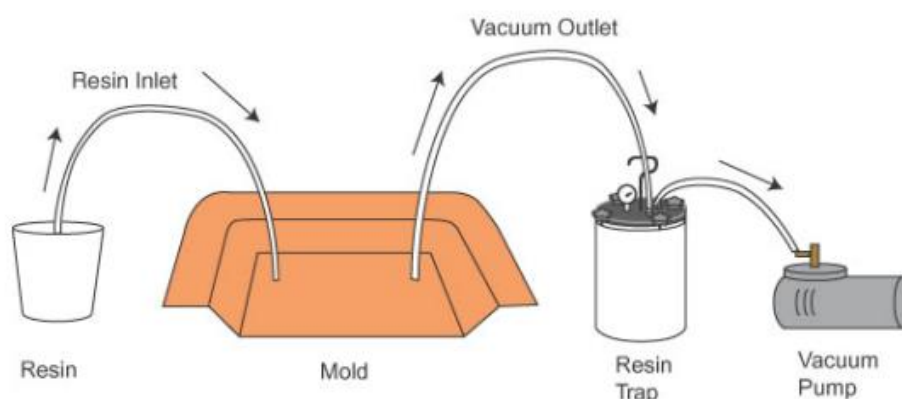
Dari beberapa cara Pembuatan komposit, salah satunya adalah menggunakan metode VARI. Metode VARI memiliki keunggulan dalam mendistribusikan resin lebih merata.

2.3.1 Pengertian VARI

Teknik VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*) adalah salah satu dari metode pembuatan komposit, yang dibuat di dalam cetakan (*mold*) yang tertutup oleh sebuah plastik penutup yang terkunci dengan rapat dan tidak boleh ada kebocoran kemudian plastik penutup tersebut divakum oleh pompa *vacuum* sehingga terjadi perbedaan tekanan udara antara luar dan dalam bag tersebut yang menyebabkan plastik penutup akan menekan produk komposit yang akan dibuat secara merata dan juga akan menarik keluar sisa-sisa atau kelebihan resin pada pembuatan komposit tersebut [8].

Kelebihan menggunakan VARI:

1. Rasio antar serat dan resin lebih baik
2. Resin yang tebuang lebih sedikit
3. Penggunaan resin yang konsisten
4. Waktu pengaturan tidak terbatas
5. Hasil yang baik



Gambar 2.6 Metode VARI [9].

Penjelasan alat dalam ilustrasi VARI pada Gambar 2.6:

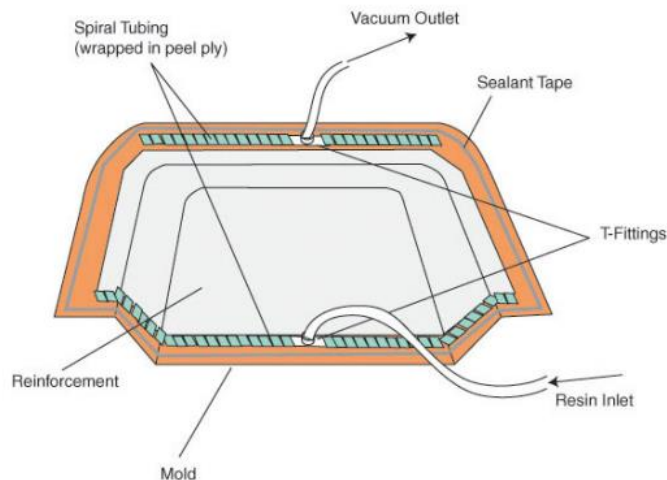
1. Resin, sebagai wadah tempat menampung resin.
2. Resin *inlet*, adalah selang sebagai media penghantar resin ke dalam *mold*.
3. *Mold*, adalah tempat terjadinya penggabungan serat penguat komposit dengan resin.
4. *Vacuum outlet*, selang sebagai media penghantar resin dari *mold* menuju *resin trap*.

5. *Resin Trap*, sebagai tempat penampungan sisa resin agar resin tidak terhisap ke dalam *vacuum pump*.
6. *Vacuum pump*, adalah alat vakum yang berfungsi menghisap udara dan resin.

Metode VARI secara garis besar terlihat pada Gambar 2.6. Pertama, *vacuum pump* menghisap seluruh sisa udara pada selang dan cetakan *mold* . selanjutnya resin dari wadah akan mengalir masuk ke cetakan *mold* melalui selang resin *inlet* akibat terhisap *vacuum pump*. lalu resin akan masuk ke dalam komposit secara merata. Kemudian resin akan terus mengalir menuju *resin trap* melalui selang *vacuum outlet* agar resin tidak langsung masuk ke *vacuum pump*.

2.3.2 Cetakan (*Mold*)

Cetakan atau *mold* adalah tempat terjadinya penggabungan serat penguat dengan resin yang hasil akhirnya komposit akan terbentuk sesuai bentuk dari cetakan tersebut. Cetakan harus kaku dan permukaannya halus, bagian-bagian cetakan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Cetakan (*mold*) [9].

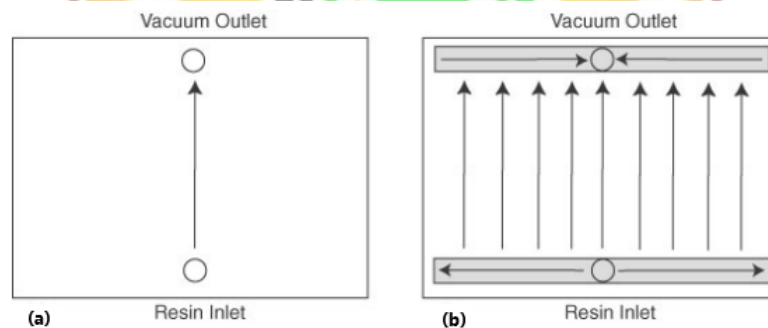
Pada metode VARI terdapat cetakan yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. dengan setiap bagiannya memiliki fungsi yaitu:

1. Reinforcement, yaitu tempat diletakkannya tumpukan serat penguat komposit dapat berupa lamina ataupun *sandwich*.
2. *Mold*, sebagai wadah cetak saat penggabungan komposit terjadi.
3. *Resin inlet*, media penhantar resin menuju mold.

4. *Vacuum outlet*, media penghantar resin menuju *resin trap*.
5. *T-fittings*, sebagai media pembagi aliran resin menjadi dua arah.
6. *Spiral tubing*, sebagai media pendistribusi resin secara merata.
7. *Sealant tape*, bahan perekat untuk menutup cetakan agar tidak terjadi kebocoran.

2.3.3 Perpindahan Resin

Ketika pompa vakum dihidupkan, semua udara keluar dari laminasi, sehingga terjadi tekanan pada laminasi. Dengan mengalirkan resin, maka laminasi akan diisi oleh resin. Tetapi dengan hanya satu resin *inlet* dan satu *vacuum outlet* yang diletakkan searah, dapat dilihat pada Gambar 2.8 (a), maka resin hanya akan berpindah dari satu titik ke titik lain sedangkan bagian yang lain tidak terkena resin. Oleh karena itu diberi tambahan dengan menggunakan spiral tubing pada resin *inlet* dan *vacuum outlet* seperti pada Gambar 2.8 (b). Resin akan memenuhi *spiral tube* resin *inlet* (area abu-abu) terlebih dahulu, kemudian akan mengalir secara merata menuju *spiral tube vacuum outlet*. Sehingga resin akan terdistribusi secara merata pada laminasi [9].



Gambar 2.8 (a) Aliran resin tanpa *spiral tube*,
(b) Aliran resin dengan *spiral tube* [9].

2.4 Proses Curing

Inti dari mekanisme *curing* material *termoset* ialah bagaimana proses *cross-link* dapat terjadi. Reaksi *cross-link* pada resin diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan ke dalam cetakan. *Curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) atau pada temperatur ruang. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan,

kekakuan, dan kekerasan. Karena memiliki ikatan *cross-link* sehingga material ini tidak dapat dilelehkan kembali [1].

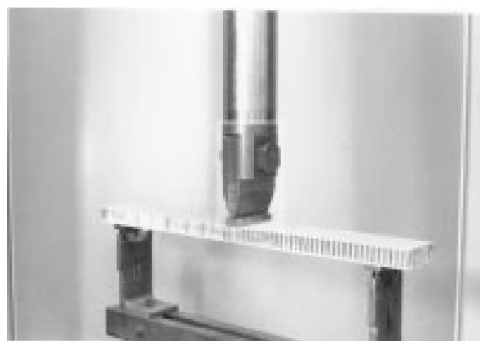
2.5 *Post-Curing*

Post-curing dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji tersebut pada temperatur tertentu, tetapi temperatur tersebut tidak boleh melebihi temperatur yang dapat diterima material, karena jika melebihi temperatur tersebut akan menyebabkan kerusakan pada material tersebut. Pada waktu dilakukan *post-curing*, molekul-molekul material pada kondisi ini menerima lebih banyak energi dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Molekul-molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan *cross-link*. Hal ini menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material tersebut didinginkan maka mobilitas dari molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Fenomena ini menyebabkan material mengalami peningkatan tegangan tekan. Tujuan dilakukan proses *post-curing* adalah memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit [1].

2.6 Pengujian

2.6.1 Pengujian *Bending* Tiga Titik

Pengujian *bending* tiga titik adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian bengkok (*bending*). Metode pengujian ini dapat menentukan sifat dari komposit *Sandwich* berupa *bending*, *stiffness*, *core shear strength*, dan *shear modulus* dengan memberikan beban pada komposit hingga terbentuk lengkungan pada struktur komposit *sandwich*. Pengujian *bending* pada komposit *sandwich* ini merujuk pada ASTM C393 (Gambar 2.9) [10].



Gambar 2.9 Skema Pengujian *Bending* Tiga Titik [10].

2.6.2 Pengujian Tekan *Flatwise*

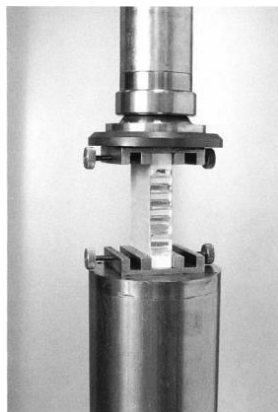
Pengujian tekan *flatwise* adalah metode pengujian tekan dengan arah ketebalan untuk menentukan kekuatan tekan dan modulus dari inti (*core*) komposit *sandwich*. Pengujian dilakukan dengan mendudukkan komposit *sandwich* secara horizontal (terlentang) dan diberikan gaya tekan pada komposit seperti terlihat pada Gambar 2.10, bahan inti yang diperbolehkan berupa inti dengan ikatan permukaan kontinu (kayu balsa, dan busa) dan juga inti dengan ikatan permukaan diskontinu (*honeycomb*) [11]. Gambar pengujian *flatwise compressive* terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pengujian Tekan *Flatwise* [11].

2.6.3 Pengujian Tekan *Edgewise*

Pengujian tekan *Edgewise* adalah metode pengujian tekan dari komposit *sandwich* dengan arah vertikal (tegak) yang dilakukan untuk menentukan kekuatan tekan dari komposit *sandwich*, terlihat pada Gambar 2.11. Bahan inti yang diperbolehkan berupa inti dengan ikatan kontinu (kayu balsa dan busa) dan juga inti diskontinu (*honeycomb*) [12].



Gambar 2.11 Pengujian Tekan *Edgewise* [12].

2.6.4 Pengujian Densitas

Pengujian densitas adalah metode pengujian untuk menentukan densitas atau massa jenis dari suatu komposit *sandwich*. Untuk mengetahui nilai densitas suatu material, perlu diketahui nilai *specific gravity* yang dirumuskan dalam persamaan (4) berikut [13]:

$$\rho_{ca} = \frac{w_c}{w_c - w_i} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana: ρ_{ca} = densitas komposit aktual (g/cm³)
 w_c = massa komposit (g)
 w_i = masa komposit saat tenggelam di air (g)
 ρ_w = densitas cairan yang digunakan (g/cm³)

Kemudian, massa jenis teoritis dari spesimen dapat diselesaikan dengan persamaan seperti berikut:

$$\rho_{ct} = \frac{w_c}{V_f + V_{core} + V_m} \dots \dots \dots (5)$$

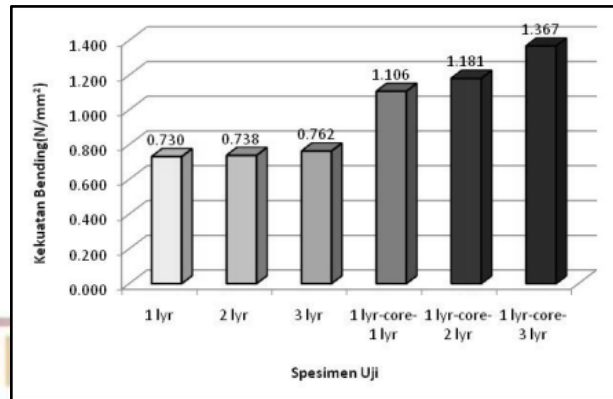
Dimana: ρ_{ct} = densitas komposit teoritis (g/cm³)
 w_c = massa komposit (g)
 V_f = volume serat (cm³)
 V_{core} = volume *core* (cm³)
 V_m = volume matriks (cm³)

2.7 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang sifat mekanik komposit *sandwich* terhadap penambahan jumlah layer (skin) pada komposit *sandwich* dengan lapisan penguat serat karbon Toray UT70-20G, inti *divinycell H core*, dan resin *crestapol* masih sedikit. Beberapa variasi tentang penahanan *curing*, suhu *curing* dan *post-curing* masih belum diteliti sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendukung data sebelumnya.

Tahun 2014, Wijoyo dan Achmad Nurhidayat melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan jumlah lamina (*layer*) komposit *sandwich* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*. Pada penelitian ini komposit *sandwich* menggunakan bahan utama serat aren, matrik *Polyester* tipe 157 BTQN dan G3253T, katalis MEKPO, akselerator *Cobalt naphthenate*, *max way*, *wax/mirror* dan inti/*core* limbah pelepah pohon pisang dengan variasi lamina. Namun pada penelitian ini berfokus pada pemanfaatan serat alam sebagai produk dengan nilai ekonomi yang tinggi.

Proses manufaktur menggunakan metode *hand lay-up* dan variasi jumlah lamina pada lapisan atas adalah 1, 2, dan 3 *layer* serat aren, sedangkan lapisan bawah adalah 1 *layer* serat aren. Pengujian *bending* dilakukan dengan *three point bending*, sesuai prosedur ASTM D790 [3].

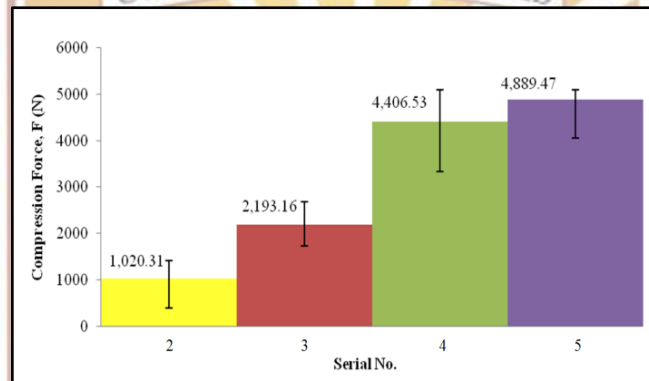


Gambar 2.12 Hasil pengujian *bending* variasi *layer* pada komposit *sandwich* dengan serat aren dan inti gedebok pohon pisang [3]

Terlihat pada Gambar 2.12 bagan hasil uji *bending* yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan *layer* pada komposit *sandwich*. Nilai *bending* meningkat setiap penambahan lapisan *layer* serat aren dengan nilai tertinggi didapati oleh komposit *sandwich* dengan tiga *layer* serat aren. Menurut Wijoyo dan Achmad (2014), berdasarkan besarnya kekuatan *bending* yang dapat ditahan oleh komposit *sandwich* serat aren-gedebog pohon pisang menunjukkan bahwa pengaruh jumlah lamina yang lebih besar memungkinkan mampu mendistribusikan beban kepada lapisan belakang pada *sandwich* yang memiliki kekuatan lebih tinggi, sehingga kekuatan komposit *sandwich*-nya lebih tinggi. Semakin banyak jumlah lamina, beban yang terdistribusi ke lapisan serat aren 3 *layer* semakin besar sehingga mampu menyerap beban yang lebih besar. Konsep lain yang dapat dijadikan alasan adalah penambahan jumlah lamina pada spesimen menyebabkan peningkatan besarnya momen inersia, sehingga energi patah (serap) yang dapat diterima juga semakin besar [3].

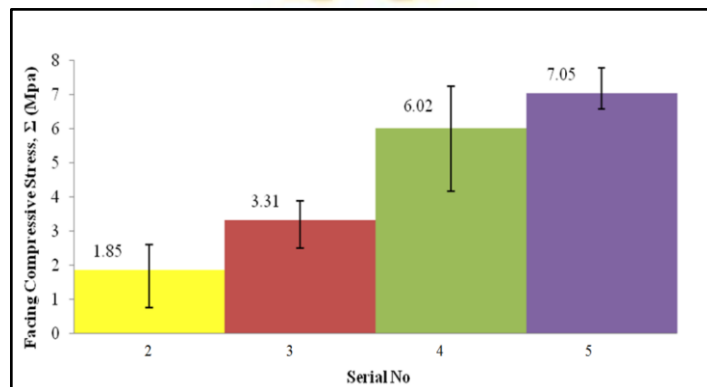
Pada tahun 2014, Jennise T.T.T, Haeryip Sihombing, dan Yuhazri M.Y dari Universiti Teknikal Malaysia Melaka melakukan penelitian tentang “*Edgewise Compression Analysis of Sandwich Structures Made from Chopped Strand Mat Coconut Fiber Filled Polyurethane Foam as a Core Material*”. Pada penelitian ini komposit *sandwich* menggunakan bahan utama serat kaca tipe E, inti/*core* serabut

kelapa dengan pola acak, dan resin polyester dengan variasi *layer* serat. Namun pada penelitian ini berfokus pada pemanfaatan produk alam sekaligus mengurangi limbah dan mengurangi ketergantungan pada bahan sintetis. Proses manufaktur menggunakan metode *hydraulic press* dan variasi jumlah *layer* pada lapisan atas dan lapisan bawah adalah 1, 2, 3, dan 4 *layer* serat kaca tipe E. Spesimen komposit *sandwich* di beri nama *serial number* (SN) 1 sampai 5 dimana SN 1 dibuat tanpa *layer* sedangkan SN 2, SN 3, SN 4, dan SN 5 dibuat menggunakan variasi *layer* secara berurutan 1, 2, 3, dan 4 *layer*. Pengujian tekan dilakukan dengan uji tekan *edgewise* dan uji tekan *flatwise*, sesuai prosedur ASTM C365-11 menggunakan *Universal Tensile Machine* (Shimadzu) dengan kecepatan 5 mm/menit.



Gambar 2.13 Hasil pengujian tekan *edgewise* variasi *layer* pada komposit *sandwich* serat *fiber glass* tipe E, resin polyester, dan inti serabut kelapa [14]

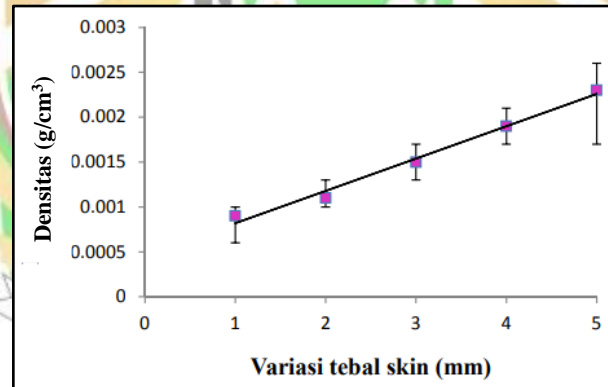
Pada Gambar 2.13 bagan hasil uji tekan *edgewise* yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan *layer* pada komposit *sandwich*. Nilai bending meningkat setiap penambahan lapisan *layer* dengan nilai tertinggi didapati oleh komposit *sandwich* dengan empat *layer* serat *fiber glass*.



Gambar 2.14 Hasil pengujian tekan *flatwise* variasi *layer* pada komposit *sandwich* serat *fiber glass* tipe E, resin polyester, dan inti serabut kelapa [14]

Pada Gambar 2.14 bagan hasil uji tekan *flatwise* yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan *layer* pada komposit *sandwich*. Nilai bending meningkat setiap penambahan lapisan *layer* dengan nilai tertinggi didapati oleh komposit *sandwich* dengan empat layer serat *fiber glass*. Jennise, Haeryip, dan Yuhazri (2014) menjelaskan bahwa grafik kenaikan *edgewise* dan *flatwise* terjadi karena serat (*skin*) dan inti (*inti*) terikat dengan baik. Jika serat tidak terikat dengan baik pada inti saat proses fabrikasi maka kekuatan maksimum akan berkurang yang mengakibatkan kekuatan tekan juga akan menurun [14].

Pada tahun 2011, Ahmad Tri Putro Nugroho dari Universitas Sebelas Maret Surakarta melakukan penelitian tentang “Pengaruh Tebal *Skin* dan *Core* terhadap Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Rami – *Polyester* dengan *Core* Sekam Padi – *Urea Formaldehyde*”. Pada penelitian ini komposit *sandwich* menggunakan bahan utama serat rami, inti/*core* sekam padi, dan resin polyester dengan variasi tebal *skin*. Namun pada penelitian ini berfokus pada pemanfaatan bahan alam untuk aplikasi industri. Proses manufaktur menggunakan metode *hydraulic press* dan variasi tebal lapisan *skin* 1, 2, 3, 4, dan 5 mm.

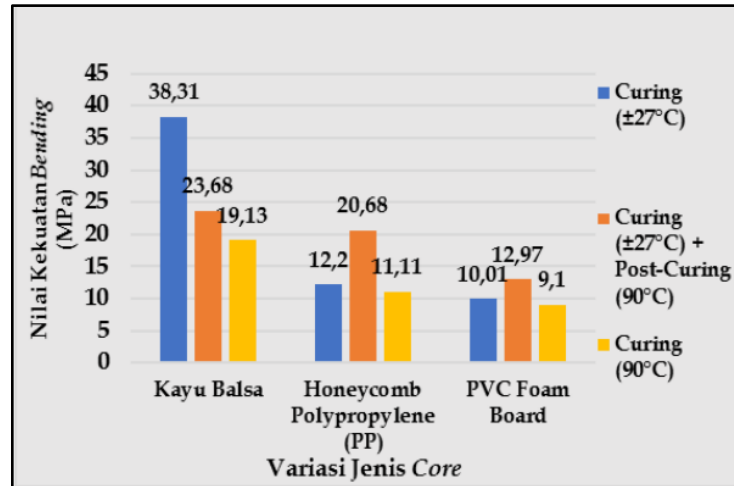


Gambar 2.15 Hasil densitas variasi *layer* pada komposit *sandwich* serat rami, resin polyester, dan inti sekam padi [15]

Berdasarkan Gambar 2.15 nilai densitas naik seragam seiring bertambahnya tebal *skin*. Menurut Ahmad (2011) kenaikan densitas seiring bertambahnya tebal *skin* ini terjadi karena *skin* yang semakin tebal menyebabkan volume komposit *skin* semakin bertambah dan berat komposit *skin* akan semakin bertambah pula [15].

Pada tahun 2021, Wahyu Budi Utomo dari Universitas Negeri Surabaya melakukan penelitian tentang “Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon

dengan Metode *Vacuum Infusion*”. Pada penelitian ini spesimen komposit *sandwich* menggunakan *skin* lima lapis serat karbon, resin *epoxy*, dan variasi tiga *core* yang berbeda yaitu kayu balsa, *honeycomb polypropylene* (PP), dan *PVC foam board*. Namun pada penelitian ini berfokus pada variasi *core* terhadap nilai bending. Proses manufaktur menggunakan metode *vacuum infusion*.

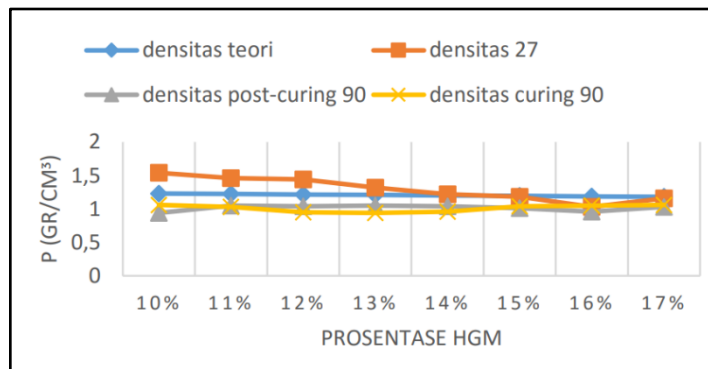


Gambar 2.16 Hasil pengujian *bending* variasi *core* pada komposit *sandwich* serat rami, resin *epoxy*, dan inti sekam padi [16]

Berdasarkan Gambar 2.16 nilai *bending* tertinggi terdapat pada komposit *sandwich* dengan *core* kayu balsa tanpa perlakuan, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan *core honeycomb propylene* (PP) dan *PVC Board* nilai bending tertinggi didapati dengan perlakuan *curing* (±27°) + *post-curing* (90°). Menurut Wahyu (2021) 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 [16].

Pada tahun 2016, Gede Alvin Pramanda Wijaya dari Institut Teknologi Sepuluh November melakukan penelitian tentang “Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* pada Komposit Partikel *Polyester-Hollow Glass Microspheres* terhadap Karakteristik Tarik”. Pada penelitian ini komposit terbuat dari gabungan *Hollow Glass Microsphere* (HGM) dan resin *Polyester Yukalac 157 BTQN-EX* dengan perlakuan *curing* suhu kamar, *curing* 90°, dan *post-curing* 90°. Namun pada penelitian ini berfokus pada variasi fraksi volume

resin dan HGM terhadap karakteristik tarik komposit. Proses manufaktur menggunakan metode *hand lay up*.



Gambar 2.17 Perbandingan densitas secara teori dan ukur pada komposit resin *polyester* dan HGM [17]

Dari Gambar 2.17 terlihat bahwa tren grafik grafik massa jenis komposit baik spesimen curing temperatur kamar, spesimen curing temperatur 90°C, maupun spesimen post-curing 90°C cenderung mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Massa jenis terbesar terdapat pada variasi prosentase HGM 11% curing temperatur kamar yaitu 1,44 g/cm³ [17].

