

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Yanuar dan Diharjo (2002) telah melakukan pengujian kekuatan bending komposit GFRP 3 layer. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa komposit GFRP 3 layer dengan menggunakan serat *E-Glass chopped strand mat* 300 gr/m² mempunyai kekuatan bending 18 % lebih tinggi daripada dengan menggunakan serat *E - Glass chopped strand mat* 450 gr/m². Pada pengujian bending, komposit tersebut mengalami kegagalan pada bagian bawah spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit GFRP pada saat uji bending lebih besar jika dibandingkan dengan kekuatan tekannya.

Kowangid dan Diharjo (2003), melakukan pengujian kekuatan bending komposit *sandwich* menggunakan *core* PVC. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa komposit *sandwich* dengan *core* PVC tipe H 200 mempunyai kekuatan bending 15,4 % lebih tinggi daripada dengan menggunakan *core* PVC tipe H 100. Kekuatan bending komposit *sandwich* berbanding lurus terhadap kekuatan *core*nya. Semakin tinggi kekuatan *core*, maka akan semakin tinggi pula kekuatan komposit *sandwich*.

Wahyanto dan Diharjo (2004), melakukan pengujian kekuatan bending komposit *sandwich* menggunakan *core* kayu sengon laut. Dari hasil pengujian didapatkan kekuatan bending komposit *sandwich* dengan menggunakan *core* kayu sengon laut adalah 125,44 MPa. Komposit *sandwich* GFRP dengan menggunakan *core* kayu sengon laut mempunyai kekuatan bending lebih besar 43,4 % dari kekuatan komposit *sandwich* dengan menggunakan *core* PVC tipe H 100 (70,977 MPa) dan lebih besar 34,8 % dari kekuatan komposit *sandwich* dengan *core* PVC tipe H 200 (81,692 MPa) yang pernah diteliti oleh Kowangid dan Diharjo (2003) dengan komposisi yang sama.

Kekuatan bending komposit *sandwich* akan meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan *core* yang digunakan. Jika dikaji dari sisi kemampuan dalam menahan beban bending, maka besarnya beban maksimum yang dapat ditahan oleh komposit GFRP 1 layer, GFRP 3 layer, komposit *sandwich* dengan

core PVC H 100, dan komposit *sandwich* dengan *core* PVC H 200 dengan adalah 6,2 kg; 27,3 kg; 48,1 kg; dan 58,15 kg. Kajian ini menunjukkan bahwa beban yang mampu ditahan oleh komposit *sandwich* jauh lebih besar jika dibandingkan dengan komposit lamina (Diharjo dkk., 2004).

Penambahan tebal *core polyurethane* (PU) pada komposit *sandwich* GFRP tidak mampu meningkatkan kekuatan bending. Namun jika dilihat dari kemampuan dalam menahan momen, kekuatan komposit *sandwich* akan meningkat seiring dengan penambahan tebal *core* yang digunakan (Sudiono & Diharjo, 2004)

Steeves & Fleck (2004) melakukan uji bending pada komposit *sandwich* dengan *skin* serat glass WR/Epoksi dan *core* PVC H 100. Metode pengujian yang digunakan adalah *three-point bending*. Hasilnya menunjukkan bahwa tergantung pada geometri balok *sandwich* yang diuji dan properti penyusunnya, model kerusakan yang terjadi berupa *core shear*, *micro buckling* pada *skin*, dan *indentation* di bawah *loading rooller*.

2.2 Pengertian Komposit

Bahan komposit merupakan suatu sistem bahan yang digabungkan dari campuran atau kombinasi dua atau lebih bahan penyusun yang pada skala makro berbeda dalam bentuk atau komposisi bahan yang masing-masing tidak larut satu sama lain (Schwardz, 1984). Skala makro berarti bahwa komponen awal setelah dicampur masih terlihat.

Penggabungan material ini dimaksudkan untuk menemukan atau mendapatkan material baru yang mempunyai sifat antara (*intermediate*) material penyusunnya. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan saling memperbaiki kelemahan dan kekurangan bahan-bahan penyusunnya. Adapun beberapa sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain : kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan leleh, ketahanan pemakaian, berat jenis, pengaruh terhadap temperatur (Jones, 1975).

Dalam hal ini gabungan bahan ada dua macam :

a. Gabungan makro :

1. Bisa dibedakan dengan cara melihat (dengan mata).

2. Penggabungan lebih secara fisis dan mekanis.
3. Bisa dipisahkan lagi secara fisis dan mekanis.

b. Gabungan mikro :

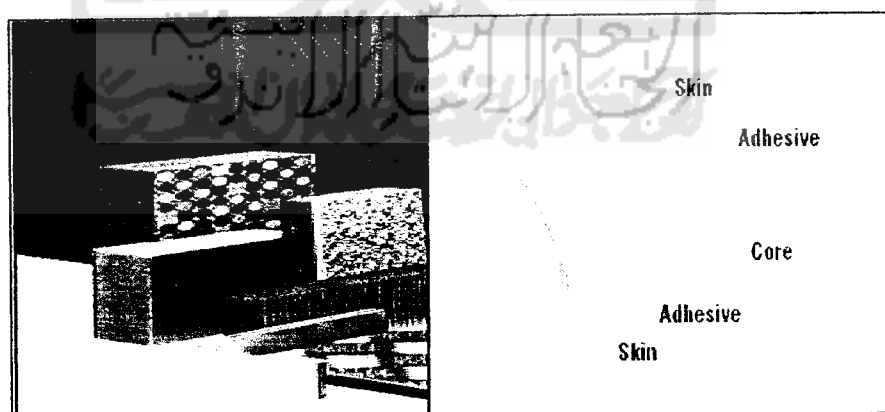
1. Tidak bisa dibedakan dengan cara melihat (dengan mata).
2. Penggabungan ini lebih secara khemis
3. Sulit dipisahkan, tetapi dapat dilakukan secara khemis.

Karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda, dan mempunyai batas antara material penyusun yang tetap dapat dikenali (ASTM D 3878-01, 1998).

2.3 Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* merupakan gabungan dua lembar *skin* yang disusun pada dua sisi luar dan material yang ringan yang dikenal *core* di antara kedua *skin*. Banyak variasi definisi dari komposit *sandwich*, tetapi faktor utama dari material tersebut adalah *core* yang ringan, sehingga memperkecil berat jenis dari material tersebut, dan kekakuan lapisan *skin* yang memberikan kekuatan pada komposit *sandwich* (ASTM C 274-99, 1998).

Komponen komposit *sandwich* ada dua yaitu *skin* dan *core*, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur komposit *sandwich* (sumber : DIAB Barracuda Technology)

Kesatuan ikatan antara *skin* dan *core* mencegah kegagalan interfasial karena pembebanan yang terjadi dan meningkatkan sifat lengkung (*flexural properties*) komposit *sandwich*. Tidak ada aturan umum tentang hubungan antara ketebalan *skin* dan *core*. Hal ini tergantung pada aplikasi dan sifat-sifat yang dibutuhkan. Keuntungan utama komposit *sandwich* adalah adanya kemungkinan penyesuaian sifat mekanis dengan cara memilih material penyusun yang tepat (ASTM C 274-99, 1998).

2.3.1 Komponen Penyusun Komposit *Sandwich*

Komponen utama komposit *sandwich* terdiri dari dua, yaitu *skin* dan *core*. Jika digunakan perekat dalam menggabungkan *skin* dan *core*, maka lapisan bahan perekat dapat dipertimbangkan sebagai komponen tambahan dalam material tersebut. Tebal lapisan perekat umumnya diabaikan karena lebih kecil dari tebal *skin* maupun *core*. Sifat mekanis komposit *sandwich* sangat tergantung pada sifat mekanis *core*, *skin*, dan karakteristik ikatan antara keduanya (ASTM C 274-99, 1998).

2.3.1.1. *Core*

Berdasarkan persyaratan performanya, banyak sekali material yang bisa digunakan sebagai *core*. Material *core* yang digunakan dalam komposit *sandwich* secara umum dapat digolongkan (ASTM C 274-99, 1998) :

- a. Berat jenis rendah, material padat : foam susunan struktur sel terbuka atau tertutup, balsa dan jenis kayu lainnya
- b. Berat jenis medium dikembangkan dalam format selular : sarang lebah
- c. Berat jenis tinggi, material dikembangkan dalam format berkerut

Material dengan berat jenis tinggi yang biasa digunakan untuk pembuatan *core* adalah aluminium, titanium, dan berbagai jenis polimer. Struktur material *core* akan mempengaruhi area kontak interfasial antara *skin* dan *core*. Material dengan berat jenis yang tinggi biasanya memberikan area kontak yang lebih kecil jika dibandingkan dengan material padat dengan berat jenis yang rendah. Pilihan struktur material *core* untuk merancang komposit *sandwich* dapat disesuaikan dengan kondisi pemakaian (ASTM C 274-99, 1998).

Penggunaan *core*, seperti *foam core* sel tertutup memberikan kelebihan yang berbeda dengan *foam core* sel terbuka. Kekuatan tekan spesifik *foam core* sel tertutup lebih tinggi dibandingkan dengan *foam core* sel terbuka (ASTM C 274-99, 1998).

Banyak sekali pilihan jenis *core* yang bisa digunakan dalam komposit *sandwich*, mulai dari kayu (sengon laut dan balsa), *polyurethane* (PU), PVC, struktur *honeycomb*, dan lain sebagainya. *Foam core* seperti Divinycell® banyak dipakai pada struktur *sandwich* seperti pada dinding perahu layar, *power boat*, kapal pesiar, bus, truk, badan pesawat terbang, dan pesawat luar angkasa (www.diabgroup.com). *Core* Divinycell® diproduksi oleh DIAB Barracuda Technology, karena memiliki banyak varian sehingga bisa dipilih jenis *core* yang tepat sesuai dengan yang kita butuhkan. Hal ini sangat berbeda apabila digunakan *core* dari kayu (*core* alami), di mana sangat sulit untuk mendapatkan *core* kayu yang memiliki keseragaman kekuatan dan massa jenis (sumber : www.diabgroup.com).



Gambar 2.2. Berbagai variasi bentuk *core* PVC (sumber : www.diabgroup.com)

Biasanya *core* Divinycell® diperoleh dalam bentuk segmen-segmen persegi dengan ukuran tertentu. Segmen tersebut diikat dengan menggunakan anyaman serat dan perekat pada salah satu permukaan *core*. Dengan adanya segmentasi tersebut akan sangat menguntungkan/memudahkan jika *core* tersebut digunakan untuk membuat struktur *sandwich* yang memiliki bentuk komplek/rumit. Sehingga pada bagian-bagian yang rumit akan tetap dapat terisi oleh material *core* (sumber : www.diabgroup.com).

Core Divinycell® bisa digunakan untuk berbagai aplikasi di mana struktur tersebut membutuhkan kekuatan namun juga harus ringan dan juga memiliki

karakteristik mekanis yang bagus. Divinycell® grid H bisa diperoleh dengan densitas yang bervariasi, untuk disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan (sumber : www.diabgroup.com).



Gambar 2.3. Fleksibilitas *core* terhadap bentuk yang rumit (sumber : www.diabgroup.com)

Sifat-sifat mekanis *core* Divinycell® H 60 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Sifat-sifat mekanis *core* Divinycell® H 60, (sumber dari brosur DIAB Barracuda Technology)

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Keterangan
<i>Berat Jenis</i>	kg/m^3	60	ASTM D 1622
<i>Compressive Strenght</i>	<i>Mpa</i>	0,8	ASTM D 1621
<i>Compressive Modulus</i>	<i>Mpa</i>	60	ASTM D 1621
<i>Tensile Strenght</i>	<i>Mpa</i>	1,6	ASTM D 1623
<i>Tensile Modulus</i>	<i>Mpa</i>	56	ASTM D 1623
<i>Shear Strenght</i>	<i>Mpa</i>	0,7	ASTM C 273
<i>Shear Modulus</i>	<i>Mpa</i>	22	ASTM C 273
<i>Poisson Rasio</i>	-	0,32	

2.3.1.2. *Skin*

Berbagai jenis material dapat digunakan sebagai *skin*. Lembaran plat logam seperti aluminium, baja, titanium dan *polymer* diperkuat oleh serat (GFRP) merupakan beberapa contoh umum material yang biasa digunakan sebagai *skin*. Pada kasus *skin* GFRP, sifat mekanis material dapat dikontrol secara langsung untuk menentukan sifat mekanis komposit *sandwich*. Komposit GFRP digunakan secara luas sebagai *skin* komposit *sandwich* karena densitasnya yang rendah dan kekuatan spesifik yang tinggi. Keunggulan lain *skin* komposit GFRP adalah polimer yang sama dapat digunakan untuk membuat *skin* dan *core* sekaligus. *Cross-linking* polimer *core* dan *skin* akan memberikan daya ikat yang sama terhadap kekuatan polimernya. Hal ini akan menjadikan *skin* sebagai kesatuan struktur sehingga tidak dibutuhkan adhesif tambahan. Jika adhesif digunakan untuk menggabungkan *skin* dan *core* maka pemilihan adhesif menjadi sangat penting, karena adhesif harus kompatibel dengan material *core* maupun *skin* (ASTM C 274-99, 1998).

Pemilihan jenis *skin* menjadi sangat penting dilihat dari sudut pandang di mana lingkungan kerja komponen tersebut akan digunakan. Korosi, karakteristik transfer panas, karakteristik ekspansi termal, daya serap uap air (*moisture*), dan sifat-sifat yang lainnya dapat dikontrol dengan melakukan pemilihan material *skin* yang tepat. Biasanya *skin* pada komposit *sandwich* terbuat dari tipe yang sama, akan tetapi juga dapat terbuat dari jenis yang berbeda tergantung pada persyaratan spesifik yang diperlukan. Perbedaan bisa berupa pada jenis material, tebal, orientasi serat, fraksi volume serat atau dalam bentuk yang lain (ASTM C 274-99, 1998).

Pada struktur *sandwich* fungsi utama *skin* pada struktur *sandwich* adalah menahan beban aksial dan bending, sedangkan *core* berfungsi untuk mendistribusikan beban aksial menjadi beban geser pada seluruh luasan yang terjadi akibat pembebanan gaya dari luar. Kekuatan mekanis struktur *sandwich* sangat bergantung pada material penyusunnya, oleh sebab itu untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan bending struktur *sandwich* salah satunya dapat dilakukan

dengan cara pemilihan jenis material *skin* yang tepat (Steeves & Fleck, 2004).
Bahan-bahan penyusun komposit GFRP antara lain :

2.3.1.3. Kayu Sengon Laut

Bahan utama pada penelitian ini adalah resin, serat gelas dan kayu sengon laut (*albizia falcataria*) dengan masa terbang 5-6 tahun yang diperoleh dari daerah Majenang, Cilacap, Jawa Tengah. Kayu sengon tersebut dipotong melintang atau tegak lurus arah serat dengan ketebalan 20 mm. sifat-sifat kayu sengon laut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 2.2. Propertis kayu sengon laut
(Dumanauw J.F dan Virsarany Teddy,1981)

Nama dagang	Jeunjing
Nama lain	Sengon laut, Batai, Sengon Sabrang, Sawalaku
Nama botanik - <i>Species</i> / jenis - <i>Familia</i> / suku	<i>Albizzia falcata</i> Backer <i>Mimosaceae</i>
Berat jenis kering udara	Max : 0,49 ; Min : 0,24 ; Rata-rata : 0,33
Warna kayu teras kering udara	Putih kemerah - merahan
Sifat pengerjaan	Mudah
Kembang susut	Agak besar
Daya retak	Agak tinggi
Kekerasan	Lunak
Tekstur	Agak kasar
Serat	Lurus atau berpadu
Penyebaran	Jawa, maluku, Irian Jaya
Nama dagang	Jeunjing
Nama lain	Sengon laut, Batai, Sengon Sabrang, Sawalaku

2.4. Kajian Teori Komposit.

2.4.1. Resin/Matrik

Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik (tidak ada reaksi yang mengganggu). Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Diharjo . & Triyono , 2000).

Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matrik harus mengikat penguat (serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan oleh serat secara maksimal sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi. Pada dasarnya matrik berfungsi untuk :

- ▲ Memegang dan mempertahankan posisi serat agar tetap pada posisinya.
- ▲ Mendistribusikan beban yang diterima pada serat secara merata.
- ▲ Memberikan sifat-sifat tertentu bagi komposit seperti : keuletan, ketangguhan, ketahanan terhadap panas, ketahanan terhadap reaksi kimia, dan sifat elektrik.
- ▲ Melindungi dari pengaruh lingkungan yang merugikan, mencegah permukaan serat dari gesekan mekanik.

Jenis resin yang biasa digunakan sebagai matrik pada komposit GFRP adalah : Poliester yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Unsaturated Polyester* (UP) Yukalac® 268 BQTN-EX. Resin UP merupakan salah satu jenis resin yang paling banyak digunakan sebagai bahan pembentuk komposit GFRP. Poliester berarti *polymer* yang tersusun dari *monomer* yang mengandung gugus *ester*. Poliester sendiri termasuk dalam kategori *plastik termoseting*. Apabila poliester dipanaskan maka tidak akan mencair dan mengalir, tetapi akan terbakar dan menjadi arang.

Resin ini banyak digunakan untuk aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah, waktu *curing* cepat, warna jernih, kestabilan dimensional baik dan mudah penanganannya (Berthelot, 1997). Pemberian bahan tambahan katalis jenis *metyl etyl keton peroksida* (MEKPO) pada resin UP berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin (*curing*) pada suhu yang lebih tinggi. Penambahan katalis dalam jumlah banyak akan menimbulkan panas yang berlebihan pada saat proses *curing*. Hal ini dapat menurunkan kualitas atau merusak produk komposit. Oleh karena itu pemakaian katalis dibatasi maksimum 1 % dari volume resin (Justus, 2001).

Pada proses pembuatan komposit GFRP dengan menggunakan proses *hand lay up*, salah satu masalah yang timbul adalah *void* (rongga udara). *Void* yang terjebak di dalam matrik sangat berbahaya, karena pada saat terjadi pembebanan, pada bagian serat yang kekurangan resin/matrik seluruh tegangan ditahan serat sebab tidak terjadi transfer tegangan dari matrik pada serat. *Void*

pada suatu material akan bersifat sebagai pemicu konsentrasi tegangan yang berlebih, yang dapat menyebabkan timbulnya retakan, sehingga komposit akan gagal lebih awal (Diharjo. & Triyono, 2000).

2.4.2. Serat *Glass (fibre glass)*

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit GFRP, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada matrik penyusun komposit (Diharjo. & Triyono , 2000).

Diameter dan panjang serat juga mempunyai pengaruh terhadap kekuatan, diameter yang kecil akan semakin baik, karena luas permukaan serat akan lebih besar untuk setiap berat yang sama sehingga transfer tegangan dari matrik yang diterima oleh serat akan lebih maksimal (Diharjo. & Triyono , 2000).

Sifat-sifat komposit tidak dapat dilepaskan dari pengaruh kekuatan serat sebagai salah satu penyusun utama komposit, dengan kandungan serat yang tinggi maka kekuatan tariknya juga akan tinggi, tetapi dengan kekuatan tarik yang tinggi belum tentu sifat-sifat yang lain juga akan lebih baik. Oleh karena itu perbandingan jumlah resin dan serat merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan sifat-sifat material komposit (Diharjo & Triyono, 2000).

Bentuk serat utamanya adalah benang panjang atau pendek dan biasanya dalam bentuk acak atau sudah dalam bentuk anyaman dari pabrik dengan variasi berat. Serat dalam bentuk anyaman atau acak bertujuan untuk memberikan pilihan agar kualitas komposit sesuai dengan keinginan dan fungsi dari material.

Persyaratan fungsional yang diperlukan serat sebagai penguat plastik adalah sebagai berikut :

- ▲ Modulus elastisitas tinggi
- ▲ Kekuatan patah tinggi
- ▲ Kekuatan seragam di antara serat
- ▲ Keseragaman diameter serat

Serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Dalam penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat/ karakteristik yang dimilikinya. Sifat-sifat dan komposisi kimia serat *glass* dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3

Tabel 2.3. Sifat-sifat serat *glass*

No	Jenis serat		
	E-glass	C-glass	S-glass
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari E-glass	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari E-glass	Harga lebih mahal dari E-glass

Tabel 2.4. Komposisi senyawa kimia serat *glass*

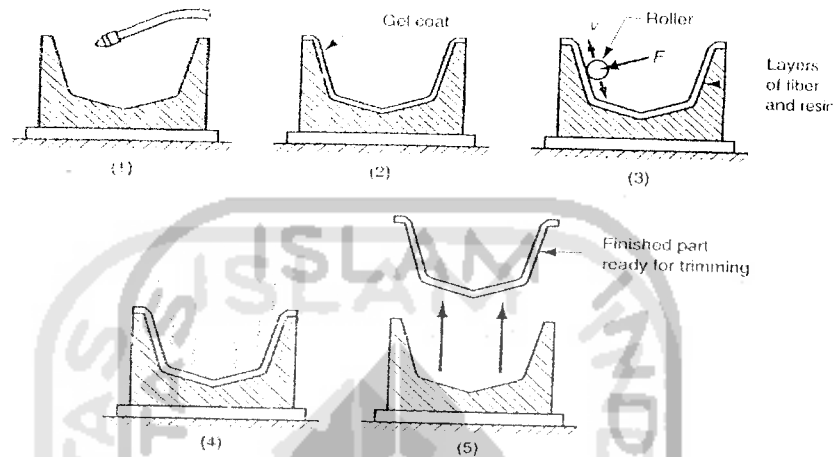
Tipe serat	Komposisi senyawa kimia (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	B ₂ O ₃	K ₂ O	BaO
E-glass	52.4	14,4	0.2	17.2	4.6	0.8	10.6	-	-
C-glass	64.4	4.1	0.1	13.4	3.3	9.6	4.7	0.4	0.9
S-glass	64.4	4.4	-	-	10.3	0.3	-	-	-

2.5. Proses Manufaktur Komposit

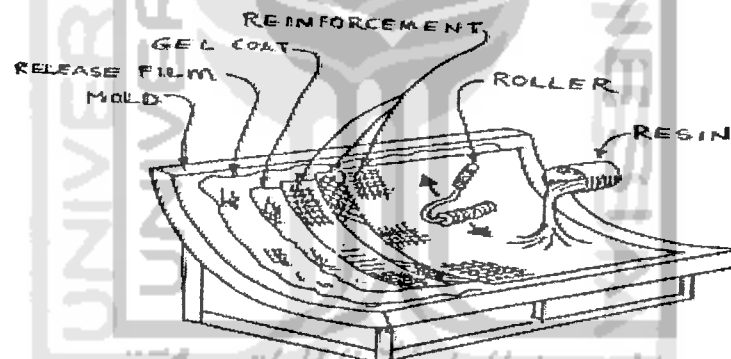
Terdapat beberapa cara dalam proses manufaktur komposit yang dipakai, diantaranya proses *hand lay up*, *vaccum bagging*.

2.5.1. Hand Lay Up (HLU)

Pembentukan panel komposit pada proses HLU terdapat beberapa tahapan, laminasi dilakukan tiap layer secara manual pada cetakan *open molding*. Tahapan manufaktur panel komposit terdiri dari empat tahapan sbb: (1) pembersihan dan pemberian *release agen*; (2) pemberian *gelcoat* (resin, *cobalt* dan pigmen pewarna) sebagai permukaan panel luar komposit yang dihasilkan; (3) pemberian resin dan serat gelas; (4) proses pengeringan; (5) proses pelepasan panel komposit dari cetakan.



Gambar 2.4 Proses *hand lay-up* (Groover, 2002)



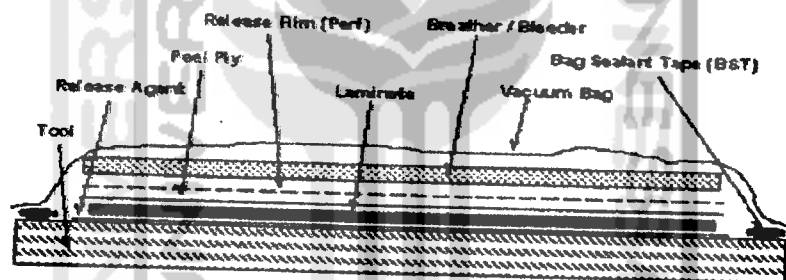
Gambar 2.5. *Hand Lay Up*, (sumber : Georgia Institute of Technology)

Fraksi volume serat yang tinggi dapat diperoleh dengan cara mengkombinasikan metode *hand lay up* dengan cetak tekan (*press molding*). Pada metode cetak tekan pengontrolan fraksi volume biasanya dilakukan dengan menggunakan *stopper*.

2.5.2. *Vacuum bagging*

Pada proses ini, resin dan penguat dimasukkan ke dalam cetakan khusus kemudian ditutup dengan *vacuum bag film* selanjutnya udara yang ada di dalam cetakan dan komposit dikeluarkan ke atmosfer dengan bantuan mesin/pompa vakum. Dengan proses ini akan dihasilkan komposit yang memiliki rasio resin dan serat yang tinggi (produk akhir yang lebih kuat), sifat mekanis yang seragam, jumlah *void* lebih sedikit, dan lebih tipis tebalnya/kompak (Crary P.M., 2001).

Prinsip *Dry Vacuum* adalah memanfaatkan tekanan atmosfer sebagai alat (*tool*). Pada permukaan air laut, satu atmosfer sama dengan 14,7 Psi atau 29.92 in-Hg. Ketika tidak *divacuum*, permukaan/luasan akan mempunyai tekanan atmosfer pada semua sisi dan sama besarnya. Ketika dilakukan pevakuman hanya pada salah satu sisi saja. Hasilnya adalah peningkatan/penambahan tekanan pada sisi yang lain sama dengan sejumlah/sebesar pemvakuman yang dilakukan (Crary, 2001).



Gambar 2.6. *Basic Vacuum Bagging* (sumber : NIDA CORE CORP., 2005)

Pada proses pembuatan komposit *sandwich* yang menggunakan sistem *Dry vacuum*. Di mana komposit *sandwich* yang akan dibuat terdiri dari komponen-komponen seperti : skin (GFRP dan Aluminium, ZinkAluminium), *adhesive*, dan *core*. *Pemvacuuman* pada proses ini mempunyai tujuan yang berbeda dengan sistem *vacuum infusion/wet vacuum*, di mana pemvakuman salah satunya bertujuan untuk mengurangi jumlah *void* yang ada. Akan tetapi pada sistem *dry vacuum*, pemvakuman bertujuan untuk memastikan proses perekatan *skin* pada *core* dengan menggunakan adhesif berlangsung sempurna, sehingga permukaan *sandwich* akan menjadi lebih rata (Sugiarto, 2005).

2.6. Komposisi

Jumlah perbandingan yang biasanya digunakan dalam pembuatan komposit adalah rasio berat (fraksi berat) dan rasio volume (fraksi volum), hal ini dikarenakan satuan dari matrik dan serat biasa dihitung dengan satuan massa dan volume.

Fraksi Volume (v) :

$$v_{\text{serat}} = \frac{\text{Volume serat}}{\text{Volume komposit}} \times 100\%$$

$$v_{\text{matriks}} = \frac{\text{Volume matriks}}{\text{Volume komposit}} \times 100\%$$

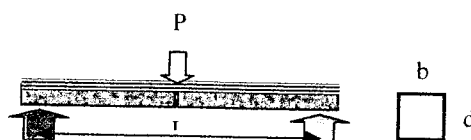
$$v_1 = \frac{W_1 / \rho_1}{W_1 / \rho_1 + W_2 / \rho_2} \times 100\% \quad (2.1)$$

dengan catatan v_1 = fraksi volum serat (%), W_1 = massa serat (kg), W_2 = massa matrik (kg), ρ_1 = massa jenis serat (kg/m^3), ρ_2 = massa jenis matrik (kg/m^3).

2.7. Kekuatan Bending

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material, dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material tersebut. Material komposit pada umumnya mempunyai nilai modulus elastisitas bending yang berbeda dengan nilai modulus elastisitas tariknya.

Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi daripada kekuatan tariknya. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian bending, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima. Pada komposit GFRP kekuatan bendingnya dapat dirumuskan (ASTM D 790) :



Gambar 2.7. Bentuk dan Dimensi Uji Bending komposit *Sandwich*, ASTM C 393

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan catatan P = beban (N), L = panjang span (mm), b = lebar (mm), d = tebal (mm).

nilai modulus elastisitas bending (E_b) material dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bd^3} \text{ (ASTM D 790)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana E_b : elastisitas bending (Mpa), m : *slope of tangent* (N/mm)

Nilai Momen bending dicari dengan menggunakan rumus :

$$M = \frac{PL}{4} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan catatan M = momen (N.mm).

Jika uji bending dilakukan dengan metode *midspan load* maka kekuatan bending komposit sandwich (*facing bending stress*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus (ASTM C 393) :

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)b} \dots\dots\dots (2.5)$$

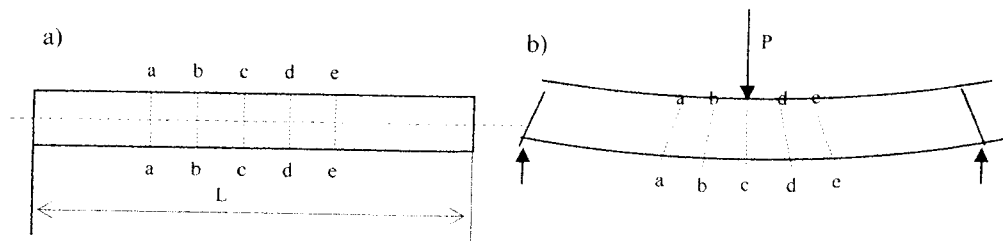
dengan catatan P = beban yang diberikan (N), d = tebal *sandwich* (mm), c = tebal *core* (mm), σ = kekuatan bending permukaan *sandwich* (MPa), t = tebal *skin* bawah (mm), L = panjang *span* (mm), b = lebar *sandwich* (mm).

Gaya geser *core* dari komposit *sandwich* pada pengujian bending dapat kita tentukan dengan persamaan 2.6.

$$\tau = \frac{P}{(d+c) \times b} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan catatan τ = tegangan geser *core* (MPa), P = beban yang diberikan (N), d = tebal *sandwich* (mm), c = tebal *core* (mm), b = lebar *sandwich* (mm).

Defleksi yang terjadi akibat pembebanan yang dilakukan pada bagian tengah balok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8. Fenomena defleksi Pada Balok

Berdasarkan gambar 2.8 di atas dapat dilihat bahwa deformasi yang terjadi akibat pengujian bending pada balok dengan tumpuan sederhana. Titik a, b, c, d dan e pada garis pusat lapisan permukaan, garis aa, bb, cc, dd dan ee terlihat mengalami perputaran, tetapi berkas garis tengah pusat pembebanan sebagai titik pusat defleksi, masih terlihat jelas tegak lurus terhadap sumbu pusat. Hal ini memperlihatkan bahwa lapisan atas mengalami tekanan dan bagian bawah mengalami tegangan tarik.

2.8. Model Kegagalan Komposit *Sandwich* Akibat Uji Bending

Tergantung pada geometri balok dan kekuatan material penyusunnya, model kegagalan komposit *sandwich* akibat mengalami uji bending (*three/four point bending*) biasanya berupa *face yield/micro buckling*, *core shear*, *core crushing*, dan *indentation* (Steeves & Fleck, 2004).

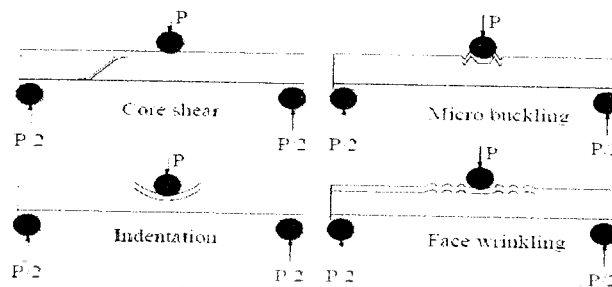
a. *Core shear*

Kegagalan *core shear* biasanya terjadi pada balok *sandwich* yang mempunyai *skin* yang relatif tebal dibandingkan tebal *core* dan *span* yang pendek. Dimana kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan *core* yang digunakan (Steeves & Fleck, 2004).

b. *Face yield/Micro buckling*

Micro buckling dapat terjadi pada *skin* komposit *sandwich* setelah dilakukan uji bending, hal ini biasanya terjadi pada balok *sandwich* yang mempunyai *skin* yang relatif tipis terhadap tebal *core* yang digunakan (Steeves &

Fleck, 2004). Kegagalan seperti ini dapat menyebabkan menurunnya kekuatan bending komposit *sandwich* secara drastis.



Gambar 2.9. Skema Model kerusakan komposit *sandwich* akibat uji bending *Indentation* (Steeves & Fleck, 2004).

Kegagalan *Indentation* akan muncul pada balok *sandwich* yang mempunyai *core* yang relatif tebal jika dibandingkan dengan tebal *skin* dan kekuatan *core* yang sangat rendah. Biasanya pada kegagalan seperti ini akan dihasilkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan yang lainnya (Steeves & Fleck, 2004).



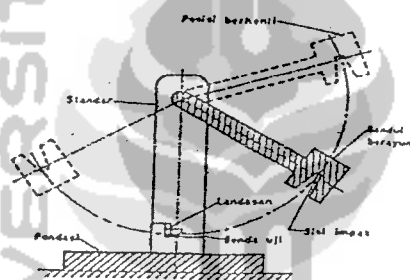
Gambar 2.10. Model kerusakan (a) *Core shear* (b) *Face yield/ Micro buckling* (c) *Indentation* (Tagerriali & Fleck, 2005)

2.9. Kekuatan Impak

Kekuatan material terhadap beban kejut dapat diketahui dengan cara melakukan uji impak. Maksud utama pengujian impak adalah untuk mengukur kegetasan bahan atau juga keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur perubahan energi potensial pendulum yang dijatuhkan pada ketinggian

tertentu. Perbedaan ketinggian ayunan pendulum merupakan ukuran energi yang diserap oleh benda uji (Gambar 2.11.). Besar energi yang diserap tergantung pada keuletan bahan uji dan dinyatakan dalam joule. Bahan yang ulet menunjukkan nilai impak yang besar (Mudjijana; 2000). Kekuatan impak material komposit rata-rata masih di bawah kekuatan impak logam. Ikatan antar molekul sangat berpengaruh pada kekuatan impak, semakin kuat ikatan maka semakin kuat kekuatan impaknya (Surdia, 1985).

Kita mengetahui ada dua metode pengujian impak yaitu *Charpy* dan *Izod* yang digunakan untuk material isotropik dan digunakan secara luas. Untuk *Charpy* (Gambar 2.11.) spesimen dikenai beban kejut di tengah-tengah spesimen sedangkan impak *Izod* beban kejut diterima di ujung spesimen dimana spesimen dijepit pada ragum/cekam. (Agarwal; 1990).



Gambar 2. 11. Metode pengujian impak *Charpy*

Besarnya kekuatan impak atau ketahanan bahan dapat dihitung setelah kita mendapatkan energi serap atau energi impak yaitu dengan persamaan sebagai berikut (ASTM D 5942-6) :

$$\text{Ketahanan bahan} = \frac{\text{Tenaga Untuk Mematahkan Benda Uji (Joule)}}{\text{Luas Penampang Patahan Benda Uji (mm}^2\text{)}}$$

Setelah diuji impak, spesimen akan mengalami gagal / patah yang bervariasi, yaitu :

- a. *Fracture*, yaitu kegagalan benda uji impak berupa patah / pecah pada seluruh bagian penampang benda uji impak.
- b. Tarik, yaitu kegagalan benda uji impak berupa patah pada bagian depannya.