



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGGUNAAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN*
INFUSION PADA BAHAN UJI KOMPOSIT *SANDWICH*
UNTUK APLIKASI KAPAL BERSAYAP *WISE-8***

SKRIPSI

SATRIO FEBRIYANTO

0606068700

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Satrio Febriyanto

NPM : 06068700

Tanda Tangan :



Tanggal : 7 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Satrio Febriyanto

NPM : 0606068700

Program Studi : Fisika S-1 Reguler

Judul Skripsi : **PENGGUNAAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* PADA BAHAN UJI KOMPOSIT *SANDWICH* UNTUK APLIKASI KAPAL BERSAYAP *WISE-8***

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dra. Ariadne L. Juwono, MEng, PhD (.....*A dus*.....)

Pembimbing II : Ir. Seto Roseno, BEng(Hons), MSc (.....*Seto h*.....)

Penguji I : Dr. Azwar Manaf M. Met (.....*Azwar*.....)

Penguji II : Ir. Masmui, MSc (.....*Masmui*.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, yang selalu memberikan anugrah kepada penulis, memberikan kesehatan, dan telah menuntun penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Dra.Ariadne L. Juwono, MEng, PhD selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan dan meluangkan segenap waktu, tuntunan, bimbingan, diskusi, dan pengarahan sehingga membangkitkan keinginan penulis untuk menggali lebih banyak ilmu dan wawasan yang lebih luas lagi.
2. Ir.Seto Roseno, BEng(Hons), MSc selaku pembimbing II yang telah meyempatkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan diskusi sehingga skripsi ini selesai tepat pada waktunya.
3. Dr. Azwar Manaf M.Met dan Ir. Masmui, MSc selaku dewan penguji sidang yang memberikan kritik dan saran sehingga membantu penulis untuk melengkapi kekurangan baik dalam penulisan dan penyelesaian kasus terkait skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan civitas akademika Fisika Universitas Indonesia atas segala ilmu dan bantuan teknis selama perkuliahan, terkhusus untuk Mba Ratna yang selalu mengingatkan penulis dalam pengurusan administrasi
5. Untuk kedua orang tua tercinta (Wuryantoro dan Agustina Syamsiah), adik kandung satu-satunya(sang penghibur dikala senggang, Sekar Mawar Oktavina), dan keluarga besar penulis yang selalu memberikan dorongan motivasi, semangat dan doa tiada henti serta lelucon jenaka sehingga

membantu penulis untuk menenangkan pikiran dan kembali bersemangat untuk terus maju dan berkarya lebih baik lagi.

6. Asti Arumsari, terimakasih untuk segenap perhatian, senyuman, rasa sayang, dan semangat serta kesabaran yang luar biasa setiap harinya kepada penulis, sungguh begitu berharga.
7. Rekan-rekan dari tim material komposit, Asrikin, Andes, May Rara, Indah CP, Atul, Siti Hardiyanti Nizmah, tak lupa Zakky Ihsan, terimakasih atas segala lelucon, banyolan, dan dukungan motivasi kepada penulis.
8. Teman-teman di fisika angkatan 04,05,06,07,08 dan semua pihak yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Jakarta, 21 Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Satrio Febriyanto
NPM : 0606068700
Program Studi : Fisika Material dan Zat Mampat S1
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGGUNAAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* PADA BAHAN UJI KOMPOSIT *SANDWICH* UNTUK APLIKASI KAPAL BERSAYAP *WISE-8*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*Database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 7 Juni 2011

Yang menyatakan


(Satrio Febriyanto)

ABSTRAK

Nama : Satrio Febriyanto
Program Studi : Fisika
Judul : Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion
pada Bahan Uji Komposit Sandwich untuk Aplikasi
Kapal Bersayap WiSE-8

Telah dilakukan penelitian untuk membuat material komposit *sandwich* dengan menggunakan epoxy dan lamina E-glass sebagai kulit dan *polyurethane foam* sebagai inti. Pembuatan material menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI), dan dibagi menjadi empat jenis material. Uji tarik dan uji tekan dilakukan untuk mengukur kekuatan mekanik material dan mengkarakterisasi jenis spesimen yang baik untuk digunakan dalam aplikasi kapal bersayap *Wing in Surface Effect-8* (WiSE-8). Dari hasil pengujian didapatkan kekuatan mekanik terbaik dari panel III yang memiliki empat lapisan fiber dengan arah serat 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° dengan kuat tarik dan kuat tekan masing-masing bernilai 28,18 MPa 5,75 MPa. Kerusakan yang terjadi pada material berupa patahan yang dimulai dengan kegagalan pada inti dilanjutkan dengan kegagalan pada kulit akibat pengujian mekanik dilihat dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Kata Kunci : *fiber glass komposit, sandwich, VARI, uji tarik, uji tekan, SEM*

xii+44 halaman :33 gambar, 2 tabel

Daftar Acuan : 12 (1999–2010)

ABSTRACT

Name : Satrio Febriyanto
Program Study : Physics
Title : Vacuum Assisted Resin Infussion Methode in Sandwich Composite Sample for WiSE-8 Application

Sandwich composite materials consisting of epoxy and lamina E-glass as the facing layer dan polyurethane foam as the core layer. The materials were manufactured using a Vacuum Assisted Resing Infussion (VARI) method, the products were classified into four types of panels, panel I, II, III, and IV. Tensile and flextural tests applied to the materials to measure the mechanical strengths and to characterize whether is applicable for WiSE-8 application. The mechanical properties were obtained from panel III which consisted of four layers and a fibre direction of 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° . The tensile and flextural strengths were 28,18 MPa and 5,75 Mpa respectively. Scanning Electron Microscope (SEM) observation of the mechanical tested sampler showed that the failure of the materials started from the core and propagated to the facing layer.

Key Words : glass, fibre, composite, sandwich, VARI, tensile test, flextural test, SEM

xii+44 pages : 33 pictures, 2 tables

Reference : 12 (1999–2010)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pembatasan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Metodologi Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Material Komposit.....	6
2.2 Material Komposit <i>Sandwich</i>	8
2.3 Sifat Mekanik Komposit.....	9
2.3.1 Kekuatan Tarik	9
2.3.2 Kekuatan Lengkung.....	12
2.3.4 Kekuatan Mekanik Komposit <i>Sandwich</i>	13

2.4 Modus Kegagalan pada Komposit <i>Sandwich</i>	16
2.5 Metode <i>Vacuum Assisted Resin Infussion</i>	16
2.6 Kapal Bersayap.....	18
3. METODE EKSPERIMEN	21
3.1 Pemilihan Material	21
3.2 Pembuatan Spesimen.....	23
3.3 Pengujian Spesimen.....	26
3.4 Metode Analisa Pengujian Mekanik	28
4. HASIL DAN ANALISA	31
4.1 Analisa Hasil Pengujian Mekanik	31
4.2 Analisa Hasil Pencitraan SEM	36
5. PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	42
DAFTAR ACUAN.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Spesifikasi material uji.....	22
Tabel 4.1.	Hasil perhitungan uji mekanik	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram prinsip kerja kapal bersayap.....	2
Gambar 1.2.	Skematik struktur sayap pesawat	3
Gambar 2.1.	Susunan serat fiber menurun kontinuitas dan arahnya, susunan kontinyu terarah (a), susunan tidak kontinyu terarah (b), dan susunan tidak kontinyu acak (c).....	7
Gambar 2.2.	Skema klasifikasi material komposit	7
Gambar 2.3.	Penampang struktur <i>honeycomb</i>	9
Gambar 2.4.	Kurva tekanan-regangan pada material komposit.....	11
Gambar 2.5.	Diagram uji kuat tarik	11
Gambar 2.6.	Diagram uji lengkung.....	12
Gambar 2.7.	Skema perbandingan kekuatan pada kurva tegangan geser(τ) dan tegangan normal (σ) untuk berbagai jenis material inti	15
Gambar 2.8.	Diagram VARI Surface Infusion (a) dan Diagram VARI Interlaminar Infusion.....	18
Gambar 2.9.	Contoh kapal bersayap dalam penggunaan komersial	19
Gambar 2.10.	Struktur sayap secara umum	20
Gambar 3.2.	(a)Struktur kimia Corecell dan (b) Tampilan fisik Corecell	23
Gambar 3.3.	Diagram alat untuk metode VARI <i>Interlaminar Infussion</i>	24
Gambar 3.4.	Alat untuk metode VARI <i>Interlaminar Infussion</i>	25
Gambar 3.5.	Pengolesan resin epoxy	25
Gambar 3.6.	Susunan serat fiber asimetris	25
Gambar 3.7.	Persiapan untuk proses vakum.....	26
Gambar 3.8.	Ukuran spesimen uji.....	27
Gambar 3.9.	Proses pengujian spesimen.....	27
Gambar 4.1.	Grafik kuat tarik maksimum tiap spesimen	31
Gambar 4.2.	Grafik perbandingan tegangan-regangan uji tarik tiap spesimen..	32
Gambar 4.3.	Grafik kuat tekan maksimum tiap spesimen	33
Gambar 4.4.	Grafik modulus elastisitas tiap spesimen	33
Gambar 4.5.	Jejak keretakan setelah pengujian	35
Gambar 4.6.	Bentuk spesimen setelah pengujian	36
Gambar 4.7.	Pencitraan SEM untuk material uji tarik	37
Gambar 4.8.	Pencitraan SEM untuk material uji tekan, (a) sisi permukaan, (b) sisi samping	37
Gambar 4.9.	Tahapan terjadinya kerusakan pada uji tarik.....	38
Gambar 4.10.	Pola perambatan kerusakan material.....	39
Gambar 4.11.	Hasil SEM uji tekan	39

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

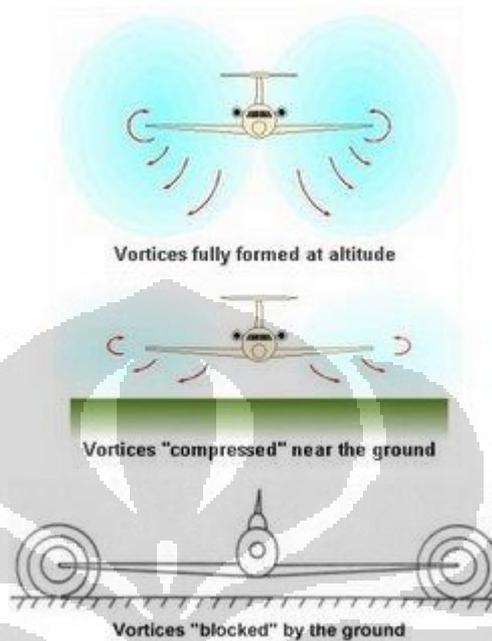
Kebutuhan transportasi perintis sangatlah penting untuk kelangsungan hidup penduduk yang tinggal di daerah kepulauan. Semakin banyaknya kebutuhan yang harus dipenuhi oleh penduduk pada daerah tersebut mengharuskan mereka untuk pergi ke daerah lain atau pulau lain dimana komoditas hidup sehari-hari tidak dapat dibeli atau dicari di pulau tempat mereka tinggal

Salah satu transportasi antar pulau yang digunakan adalah memanfaatkan transportasi melalui jalur laut, yaitu menggunakan perahu baik perahu kecil ataupun jasa kapal penyebrangan antar pulau. Penggunaan jalur laut yang sering kali memakan waktu cukup lama dan kian tidak efektif mengakibatkan masyarakat berubah menggunakan jalur udara. Namun transportasi jalur udara memiliki kelemahan, yaitu biaya yang relatif tinggi dan waktu pemberangkatan yang lebih sedikit.

Dari permasalahan inilah lahir inovasi untuk menggabungkan kedua jenis alat transportasi tersebut yaitu dengan menggunakan alat transportasi yang dinamakan kapal bersayap. Alat transportasi ini dapat menempuh perjalanan dalam waktu yang lebih singkat dan kapasitas penumpang yang lebih efisien sehingga pemberangkatan penumpang menjadi lebih banyak.

Kapal bersayap adalah jenis kendaraan amfibi yang dapat terbang di atas permukaan laut. Kapal ini digerakkan menggunakan mesin turbin yang terhubung dengan baling-baling pada sayap ataupun moncong kapal bersayap. Kapal ini memanfaatkan efek permukaan yang dihasilkan dari tekanan udara di bawah sayap,. Secara prinsip kendaraan ini mirip dengan pesawat terbang tetapi dengan ketinggian jelajah yang lebih rendah dan jangkauan tempuh yang lebih pendek

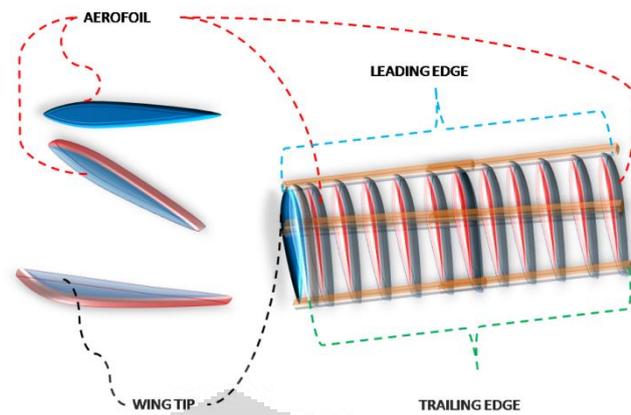
seperti ditunjukkan Gambar 1.1. Kapal bersayap cocok untuk digunakan sebagai sarana transportasi perintis antar pulau.



Gambar 1.1 Diagram prinsip kerja kapal bersayap

Komponen utama dari alat transportasi ini terletak pada struktur sayapnya yang harus memiliki kekuatan mekanik yang baik akan tetapi juga ringan. Telah disebutkan sebelumnya bahwa kapal ini memanfaatkan tekanan udara di bawah sayap sehingga ia dapat mengudara dengan ketinggian jelajah sekitar satu hingga dua meter di atas permukaan laut. Maka struktur sayap harus memiliki kemampuan untuk membelah udara dan menghasilkan perbedaan tekanan pada permukaan atas dan bawah sayap. Salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan merancang komponen *wingtip* (ujung-ujung sayap) yang aerodinamis, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.2.

Material pesawat biasanya menggunakan beberapa campuran logam yang ringan dan kuat. Material jenis ini akan cepat rusak bila digunakan pada lingkungan laut, salah satunya disebabkan karena korosi yang dapat mengikis struktur dari pesawat. Maka dari itulah dibutuhkan material pengganti untuk kapal bersayap dengan kriteria berupa material yang kuat dan ringan, memiliki ketebalan tertentu, dan tahan terhadap korosi..



Gambar 1.2 Skematik struktur sayap pesawat

Pemilihan material dengan kriteria ini sangat diperlukan. Selain itu material yang dipilih harus mempunyai kelenturan yang baik agar dapat dibentuk sesuai kebutuhan aerodinamika yang dibutuhkan [1]. Dengan kriteria-kriteria ini, maka material komposit menjadi pilihan utama yang memenuhi hampir semua kriteria di atas.

Berbagai penelitian tentang bahan komposit dan komposisinya dengan menggunakan uji mekanik telah banyak menghasilkan ide pembuatan sayap dan *wingtip* untuk kapal bersayap. Salah satu bahan yang kini marak dikembangkan adalah komposit *sandwich*, yang terdiri dari glass fiber – epoxy resin sebagai bagian luar dan *polyurethane-foam* sebagai bagian intinya. Penggunaan bahan ini dapat menghasilkan material yang kuat dan ringan, namun tahan korosi.

Proses pembuatan komposit *sandwich* pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Dibandingkan dengan proses lain seperti misalnya RTM (Resin Transfer Molding), proses VARI lebih ekonomis karena tidak melibatkan tekanan tinggi. Selain itu, proses VARI dapat mengurangi efek pengotoran yang banyak terjadi pada proses *hand lay up* dan menimbulkan kurang optimalnya sifat material komposit [2]. Dalam proses VARI, fiber kering diletakkan antara *fix mold* dan *plastic bag*. Kemudian resin disuntikkan setelah ruang di dalam *plastic bag* bertekanan rendah dan proses berlanjut sampai seluruh bagian fiber terbasahi oleh resin.

1.2 Pembatasan Masalah

Pembuatan material dengan menggunakan metode VARI menghasilkan material komposit *sandwich* dengan karakteristik kekuatan mekanik yang bagus. Metode ini dapat dibuat dengan cara yang sederhana. Pengujian kuat tarik dan kuat tekan dilakukan untuk mengetahui seberapa baik metode VARI yang didesain secara sederhana untuk menghasilkan material dengan kekuatan yang optimal. Analisa mikroskopis dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat perubahan struktur dan kerusakan yang terjadi setelah pengujian mekanik. Pengujian-pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah dengan menggunakan proses VARI sederhana, material yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi sesuai dengan kebutuhan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan teknologi VARI dalam pembuatan komponen *wingtip* kapal bersayap.
2. Mendapatkan analisa mikroskopis tentang pengaruh penggunaan material yang memanfaatkan teknologi VARI terhadap kekuatan mekanik komponen *wingtip* kapal bersayap.

1.4 Metode Penelitian

Penelitian ini berlangsung dengan beberapa tahapan. Tahap pertama adalah pemilihan material. Pada tahapan ini, dilakukan studi mendalam tentang material komposit *sandwich* sehingga dapat memilih material yang sesuai untuk dijadikan spesimen uji. Setelah itu, dilakukan pembuatan spesimen dengan menggunakan metode VARI. Pengujian mekanik dilakukan pada tahap selanjutnya, kemudian tahapan terakhir adalah analisa kekuatan melalui mikroanalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Material yang digunakan adalah komposit yang dibagi menjadi dua jenis. Jenis yang pertama merupakan lapisan luar material *sandwich* berupa *glass woven fiber* sebagai penguat, dan resin epoxy sebagai matriksnya, serta *PU-foam*

sebagai intinya. Jenis yang kedua merupakan gabungan antara *glass lamina fiber* sebagai penguat, dan resin epoxy sebagai matriksnya, untuk lapisan luar, serta *PU-foam* sebagai intinya. Pembuatan material dibuat dengan menggunakan proses VARI sederhana. Uji tarik dan uji tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan modulus elastisitas dari sifat mekaniknya. Analisa dilakukan dengan mengacu pada pengaruh pemilihan komposisi atau struktur yang menentukan sifat mekanik. Analisa ini dilakukan secara kuantitatif dan analisa mikroskopis dengan bantuan SEM untuk melihat arah perambatan kerusakan.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab 1, Pendahuluan, adalah bagian yang membahas tentang latar belakang dari penelitian, tujuan, metode yang digunakan dan juga pembatasan masalah pada penelitian yang dilakukan. Bab 2, Tinjauan Pustaka, membahas secara garis besar teori dasar yang berhubungan dengan penelitian. Bab 3, Metode Eksperimen, membahas tentang tahapan penelitian, mulai dari pemilihan material sampai ke pengujian secara lengkap. Bab 4, Hasil dan Analisa, membahas tentang hasil pengujian dan analisa data pengujian. Bab 5, Kesimpulan dan Saran, adalah bagian terakhir yang berisi kesimpulan penelitian dan saran yang mendukung penelitian agar memberikan hasil yang lebih baik lagi untuk pengembangannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

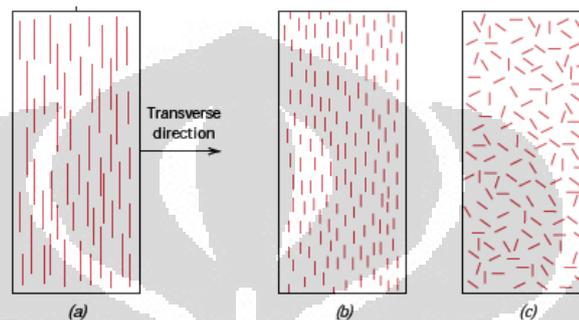
2.1 Material Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai material yang tersusun dari dua atau lebih campuran material yang berbeda baik secara fisis maupun kimianya sehingga membentuk satu kesatuan dengan karakteristik sifat yang baru [3]. Pencampuran material ini dilakukan secara makroskopis dan biasanya banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan produksi material di dunia industri karena karakteristiknya yang mudah disesuaikan dengan kebutuhan dan prosesnya relatif lebih ramah lingkungan [3].

Ditinjau dari strukturnya, material komposit tersusun atas dua komponen dasar. Masing – masing disebut dengan *matrix* dan *filler*. *Matrix* merupakan komponen dengan jumlah fraksi volume yang jauh lebih besar dari *filler*. *Matrix* juga didefinisikan sebagai komponen material terluar (*facing*) atau kulit dari material komposit. Sedangkan *filler* merupakan penguat dari *matrix*, yaitu komponen yang digunakan untuk memperkuat (menyokong) *matrix*. *Filler* dapat berupa partikel (butiran/serpihan) yang tersebar atau berupa serat – serat dengan arah tertentu di dalam material komposit. *Filler* yang berupa serat dan arah tertentu merupakan definisi dari fiber.

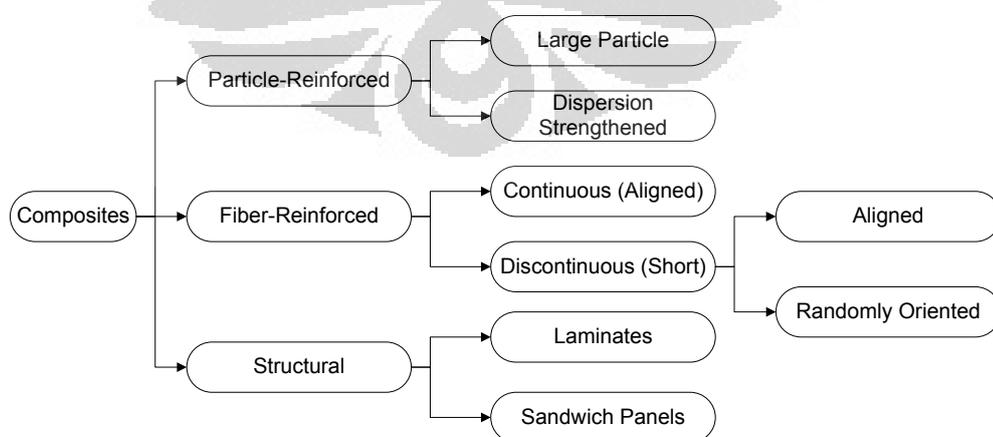
Jenis fiber yang digunakan dan struktur seratnya sangat menentukan karakteristik mekanik dari material komposit. Eksperimen yang dilakukan Griffith pada tahun 1920 untuk mengukur kekuatan tarik dari *glass fiber* memberikan hasil bahwa kekuatan tarik untuk struktur fiber semakin besar seiring dengan kecilnya diameter fiber [4]. Hal ini karena semakin kecil diameter, kekuatan kohesif antar fiber akan mendekati harga kekuatan kohesif antar lapisan atom–atomnya, sedangkan untuk diameter fiber yang lebih besar, kekuatan kohesifnya menurun mendekati harga struktur *bulk* nya.

Arah serat fiber sangat menentukan kekuatan mekanik komposit pada arah tertentu [3]. Beberapa jenis susunan serat fiber dapat dilihat pada Gambar 2.1. Arah serat kontinu memiliki serat panjang yang tidak putus dan terarah pada satu arah tertentu. Arah serat yang tidak kontinu memiliki serat-serat pendek yang terputus-putus, terkadang susunan seperti ini bersifat acak.



Gambar 2.1. Susunan serat fiber menurut kontinuitas dan arahnya, susunan kontinu terarah (a), susunan tidak kontinu terarah (b), dan susunan tidak kontinu acak (c).[3]

Berdasarkan bentuk *filler* komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama yaitu komposit *particle – reinforced* (berpenguat partikel), *fiber – reinforced* (berpenguat serat), dan *structural* (structural / gabungan dari dua jenis sebelumnya dengan bentuk penguatan pada struktur). Untuk klasifikasi secara menyeluruh, dijelaskan pada Gambar 2.2 yang mencakup tipe dan jenis dari tiap – tiap klasifikasi utama.



Gambar 2.2. Skema klasifikasi material komposit [3].

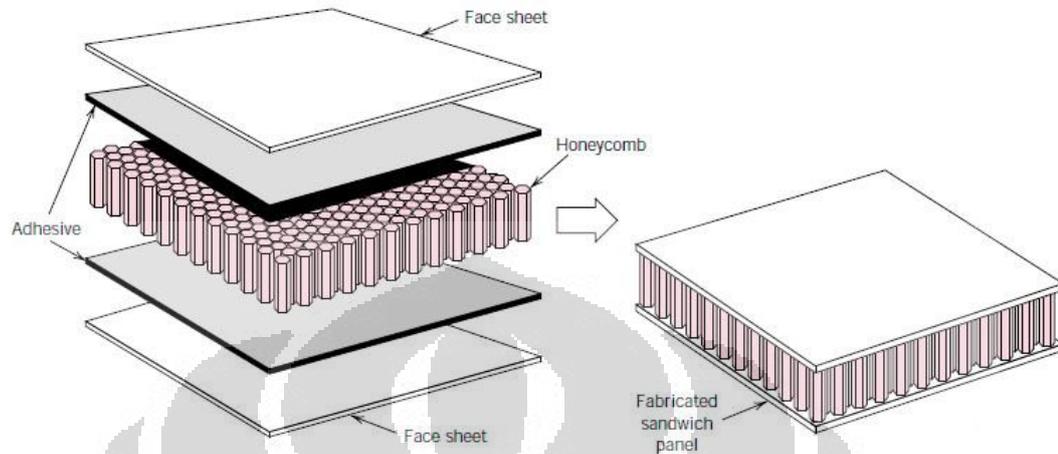
2.2 Material Komposit *Sandwich*

Material komposit *sandwich* disebut juga dengan panel *sandwich*, material komposit *sandwich* terdiri dari panel kulit yang kuat pada sisi atas dan bawah, dan keduanya dipisahkan oleh lapisan bagian dalam material dengan densitas kecil, yang disebut dengan *core* (inti) [3]. Lapisan inti ini memiliki karakteristik mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan kulitnya.

Lapisan kulit berfungsi sebagai penahan utama dari gangguan berupa gaya dan tekanan dari luar. Material yang biasa digunakan sebagai lapisan kulit adalah campuran aluminum alloy, plastik berpenguat serat, titanium, besi, dan kayu lapis. Sedangkan bagian inti memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antar kedua permukaan sehingga memiliki ketebalan tertentu dan sebagai penahan deformasi dari tegangan geser yang dialami material saat berhadapan dengan gaya dari luar. Material yang cocok digunakan sebagai inti merupakan material yang bersifat elastis dan tahan terhadap tekanan dari luar seperti polimer *foam*, karet sintetis, perekat inorganik, dapat juga menggunakan kayu balsa.

Struktur komposit *sandwich* yang sering digunakan memiliki struktur inti berupa sel – sel hexagonal yang saling berhimpitan atau disebut dengan struktur *honeycomb*[3] karena bentuknya yang menyerupai sarang lebah seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.3.

Struktur *honeycomb* merupakan struktur yang populer digunakan, akan tetapi sebagai material inti struktur ini dapat digantikan dengan struktur yang lain misalnya seperti penggunaan lembaran *polyurethane-foam (PU – foam)* yang memiliki pori – pori di permukaannya. Akan tetapi untuk jenis material inti berupa *PU – foam* masih jarang sekali dilakukan penelitian, sehingga referensi untuk pembahasan lebih lanjut tentang material ini masih sulit untuk didapatkan.



Gambar 2.3. Penampang struktur *honeycomb*[3].

2.3 Sifat Mekanik Komposit

Sifat mekanik komposit adalah sifat yang dapat dilihat dan diukur dalam skala makroskopik. Sifat ini biasanya dinamakan makromekanik. Dapat dikatakan bahwa sifat makromekanik timbul dari susunan fiber dan matriksnya secara umum. Yang merupakan sifat mekanik adalah, kekuatan tarik (*tensile strength*), kuat tekan (*compression strength*), kelengkungan (*flexural strength*), dan masih banyak lagi. Sifat – sifat mekanik ini yang menentukan apakah suatu bahan komposit layak atau tidak digunakan untuk aplikasi tertentu.

2.3.1 Kekuatan Tarik

Sifat kuat tarik suatu material komposit adalah kekuatan untuk mengatasi gaya tarik persatuan luas permukaan yang diterima[3]. Secara sederhana kuat tarik (tegangan) yang bekerja pada suatu material dirumuskan oleh persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan F adalah beban yang diberikan (N) dan A adalah luas permukaan di mana beban bekerja (m^2). Tegangan pada suatu sistem akan menyebabkan terjadinya regangan, yaitu perubahan panjang atau perubahan ukuran benda. Regangan dirumuskan dengan persamaan

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan ε adalah regangan, l adalah panjang akhir benda dan l_0 adalah panjang awal benda[3].

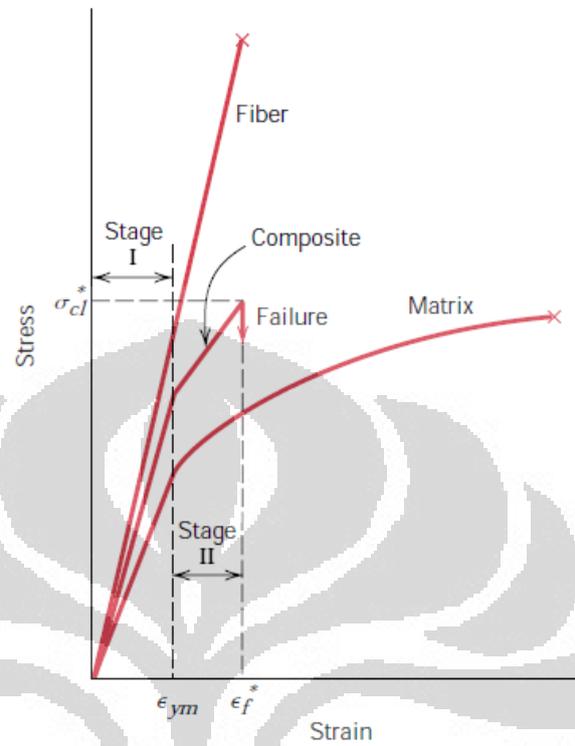
Dari dua besaran ini didapatkan suatu besaran lain yang dinamakan sifat elastisitas benda, atau lebih umum dinamakan modulus. Modulus elastisitas adalah sifat mekanik material yang menunjukkan seberapa besar material untuk kembali ke bentuknya semula setelah diberikan tegangan tertentu. Modulus elastisitas benda dirumuskan sebagai

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

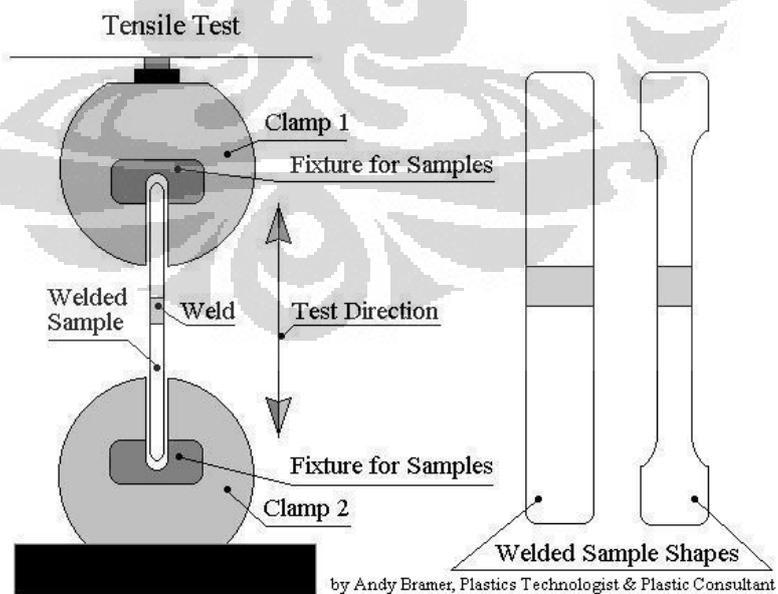
dengan E merupakan tegangan dibagi dengan regangan (N/m^2)[3]. Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pada gambar ini terlihat bahwa kekuatan mekanik dari komposit berasal dari gabungan antara fiber dan matriksnya.

Untuk mengukur kuat tarik dari material komposit, dilakukan uji tarik pada spesimen material tersebut. Diagram spesimen untuk pengukuran kuat tarik dapat dilihat pada Gambar 2.5. Beban diberikan dari dua arah secara bersamaan. Spesimen dapat berbentuk tulang atau persegi panjang dengan ketebalan tertentu.

Hasil yang didapatkan dari uji tarik adalah tegangan dan regangan material. Dari data ini, maka dapat dihitung modulus elastisitas material dan kekuatan tarik maksimum material ketika terjadi kerusakan.



Gambar 2.4. Kurva tekanan-regangan pada material komposit [3].

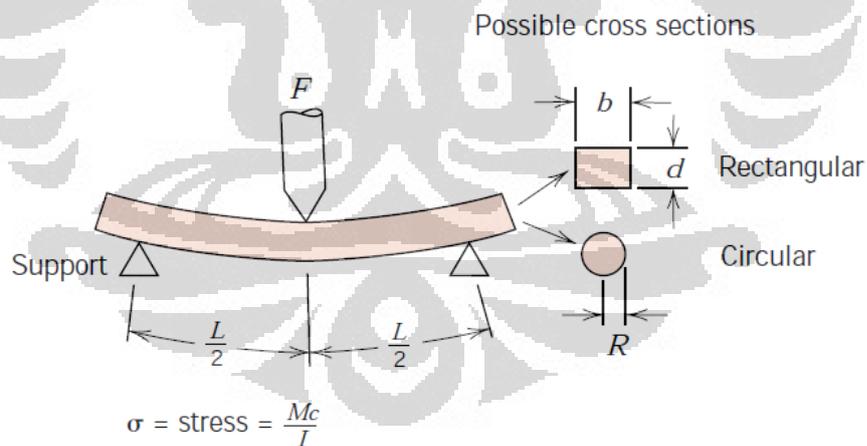


Gambar 2.5. Diagram uji kuat tarik [6]

2.3.2 Kekuatan Lengkung

Selain uji tarik, sifat mekanik komposit juga ditentukan dari besar kuat lengkungnya. Kuat lengkung adalah kekuatan suatu material untuk menahan beban yang diberikan pada beberapa titik tertentu [3]. Skema uji lengkung ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Desain spesimen untuk uji lengkung berbeda dengan desain uji tarik. Pada uji lengkung, perhitungan momen inersia diperlukan untuk mendapatkan hasil uji. Hal ini menyebabkan desain spesimen pada uji lengkung biasanya berbentuk batang silinder atau batang balok, sehingga momen inersianya mudah untuk dihitung.

Uji lengkung mempunyai dua macam jenis pengujian, yaitu dengan menggunakan dua penopang pada alasnya dan satu beban dari atas pada bagian pusat massanya yang dinamakan *three point bending test* atau pengujian dengan menggunakan dua penopang pada alasnya dan dua beban dari atas yang dinamakan *four point bending test* [3].



Gambar 2.6 Diagram uji lengkung [3].

dengan M adalah momen *bending* maksimum, c merupakan jarak dari titik pusat spesimen ke titik fiber terluar, dan I merupakan momen inersia pada daerah *cross section*. Perhitungan kuat lengkung dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{fs} = \frac{3F_f L}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan σ_{fs} merupakan kuat lengkung maksimum, F_f merupakan besar gaya total yang diberikan pada material, L merupakan panjang penampang uji, b merupakan lebar spesimen, dan d merupakan tebal spesimen[3].

Persamaan 2.4 digunakan untuk menghitung kuat lengkung untuk spesimen dengan penampang persegi, sedangkan untuk spesimen dengan penampang lingkaran, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{fs} = \frac{F_f L}{\pi R^3} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan R merupakan jari – jari spesimen[3].

Uji lengkung ini juga berguna untuk mengetahui pengaruh kondisi permukaan. Jika permukaan spesimen lebih lemah dibanding bagian dalamnya, maka uji lengkung ini berguna untuk mengetahui sejauh mana efek permukaan terhadap kekuatan mekanik material.

2.3.3 Kekuatan Mekanik Komposit *Sandwich*

Telah disebutkan pada sub-bab sebelumnya, bahwa kekuatan mekanik material komposit dapat diperhitungkan melalui uji tarik dan uji tekan. Perhitungan ini akan menghasilkan nilai yang menyatakan kuat tarik dan kuat tekan maksimum yang dapat ditahan oleh material.

Pada komposit *sandwich*, faktor penentu kekuatan mekaniknya tidak hanya bergantung pada hal tersebut sebelumnya dikarenakan untuk komposit jenis ini memiliki bagian inti (*core*) yang perlu diperhitungkan dampaknya. Bagian inti pada komposit ini digunakan untuk mengurangi beban pada material yang tentu saja secara struktur lebih ringkih dan juga merupakan material yang digunakan untuk mengikat kedua kulit permukaan komposit tetap pada tempatnya.

Selama pengujian mekanik berlangsung, bagian inti menerima gaya yang cukup besar dan memungkinkan bagian ini mengalami kerusakan terlebih dahulu dari pada bagian kulit terluarnya. Beberapa efek yang ditimbulkan dari kerusakan bagian inti pada material komposit secara keseluruhan diantaranya seperti adanya tegangan geser (*shear stress*), yaitu tegangan yang dialami oleh bagian muka/kulit/ atau sakah satu bagian lainnya dari material material secara paralel terhadap bagian lainnya sehingga bagian ini mengalami pergeseran dari kedudukan awalnya.

Tegangan geser dirumuskan sebagai berikut :

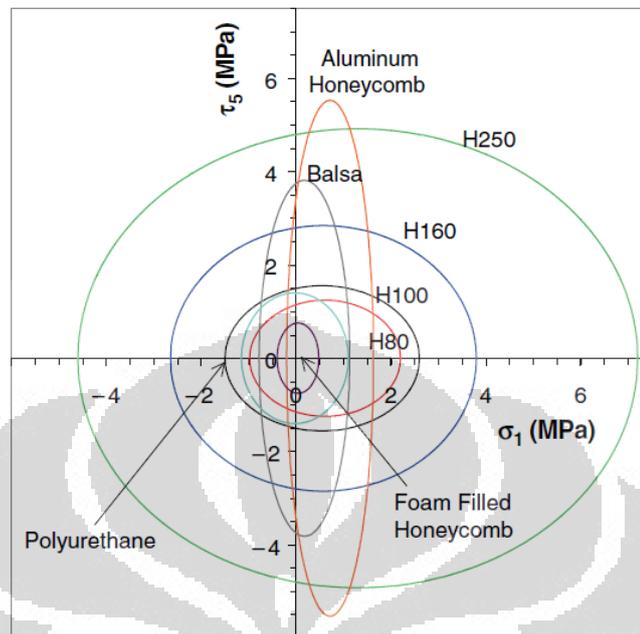
$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan F adalah total gaya yang diberikan, dan A adalah luas area dimana gaya bekerja. Perumusan pada Persamaan 2.6 merupakan rumus umum dari tegangan geser[3]. Untuk bagian inti, tegangan geser yang dialaminya dihitung dengan persamaan sebagai berikut ;

$$\tau_c = \frac{F}{(t_f + t_c)b} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan t_f merupakan ketebalan dari kulit (*facing thickness*), t_c merupakan ketebalan dari inti (*core thickness*), dan b adalah lebar dari komposit *sandwich*[3].

Menurut eksperimen yang dilakukan oleh Levente Denes dkk tahun 2008, ia memperoleh hasil bahwa material inti berupa *polyurethane – foam* dapat meningkatkan kekakuan dan rigiditas dari panel serta struktur yang lebih baik dan terintegritas secara merata, ketahanan yang lebih baik dan kekuatan yang lebih tinggi [11]. Gambar 2.7 memaparkan perbandingan kekuatan material inti menurut kriteria Tsai – Wu, yang memperlihatkan bahwa *PU – foam* memiliki hubungan tegangan normal dan tegangan geser yang lebih baik dari struktur *honeycomb*[5].



Gambar 2.7 Skema perbandingan kekuatan pada kurva tegangan geser(τ) dan tegangan normal (σ) untuk berbagai jenis material inti[4].

Dari Gambar 2.7 diperlihatkan bahwa untuk jenis material inti berupa *polyurethane-foam* memiliki batas tegangan geser yang lebih baik daripada material inti dengan struktur *honeycomb* biasa. Material berupa *PU-foam* secara fisik lebih rapat jika dibandingkan dengan material berstruktur *honeycomb* yang memiliki rongga yang cenderung lebih banyak. Dengan volume rongga yang lebih besar maka tegangan geser saat pengujian dapat dengan mudah mempengaruhi material menjadi tidak stabil sehingga terjadi kerusakan pada material *sandwich*. Untuk mengatasi tegangan geser pada struktur *honeycomb* maka material inti ini harus diganti dengan material yang memiliki batas tegangan geser yang lebih besar, salah satunya menggantinya dengan aluminium yang tetap berstruktur *honeycomb*. Akan tetapi penggantian material inti dengan menggunakan aluminium akan memakan biaya yang jauh lebih besar dan proses produksi yang lebih mahal. *PU-foam* merupakan solusi terbaik untuk mengatasi masalah ini karena material *PU-foam* selain dapat menekan biaya produksi, juga memiliki batas tegangan normal dan tegangan geser yang berada di antara material *honeycomb* biasa dan material inti berupa aluminium berstruktur *honeycomb*.

2.4 Modus Kegagalan pada Komposit *Sandwich*

Modus kegagalan komposit adalah faktor penyebab kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich*. Modus ini terbagi menjadi dua, yaitu kegagalan karena faktor kulit dan kegagalan karena bagian inti [5].

Uji tarik dalam pengujian mewakili kekuatan mekanik yang sesungguhnya untuk komposit *sandwich*. Kekuatan tarik dari komposit jenis ini biasanya lebih besar dari kuat tekannya. Dalam uji tarik, kekuatan komposit disokong oleh fiber – fiber yang terdistribusi di dalam komposit sehingga distribusi gaya terjadi secara merata di sepanjang permukaan material.

Akan tetapi lain halnya dengan uji tekan, pada pengujian ini komposit *sandwich* cenderung mengalami kegagalan yang lebih signifikan. Kegagalan yang terjadi seperti lepasnya kulit dari bagian intinya (*facesheet debonding*) dan rusaknya bagian inti karena tegangan geser.

Kegagalan yang sering terjadi lebih dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Saat menerima gaya, bagian inti mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami sering kali melebihi tegangan normal yang mampu ditahan oleh bagian inti sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit.

2.5 Metode Vacuum Assisted Resin Infusion

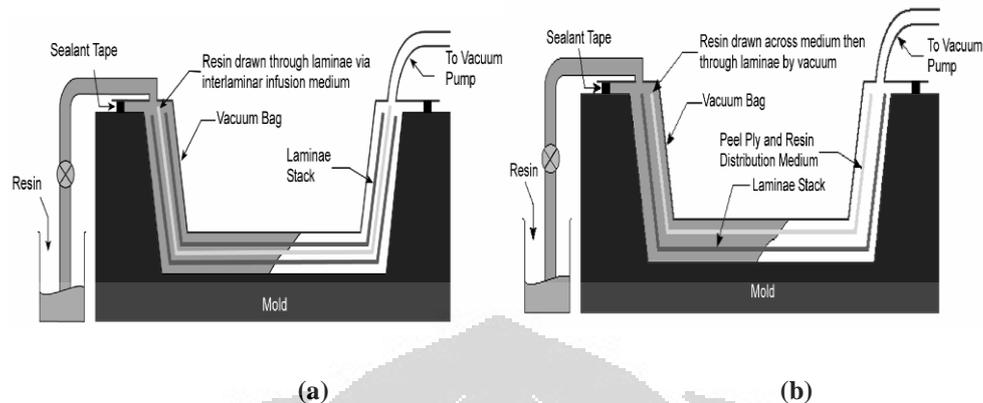
Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Material yang menjadi matriks diletakkan di sebuah cetakan, kemudian dilakukan proses vakum untuk menarik aliran resin ke dalam matriks. Setelah lembaran–lembaran antara resin dan matriks terbentuk, maka tabung vakum akan menghisap sisa–sisa resin yang masih tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk mempunyai ketebalan yang sama.

Metode VARI menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber-resin yang tinggi dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan oleh tekanan vakum yang konstan. Penggunaan tekanan vakum konstan ini yang mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber – resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang lebih kuat dan ringan.

Beberapa langkah dasar dalam proses VARI adalah sebagai berikut :

1. Fiber yang berfungsi sebagai *filler* diletakkan dalam suatu cetakan yang dilapisi *vacuum bag*.
2. Resin cair yang berfungsi sebagai matriks dituangkan dalam suatu wadah yang terhubung dengan cetakan dan mesin vakum.
3. Tekanan udara yang ada di dalam cetakan diturunkan oleh mesin vakum.
4. Resin dialirkan pada saat tekanan rendah.
5. Proses *curing* dilakukan setelah resin membentuk lamina.

Metode VARI dibagi dua jenis, yaitu metode *Surface Infusion* dan metode *Interlaminar Infusion* [6]. Pada metode *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina, dengan kerugian terbesar terdapat pada biaya yang disebabkan persiapan pengoperasian mesin, dan kompleksitas yang meningkat jika metode ini diaplikasikan untuk skala besar (Gambar 2.8a). sedangkan pada metode *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina. Metode *interlaminar infusion* memiliki banyak keuntungan jika diaplikasikan dalam skala besar. Resin dialirkan di antara lamina sehingga ketebalan resin terjaga pada ruang antar lamina (Gambar 2.8b). Selain itu, proses pengaliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sudah dijaga ketebalannya. Proses yang lebih terjaga ini juga menyebabkan material sisa yang terbuang semakin berkurang.



Gambar 2.8. Diagram VARI Surface Infusion (a) dan Diagram VARI Interlaminar Infusion [6].

Pada intinya metode VARI untuk komposit *sandwich* memiliki prosedur yang sama dengan metode VARI untuk komposit lamina karena keduanya merupakan jenis komposit struktural yang berlapis – lapis, hanya saja untuk komposit *sandwich* memiliki lapisan tengah yang disebut dengan inti.

2.6 Kapal Bersayap

Kapal bersayap merupakan gabungan dari alat transportasi air dan udara. Bentuknya mirip dengan pesawat yang memiliki sayap akan tetapi bagian badannya cenderung lebih besar dan memiliki bentuk lambung kapal pada bagian bawahnya. Secara umum kapal bersayap lebih dikenal dengan nama *ekranoplan*. Gambar 2.9 memperlihatkan salah satu contoh bentuk kapal bersayap yang digunakan untuk kepentingan komersial.

Secara fungsional kendaraan jenis ini memiliki kemampuan yang mirip dengan pesawat terbang, akan tetapi ketinggian jelajahnya hanya berkisar antara tiga sampai tujuh kaki (satu sampai dua meter) di atas permukaan laut.

Kapal bersayap dirancang agar dapat menjadi kendaraan perintis antar pulau. Bentuk sayapnya cenderung lebih melebar dan lebih banyak sayap yang difungsikan sebagai media penangkap udara. Disinilah perbedaan konsep dengan pesawat terbang terlihat. Pesawat terbang dapat mengudara dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah sayap akan tetapi struktur sayapnya

dirancang untuk membelah udara dengan cepat sehingga ketinggian jelajah yang dicapai cukup tinggi. Beda halnya dengan kapal bersayap, alat transportasi ini juga memanfaatkan hal yang mirip dengan pesawat terbang, akan tetapi udara yang mengalir di bawah sayap justru ditahan. Efek dari kejadian ini menyebabkan terangkat dari permukaan dan melayang beberapa meter.



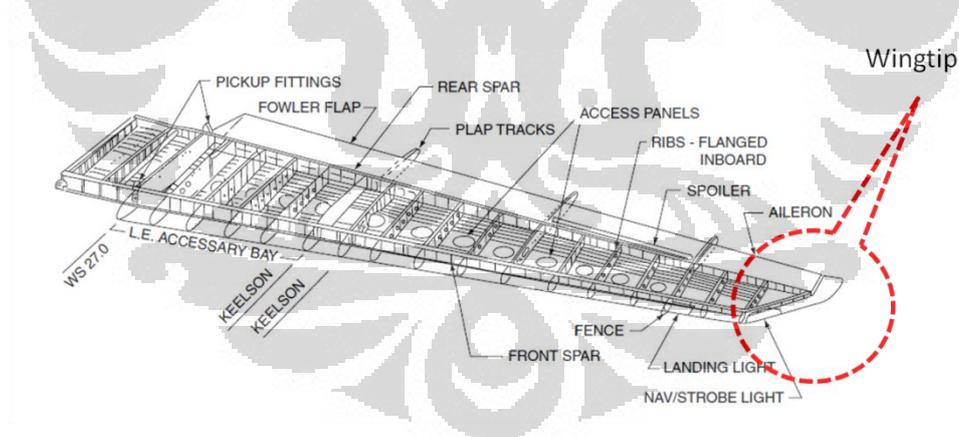
Gambar 2.9. Contoh kapal bersayap dalam penggunaan komersial [7].

Udara yang tertangkap dijadikan media bantuan untuk menggerakkan pesawat. Sesuai dengan hukum aksi – reaksi, tekanan udara di bawah sayap akan menekan sayap sehingga kapal ini bergerak melaju ke depan [7].

Sayap pada alat transportasi tersebut dirancang untuk membentuk bantalan udara yang seolah-olah seperti penyokong kapal bersayap agar tetap melayang dan melaju di udara. Konsep seperti ini merupakan pengembangan dari kendaraan amfibi *hovercraft* yang memanfaatkan bantalan udara di bawah badan kapal sehingga kapal terangkat sedikit dari permukaan tanah [7].

Rancang bangun terpenting pada alat transportasi ini terletak pada sayapnya. Sayap harus dapat menghasilkan bantalan udara yang cukup untuk mengangkat kapal bersayap dari permukaan. Salah satu bagian yang penting dalam menghasilkan bantalan udara adalah *wingtip*. *Wingtip* merupakan bagian ujung-ujung sayap yang digunakan untuk membelah udara dan menghasilkan perbedaan tekanan yang cukup besar. Material sayap dan *wingtip* harus bersifat ringan dan kuat, akan tetapi juga harus tahan karat mengingat *ekranoplan* beroperasi di daerah laut dengan kadar garam dan cuaca yang cukup ekstrim. Gambar 2.10 menampilkan struktur sayap dan *wingtip* secara umum.

Beberapa penelitian dirancang untuk menganalisa material yang cocok bagi kapal bersayap. Cara lama menggunakan logam ringan aluminium kemudian melapisinya dengan cat anti karat ternyata tidak dapat mengurangi faktor kerusakan fatal karena pemakaian pada lingkungan dengan kondisi ekstrim. Oleh karena itulah material komposit mulai dikembangkan untuk menggantikan cara lama dalam membuat kapal bersayap.



Gambar 2.10. Struktur sayap secara umum [7].

Material komposit dapat menggantikan material – material lama karena sifatnya yang ringan dan dapat dikombinasikan dengan material lain sesuai dengan kebutuhan. Dari segi sifat mekanik, material komposit dapat dirancang memiliki sifat yang mendekati material logam sehingga dapat menjadi alternatif bahan pengganti dalam pembuatan kapal bersayap.

BAB 3

METODE EKSPERIMEN

Dalam penelitian ini, dengan jangka waktu 18 bulan yang dimulai dari bulan Juni 2009 sampai Desember 2010, pemilihan material dilakukan oleh Pusat Teknologi Material (PTM) Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi (BPPT). Setelah menganalisa data dan standarisasi, maka dipilihlah *woven roving* dan *lamina E – glass* serta *Polyurethane – foam* untuk dilakukan pembuatan material sepsimen.

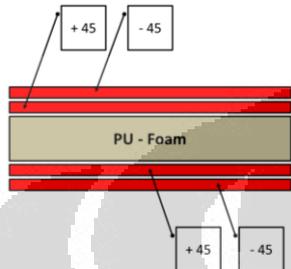
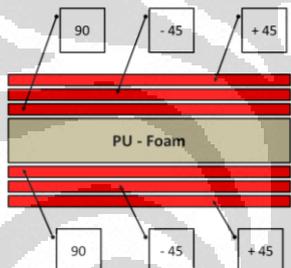
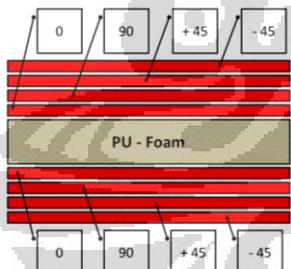
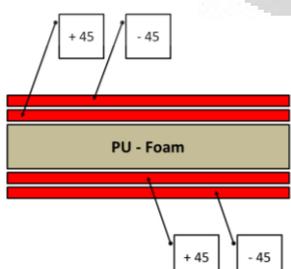
Setelah memilih bahan material, dilakukan pembuatan material dengan metode VARI. Proses pembuatan menghasilkan empat spesimen panel yang kemudian dipotong untuk proses pengujian selanjutnya. Dari empat spesimen panel ini dibagi masing-masing lima potong spesimen untuk pengujian mekanik.

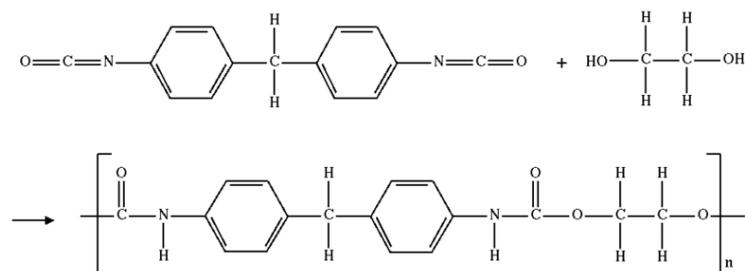
Setelah dilakukan uji mekanik, spesimen dikondisikan untuk pencitraan kerusakan spesimen akibat uji mekanik dilihat secara mikroskopis dengan Scanning Electron Microscope (SEM).

3.1 Pemilihan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi yang sesuai dengan data yang diberikan oleh pihak BPPT. Tabel 3.1 merupakan spesifikasi rancang bangun dan ukuran yang digunakan dalam pembuatan spesimen. Sedangkan untuk material inti digunakan *polyurethane – foam* dalam bentuk lembaran. Struktur kimia ditunjukkan oleh Gambar 3.2a dan bentuk fisiknya ditunjukkan oleh Gambar 3.2b.

Tabel 3.1 Spesifikasi material uji[8].

Nama Spesimen	Rancang bangun material	Ketebalan (mm)	Tebal inti (mm)	Tebal Kulit (mm)
Panel I	<p>Bidirectional fiber</p> 	13,91	10,53	1,69
Panel II	<p>Unidirectional fiber</p> 	14,71	10,53	1,99
Panel III	<p>Unidirectional fiber</p> 	15,45	10,53	2,46
Panel IV	<p>Unidirectional fiber</p> 	14,23	10,53	1,77



a



b

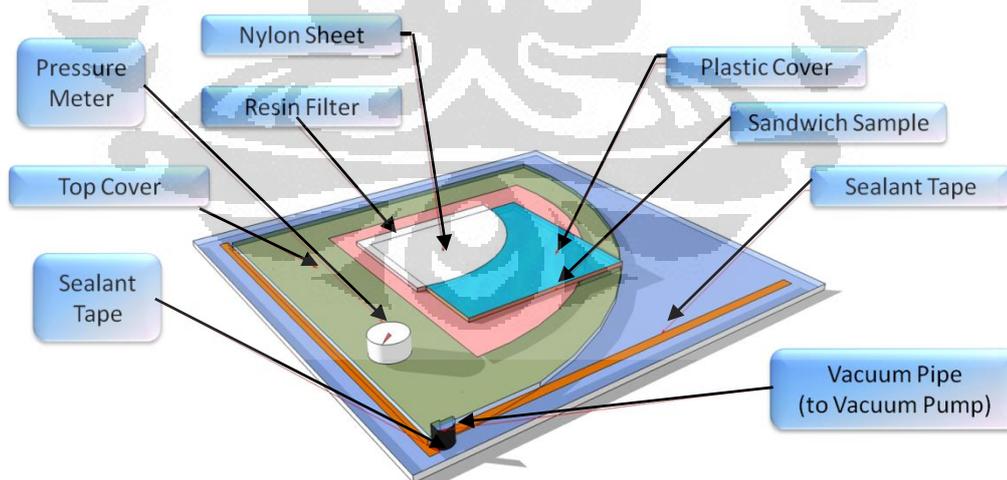
Gambar 3.2 (a) Struktur kimia Corecell[9] dan (b) Tampilan fisik Corecell [10]

3.2 Pembuatan Spesimen

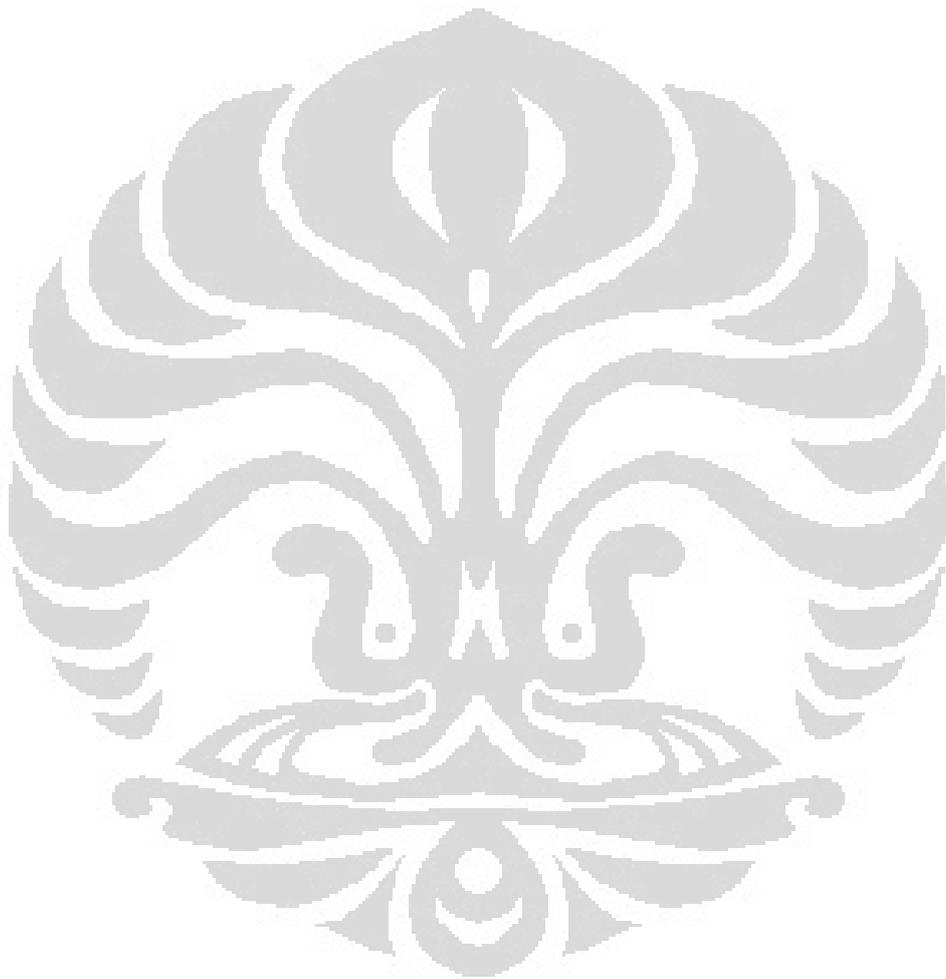
Pembuatan sample dilakukan di PT. Carita Boat Indonesia (Alam Sutera, Serpong) Metode yang digunakan adalah metode Vacuum Assisted Resin Infussion (VARI), *Interlaminar Infussion*. Diagram alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3 yang merupakan hasil reka ulang dari pengamatan di lokasi pembuatan.

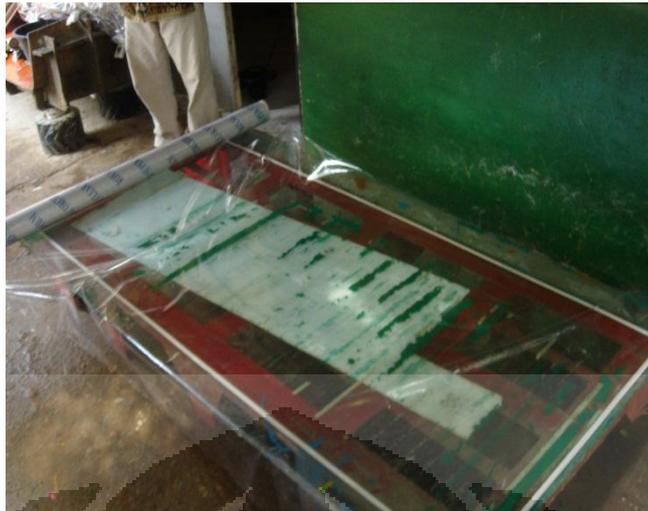
Langkah-langkah pembuatan material komposit *sandwich* dengan menggunakan metode VARI adalah sebagai berikut. Mempersiapkan cetakan yang datar dan halus, dan mengoleskannya dengan wax mirror glaze, kemudian daerah sisi cetakan ditempelkan dengan *sealant tape* (penyekat udara) khusus,

yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Menggabungkann resin epoxy yang sudah dicampur dengan hardener dengan perbandingan 100 : 60 agar resin cepat mengering ketika berada dalam vakum. Lalu permukaan cetakan dilabur dengan resin epoxy dengan teknik *hand lay up* (*wet laminated*) seperti pada Gambar 3.5. Tutup dengan lapisan serat *bi – directional fiber* (+ 45°) lalu kembali diberikan lapisan resin epoxy. Ditutupi lagi dengan serat ke dua kemudian resin epoxy dan seterusnya dan bagian tengah diisi dengan lembaran *PU - foam* dengan susunan : + 45°, - 45°, 90°, *PU – foam*, - 90°, - 45°, + 45°, (Panel II), yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Setelah semua lapisan selesai, maka permukaan ditutupi dengan kain nilon, lalu ditutupi kaos atau blacu, dibungkus dengan ”*plastic bagging*” dan direkatkan dengan *sealant tape* pada pinggiran mold. Melakukan proses vakum dengan kapasitas pompa vakum ¼ HP (*air dissipation* 1,5 CFM, tekanan 5 Pa). Proses vakum dilakukan selama 8 jam, dengan tekanan 1 bar, dan suhu ruang. Proses yang sama dilakuan untuk untuk tiga buah panel lainnya tetapi dengan susunan serat yang berbeda, seperti pada Gambar 3.7. Hasil material komposit adalah empat buah panel komposit *sandwich*. Keempat panel komposit *sandwich* ini akan dipotong untuk dijadikan spesimen uji tarik dan uji tekan dengan ukuran yang sesuai dengan standard masing–masing ASTM C 297 dan ASTM C 393.



Gambar 3.3 Diagram alat untuk metode VARI *Interlaminar Infusion*.

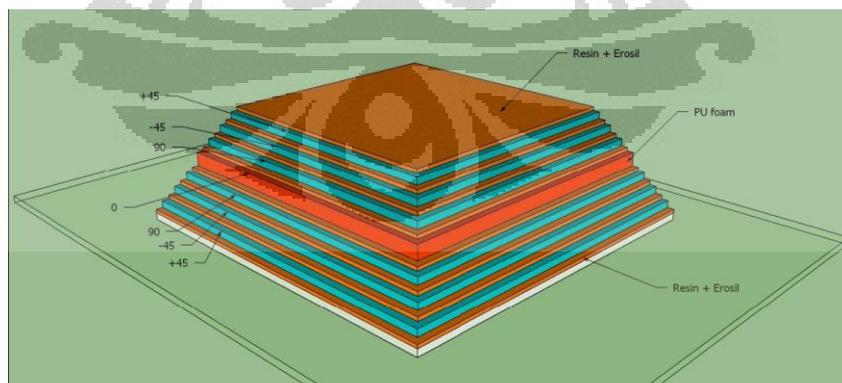




Gambar 3.4 Alat untuk metode VARI *Interlaminar Infussion*



Gambar 3.5 Pengolesan resin epoxy



Gambar 3.6 Susunan serat fiber asimetris



Gambar 3.7 Persiapan untuk proses vakum.

3.3 Pengujian Spesimen

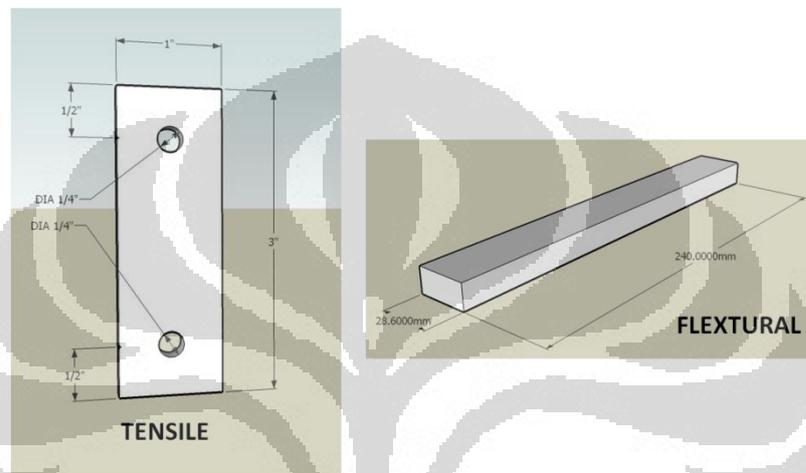
Sebelum pengujian, spesimen dikondisikan pada suhu ruang dan tekanan atmosfer, yaitu pada suhu $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 5^{\circ}\text{F}$) dan tingkat kelembaban relatif pada $50 \pm 5\%$. Uji tarik dan uji tekan dilakukan di laboratorium uji mekanik STP PUSPITEK – Serpong, dengan alat yang sama yaitu Shimadzu AGS – 10. Gambar 3.8 menunjukkan ukuran spesimen yang akan diujikan.

Spesimen untuk uji tarik ternyata perlu disesuaikan dengan alat pengujian oleh karena itu ukuran spesimen perlu disesuaikan dengan kondisi di laboratorium, akan tetapi prosedur pengujiannya tetap mengacu pada ASTM C 297.

Untuk uji tarik dan uji tekan gaya yang diberikan berupa *constant load* selama 3 sampai 6 menit (atau sampai fraktur terjadi) dengan pergeseran *cross – head* sebanyak 0,5 mm/menit. Gambar 3.9 menunjukkan proses pengujian untuk spesimen uji tarik dan uji tekan.

Pengujian kualitatif dilakukan dengan melakukan pencitraan SEM untuk menganalisa struktur permukaan dari hasil pengujian mekanik. Spesimen yang digunakan dalam pencitraan SEM diambil dari hasil uji tarik dan uji tekan yang sebelumnya telah dipotong menggunakan *diamond cutter* dengan ukuran

permukaan $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Setelah pemotongan, spesimen ini diberikan pelapis berupa *coating* PtAu di Laboratorium Material Departemen Fisika UI Salemba kemudian spesimen dibawa ke Laboratorium Uji Material FTUI untuk selanjutnya menjalani proses pencitraan SEM. Pencitraan SEM yang dilakukan menghasilkan gambaran struktur setelah uji mekanik dengan perbesaran $50\times$, $100\times$, dan $500\times$.



Gambar 3.8. Ukuran spesimen uji.



Gambar 3.9. Proses pengujian spesimen.

3.4 Metode Analisa Pengujian Mekanik

Uji mekanik yang akan dianalisa merupakan analisa gabungan dari data uji tarik dan tekan mengingat komposit yang diujikan berupa *sandwich* dan cenderung mengalami tegangan geser pada bagian intinya sehingga analisa data mekanik secara individual tidaklah merepresentasikan apa yang terjadi selama pengujian secara mendalam. Penggabungan analisa uji tarik dan tekan dapat menjelaskan bagaimana kerusakan pada material terjadi.

Material yang dibuat dengan metode VARI ini memiliki bentuk yang sama dengan material lain yang dibuat dengan metode selain VARI, akan tetapi metode VARI diharapkan dapat menghasilkan material yang lebih mampat, padat, dan lebih kuat dari metode lainnya. Maka dari itu analisa lebih mengarah pada ikatan antar bagian inti dengan kulitnya.

Saat pengujian mekanik material akan mengalami tegangan pada bagian permukaan dan bagian intinya. Uji tarik menunjukkan nilai kuat tarik yang cukup besar daripada nilai dari uji tekan. Hal ini menandakan dari uji tekan, tiap-tiap bagian dari komposit ini mengalami tegangan lokal yang besar [5]. Tegangan lokal pada uji tekan terutama dialami oleh bagian inti. Bagian inti memiliki batas tegangan normal yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{FL}{C_1 b d^2} \left(\frac{E_c}{E_f} \right) \frac{t_c}{t_f} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan σ adalah tegangan normal yang dialami bagian inti, F menyatakan beban maksimum, L adalah jarak antar tumpuan pada uji tekan, C_1 menyatakan konstanta untuk uji tekan yang bernilai 4 [5], b menyatakan lebar spesimen uji dan

d menyatakan jarak antar titik pusat bagian kulit. $\left(\frac{E_c}{E_f} \right)$ menyatakan rasio

modulus elastisitas bagian inti dengan bagian kulit dan $\frac{t_c}{t_f}$ menyatakan rasio

ketebalan antar inti dengan kulitnya[5].

Pemberian gaya menyebabkan terjadinya tegangan geser pada bagian inti yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F}{C_2 b t_c} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan τ merupakan tegangan geser yang dialami bagian inti C_2 merupakan konstanta dengan nilai 2[5].

Maka momen bending yang terjadi dari tegangan geser ini dirumuskan sebagai berikut :

$$M = \frac{FL}{C_1} \dots\dots\dots(3.3)$$

dan besarnya gaya yang dialami dirumuskan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{F}{C_2} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan F_s merupakan besar gaya geser yang dialami material inti[5].

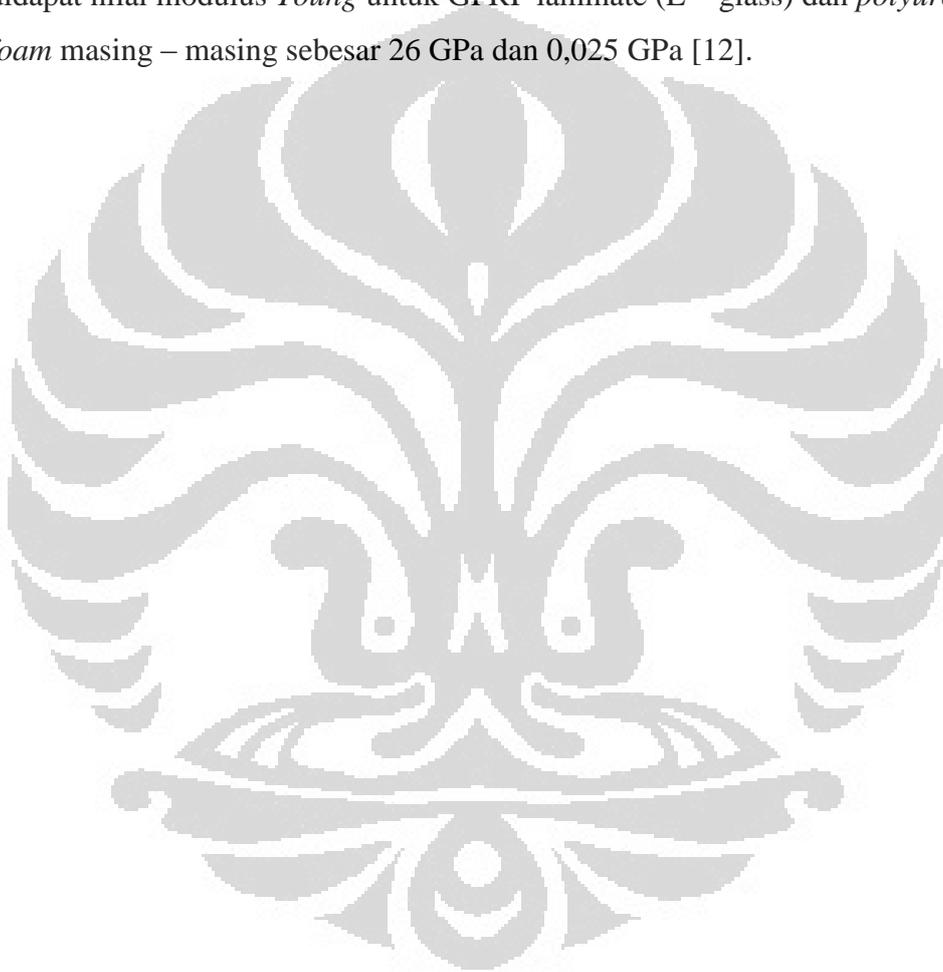
Persamaan 3.1 – 3.4 menyatakan bahwa kegagalan material mungkin saja terjadi ketika bagian inti telah mengalami titik tegangan jenuh, yaitu ketika bagian inti mengalami batas maksimum dari tegangan geser yang dapat ditahannya.

Dari perhitungan yang telah dipaparkan sebelumnya dinyatakan bahwa kegagalan terjadi ketika bagian inti mengalami titik jenuh dari tegangan geser yang diterimanya. Akan tetapi belum tentu arah perambatan kerusakan bermula dari bagian inti. Untuk membedakan bagian yang mengalami kerusakan terlebih dahulu maka kita akan meninjau persamaan berikut [5] :

$$\frac{L}{t_f} = C \frac{\sigma_f}{\sigma_{cs}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan C adalah konstanta yang bernilai 1, σ_f merupakan kuat tarik atau kuat tekan bagian kulit, dan σ_{cs} merupakan kuat geser bagian inti[5]. Persamaan 3.5

memaparkan kondisi ideal ketika kegagalan disebabkan oleh kedua bagian, yaitu inti dan kulitnya. Akan tetapi, jika sisi kiri dari Persamaan 3.5 menunjukkan hasil yang lebih kecil dari sisi kanan maka kegagalan terjadi karena tegangan geser pada bagian inti, dan berlaku sebaliknya jika sisi kanan lebih kecil maka kegagalan terjadi karena tekanan pada bagian kulit. Dari persamaan – persamaan di atas diperlukan acuan data yang mengarah pada modulus *Young* bahan yang digunakan. Dari referensi mengenai nilai modulus *Young* berbagai jenis bahan didapat nilai modulus *Young* untuk GFRP laminate (E – glass) dan *polyurethane – foam* masing – masing sebesar 26 GPa dan 0,025 GPa [12].



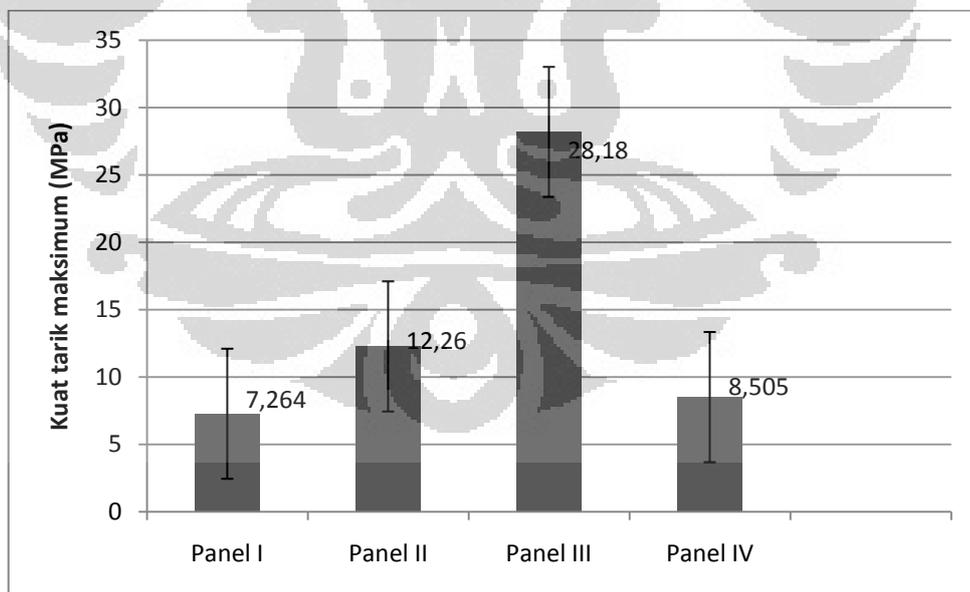
BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Pengujian material terdiri dari pengujian mekanik yang terbagai menjadi dua jenis pengujian, yaitu uji tarik dan uji tekan. Kerusakan dari pengujian mekanik ini kemudian dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat struktur komposit saat sebelum dan sesudah pengujian.

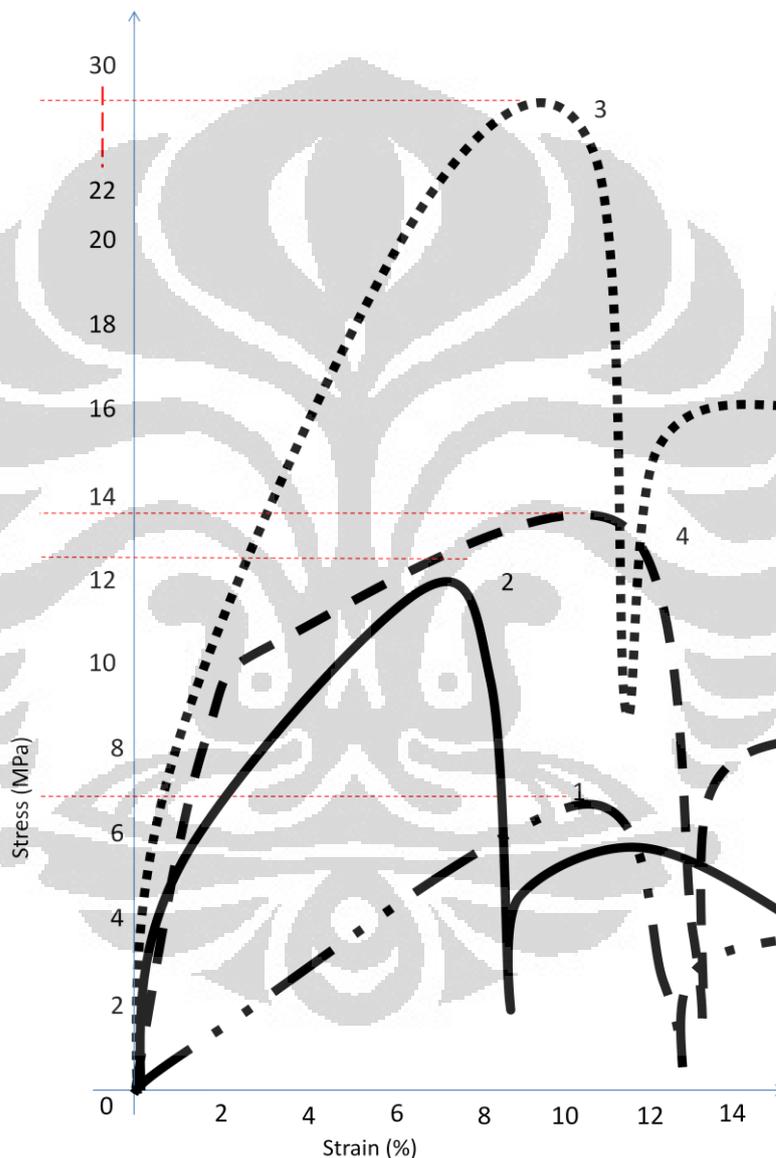
4.1 Analisa Hasil Pengujian Mekanik

Dari hasil uji tarik didapat kuat tarik maksimum dengan nilai tertinggi pada panel III yaitu sebesar 28,18 MPa dan nilai terendah untuk panel I sebesar 7,264 MPa. Panel II dan IV berada pada nilai tengah antara panel I dan III masing – masing sebesar 12,26 MPa dan 8,505 MPa. Gambar 4.1 menunjukkan diagram kuat tarik maksimum untuk tiap spesimen.



Gambar 4.1 Grafik kuat tarik maksimum tiap spesimen.

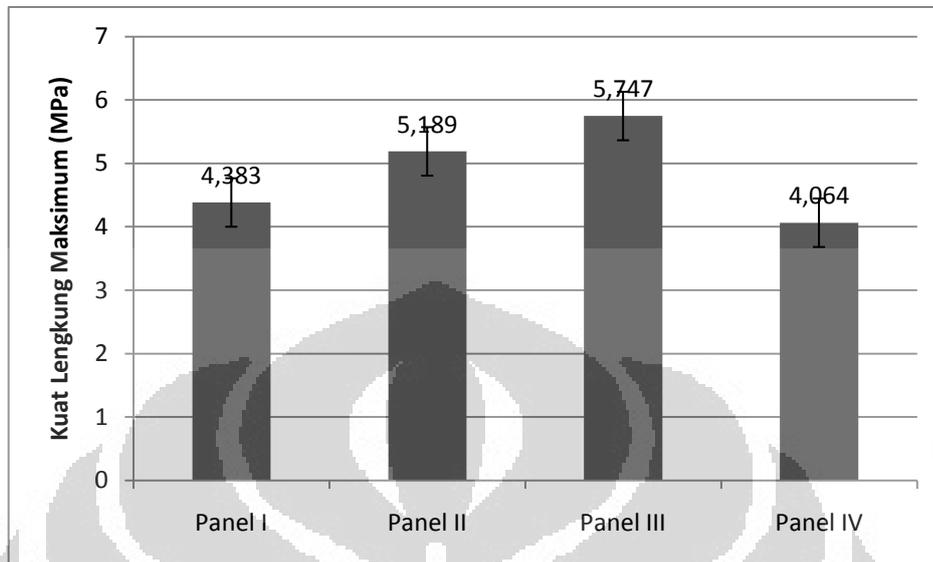
Dikarenakan spesimen memiliki struktur *sandwich*, maka terdapat dua titik patah pada tiap spesimen seperti hasil plot data yang ditunjukkan oleh gambar 4.2 dimana setelah titik patah pertama, grafik mengalami kenaikan kembali akan tetapi tidak sebesar kenaikan pertama. Hal ini menandakan salah satu sisi kulit mengalami kegagalan kemudian setelah beberapa saat diikuti oleh sisi lainnya yang diikuti dengan kerusakan total.



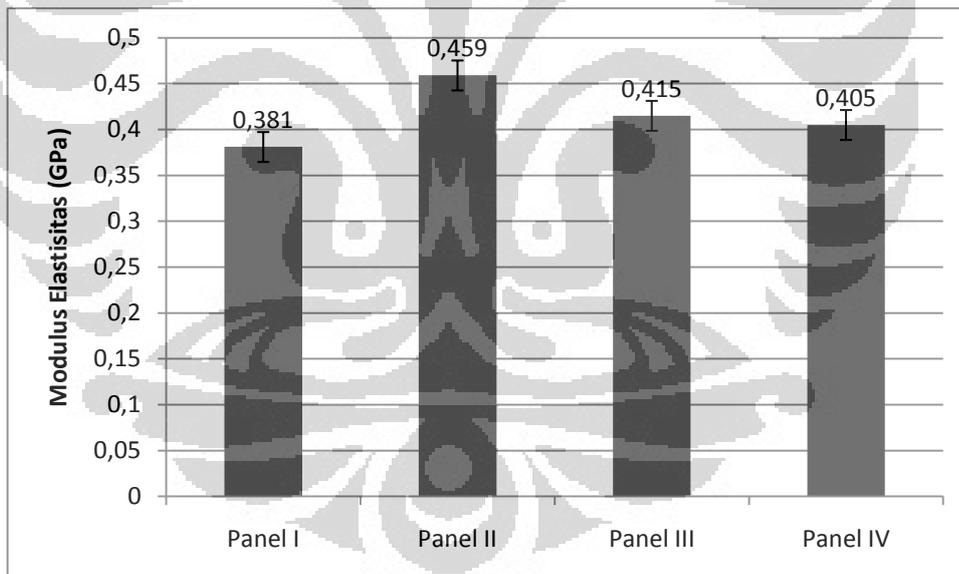
Gambar 4.2. Grafik perbandingan tegangan – regangan uji tarik tiap spesimen.

Untuk uji tekan, kuat tekan maksimum dengan nilai tertinggi berada pada panel III yaitu 5,747 MPa, nilai terendah pada panel IV sebesar 4,064 MPa. Panel II pada 5,189 MPa dan panel I pada 4,383 MPa. Ditunjukkan oleh gambar 4.3.

Sedangkan modulus elastisitas yang didapat dari hasil uji tekan ditunjukkan oleh gambar 4.4.



Gambar 4.3. Grafik kuat tekan maksimum tiap spesimen



Gambar 4.4. Grafik modulus elastisitas tiap spesimen

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Barboutis dan Vassiliou pada tahun 2005 dan Lee Choi dkk pada tahun 2003 ternyata untuk ketebalan material inti yang sama, *PU-foam* mampu memberikan kuat lengkung material yang lebih baik. Panel *sandwich* yang digunakan oleh kedua tim peneliti ini memiliki spesifikasi ketebalan kulit 8 mm dan ketebalan inti 36 mm. Barboutis

dan Vassiliou menggunakan material inti berupa *paper honeycomb* dan Lee Choi menggunakan inti berupa *PU-foam*. Didapatkan bahwa kuat lengkung material yang diteliti oleh Barboutis dan Vassiliou memiliki kuat lengkung terpaut +/- 1 MPa lebih rendah dari penelitian yang dilakukan oleh Lee Choi dengan kuat lengkung rata-rata berkisar pada 4 MPa[11]. Hal yang sama juga dibuktikan oleh Levente Denes pada tahun 2008, masih menggunakan ketebalan inti yang sama diperoleh nilai kuat lengkung sebesar 4,57 MPa[11].

Dibandingkan dengan tiga penelitian sebelumnya, pengujian material yang dilakukan kali ini, hasil terbaik diperoleh dari panel III yaitu dengan ketebalan material inti yang lebih kecil dan material kulit yang lebih tipis masing-masing 10,53 mm dan 2,46 mm ternyata didapatkan kuat lengkung yang melampaui tiga penelitian sebelumnya yaitu dengan nilai kuat lengkung rata-rata pada 5,747 MPa.

Hal ini membuktikan bahwa material inti berupa *PU-foam* mampu meningkatkan kekuatan mekanik pada material komposit sandwich. Dari hasil karakteristik mekanik ini juga menandakan bahwa metode *VARI* pada proses fabrikasi telah mencapai keberhasilan dengan hasil berupa produk komposit *sandwich* yang lebih baik dari sebelumnya.

Dari data – data yang diperoleh setelah pengujian mekanik maka dapat dilakukan analisa mengenai apa yang terjadi pada material selama pengujian. Sesuai dengan Persamaan 3.1 – 3.5 didapat hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa kegagalan material mungkin saja terjadi ketika bagian inti telah mengalami titik tegangan jenuh, yaitu ketika bagian inti mengalami batas maksimum dari tegangan geser yang dapat ditahannya. Hal ini diperkuat dengan hasil perhitungan rasio kegagalan. Dari Persamaan 3.5 jika sisi kiri menunjukkan hasil yang lebih rendah dari sisi kanan maka faktor kegagalan disebabkan karena saturasi dari bagian inti. Akan tetapi lapisan inti memberikan kontribusi dalam kekuatan mekanik untuk kuat lengkung pada lapisan kulit, menjadikan lapisan kulit lebih elastis dan tidak mengalami kerusakan permanen permanen total.

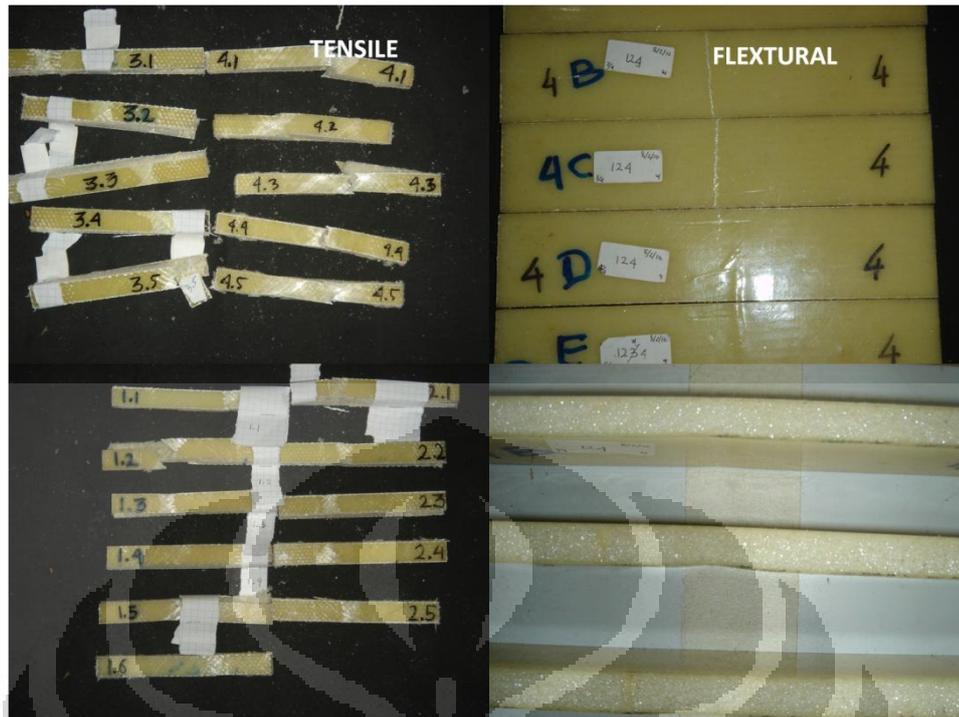
Tabel 4.1. Hasil perhitungan uji mekanik

Index Panel	Tegangan Normal ($\times 10^{-4}$ N/mm ²)	Tegangan Geser ($\times 10^{-4}$ N/mm ²)	Momen Bending (N/mm ²)	Gaya Geser (N)	Rasio Kegagalan inti	Rasio Kegagalan Kulit
1	76,00	1406,22	7125,00	75,00	112,43	2101,50
2	85,90	1871,49	9576,00	100,80	95,48	1512,34
3	84,85	2285,15	11461,75	120,65	77,24	991,17
4	70,76	1371,14	7006,25	73,75	107,35	1915,83

Dari hasil perhitungan rasio kegagalan kulit dapat diinterpretasikan bahwa lapisan kulit menyerap hampir semua gaya yang diberikan, sehingga menjaga lapisan kulit untuk kembali ke keadaan semula walaupun meninggalkan bekas tekanan berupa keretakan. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5. Jejak keretakan setelah pengujian.

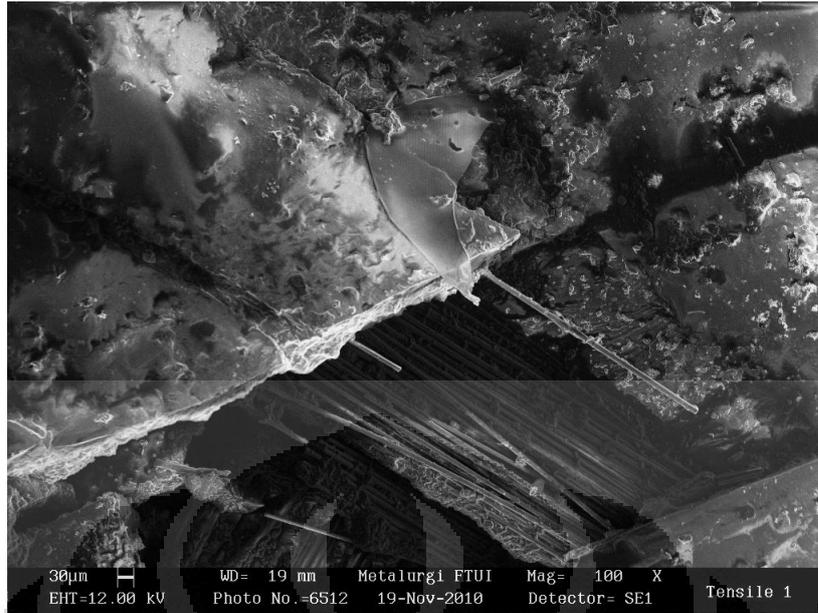


Gambar 4.6. Bentuk spesimen setelah pengujian.

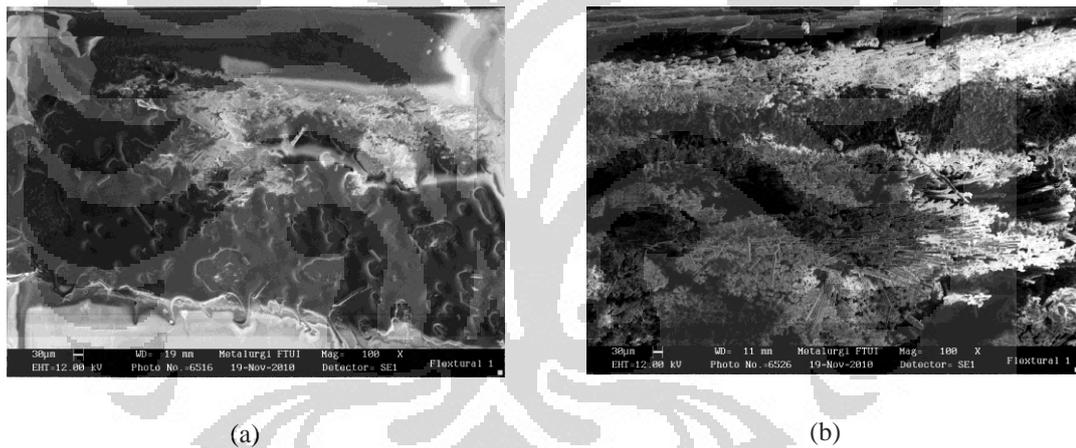
4.2 Analisa Hasil Pencitraan SEM

Setelah dilakukan uji mekanik kemudian bagian patahan material kemudian dianalisa menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengamatan dengan SEM dilakukan untuk memperlihatkan kerusakan pada material. SEM juga digunakan untuk membantu analisa dari hasil uji mekanik, sehingga data – data dari hasil uji mekanik dapat diperkuat dari hasil pencitraan SEM dan didapat alasan serta penyebab kerusakan.

Gambar 4.7 memperlihatkan pencitraan SEM dari uji tarik dan gambar 4.8 memperlihatkan pencitraan SEM dari uji tekan. Masing – masing pencitraan memperlihatkan kondisi material setelah mengalami pengujian terutama pada bagian patahan dari uji tarik yang mengalami kerusakan dengan tingkat yang cukup besar. Sedangkan bagian patahan dari uji tekan memperlihatkan kondisi kulit yang mengalami keretakan sehingga dapat diperkirakan daerah rambatan kerusakan yang menyebabkan material mengalami kegagalan.



Gambar 4.7 Pencitraan SEM untuk material uji tarik.



(a)

(b)

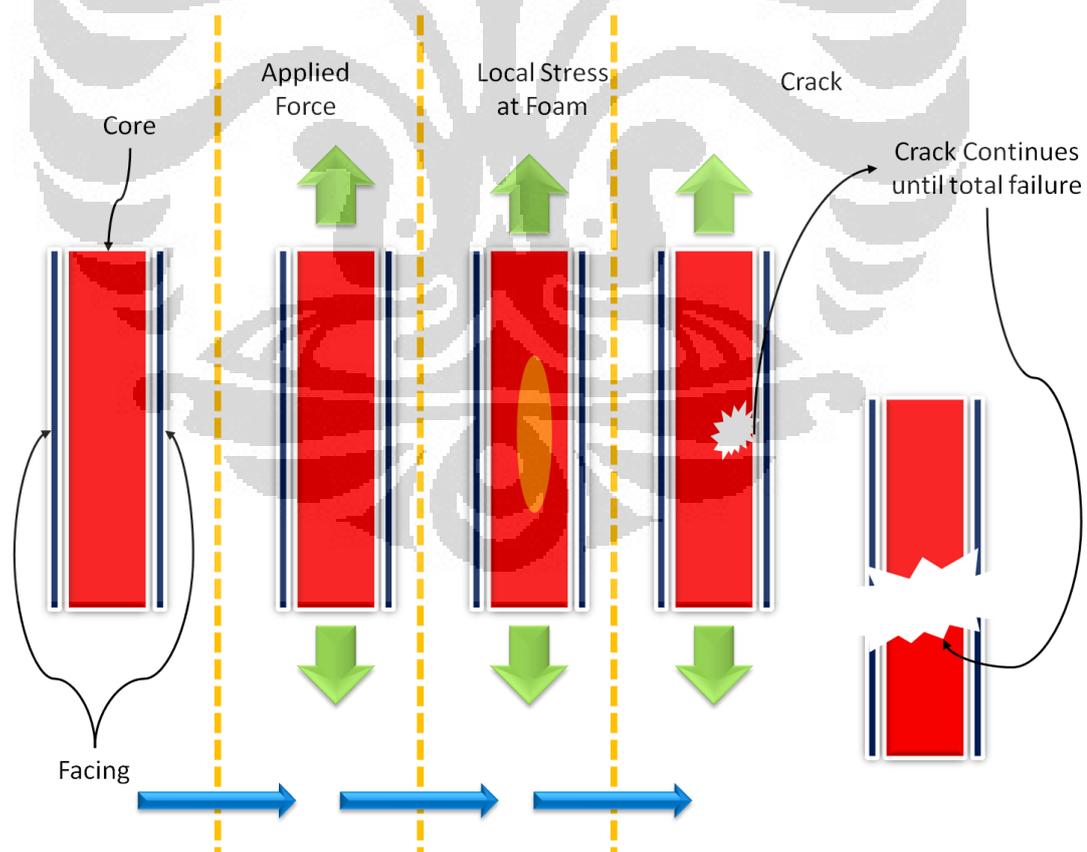
Gambar 4.8 Pencitraan SEM untuk material uji tekan, (a) sisi permukaan, (b) sisi samping.

Walaupun dari perhitungan ini menyatakan bahwa kegagalan berasal dari kegagalan inti, material inti yang digunakan ternyata memiliki nilai kekuatan geser diatas dari nilai tegangan geser untuk bagian inti yang berstruktur *honeycomb* [5].

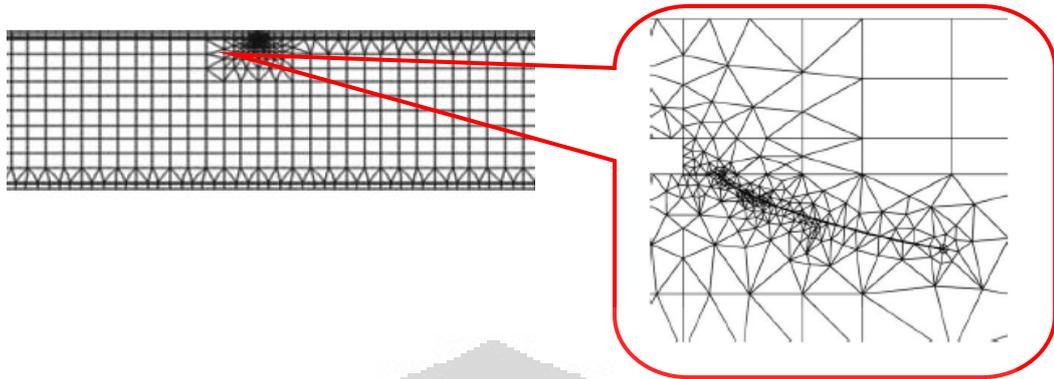
Analisa kualitatif dari pencitraan SEM menyatakan bahwa arah perambatan kerusakan bermula dari bagian inti dan meyebar ke permukaan sehingga material mengalami kegagalan total. Hal ini diperkuat dengan gambar hasil uji tarik. Gambar 4.9 merupakan interpretasi dari hasil SEM uji tarik berupa

gambaran umum tahapan bagaimana kerusakan terjadi. Sedangkan pola perambatan arah rambat kerusakan pada material komposit *sanwich* diperlihatkan oleh Gambar 4.10.

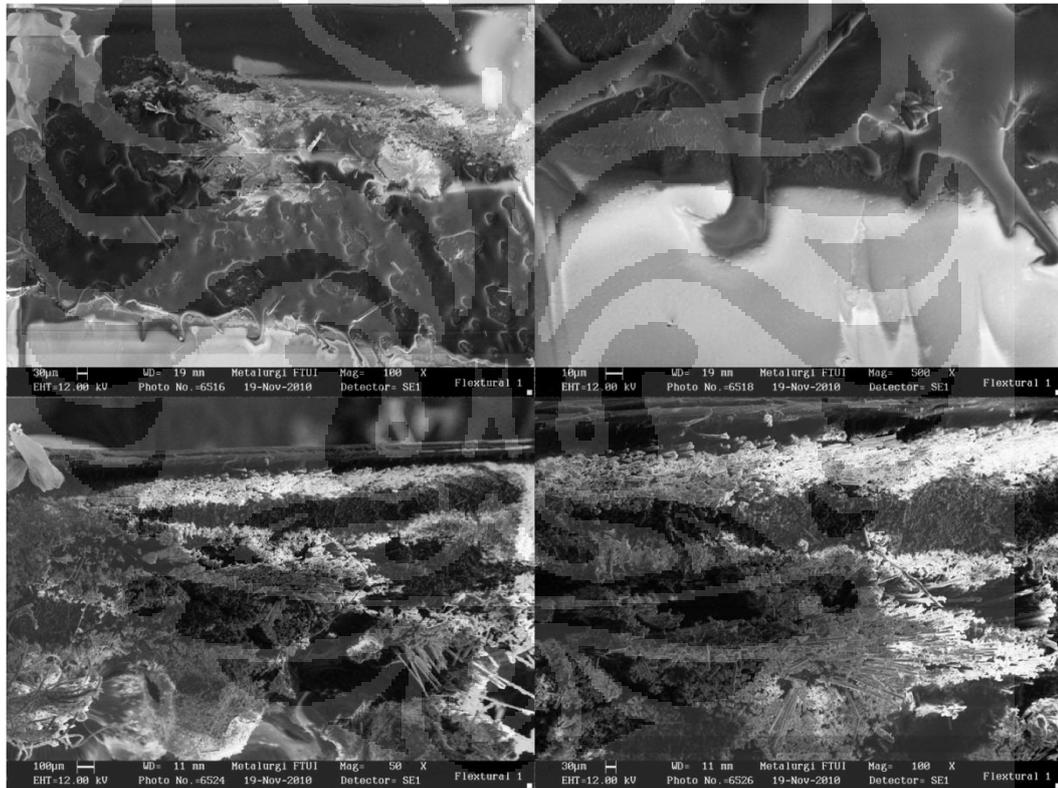
Pencitraan SEM juga menggambarkan apa yang terjadi pada uji tekan, seperti lepasnya kulit dari bagian inti dan tegangan yang dialami oleh kulit komposit ini. Gambar 4.11 memperlihatkan jejak yang tertinggal setelah uji tekan. Jejak inilah yang menyatakan tegangan pada material. tegangan pada material menyebabkan material mengalami tegangan geser sehingga kulit lepas dari bagian inti. Walaupun hanya sebagian saja yang terlepas dari bagian inti yaitu pada kedua ujung material uji, akan tetapi dari hasil SEM memperlihatkan bentuk kerusakan yang cukup signifikan.



Gambar 4.9 Tahapan terjadinya kerusakan pada uji tarik.



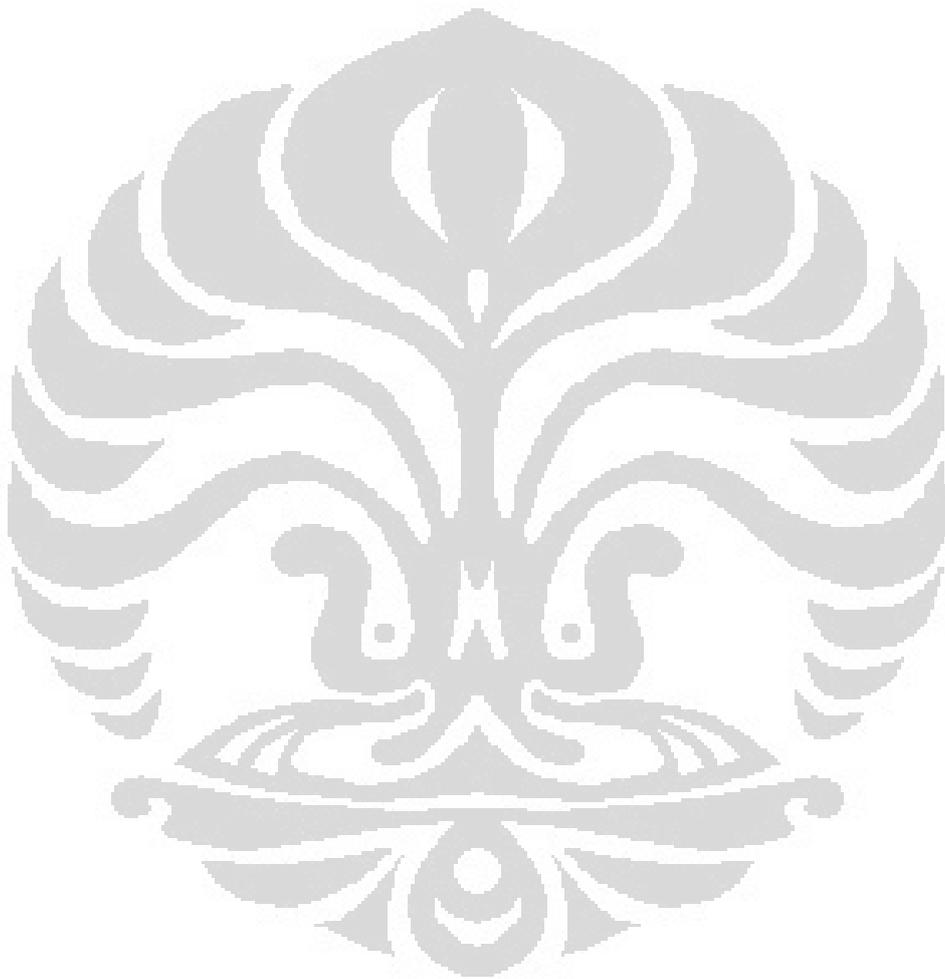
Gambar 4.10 Pola perambatan kerusakan material.



Gambar 4.11 Hasil SEM uji tekan.

Dari semua hasil analisa ini memang ditemukan beberapa kegagalan material untuk diaplikasikan pada material kapal bersayap, akan tetapi hal tersebut dapat ditoleransi mengingat bahwa material komposit *sandwich* dari penelitian ini digunakan sebagai material komponen *wingtip*. Komponen *wingtip* berada pada ujung sayap sebagai pembelah udara dan tidak digunakan sebagai material

penyokong utama pada kapal bersayap. Dengan karakteristik mekanik yang dimilikinya maka material ini memenuhi kebutuhan dalam pembuatan *wingtip* kapal bersayap.



BAB 5

PENUTUP

Setelah dilakukan pembuatan material komposit *sandwich* dengan bahan *glass woven fiber*, epoxy, dan *PU - foam* menggunakan metode VARI sederhana, didapatkan material komposit *sandwich* dengan spesifikasi yang kuat mekaniknya cukup baik untuk diaplikasikan pada pembuatan komponen *wingtip* kapal bersayap. Pengujian dan analisa dilanjutkan dengan melakukan pencitraan mikroskopis menggunakan SEM untuk diteliti lebih lanjut mengenai kerusakan yang terjadi pada material setelah pengujian mekanik.

5.1 Kesimpulan

Material komposit *sandwich* yang dibuat menggunakan metode VARI dengan material inti berupa *PU - foam* dan material kulit berupa E-glass memiliki kekuatan mekanik dengan nilai kuat tarik rata-rata berkisar antara 7 sampai 30 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata berkisar antara 4 sampai 6 MPa. Nilai dari kekuatan mekanik ini merupakan nilai-nilai yang cukup baik untuk diaplikasikan pada pembuatan komponen kapal bersayap. Terutama untuk kuat tekan yang memiliki nilai sebesar satu angka lebih besar dari data pengujian pada penelitian acuan. Penggunaan material *PU - foam* ternyata dapat meningkatkan stabilitas dari material komposit *sandwich*, kuat tarik dan tekan yang lebih baik, serta tahanan geser yang dapat dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan.

Kelemahan dari materi komposit *sandwich* terletak pada ikatan antara kulit dengan bagian inti. Dari hasil pengujian mekanik dapat diteliti bahwa kegagalan total pada material disebabkan karena rusaknya bagian inti. Bagian inti cenderung menerima tegangan yang lebih besar dari tegangan normal yang dapat ditahannya, sehingga bagian inti cenderung lebih cepat mengalami kegagalan daripada bagian kulitnya. Dengan rusaknya bagian inti maka ikatan antara kulit dengan bagian inti juga akan rusak, salah satu yang dapat diperhatikan dari hasil

pengujian adalah terkelupasnya kulit dari bagian inti sehingga menurunkan kekuatan mekanik dari material dan mengakibatkan kegagalan total.

Kegagalan ini masih dapat ditoleransi mengingat penggunaan material komposit *sandwich* dalam penelitian ini diaplikasikan untuk pembuatan *wingtip* kapal bersayap. *Wingtip* pada kapal bersayap berfungsi sebagai stabilisator dan penghasil bantalan udara, bukan sebagai komponen penahan beban. Sehingga faktor kegagalan berupa terkelupasnya kulit dari bagian inti dapat dikurangi.

5.2 Saran

Setelah melakukan pembuatan material, pengujian, dan proses analisa, maka ada beberapa evaluasi untuk metode VARI sederhana dalam pembuatan material komposit *sandwich* untuk komponen *wingtip* kapal bersayap :

1. Pembuatan material sebaiknya dilakukan pada suhu dan tekanan standar yaitu 25° dan tekanan 1atm untuk menjaga kestabilan atmosfer dan lebih steril. Untuk mendapatkan ini, pembuatan selanjutnya dapat dilakukan dalam suatu kondisi ruangan laboratorium yang lebih baik.
2. Dengan adanya pelemahan pada bagian inti terhadap kulitnya, maka untuk penelitian lebih lanjut diperlukan bahan perekat (epoxy - resin) yang lebih baik dari segi perbandingan resin : *hardener* dan jenis material inti yang perlu disempurnakan, disarankan bagian inti juga diberikan penguat berupa serat.
3. Diperlukan analisa mikroskopik lebih lanjut mengenai struktur dan analisa daerah patahan dari hasil uji mekanik, terutama untuk uji tekan.
4. Diperlukan analisa mekanik lebih lanjut untuk mengukur tegangan geser yang terjadi selama pengujian mekanik terutama untuk uji tekan.

DAFTAR ACUAN

- [1] Edelstein, W.A. 2008. Rensselaer Polytechnic Institute, New York, *Wind Energy* [http://www.aps.org/policy/reports/occasional/upload/wind_energy .pdf](http://www.aps.org/policy/reports/occasional/upload/wind_energy.pdf) 12 April 2010, 12:30.
- [2] A. Goren, C. Atas. 2008. *Manufacturing of polymer matrix composites using vacuum assisted resin infusion molding*, http://www.archivesme.org/vol_34_2/34210.pdf. 10 April 2010, 10:00
- [3] William D. Callister, Jr. 2001. Department of Metallurgical Engineering, University of Utah, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*.
- [4] Courtney, T. H. 2000. McGraw-Hill, Boston, *Mechanical Behavior of Materials*.
- [5] Daniel, I.M. 2009. Springer, USA, *Major Accomplishments in Composite Materials and Sandwich Structure*.
- [6] Mack, P.E. CCT and Mitchell D. Smith. 2003. Verdant Technologies, Inc, Rhode Island, *Advanced in Vacuum Infusion Processing Using Spacer Fabrics as Engineered Reinforcing Interlaminar Infusion Media*.
- [7] Yun, Liang, Alan Bliault, Johnny Doo. 2010. Springer New York Dordrecht Heidelberg London, *WIG Craft and Ekranoplan, Ground Effect Craft Technology*.
- [8] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2008. Pusat Teknologi Material-BPPT, Jakarta, *Spesifikasi Data Material WiSE – 8*.

- [9] Fred W. Billmeyer, JR. 1984. John Wiley & Sons, Canada. *Textbook of Polymer Science*.
- [10] Gurit SP. 2010. United Kingdom. *Corecell*.
http://www.gurit.com/sector_introduction.asp?section=0001000100220016&pdfrestB.
- [11] Denes, Levente , Zsolt Kovacs, Elemer M. Lang, Bradley McGraw. 2008. Proceedings of the 51 st International Convention of Wood Science and Technology, Chile. *Investigation of the Compression and Bending Strength of Veneer – Polyurethane Foam Composites*.
- [12] MIT course. 1999. USA. *Materials Datasheet*.
<http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/props.pdf>