

SKRIPSI

**“PENGARUH JUMLAH *LAYER* DAN ORIENTASI SERAT KARBON
PADA *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) TERHADAP
SIFAT MEKANIK UNTUK APLIKASI *BODY* PESAWAT *ULTRALIGHT*”**

OLEH :

HARUN HL

D21116012



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI

**“PENGARUH JUMLAH *LAYER* DAN ORIENTASI SERAT KARBON
PADA *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) TERHADAP
SIFAT MEKANIK UNTUK APLIKASI *BODY* PESAWAT *ULTRALIGHT*”**

OLEH:

**Harun HL
D21116012**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JUMLAH LAYER DAN ORIENTASI SERAT KARBON
PADA *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*(CFRP)TERHADAP
SIFAT MEKANIK UNTUK APLIKASI *BODY* PESAWAT *ULTRALIGHT***

Disusun dan diajukan oleh

HARUN HL

D211 16 012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

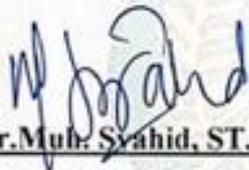
Pada tanggal 31 Mei 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

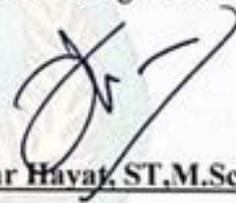
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Muh. Syahid, ST., MT.

NIP. 19770707 200501 1 001



Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

NIP 19840126 201212 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Harun HL

NIM : D211 16 012

JUDUL SKRIPSI : Pengaruh Jumlah Layer dan Orientasi Serat Karbon Pada Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Terhadap Sifat Mekanik Untuk Aplikasi Body Pesawat Ultralight

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 30 / 05 / 2021

Yang membuat pernyataan,



Harun HL

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh karena Kasih dan Penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“PENGARUH JUMLAH *LAYER* DAN ORIENTASI SERAT KARBON PADA *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)* TERHADAP SIFAT MEKANIK UNTUK APLIKASI *BODY* PESAWAT *ULTRALIGHT*”**

Tujuan penulisan skripsi ini merupakan bentuk pemenuhan yang menjadi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selesainya tugas akhir ini tak lepas dari doa serta dukungan kedua orang tua tercinta, Ayahanda H. Muh. Said Dg. Lala (alm.) dan Ibunda Hj. Rahmini, serta seluruh saudara dan keluarga lainnya. Semoga mereka selalu disertai, dibimbing, dan diberkati oleh Allah Yang Maha Kuasa dalam setiap perjalanan hidup mereka.

Penghargaan dan terima kasih penulis berikan kepada Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Azwar Hayat ST., MSc., PhD. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran dalam skripsi ini. Selanjutnya penulis dengan tulus juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yth. Bapak Dr.Eng. Jalaluddin, ST.,MT. dan kepada Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST.,MT. selaku Ketua Departemen dan Sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta staff dalam membantu administrasi dalam pengurusan tugas akhir ini.
2. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.

3. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2016 (COMPRESSOR 16) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
4. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Pengecoran Logam, Salim, Denis, Alen, dan Fadil yang telah membantu dalam penelitian ini.
5. Teman-teman Teknik 2016 yang telah memberikan bantuan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat imbalan dari Allah Yang Maha Kuasa sebagai bentuk kasih dan kebaikan, Amin.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan oleh karena itu, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun yang dapat bermanfaat bagi kita semua.

Sekian dan Terima Kasih.

Gowa, 31 Mei 2021

Penulis

ABSTRAK

Salah satu material yang digunakan didalam pembuatan body pesawat *ultralight* ialah komposit. Pada penelitian kali ini menggunakan komposit jenis *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Metode yang digunakan adalah vacuum bagging dan kompresi. Didalam metode vacuum bagging digunakan epoxy resin dengan perbandingan 1:1 antara resin dan hardener. Variasi dilakukan pada CFRP ada dua yaitu variasi lapisan dengan menggunakan dua, tiga, dan empat lapis serat karbon, dan juga variasi orientasi serat karbon pada 3 lapis, yaitu ($0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$), ($0^{\circ}/90^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$), ($45^{\circ}/135^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$), dan ($45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$). Dilakukan dua pengujian yaitu pengujian tarik dan pengujian bending. Didapatkan hasil pada kekuatan tarik tertinggi pada CFRP tiga lapis serat karbon dengan orientasi ($0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$), karena memiliki sifat mekanik lebih baik dari yang lainnya, pada CFRP tiga lapis dengan orientasi serat ($45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$) didapatkan kekuatan tarik terendah itu dikarenakan orientasi arah serat yang tidak searah dengan arah pembebanan. Pada pengujian bending di dapatkan kekuatan bending tertinggi pada CFRP empat lapis dengan orientasi serat ($0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$; $0^{\circ}/90^{\circ}$) dikarenakan penguatan struktur pada tiap lapisannya makin besar diantara spesimen lainnya, CFRP tiga lapis dengan orientasi serat ($45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$; $45^{\circ}/135^{\circ}$) didapatkan kekuatan bending terendah karena arah serat yang diskontinyu tidak mampu menahan tegangan kompresi pada sisi atas dan tegangan tarik pada sisi bawah.

Kata Kunci: Carbon Reinforced Polymer (CFRP), *Laminer*, Orientasi Serat, Uji Tarik, Uji Bending.

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pesawat <i>Ultralight</i>	6
2.2. Material Komposit.....	7
2.3. Matriks	8
2.4. Penguat (<i>reinforce</i>).....	9
2.5. <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	13
2.6. Metode Manufaktur.....	16
2.7. Pengujian Tarik	17
2.8. <i>Rules of Mixture</i>	20
2.9. Pengujian Bending	20
2.8.1 Tekanan	21
2.8.2 Benda Uji.....	21
2.8.3 <i>Point Bending</i>	22

2.10. Karakteristik Patahan Pada Material Komposit	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2. Alat & Bahan.....	27
3.3. Prosedur Pengujian.....	31
3.3.1 Pembuatan CFRP	31
3.3.2 Pengujian dan Pengambilan Data.....	32
3.4. Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	36
4.1.1 Contoh Perhitungan Uji Tarik.....	36
4.1.2 Analisa Kekuatan Tarik, Regangan dan Modulus Tarik CFRP ...	38
4.2. Hasil Pengujian Kekuatan Bending	45
4.2.1 Contoh Perhitungan Uji Bending.....	45
4.2.2 Analisa Kekuatan Bending dan Modulus Bending	47
4.3. Hasil Patahan Tarik dan Bending CFRP	49
4.3.1 Hasil Patahan Pengujian Tarik.....	51
4.3.2 Hasil Patahan Pengujian Bending.....	53
4.4. Aplikasi CFRP Pada Pembuatan Body Pesawat <i>Ultralight</i>	55
BAB V PENUTUP	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pesawat <i>Ultralight</i>	6
Gambar 2.2 Struktur Penyusun Komposit	8
Gambar 2.3 Komposit Lapis.....	9
Gambar 2.4 Komposit Partikel	10
Gambar 2.5 Komposit Berpenguat Serat.....	10
Gambar 2.6 CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>).....	13
Gambar 2.7 Skema Pembentukan Komposit.....	16
Gambar 2.8 Proses <i>Hand-Lay Up</i>	16
Gambar 2.9 Skema Peralatan dalam Uji Tarik.....	18
Gambar 2.10 Contoh Kurva Hasil Uji Tarik	19
Gambar 2.11 Ilustrasi Pemasangan	23
Gambar 2.8 Proses <i>Hand-Lay Up</i>	16
Gambar 2.9 Skema Peralatan dalam Uji Tarik	18
Gambar 2.10 Contoh Kurva Hasil Uji Tarik	19
Gambar 2.11 Ilustrasi Pemasangan	23
Gambar 2.12 <i>Single Fracture</i>	25
Gambar 2.13 <i>Multiple Fracture</i>	25
Gambar 2.14 Delaminasi	26
Gambar 2.15 <i>Fiber Pull Out</i>	26

Gambar 3.1 Jangka Sorong.....	27
Gambar 3.2 Gurinda	27
Gambar 3.3 Kaca	28
Gambar 3.4 Pompa Vacuum.....	28
Gambar 3.5 Kape Cat	28
Gambar 3.6 Plastik	29
Gambar 3.7 Isolasi.....	29
Gambar 3.8 Timbangan Digital.....	29
Gambar 3.9 Peelply	30
Gambar 3.10 Breather Cloth.....	30
Gambar 3.11 <i>Carbon Fiber</i>	30
Gambar 3.12 Resin Epoxy.....	31
Gambar 3.13 Spesimen Pengujian Tarik ASTM D 638-02.....	32
Gambar 3.14 Spesimen Uji Bending ASTM D 790-02.....	33
Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian.....	35

Gambar 4.1 Nilai Kekuatan Tarik CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>) Berdasarkan Variasi Lapisan dan Orientasi Serat.....	38
---	----

Gambar 4.2 <i>Rules of mixture</i> Kekuatan tarik CFRP dengan fraksi matriks 70:30 dan orientasi serat (Mode 1 Dua Lapis (0°/90°;0°/90°), Mode 2 Tiga Lapis	
--	--

(0°/90°;0°/90°;0°/90°), Mode 3 Tiga Lapis (0°/90°;45°/135°;0°/90°), Mode 4 Tiga Lapis (45°/135°;0°/90°;45°/135°), Mode 5 Tiga Lapis (45°/135°; 45°/135°; 45°/135°), Mode 6 Empat Lapis (0°/90°;0°/90°0°/90°;0°/90°)	42
Gambar 4.3 Nilai Regangan Dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforeced Polymer</i>) Dengan Variasi Lapisan Dan Orientasi Serat.....	43
Gambar 4.4 Nilai Modulus Elastisitas Dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>) Dengan Variasi Lapisan Dan Orientasi Serat.....	44
Gambar 4.5 Nilai Kekuatan Bending dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>) Dengan Variasi Lapisan Dan Orientasi Serat.....	47
Gambar 4.6 <i>Bending Stress</i>	48
Gambar 4.7 Nilai Modulus Bending dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>) Dengan Variasi Lapisan Dan Orientasi Serat.....	48
Gambar 4.8 Foto Makro Patahan Tarik (a) CFRP 2 Lapis (b) CFRP 3 Lapis (0°/90°; 0°/90°; 0°/90°) (c) CFRP 3 Lapis (0°/90°; 45°/135°; 0°/90°) (d) CFRP 3 Lapis (45°/135°; 0°/90°; 45°/135°) (e) CFRP 3 Lapis (45°/135°; 45°/135°; 45°/135°) (f) CFRP 4 Lapis	51
Gambar 4.9 Foto Makro Patahan Bending (a) CFRP 2 Lapis (b) CFRP 3 Lapis (0°/90°; 0°/90°; 0°/90°) (c) CFRP 3 Lapis (0°/90°; 45°/135°; 0°/90°) (d) CFRP 3 Lapis (45°/135°; 0°/90°; 45°/135°) (e) CFRP 3 Lapis (45°/135°; 45°/135°; 45°/135°) (f) CFRP 4 Lapis	54
Gambar 4.10 Gambar Desain <i>Body</i> Pesawat <i>Ultralight</i>	55
Gambar 4.11 (a) Proses Pemotongan Carbon Fiber Untuk Pembuatan <i>Body</i> Pesawat <i>UltralLight</i> (b) Penimbangan Carbon Fiber.....	56
Gambar 4.12 Proses Pembuatan <i>Body</i> Sayap Pesawat <i>Ultralight</i> ,(a) Proses Pembuatan Selimut <i>Body</i> dari CFRP (b) Proses Pemasangan Selimut <i>Body</i>	57

Gambar 4.13 Proses Pembuatan Cetakan *Body* Pesawat *Ultralight* ,(a) Proses Pemotongan Gabus Untuk Cetakan (b) Proses Pemasangan Cetakan Pada Rangka Pesawat *Ultralight*.....58

Gambar 4.14 (a) Proses Pencetakan CFRP Pada Cetakan *Body* Pesawat *Ultralight* Proses Pemotongan Gabus Untuk Cetakan (b) CFRP yang telah terpasang pada *Body* Pesawat *Ultralight*.....59

DAFTAR TABEL

2.1 Kelebihan dan Kekurangan metode Three Point Bending dan Four Point Bending	22
4.1 Hasil Perhitungan Nilai Kekuatan Tarik, Regangan, Dan Modulus Elastisitas CFRP.....	37
4.2 Rata-Rata Hasil Perhitungan Nilai Kekuatan Tarik, Regangan, Dan Modulus Elastisitas CFRP.....	38
4.3 Hasil Perhitungan Nilai Kekuatan Bending Dan Modulus Bending CFRP ...	46
4.4 Rata-Rata Hasil Perhitungan Nilai Kekuatan Bending Dan Modulus Bending	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Proses Pembuatan Komposit dan Pengujian Spesimen.....	63
Lampiran II Tabel Pengujian dan Data Pengujian.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan secara terus menerus pada industri kedirgantaraan untuk meningkatkan kinerja pesawat komersial dan militer menuntut akan dibutuhkannya peningkatan dan pengembangan bahan struktural yang berkinerja tinggi (A.Quitler, 2001). Penggunaan material struktur pesawat terbang yang ringan sangatlah penting. Pada pesawat terbang transport subsonic modern, payload hanya sekitar 20% dari berat total sedangkan 80% adalah berat kosongnya dan separuhnya adalah bahan bakarnya. Dapat dikatakan bahwa penambahan berat dapat meningkatkan penggunaan bahan bakar, yang berhubungan secara langsung dengan meningkatnya biaya operasional. Adapun berikut ini adalah kriteria pemilihan bahan untuk pesawat terbang; (1) Efisiensi kekuatan statis (perbandingan kekuatan terhadap berat), (2) Sifat *fatigue* (Kelelahan), (3) Ketangguhan dan perambatan retak, (4) Sifat korosi dan penggetasan, (5) Kestabilan terhadap lingkungan (Caesar Wiratama, 2017).

Material untuk pesawat terbang haruslah material yang tangguh (toughness) dan tahan terhadap getaran, bahan berserat tetapi keras yang dapat memberikan solusi terhadap masalah tersebut. Serat dapat diatur sesuai gaya yang akan ditahan, serat sangat baik menahan gaya yang searah dan semakin panjang ukuran serat semakin efisien dalam menahan gaya. Serat yang panjang dapat menghilangkan kemungkinan terjadinya retak sepanjang batas pertemuan bahan serat dan matriksnya, komposit berserat panjang sangat kuat dan lebih liat serta ringan. Komposit mempunyai harga "*specific modulus*" dan "*specific strength*" yang lebih besar dibanding material konvensional lainnya termasuk metal/besi. Komposit memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi namun ringan, sangat dianjurkan sebagai material untuk pesawat terbang. (Suzanna, 2018).

Hingga hari ini peningkatan perkembangan untuk pesawat komersial juga dikhususkan pada penggunaan material komposit karena sifatnya yang memiliki rasio *strength-density* yang tinggi, kapabilitas *fatigue-resistance* dan *corrosion-resistance* yang baik jika dibandingkan dengan material baja konvensional. Material komposit mampu mengurangi sekitar 50% berat dari Boeing 787 *Dreamliner*, 12% berat untuk Boeing 777 *airplane*, 52% untuk pesawat Airbus 350XWB, dan sekitar 47% untuk pesawat bombardier Cseries. Telah menjadi kecenderungan bagi pesawat angkut komersial untuk menggunakan material komposit ini pada struktur utama badan pesawat seperti sayap, tangki bahan bakar, *bulkhead*, *fuselage*, *empennage*, dll (Chen,2009).

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) semakin sering digunakan untuk mengganti penggunaan paduan baja konvensional dalam industri penerbangan, maritim, dan transportasi disebabkan karena memiliki performa rasio kekuatan-berat dan kekakuan-berat yang tinggi (Soutis,2005). Kelebihan utama dari penggunaan CFRP adalah pengurangan massa dan *part* pesawat, pembuatan bentuk yang kompleks, mengurangi *scrap*, peningkatan kemampuan *fatigue*, optimisasi desain, dan juga meningkatkan ketahanan akan korosi. Untuk struktur sekunder pesawat mampu mengurangi berat hingga 40%, dan untuk struktur primer seperti sayap dan badan pesawat mampu mengurangi berat hingga 20% (Fu,2019). CFRP menawarkan pengurangan berat yang signifikan dibandingkan dengan penggunaan paduan aluminium konvensional untuk pesawat. Pengurangan berat ini meningkatkan efisiensi bahan bakar pesawat hingga 20% dan tentunya hemat biaya operasional. CFRP saat ini menjadi material yang ideal untuk perancang struktural pesawat karena kekuatannya yang setara dengan paduan baja dan densitasnya yang setara setengah dari paduan aluminium pada pembuatan pesawat (Piancastelli,dkk. 2013).

Karena serat yang digunakan sebagai penguat komposit, maka serat inilah yang akan menentukan karakteristik material komposit, seperti : kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lainnya (Dian Yunita,

2015). *Carbon fiber didefinisikan* sebagai serat yang mengandung setidaknya 90,00% berat karbon. Komposit *Carbon fiber* cocok untuk aplikasi struktur yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, ringan, dan ketahanan terhadap *fatigue*, selain itu *carbon fiber* juga dapat digunakan dalam suatu aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu tinggi, kelembaman dan redaman (Achmad,dkk.,2014). Bentuk dari carbon fiber dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan, proses pembentukan carbon fiber bergantung pada proses pembuatannya. Namun untuk carbon fiber yang beredar di pasaran pada umumnya berbentuk lembaran-lembaran tipis. Jadi untuk membentuk sebuah benda dengan material *carbon fiber* yang *properties* materialnya sesuai dengan kebutuhan bisa dilakukan dengan menumpuk lembaran-lembaran carbon fiber yang banyak dijual di pasaran (Gani Maustofah, 2017).

Berdasarkan hal tersebut, peneliti ingin menganalisa bagaimana **“PENGARUH JUMLAH *LAYER* DAN ORIENTASI SERAT KARBON PADA *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)* TERHADAP SIFAT MEKANIK UNTUK APLIKASI *BODY PESAWAT ULTRALIGHT*”**

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap kekuatan tarik ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap kekuatan bending?
3. Bagaimana pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap permukaan patahan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap kekuatan tarik
2. Menganalisa pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap kekuatan bending.
3. Menganalisa pengaruh jumlah *layer* dan variasi orientasi serat karbon yang diberikan pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap permukaan patahan.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mencegah timbulnya masalah yang baru maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah Carbon Fiber Reinforced Polymer dengan konfigurasi serat sudut $0^{\circ}/90^{\circ}$ dan $45^{\circ}/135^{\circ}$
2. Perbandingan jumlah matriks dan serat adalah 70:30 berdasarkan fraksi berat

3. Jumlah lapisan dua, tiga, dan empat, untuk tiga lapisan akan divariasikan orientasinya dengan $(0^\circ/90^\circ;0^\circ/90^\circ;0^\circ/90^\circ)$, $(0^\circ/90^\circ;45^\circ/135^\circ;0^\circ/90^\circ)$, $(45^\circ/135^\circ;0^\circ/90^\circ;45^\circ/135^\circ)$, $(45^\circ/135^\circ;45^\circ/135^\circ;45^\circ/135^\circ)$
4. Resin yang di pakai adalah epoxy resin dengan takaran 1:1
5. Perbandingan berat serat karbon dan resin digunakan untuk semua percobaan
6. Metode manufaktur yang digunakan adalah *vacuum bagging*

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan yang ingin melakukan riset secara khusus di bidang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*
2. Dapat menghasilkan material yang relatif baru khusus nya untuk *body* pesawat *ultra-light*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pesawat *Ultralight*

Ultralight adalah salah satu kendaraan udara yang menghadirkan kesan penerbangan cepat dan santai. Dikatakan demikian karena bentuknya yang lebih kecil dibanding pesawat penumpang seperti biasanya, dan hanya mampu terbang dengan kecepatan serta jarak tertentu. Bagi sebagian orang di Indonesia, mungkin belum sering mendengar tentang pesawat ini. Jenis pesawat ini lebih banyak dikenal warga Amerika Serikat dan beberapa negara barat lainnya. Bahkan pesawat ini tidak membutuhkan tempat sebesar hanggar bandar udara untuk memarkirkan seluruh badan pesawat. Di beberapa negara barat, menaiki atau mengendarai pesawat ini sudah menjadi salah satu olahraga rekreasi.



Gambar 2.1 Pesawat *Ultralight*

Menurut *Canadian Aviation Regulations, Part I, Subpart 1, an "advanced ultra-light aeroplane"* berarti pesawat terbang yang memiliki desain tipe yang sesuai dengan standar yang ditentukan dalam manual berjudul Standar Desain untuk Pesawat Terbang Ultra-ringan :

- Dirancang untuk membawa maksimal dua orang, termasuk pilot
- Memiliki massa take-off maksimum:
 - 350 kg (770 lb) untuk satu orang, atau

- 560,0 kg (1232 lb) untuk pesawat dua orang;
- Kecepatan stalling maksimum yang disarankan pabrik tidak melebihi 72 km / jam (20 m / dt, 45 mph).

Peraturan pesawat ultralight di Amerika Serikat dicakup oleh *Code of Federal Regulations, Title 14 (Federal Aviation Regulations), Part 103, or 14 CFR Part 103*, yang mendefinisikan "ultralight" sebagai kendaraan yang:

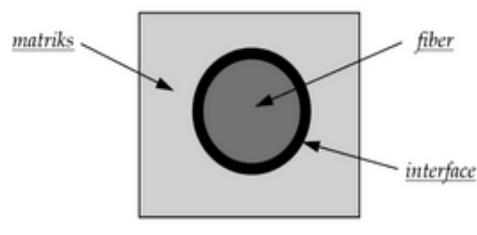
- hanya memiliki satu kursi
- Digunakan hanya untuk rekreasi atau olahraga terbang
- Beratnya kurang dari 254 pon (115 kg) berat kosong, tidak termasuk hiasan dan alat pengaman
- Memiliki kapasitas bahan bakar maksimum 5 galon AS (19 L)
- Memiliki kecepatan tertinggi dari 55 knot (102 km / jam; 63 mph)

2.2. Material Komposit

Kata “komposit” pada istilah material komposit berarti kombinasi antara dua atau lebih material untuk membentuk material yang baru. Kelebihan dari material komposit adalah dapat dibentuk dengan mudah, dan juga menunjukkan kualitas terbaik dari material penyusunnya bahkan juga mampu menunjukkan kemampuan yang baru yang tidak nampak sebelumnya dari material penyusunnya. Beberapa karakteristik material yang dapat ditingkatkan dengan membuat material komposit adalah; kekuatan, ketahanan fatik, kekakuan, ketahanan korosi, pengurangan berat, konduktivitas termal, dll. (Jones,1975)

Material Penyusun komposit terdiri atas matriks dan fiber.. Fiber sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit. Namun demikian, aspek lain sebagai sumber kekuatan komposit didapat dari matriks yang memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi., ketahanan terhadap tegangan geser, dan mampu mendistribusikan beban. Matriks sering disebut sebagai unsur pokok bodi sedangkan *fibers particles, laminate* atau *layers*, dan

flakes fillers disebut sebagai unsur pokok struktur. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya. Misalnya adalah matriks, yaitu penyusun dengan fraksi volume terbesar, penguat sebagai penahan beban utama, *interphase* sebagai pelekat antar dua penyusun, dan *interface* sebagai permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain (Mawardi, 2018). Struktur penyusun komposit dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Penyusun Komposit (Mawardi,2018)

2.3. Matriks

Matriks dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.

Contoh: Thermoplastik, thermosetting.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit berbahan matriks logam.

Contoh: Aluminium, magnesium, titanium.

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.

Contoh: Alumina, *aluminium titanate*, *silicon carbide*.

Komposit berbahan matriks logam umumnya sering digunakan dalam bidang kedirgantaraan dan komponen-komponen otomotif. Komposit

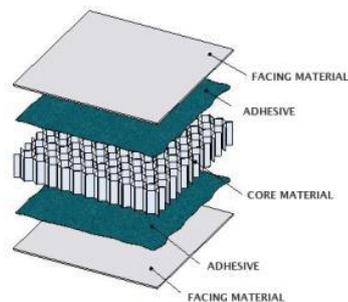
berbahan matriks polimer jauh lebih populer karena dapat digunakan pada berbagai aplikasi seperti peralatan rumah tangga hingga ke peralatan elektronik (Syahrafi Widyanpratama,2016).

2.4. Penguat (*Reinforce*)

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat dan memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks, serta merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks (Syahrafi Widyanpratama,2016). Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi:

1. Komposit Lapis (*Laminated Composite*),

Komposit lapis adalah komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya (Syahrafi Widyanpratama,2016). Ilustrasi komposit lapis ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut:

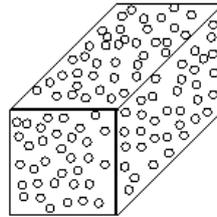


Gambar 2.3 Komposit Lapis (Efunda Inc., 2015).

2. Komposit Partikel (*Particulate Composite*),

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit dimana dalam matriks ditambahkan material lain berupa serbuk/buti. Dalam komposit partikel, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol. Pengaruh partikel pada sifat mekanik komposit tergantung pada dimensi partikel. Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0,25 mikron) dan halus didistribusikan dalam matriks yang berfungsi untuk menghambat

pergerakan dislokasi dan deformasi material. Komposit partikel tetap stabil pada suhu tinggi sehingga efek penguatan tetap bertahan. Banyak dari bahan komposit yang dirancang untuk bekerja dalam aplikasi suhu tinggi (Efunda Inc., 2015).



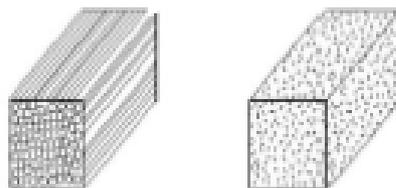
Gambar 2.4. Komposit Partikel (Efunda Inc., 2015).

3. Hybrid Composite

Hybrid composite merupakan suatu jenis komposit yang memiliki penguat lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan tetapi tidak bisa didapatkan jika hanya menggunakan satu jenis penguat. Seperti yang dilaporkan oleh Wouterson menggunakan 3wt% *carbon fiber* pendek, dengan panjang 3-10 mm, untuk memperkuat *foam* yang dibuat dari *phenolic microspheres* dan matriks *epoxy*. Dari hasil penelitian tersebut kekuatan tarik, modulus *young* dan ketangguhan patahan akan meningkat mulai dari 40%, 115% dan 95% untuk *hybrid* komposit (Namie-Al, 2011).

4. Komposit Serat

Material komposit serat (*fibricus composite*) yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat. Dapat dilihat pada gambar 2.4 Sebagai contoh adalah *Fiber Reinforced Plastic (FRP)* plastik yang diperkuat dengan serat dan banyak digunakan (Efunda Inc., 2015).



Gambar 2.5 Komposit Berpenguat Serat (Efunda Inc., 2015).

Beberapa faktor yang memengaruhi kinerja komposit serat, antara lain:

- a. Faktor Serat, adalah bahan pengisi matriks biasanya digunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matriks yang tidak dimilikinya. Selain itu, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matriks pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi
- b. Letak Serat, di dalam pembuatan komposit, tata letak dan arah serat dalam matriks akan menentukan kekuatan mekanik komposit. Penyebabnya karena letak dan arah dapat memengaruhi kinerja komposit tersebut. Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu:
 - *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah horizontal serat.
 - *Two dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat
 - *Three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat isotropic yang kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya
- c. Panjang Serat

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat pada matriks sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada dua penggunaan serat dalam campuran komposit, yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Panjang diameter serat sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Panjang serat dibanding diameter serat sering disebut dengan istilah *aspect ratio*. Serat panjang (*continuous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat memengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Pada umumnya, serat panjang lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek. Serat panjang pada tekanan normal dibentuk dengan proses *filament*

winding, dimana pelapisan serat dengan matriks akan menghasilkan distribusi yang bagus dan orientasi menguntungkan.

d. Bentuk Serat

Bentuk serat untuk pembuatan komposit tidak begitu memengaruhi, yang berpengaruh adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya, kandungan seratnya juga memengaruhi.

e. Faktor Matriks

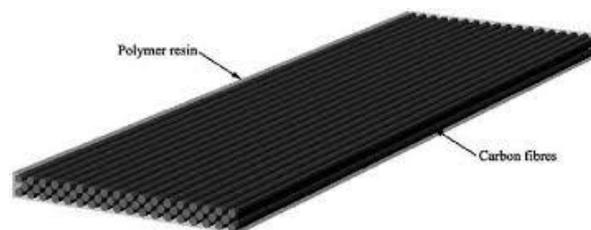
Faktor matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat serat menjadi sebuah unit struktur, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks yang membuat keduanya bisa saling berhubungan, dan melindungi dari kerusakan eksternal.

f. Faktor Ikatan Fiber-Matriks

Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan material dengan perpaduan dua sifat dasar, yaitu kuat namun juga ringan. Komposit serat yang baik harus mampu menyerap matriks sehingga memudahkan terjadi antara dua fase. Selain itu komposit serat juga harus mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan tinggi. Alasannya karena serat maupun matriks yang berinteraksi pada akhirnya akan terjadi pendistribusian tegangan. Kemampuan ini harus dimiliki oleh matriks dan serat. Hal yang memengaruhi ikatan antara serat dan matriks adalah *void*, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat kurang sempurna yang dapat menyebabkan matriks tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Apabila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void* yang berakibat pada berkurangnya kekuatan komposit tersebut (Mawardi,2018).

2.5. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) adalah material komposit yang mengandung serat karbon untuk memberikan peningkatan kekuatan dan kekakuan sementara polimer memberikan paduan matriks untuk melindungi dan menyatukan serat dan memberikan sifat ketangguhan (Fekete,2017). Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Umumnya digunakan *graphite fiber* yang merupakan serat dengan karbon diatas 95% beratnya. Komposit *carbon fiber* cocok untuk aplikasi yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, ringan, dan ketahanan terhadap *fatigue*. Penggunaan CFRP seperti disyaratkan oleh ACI 440.2R-08 (American Concrete Institute Committee 440 2008) terdiri dari satu sampai tiga lapis (Ghulam Mirza, 2015). Penggunaan CFRP dengan *muti layer* dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas struktur (Ghulam Mirza,2015).



Gambar 2.6 *Carbon fiber Reinforced Polymer* (Guhlam Mirza,2015)

Carbon Fiber Reinforced Plate (CFRP) yang menawarkan beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu mempunyai kekuatan tarik yang jauh lebih tinggi dari kekuatan tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) 165 GPa, tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan non logam, mempunyai penampang yang kecil dan ringandengan berat 1,5 gr/cm³, serta mudah pemasangannya (Endah Kanti Pangestuti, 2009).

Analisis data penelitian telah dilakukan oleh Ichsan R.N pada tahun 2015 mengenai pengaruh susunan lamina komposit berpenguat serat kaca dan serat karbon terhadap kekuatan tarik dengan matriks polyester. Berdasarkan

analisis dapat disimpulkan, kekuatan tarik terbesar diperoleh komposit lamina serat karbon dengan nilai 265,99 MPa, kekuatan tarik terendah diperoleh komposit serat kaca random dengan nilai 115,01 Mpa, sedangkan kekuatan tarik untuk komposit serat kaca WR dan serat hibrid memiliki kekuatan yang hampir sama yaitu masing-masing dengan nilai 196,30 MPa dan 198,25 Mpa.

Pada tahun 2017, Gani Maustofah melakukan penelitian mengenai aplikasi komposit *fiber carbon-epoxy* pada *driveshaft* kendaraan roda empat dengan variasi jumlah layer dan arah fiber carbon untuk menaikkan efisiensi dari kinerja kendaraan mobil dengan cara melakukan percobaan penggantian material baja pada poros mobil dengan material *carbon fiber*. Karbon yang digunakan adalah *TC35-12K-epoxy*. Dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa pergantian part *driveshaft* menjadi material *carbon fiber* dengan konfigurasi serat sudut 45 derajat dan 5 layer *fiber* memiliki berat 82% lebih rendah dari *driveshaft* dengan bahan *steel*.

Analisis mengenai pengaruh arah serat komposit terhadap kekuatan gesek *Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)* berdasarkan model IOSIPESCU telah dilakukan oleh Ilham Hatta pada tahun 2016, dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa aplikasi serat komposit tipe karbon atau CFRP dalam industri pesawat terbang dan roket sangat berguna sebagai material substitusi atau pengganti dari material yang digunakan sebelumnya karena mempunyai kekuatan geser dan kekakuan yang cukup tinggi, menggantikan aluminium dan sejenisnya. Dari penelitian ini diketahui bahwa serat dengan variasi arah orientasi nol derajat, \pm empat puluh lima derajat dan 90 derajat (0, $\pm 45, 90$), adalah yang tertinggi dengan nilai kekuatan geser sebesar 75,87 MPa, sedangkan nilai modulus geser atau kekakuan material berada pada variasi arah orientasi serat nol derajat dan 90 derajat dengan nilai modulus geser sebesar 55,46 GPa. Artinya kekuatan geser material komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi arah serat dan semakin banyak variasi sudut arah orientasi serat, maka kekuatan geser komposit semakin kuat.

Penelitian mengenai sifat mekanik dan proses gambari dari *multilayer CFRP* dengan variasi ketebalan prepreg telah dilakukan oleh Yu-Chien

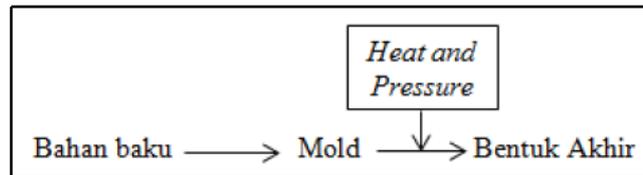
Ho,dkk. pada tahun 2017, dari penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa *Multilayer* CFRP dengan lapisan prepreg yang tipis dan di fabrikasi dengan standard memiliki kekuatan sekitar 1400 MPa dengan elongasi 30%. Dan resistensi akan kerusakan dengan menggunakan *carbon/epoxy* dengan tebal prepreg 0.04mm dari standar menghasilkan tegangan mencapai 700 MPa atau sekitar 167% lebih tinggi dari standar. Untuk modulus elistisitasnya lapisan tipis mampu meningkat hingga 7% dari lapisan standar.

Tetsuya Suzuki dan Jun Takahashi telah melakukan penelitian mengenai *Life Cycle Assesment* kendaraan penumpang *lightweight* dengan menggunakan CFRP untuk diproduksi massal menggantikan material baja sebagai bahan baku utama, dari hasil penelitiannya mereka menunjukkan bahwa penggunaan CFRP mampu mengurangi berat kendaraan hingga 36% dan pengurangan konsumsi bahan bakar hingga 15%, Oleh karena itu CFRP sangatlah bagus untuk mengurangi kerugian dari penggunaan baja sebagai bahan utama pembuatan mobil penumpang ditambah dengan penggunaan CFRP yang fleksibel dan tuntutan untuk perkembangan *part* kendaraan di masa depan.

2.6. Metode Manufaktur

Ada berbagai macam proses manufaktur yang digunakan untuk melakukan pembentukan polimer dan komposit. Pemilihan proses manufaktur manakah yang sesuai dan akan digunakan dapat ditentukan berdasarkan beberapa hal berikut ini; (1) Jumlah barang yang akan diproduksi, (2) Biaya pembuatan, (3) Kekuatan material, (4) Bentuk dan ukuran produk. Setiap proses manufaktur yang dilakukan membutuhkan kondisi yang tidak sama dengan proses manufaktur lainnya. Perbedaan itu terletak pada jenis bahan baku atau material yang digunakan, peralatan apa saja yang digunakan, maupun kondisi atau suhu pengerjaan yang berbeda-beda. Pembuatan suatu komponen dengan bahan polimer dan komposit, hal utama yang dibutuhkan adalah bahan baku, alat, cetakan panas, dan tekanan. Pada gambar 2.7

merupakan skema pembentukan komposit dari bahan baku hingga menjadi bentuk akhir (Gani Maustofah,2017).



Gambar 2.7 Skema Pembentukan Komposit (Gani Maustofah,2017).

Semakin tinggi tekanan dan temperatur yang digunakan selama proses manufaktur, alat yang dibutuhkan semakin kuat dan berat, hal tersebut yang menyebabkan meningkatnya biaya perkakas.

Proses manufaktur yang ideal adalah proses yang pada saat pengerjaannya membutuhkan panas dan tekanan yang rendah. Proses produksi dengan siklus yang cepat juga disukai karena dapat melakukan penghematan biaya pengolahan yang sangat signifikan. Langkah-langkah utama dalam proses manufaktur pada komposit adalah; (1) *Impregnation*, (2) *Lay-Up*, (3) *Consolidation*, (4) *Solidification*. Metode *hand lay-up* biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan *roller* atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void*/gelembung udara yang terperangkap dalam *laminate* komposit (Gani Maustofah,2017).



Gambar 2.8 Proses *hand lay-up* (Gani Maustofah,2017)

Metode *hand lay-up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay-up* antara lain:

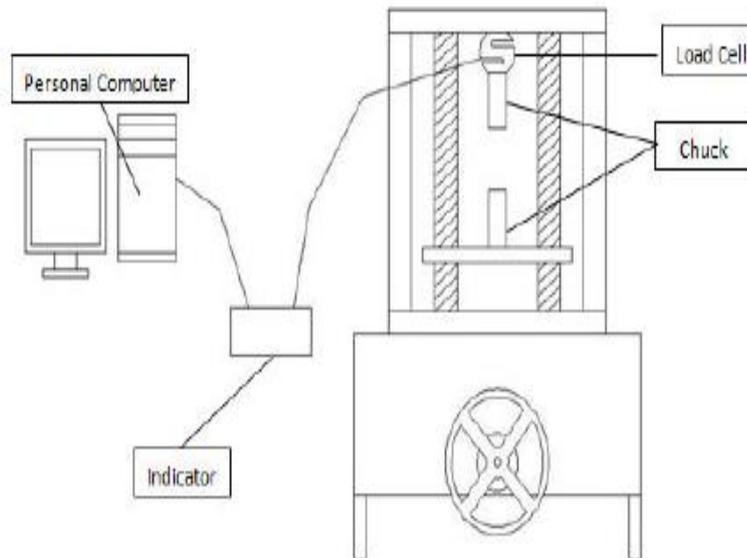
1. Mudah dilakukan
2. Biaya *tooling* yang rendah
3. Volumennya rendah
4. Proses pembuatan yang sederhana
5. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay-up* juga memiliki kekurangan antara lain:

1. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten, bergantung dari kemampuan pembuatnya
2. Kesehatan dan keselamatan pekerja pada saat pembuatan perlu diperhatikan, karena proses *curing* terbuka maka menimbulkan bau yang cukup mengganggu
3. Tidak bisa digunakan untuk produksi massal (Gani Maustofah,2017).

2.7. Pengujian Tarik

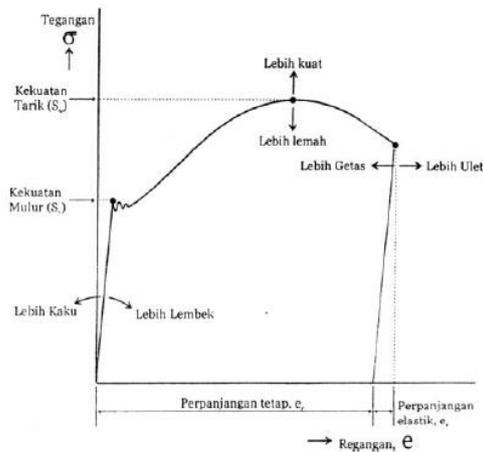
Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian material yang paling banyak dilakukan di dunia industri. Karena pengujian ini terbilang yang paling mudah dan banyak data yang bisa diambil dari pengujian ini. Diantaranya yang bisa didapat dari pengujian tarik ini adalah kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength*), kekuatan mulur (*Yield Strengt or Yield Point*), Elongasi (*Elongation*), Elastisitas (*Elasticity*), dan Pengurangan luas penampang (*Reduction of Area*). Seiring dengan berkembangnya teknologi, maka pada saat ini mesin uji tarik dilengkapi dengan perangkat-perangkat elektronik untuk memudahkan dalam menganalisa data yang diperoleh. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan dan menganalisa tegangan maksimum material pada suatu spesimen benda berupa gaya tarik, tegangan, regangan, dan kurva uji tarik dari hasil pengujian tarik.



Gambar 2.9. Skema Peralatan dalam Uji Tarik

Dari gambar 2.9 dapat dilihat beberapa komponen utama yang terdapat pada mesin uji tarik. Komponen utama tersebut terdiri dari alat pencatat gaya (*load cell*), alat pencatat pertambahan panjang spesimen (*extensometer*), batang penarik (*moving crosshead*), dan spesimen. *Load cell* digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan (F) yang dialami oleh spesimen, sedangkan *extensometer* digunakan untuk mencatat besarnya pertambahan panjang material (ΔL) yang terjadi pada spesimen. Hubungan antara gaya (F) terhadap pertambahan panjang material (ΔL) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan (σ) terhadap regangan teknik (ϵ).

Dari pengujian ini, selain diperoleh spesimen kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada spesimen kerja melalui dari awal penarikan hingga spesimen kerja itu putus. Kurva uji tarik dapat diperoleh beberapa sifat mekanik material. Beberapa sifat mekanik material yang dimaksud yaitu kekuatan tarik, keuletan, dan elastisitas. Contoh kurva hasil uji tarik dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Contoh Kurva Hasil Uji Tarik

Sifat mekanik pertama yang dapat diketahui berdasarkan kurva pengujian tarik yang dihasilkan adalah kekuatan tarik maksimum yang diberi simbol σ_u . Simbol u didapat dari kata *ultimate* yang berarti puncak. Jadi besarnya kekuatan tarik ditentukan oleh tegangan maksimum yang diperoleh dari kurva tarik. Tegangan maksimum ini diperoleh dari :

$$\text{Tegangan } (\sigma_u) = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2 \quad (2.1)$$

Dimana : σ_u : *Ultimate tensile strength* (N/mm²)

F : Beban maksimum (N) A_0 : Luas penampang awal (mm²)

Regangan yang digunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaanya yaitu:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana: ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang awal (mm)

L_f = Panjang akhir (mm)

Reduksi penampang yang terjadi adalah

$$Q = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

Sifat mekanik yang ke dua adalah kekuatan luluh yang diberi simbol σ_y dimana y diambil dari kata *yield* atau luluh. Kekuatan luluh dinyatakan oleh suatu tegangan pembatas dari tegangan yang memberikan regangan elastis saja dengan tegangan yang memberikan tegangan elastis bersama plastis. Titik luluh adalah suatu titik perubahan pada kurva pada bagian yang berbentuk linier dan yang tidak linier.

2.8. Rules Of Mixture

Rules of Mixture Rules of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tekan karena pada saat pengujian tekan spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot v_m + \sigma_r \cdot v_r \quad (2.4)$$

Dimana:

σ_c = Kekuatan campuran

σ_m = Kekuatan matriks

v_m = Volume fraksi matriks

σ_r = Kekuatan reinforcement

v_r = Volumefraksi reinforcement

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (reinforcement) dan bahan pengikat (matrix). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan matrix sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunya.

2.9. Kekuatan Bending

Alat uji *bending* adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur.

Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji bending. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Point *bending* berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan point bending berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji.

Uji bending adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 point bending dan 4 point bending. Untuk melakukan uji bending ada faktor dan aspek yang harus dipertimbangkan dan dimengerti yaitu

2.9.1. Tekanan

Tekanan adalah perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi.

2.9.2. Benda Uji

Benda uji adalah suatu benda yang di uji kekuatan lengkungnya dengan menggunakan alat uji bending. Jenis material benda uji yang

digunakan sebagai benda uji sangatlah berpengaruh dalam pengujian bending. Karena tiap jenis material memiliki kekuatan lengkung yang berbeda-beda, yang nantinya berpengaruh terhadap hasil uji bending itu sendiri.

2.9.3. *Point bending*

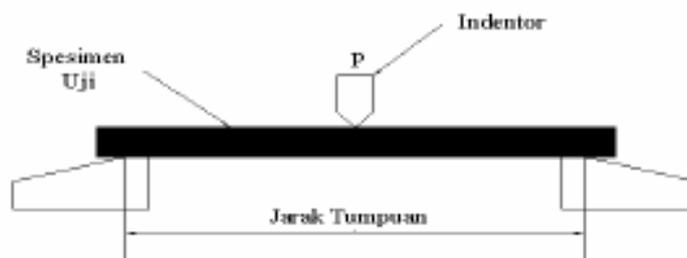
Point bending adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (*bending*). *Point bending* ini memiliki 2 tipe, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*. Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan, *three point bending* menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 point pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 point (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari cara pengujian *three point* dan *four point*.

Tabel 2.1 .Kelebihan dan Kekurangan metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* (Adithya Chandra,2011)

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	
Kemudahan persiapan spesimen dan pengujian	Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah
Pembuatan point lebih mudah	Lebih akurat hasil pengujiannya
Kekurangan	
Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di tengah persis penggunaan rumus berubah	Pembuatan point lebih rumit

Kemungkinan terjadi pergeseran, sehingga benda yang diuji pecah/patah tidak tepat di tengah maka rumus yang digunakan kombinasi tegangan lengkung dengan tegangan geser	dua point atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah satu point lebih dulu menekan benda uji maka terjadi three point bending, sehingga rumus yang digunakan berbeda.
---	---

Akibat dari pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah



Gambar 2.11 Ilustrasi Pemasangan

Sehingga kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{\frac{PL}{4} \times \frac{1}{2} d}{b \times d \times \frac{1}{12}} \quad (2.5)$$

$$\sigma_b = \frac{12PLd}{8bd^3} \quad (2.6)$$

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.7)$$

Pada perhitungan kekuatan bending ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790, sama seperti pada persamaan di atas, yaitu:

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.8)$$

dimana:

S = Tegangan bending (MPa) b = Lebar / *Width* (mm)

P = Beban / *Load* (N) d= Tebal / *Depth* (mm)

L= Panjang Span / *Support span* (mm)

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending menggunakan rumus

$$Eb = \frac{L^3m}{4bd^3} \quad (2.9)$$

dimana:

S = Tegangan bending (MPa) b = Lebar / *Width* (mm)

P = Beban / *Load* (N) d= Tebal / *Depth* (mm)

L= Panjang Span / *Support span* (mm)

(Fandy Rusmiyatno,2007)

2.10 Karakteristik Patahan Pada Material Komposit

Patah didefinisikan sebagai pemisahan sebuah bahan menjadi dua atau lebih potongan sebagai respon dari tegangan static yang berkerja dan pada temperature yang relative rendah terhadap temperature cairnya. Dua model patah yang mungkin terjadi pada bahan teknik adalah patah liat (*ductile fracture*) dan patah getas (*brittle facture*). Klasifikasi ini didasarkan pada kemampuan bahan mengalami deformasi plastic. Bahan liat (*ductile*) memperlihatkan deformasi plastik dengan menyerap energi yang besar sebelum patah.

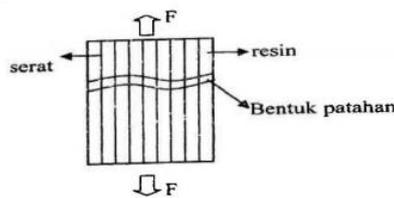
Sebaliknya, patah getas hanya memperlihatkan deformasi palstik yang kecil atau bahkan tidak ada. Setiap proses perpatahan meliputi dua tahap yaitu pembentukan dan perambatan sebagai respon terhadap

tegangan yang diterapkan. Jenis perpatahan sangat tergantung pada mekanisme perambatan retak.

Patahan material komposit dapat disebabkan oleh deformasi ganda, antara lain disebabkan oleh kondisi pembebanan serat struktur mikro komponen pembentuk komposit, yang dimaksud struktur mikro ialah : diameter serat, fraksi volume serat dan distribusi serat. Kemungkinan lainnya adalah patahnya serat selama proses pembuatan, yang diakibatkan tegangan termal dan tegangan sisa. Jenis model patah material komposit antara lain adalah sebagai berikut:

2.10.1 *Single Fracture*

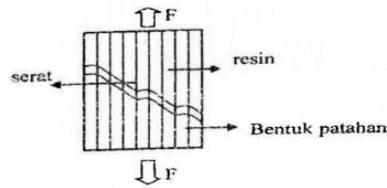
Single Fracture atau Patah tunggal adalah patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, resin tidak mampu menerima lagi beban tambahan. Patah terjadi pada satu bidang kontak (Chawla,1987).



Gambar 2.12 Patah Tunggal (Schwartz,1984)

2.10.2 *Multiple Fracture*

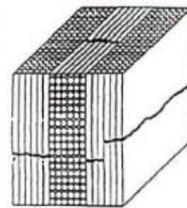
Menurut Chawla (1987), ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan interface masih baik, resin mampu mendukung beban yang diterima dengan mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila resin mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi lebih dari satu bidang.



Gambar 2.13 *Multiple Fracture* (Schwartz,1984)

2.10.3 Delaminasi

Delaminasi (interlaminar) adalah perpatahan yang terjadi akibat terlepasnya ikatan antar lapisan penguat. Penyebab utama perpatahan ini adalah gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Selain itu kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat juga mempengaruhi.



Gambar 2.14 Delaminasi (Schwartz,1984)

2.10.4 *Fiber Pull out*

Fiber pull out adalah tercabutnya serat dari resin yang disebabkan ketika resin retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang. Namun, komposit masih mampu menahan beban walau beban yang ditahan relatif kecil dari beban maksimal. Saat resin retak, beban akan ditransfer dari resin ke serat di tempat persinggungan retak. Kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari resin (akibat debonding dan patahnya serat).