

## ALAT WET LAY UP TERKONTROL SEDERHANA DAN ANALISIS PENGARUH PROSES LAY UP TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT

### A SIMPLE CONTROLABLE WET LAY UP INSTRUMENT AND THE ANALYSIS OF LAY UP PROCESS TO THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL

Agus Jatmiko<sup>1</sup>, Dr. Ismudiati Puri Handayani<sup>2</sup>, Dr.Eng. Indra W.F<sup>3</sup>,  
Dr.Eng. Asep Suhendi<sup>4</sup>, Samsul Hadi<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, <sup>5</sup>PT.Dirgantara Indonesia  
<sup>1</sup>agusjatmiko37@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>iphandayani@telkomuniversity.ac.id,  
<sup>3</sup>indrafathonah@telkomuniversity.ac.id <sup>4</sup>suhendi@telkomuniversity.ac.id, <sup>5</sup>samsulhadi@gmail.com

#### Abstrak

Dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh proses *lay up* terhadap sifat mekanik material komposit yang terbuat dari *fiberglass* dan resin *epoxy*. Proses *wet/hand lay up* menghasilkan kecepatan dan tekanan yang tidak terkontrol banyak kekosongan resin (*void*) yang muncul dan juga sifat mekanik yang dihasilkan rendah. Sementara itu proses *dry lay up* dengan menggunakan *prepreg*, menghasilkan sedikit *void* dan sifat mekanik yang lebih tinggi, tetapi memerlukan biaya produksi yang mahal. Berdasarkan studi yang telah dilakukan, penulis merancang sebuah alat *lay up* sederhana untuk mengontrol kecepatan pada saat proses *lay up* untuk mengurangi munculnya *void* dan meningkatkan sifat mekanik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alat *lay up* yang dibuat dapat dikontrol kecepatannya mulai dari 2 cm/s sampai 4,2 cm/s dan dapat menghasilkan material komposit dengan jumlah *void* yang sedikit serta sifat mekanik yang baik. Pada saat kecepatan diatur sebesar 2 cm/s *tensile strength* yang dimiliki material yang dibuat dengan alat ini memiliki nilai 55,7 MPa lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dry lay up* dan 106,04 MPa lebih tinggi bila dibandingkan dengan *hand lay up*. Sementara modulus Young menunjukkan peningkatan sekitar 1,8 MPa dan 5,44 MPa bila dibandingkan dengan *dry lay up* dan *hand lay up*. Semakin lambat kecepatan roller, semakin tinggi *tensile strength* yang dihasilkan.

**Kata kunci:** *dry layup, hand layup, kecepatan dan tekanan roller, tensile strength, modulus young*

#### Abstract

The paper presents a study on the effect of *lay up* process to the mechanical properties of composite material made from fiberglass and epoxy resin. A *hand lay up* method leads to uncontrolled speed and pressure producing large number of voids in the composite and poor mechanical properties. On the other hand, *dry lay up* process, using *prepreg*, produces smaller number of voids and better mechanical properties. However, this method has a high cost production. Therefore, we have built a simple controllable *lay up* instrument which has *lay up* speed from 2 cm/s up to 4.2 cm/s. The composite produced with this technique has small number of void and performs a better mechanical properties. When the *lay up* speed is set at 2 cm/s, the produced composite has a *tensile strength* about 55.7 MPa higher than the one produced by *dry lay up* and 106.04 MPa higher than the one made by *hand lay up*. The *modulus Young* has increase about 1.8 MPa to *dry lay up* and 5.44 MPa to *hand lay up*. A slower roller speed produces a higher *tensile strength* composite.

**Keyword:** *dry layup, hand layup, roller speed and pressure, void, tensile strength, modulus young*

#### 1. Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang tersusun dari dua material yang disebut matriks dan penguat (*reinforcement*) yang dikombinasikan secara makroskopik [1]. Secara lebih spesifik dalam pesawat terbang, komposit merupakan material yang terbentuk dari hasil penggabungan resin dan fiber yang memiliki sifat baru dan berbeda dengan bahan dasarnya [2]. Matriks pada material komposit (salah satunya berbentuk resin) berfungsi sebagai material pengikat fiber, sedangkan *reinforcement* (salah satunya berbentuk fiber) berfungsi untuk memperkokoh resin. Terdapat berbagai jenis material komposit yang telah dikembangkan, salah satunya adalah jenis FRCM (*Fiber Reinforced Composite Material*) [2], yang secara komersial telah digunakan di berbagai bidang seperti industri pesawat terbang, *automotive*, alat-alat olahraga dan lain-lain [2]. Karakteristik FRCM yang unggul dibanding material konvensional seperti logam, terletak pada sifat mekanik yang dimiliki oleh FRCM antara lain adalah kuat (*strength*), kaku (*stiffness*), ringan, dan tahan terhadap korosi [2].

Sifat mekanik dari material komposit ditentukan oleh beberapa hal antara lain seperti proses laminasi (*lay up*), material penyusun berupa matriks dan *reinforcement*, arah fiber (*fiber orientation*), dll. Sejauh ini proses laminasi

(*lay up*) yang telah dikembangkan di industri pesawat terbang Indonesia (PT. Dirgantara Indonesia) adalah *dry lay up* dan *hand lay up*.

Pada proses *dry lay up* material yang digunakan berupa *prepreg* dimana bagian *fiber* dan resinnya sudah dibeli dalam keadaan setengah jadi, yang telah diproses terlebih dahulu melalui proses dalam skala industri. Material komposit yang dihasilkan dengan *dry lay up* ini mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan *hand lay up*. Namun biaya produksi yang diperlukan relatif mahal (*high cost production*) dan *prepreg* yang digunakan mempunyai *life time* yang singkat.

Sedangkan proses *hand lay up* mempunyai ongkos produksi yang lebih murah (*low cost production*). Namun material komposit yang dihasilkan sangat tergantung pada keahlian seorang *laminator* dalam melaminasi resin pada *fiber* sehingga sifat mekanik yang dihasilkan dengan proses *hand lay up* ini rata-rata nilainya cenderung lebih rendah. Hal ini dibuktikan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Cavatorta, yaitu material komposit dengan metode *hand lay up* mempunyai sifat mekanik cenderung lebih rendah bila dibandingkan dengan *wet lay up* yang terkontrol seperti *wet lay up* RTM (*Resin Transfer molding*) [3].

Pada penelitiannya Zhu menyebutkan bahwa salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya sifat mekanik pada *hand lay up* adalah tidak meratanya distribusi resin yang dihasilkan [4]. Distribusi resin yang tidak merata ini dapat dilihat dengan munculnya *void* (kekosongan) pada material. Selain itu, presentase *void* pada kedua proses *lay up* ini belum pernah diuji sebelumnya di PT. Dirgantara Indonesia.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, pada tugas akhir ini telah dilakukan penelitian tentang pengaruh proses laminasi terhadap sifat mekanik material komposit dan merancang alat sederhana untuk laminasi dengan metode *wet lay up* terkontrol. Alat yang dirancang ini mengatur kecepatan roller yang digunakan untuk melaminasi material. Diharapkan dengan penelitian ini dapat diketahui pengaruh laminasi terhadap sifat mekanik material komposit yang dihasilkan. Sedangkan hasil laminasi akan dikarakterisasi sifat mekaniknya dengan menggunakan uji tarik (*tensile test*).

## 2. Dasar Teori

Komposit umumnya terdiri dari material resin dan serat penguat (*fiber*). Sistem resin memiliki keterbatasan penggunaan sebagai bahan struktur, sehingga diperlukan penguat berupa *fiber*. Sebaliknya *fiber* juga sulit dipergunakan sebagai bahan struktur sehingga memerlukan pengikat berupa resin untuk menyatukannya [2]. Oleh karena itu, *fiber* juga berperan untuk memperkokoh sistem resin pada suatu struktur komposit.

Pada dasarnya ada berbagai macam proses fabrikasi yang bisa dikembangkan untuk memproduksi material komposit, diantaranya yang sudah dikembangkan di PT. Dirgantara Indonesia adalah *dry lay up* dan *wet/hand lay up*. Pada metode *dry lay up* bahan baku yang digunakan adalah berupa *prepreg*, dimana resin sudah dalam keadaan menyatu dengan *fiber* (*completely cured*). Sedangkan pada metode *wet/hand lay up*, material atau bahan baku yang digunakan terdiri dari *fiber* yang berupa *cloth* dan resin dalam kondisi A-stage (*completely uncured*), serta *hardener* [2].

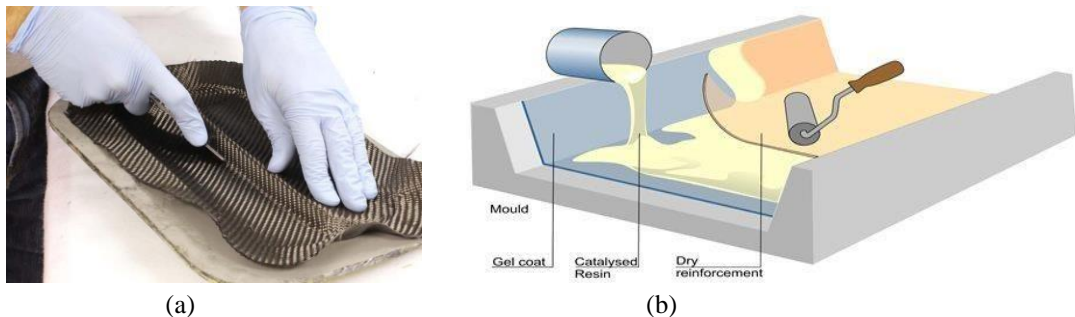
### 2.1 Proses Lay-up (Laminasi)

#### 2.1.1 Dry Lay up

Pada dasarnya proses *dry lay up* lebih mudah untuk dilakukan daripada *wet/hand lay up*. Hal ini dikarenakan pada proses laminasi *dry lay up* menggunakan *prepreg* (*preimpregnated*) dimana *fiber* sudah mengandung resin dengan campuran yang rata diseluruh permukaannya. Sehingga pada proses laminasinya *prepreg* cukup digabungkan dengan *prepreg* atau *layer* lainnya tanpa harus menambah resin [5]. Material komposit yang digunakan pada *dry lay up* ini adalah *fiberglass prepreg*.

#### 2.1.2 Wet/Hand Lay up

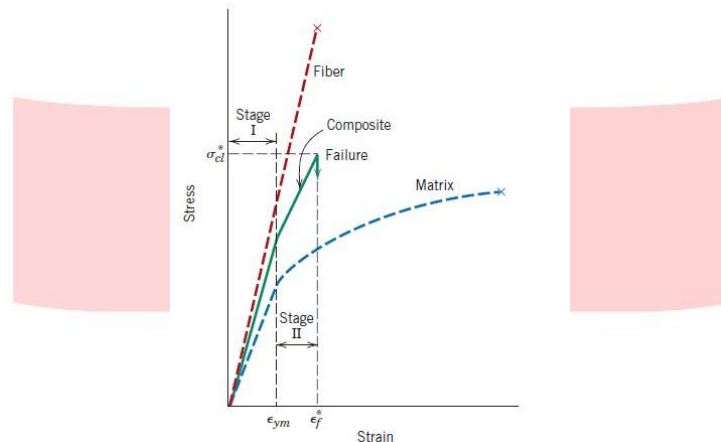
*Wet/hand lay up* adalah proses laminasi dimana *fiber* dan resin belum menyatu, dan proses ini dilakukan dengan melaminasi campuran resin dan *hardener* pada *fiber* dengan menggunakan kuas atau roller, dimana tingkat kerataan resin sangat tergantung pada cara melaminasi resin ke *fiber*. Berdasarkan penelitian Cavatorta, proses *wet lay up* ini bagus jika menggunakan sistem *fiber unidirectional* (satu arah) [4]. Material komposit yang digunakan pada *hand lay up* ini adalah *glass fiber* dan resin epoxy.



Gambar 1. (a) Dry lay up (b) Wet/hand lay up [6]

## 2.2 Pengujian dan Sifat Mekanik Material Komposit

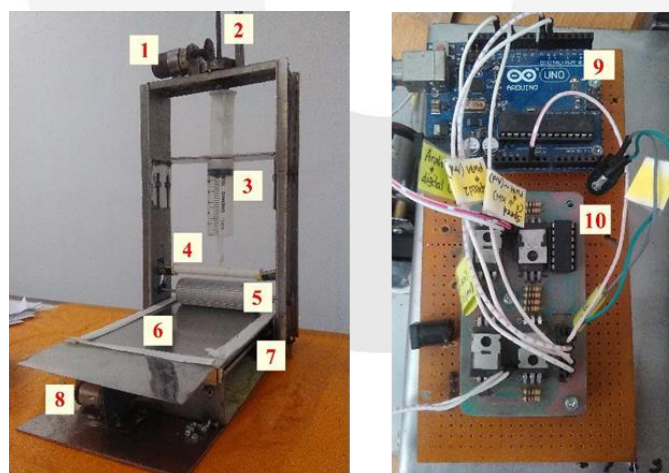
Pengujian *specimen* dalam tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik (*mechanical properties*) dari material atau *specimen* yang telah dibuat. Jenis pengujian yang dilakukan adalah *tensile test* (uji tarik). *Tensile test* pada material komposit digunakan untuk mengetahui kekuatan daya ikat resin dengan fiber terhadap beban tarik. *Tensile test* ini adalah salah satu pengujian tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*). Dari pengujian *tensile* ini dapat diketahui beberapa sifat mekanik material komposit yaitu *tensile strength* dan modulus Young [7]. Pengujian *tensile* pada komposit ini menggunakan standart pengujian ASTM D 638. Data yang di dapat dari uji tarik (*tensile test*) ini berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk kurva *stress-strain* material komposit, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 1.2 berikut ini :



Gambar 2. Kurva *Stress-Strain* Material Komposit [8]

## 3. Pembahasan

Pada penelitian ini dirancang sebuah alat laminasi (*lay up*) terkontrol sederhana yang berfungsi untuk mengatur kecepatan dan tekanan roller pada saat proses *lay up*. Diharapkan dengan mengatur kecepatan dan tekanan roller ini, sifat mekanik yang dihasilkan bisa lebih baik dari proses *lay up* yang telah dikembangkan sebelumnya. Kecepatan roller diatur melalui sebuah rel yang digerakkan oleh motor dc 12 V. Sedangkan tekanan roller diatur melalui sebuah pegas yang dikaitkan pada setiap ujung roller. Untuk aliran resin tidak diatur secara spesifik oleh penulis, namun penulis mencoba untuk mengatur aliran resin melalui sebuah suntikan yang digerakkan oleh motor dc 12 V dan sebuah ulir. Realisasi alat laminasi ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. Alat laminasi sederhana

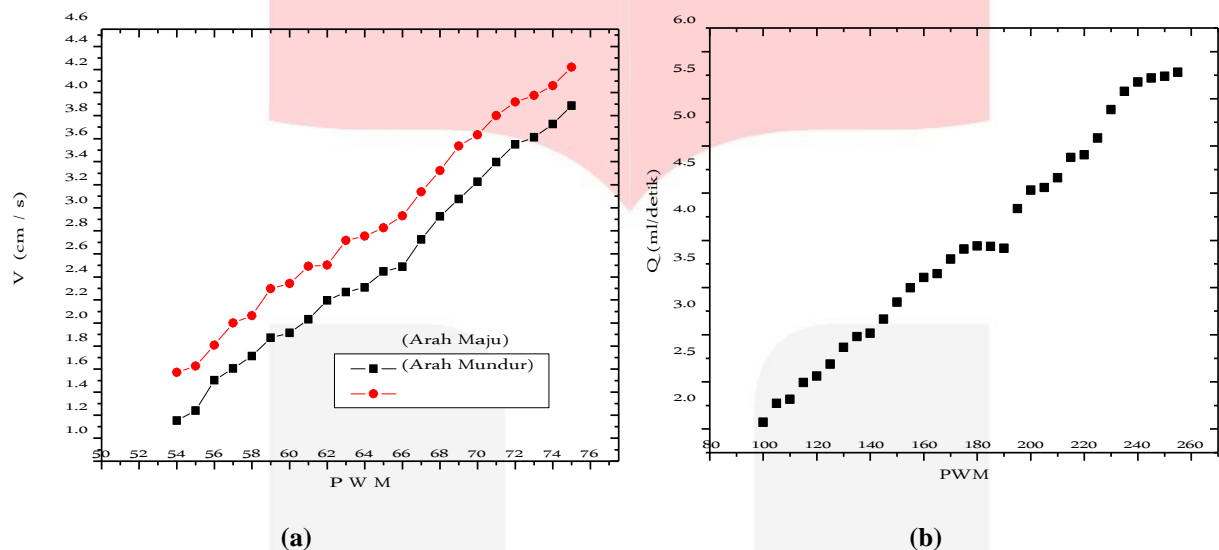
Dari gambar 3 secara berurutan menunjukkan motor dc 12V untuk mengatur aliran resin (1), batang ulir (2), suntikan 100 ml (3), pipa yang telah dilubangi untuk mengalirkan resin dari suntikan ke roller (4), roller (5), tempat fiber (6), rel untuk menggerakkan roller maju mundur (7), motor dc 12V untuk mengatur pergerakan roller (8), arduino uno (9), dan driver motor (10). Pada dasarnya setiap komponen yang digunakan dalam alat ini mempunyai pengaruh terhadap hasil laminasi nantinya, oleh karena itu diperlukan sebuah pengujian untuk menjamin bahwa data yang didapatkan pada hasil ataupun proses laminasi nantinya adalah data yang benar.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian instrumen yang meliputi pengujian motor DC untuk aliran resin, dan pengujian motor DC untuk kecepatan roller.

### 3.1 Pengujian Instrumen

Kecepatan roller diatur melalui sebuah rel yang dikontrol oleh motor DC. Kemudian motor DC ini akan mengatur kecepatan dan gerakan bolak balik pada roller. Oleh karena itu diperlukan sebuah pengujian untuk bisa mendapatkan nilai kecepatan roller yang stabil dan yang dapat meratakan resin dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai PWM tertentu pada mikrokontroler dan mencatat waktu yang diperlukan roller untuk bergerak dari ujung ke ujung lainnya. Selanjutnya jarak tempuh roller dan hasil waktu yang dicatat dibagi, dan didapatkan nilai kecepatannya. Gambar 4a menampilkan hasil karakterisasi kecepatan yang bisa dihasilkan oleh roller yang bergerak maju mundur menempuh jarak 21 cm.

Pada dasarnya aliran resin pada alat laminasi ini tidak diatur secara spesifik. Namun penulis mencoba untuk bisa mengeluarkan dan meneteskan resin secara perlahan pada permukaan roller, yang akan mengoles atau meratakan resin tersebut pada permukaan fiber. Aliran resin diatur melalui motor DC 12V dengan torsi 10,86 kg/cm dan ditampung dalam suntikan 100 ml. Adapun hasil karakterisasi aliran resin terhadap PWM motor dc dapat dilihat pada gambar 5b.



Gambar 4. (a) Hasil Karakterisasi Kecepatan roller terhadap PWM, (b) Hasil karakterisasi Aliran resin terhadap PWM

Dari gambar 4a dapat dilihat bahwa kecepatan terendah yang dapat ditempuh oleh roller pada arah maju dan mundur adalah sekitar 2 cm/s, hal ini dikarenakan motor DC yang digunakan mempunyai torsi yang kecil yaitu 5,2 kg/cm sehingga motor tidak bisa menggerakkan roller pada kecepatan kurang dari 2 cm/s. Selain itu juga dapat dilihat bahwa pada nilai PWM yang sama ada perbedaan nilai kecepatan pada arah maju dan mundur dengan rata-rata nilai sebesar 0.4 cm/s. Hal ini dikarenakan sistem rel yang digunakan adalah belt, sehingga saat motor dc menarik dan mendorong belt, kecepatan yang dihasilkan akan berbeda. Namun dari hasil karakterisasi dapat dilihat juga bahwa kecepatan yang hampir sama nilainya dapat diperoleh dari nilai PWM yang berbeda. Misalnya kecepatan 2.23 cm/s ada pada PWM dengan nilai 58 pada saat arah mundur dan PWM dengan nilai 61 pada arah maju. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai kecepatan yang sama saat arah maju dan mundur penulis bisa mengaturnya melalui mikrokontroler dengan memberikan input nilai PWM yang berbeda sesuai dengan hasil karakterisasi.

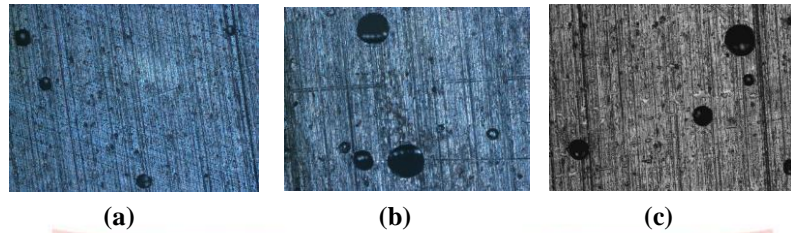
Untuk menentukan nilai kecepatan yang akan digunakan dalam mengoles atau meratakan resin pada fiber, penulis melakukan percobaan laminasi terlebih dahulu dengan menggunakan 3 nilai kecepatan dari hasil karakterisasi, yaitu kecepatan dengan nilai terendah atau batas bawah (2 cm/s), nilai tertinggi (4.2 cm/s), dan nilai tengahnya (3 cm/s).

Nilai debit/aliran resin menyesuaikan dengan kecepatan roller yang diinputkan oleh penulis. Jarak yang ditempuh oleh roller adalah 21 cm dan resin yang dibutuhkan untuk 2 layer fiber adalah sekitar 20 ml. Sehingga bila kecepatan roller yang diinputkan adalah 2 cm/s maka kecepatan alir resin yang digunakan adalah 2 ml/s. Hal ini dilakukan agar 20 ml resin yang dikeluarkan bisa membasahi seluruh permukaan fiber hingga ujung, yaitu dengan panjang fiber menyesuaikan dengan jarak tempuh roller sebesar 21cm.

### 3.2 Hasil Uji Tarik

#### 3.2.1 Hasil Uji Tarik dengan 3 kecepatan roller

Penulis melakukan percobaan laminasi terlebih dahulu dengan menggunakan 3 nilai kecepatan dari hasil karakterisasi. Hasil dari laminasi diamati menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 50 kali. *Image* hasil laminasi untuk berbagai variasi kecepatan ditunjukkan oleh gambar 5.

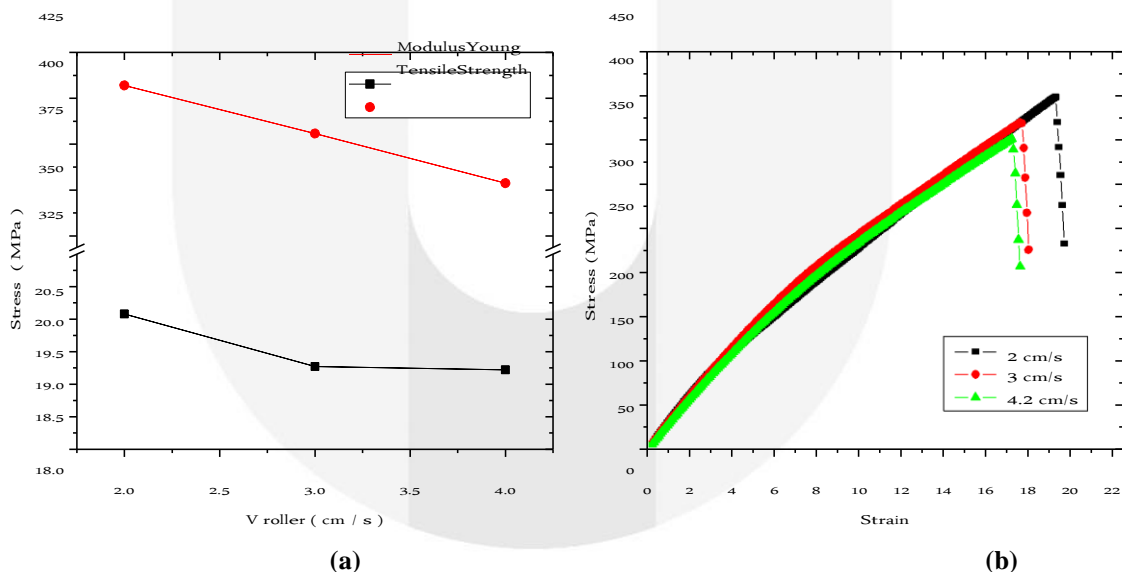


Gambar 5. Hasil mikroskop dengan kecepatan roller (a) 2 cm/s (b) 3 cm/s (c) 4.2 cm/s

Dari hasil laminasi diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan 3 kecepatan yaitu 2 cm/s, 3 cm/s, dan 4 cm/s jumlah *void* yang dihasilkan perbedaannya tidak terlalu signifikan atau hampir sama. Hasil pengujian sifat mekanik ditunjukkan oleh tabel 1 dan gambar 6(a).

Tabel 1. Data hasil Uji tarik dengan beberapa kecepatan roller

	V = 2 cm/s	V = 3 cm/s	V = 4.2 cm/s
<b>Tensile Strength (Mpa)</b>	406,99 ± 34,60	380,81 ± 26,46	353,69 ± 24,36
<b>Mod. Young (Gpa)</b>	20,08 ± 0,34	19,27 ± 0,66	19,22 ± 0,76



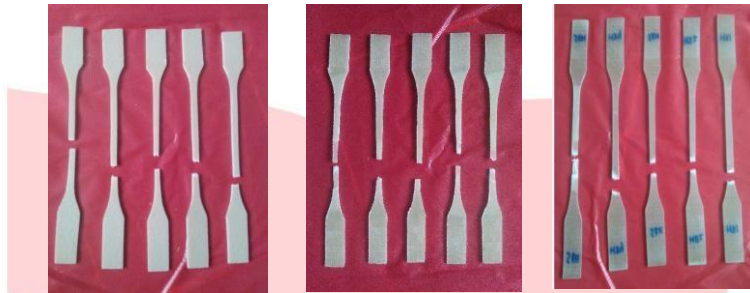
Gambar 6. (a) Grafik Tekanan terhadap kecepatan roller (b) Kurva stress-strain dengan 3 kecepatan roller

Percobaan dengan menggunakan 3 kecepatan roller menunjukkan efek yang cukup signifikan pada nilai *tensile strength* yang diperoleh, sedangkan pada modulus young nilai yang dihasilkan tidak terlalu berbeda jauh. Sementara itu kurva *stress-strain* dengan menggunakan 3 kecepatan roller dapat dilihat pada gambar 6(b), menunjukkan bahwa roller dengan kecepatan 2 cm/s mempunyai nilai *tensile strength* paling besar. Pada gambar 6(b) dapat dilihat bahwa pada nilai regangan (*strain*) tertentu, tekanan (*stress*) turun dengan drastis, hal ini menunjukkan bahwa material telah mengalami *failure* atau patah. Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa jika kecepatan roller semakin kecil (dalam tugas akhir ini nilai terkecil yang dapat digunakan adalah 2 cm/s), hasil laminasi yang diperoleh akan semakin optimal.

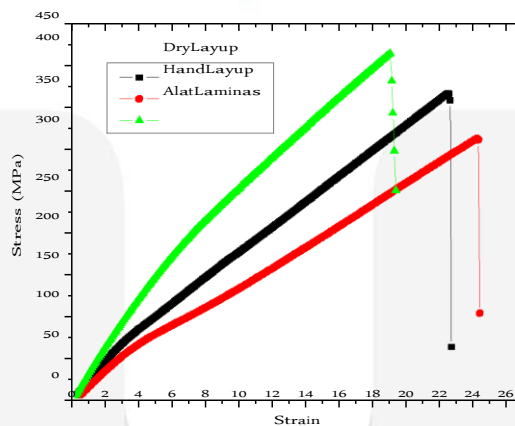
**3.2.2 Perbandingan hasil uji tarik dengan 3 metode lay up**

Pada uji tarik ini digunakan 3 metode laminasi (*lay up*) yaitu *dry lay up*, *hand lay up*, dan laminasi dengan menggunakan alat yang telah dirancang oleh penulis. Untuk setiap metode *lay up* dibuat masing-masing sebanyak 5 buah *specimen*. Metode *dry* dan *hand lay up* digunakan sebagai *specimen* pembandingan dengan *specimen lay up* yang menggunakan alat yang dirancang oleh penulis.

Dari data hasil pengujian *tensile* diperoleh nilai kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) dan modulus Young dari material komposit. Dari masing-masing 5 *specimen* yang telah diuji tarik, pada setiap metode didapatkan data rata-rata *tensile strength* dan modulus Young seperti pada tabel 2. Sedangkan gambar *specimen* yang telah diuji tarik dan kurva *stress-strain* dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8.



**Gambar 7. Material komposit yang sudah diuji tarik (a) *dry lay up* (b) *hand lay up* (c) laminasi (*lay up*) dengan alat**



**Gambar 8. Kurva Stress-strain dengan 3 metode laminasi (*lay up*)**

Tabel 2. Data hasil Uji Tarik dengan 3 metode *lay up*

	Dry Lay up	Hand Lay up	Laminasi dengan Alat
<b>Tensile Strength (MPa)</b>	351,29 ± 20,19	300,95± 22,93	406,99 ± 34,60
<b>Mod. Young (MPa)</b>	18,28 ± 1,06	14,64 ± 0,50	20,08 ± 0,34
<b>Proportional Limit (MPa)</b>	102,78	91,5	191,75
<b>% Elongation</b>	3,2	3,8	2,6

Dari data hasil uji tarik diatas didapatkan bahwa dengan menggunakan alat laminasi (*lay up*) diperoleh nilai *tensile strength* yang paling besar, sehingga laminasi dengan alat menghasilkan material yang paling kuat karena mempunyai nilai *tensile strength* yang paling besar. Nilai modulus Young menyatakan daerah elastis pada material. Bila dilihat dari tabel 2, metode *hand layup* menghasilkan material yang paling elastis karena nilai yang dihasilkan paling kecil bila dibandingkan dengan metode yang lainnya.


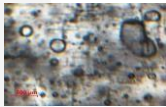

Sementara itu untuk mengetahui nilai batas elastis sebuah material, dapat digunakan nilai *proportional limit*. *Proportional limit* juga berfungsi untuk mengetahui beban maksimal yang bisa

ditahan oleh material sebelum mengalami deformasi plastis. Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa metode laminasi dengan alat, dapat menahan beban paling tinggi sebelum mengalami deformasi plastis sebesar 191,75 MPa. Sedangkan untuk mengetahui nilai perpanjangan dari sebuah material ketika diuji tarik sampai patah dapat dilihat dari nilai % elongasinya. Semakin besar nilai % elongasinya semakin ulet (*ductile*) material tersebut. Nilai % elongasi paling besar diperoleh pada metode *hand lay up*, sehingga material paling ulet (*ductile*) dapat dihasilkan dengan metode *hand lay up*. Selain itu, nilai % elongasi ini juga dapat menjelaskan mengapa metode *hand lay up* mempunyai nilai *strain* paling besar.

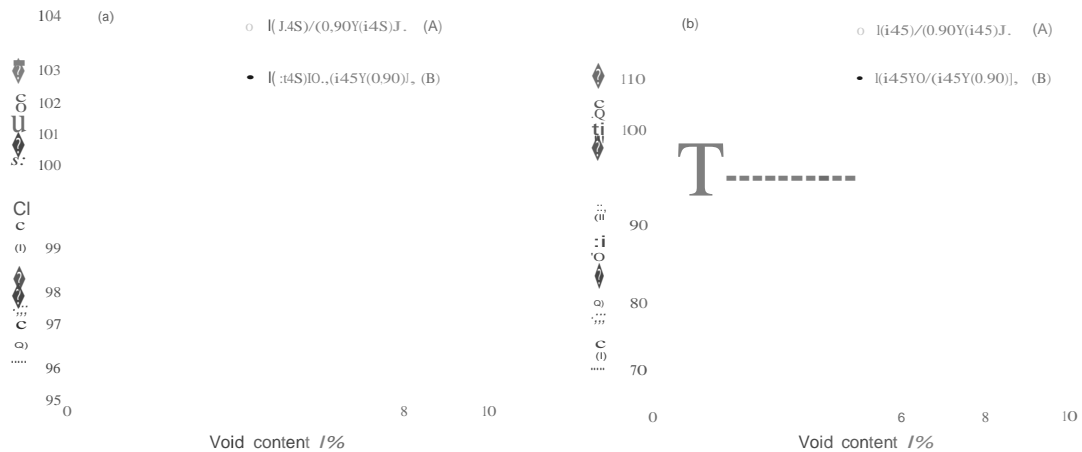
### 3.3 Perbandingan Hasil *Micrograph* dan *Tensile Test*

Untuk mengetahui efek struktur bahan termasuk jumlah *void* (kekosongan) yang muncul pada material komposit terhadap sifat mekanik, telah dilakukan pencitraan dengan menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 50x. Masing-masing 5 *specimen hand lay up* dan 5 *specimen laminasi (lay up)* dengan alat diambil gambar atau *micrograph*-nya, untuk dibandingkan dengan sifat mekanik yang telah diperoleh. Gambar *micrograph* diambil pada permukaan area *gage length* specimen (bisa dilihat pada gambar 3.12), dimana diarea tersebut material akan mengalami *failure* (patah) saat proses uji tarik berlangsung. Berikut perbandingan *micrograph* terhadap *tensile strength* dan modulus Young pada metode *hand lay up* dan laminasi (*lay up*) menggunakan alat.

Tabel 3. Perbandingan hasil *micrograph* terhadap *tensile strength* dan modulus young

Metode <i>Lay up</i>	Hasil mikroskop (magnification 50x)	<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Modulus Young</i> (Mpa)
Dry Lay up		351,29 ± 20,19	18,28 ± 1,06
Hand Lay up		300,95 ± 22,93	14,64 ± 0,50
Laminasi dengan Alat		406,99 ± 34,60	20,08 ± 0,34

Kekosongan (*void*) yang muncul pada hasil *micrograph* pada umumnya berbentuk bulat (*spherical*) kecil dan berwarna gelap/ hitam. Sedangkan efek jumlah void yang muncul terhadap sifat mekanik adalah semakin banyak *void* yang muncul pada hasil *micrograph*, pada umumnya sifat mekanik yang dihasilkan semakin turun. Dari tabel 3 diatas dapat dilihat pada metode *hand lay up* dan laminasi dengan alat bahwa dengan bertambahnya jumlah *void* yang muncul, nilai *tensile strength* dan modulus Young yang dihasilkan akan semakin menurun, meskipun nilai modulus young tidak terlalu berubah dengan signifikan. Hal ini juga telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Zhu [3] seperti terlihat pada gambar 10 berikut ini.



**Gambar 9. Hubungan antara tensile strength dan modulus Young terhadap void yang muncul dari hasil penelitian Zhu**

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Alat *wet lay up composite* terkontrol sederhana yang telah dibuat oleh penulis dapat menghasilkan kecepatan *lay up* sebesar 2 cm/s hingga 4,2 cm/s.
2. Pengaruh kecepatan roller berbanding terbalik terhadap nilai *tensile strength* yang dihasilkan. Roller dengan kecepatan 2 cm/s menghasilkan nilai *tensile strength* paling tinggi, bila dibandingkan dengan kecepatan roller 3 cm/s dan 4,2 cm/s, dimana masing-masing mempunyai kenaikan sekitar 26,18 MPa dan 53,3 MPa.
3. Proses laminasi mempengaruhi jumlah kekosongan (*void*) yang muncul pada material komposit yang dibuat. Semakin sedikit jumlah *void* yang muncul semakin besar nilai *tensile strength* yang diperoleh.
4. Permukaan roller juga berperan dalam proses laminasi. *Paddle roller* dengan permukaan bergerigi dapat menghasilkan *lay up* yang lebih baik dibandingkan dengan roller dengan permukaan rata atau berbulu, hal ini dikarenakan gerigi roller bisa lebih menekan pada anyaman fiber.
5. Dibandingkan dengan teknik *lay up* yang lain nilai *tensile strength* material yang dibuat dengan alat ini lebih tinggi sekitar 106,04 MPa bila dibandingkan dengan *hand lay up* dan 55,7 MPa lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dry lay up*. Sedangkan nilai modulus Young yang diperoleh menghasilkan peningkatan sekitar 5,44 MPa dan 1,8 MPa untuk *hand lay up* dan *dry lay up*.

#### Daftar Pustaka:

- [1] K.Gawdzinska. (2010). Structure Homogeneity as a Parameter for Evaluation of Composite Casting Quality. *AFE (Archives of Foundry Engineering)*, 187-192.
- [2] Hardoyo. (1991). *Pengaruh Perulangan Proses Curing terhadap Sifat Mekanik Laminat Glass/Epoxy*. Bandung: ITB (Institut Teknologi Bandung)
- [3] Hongyan, Zhu. (2011). Influence of void on the tensile performance of carbon/epoxy fabric laminates. *Elsevier*.69-73
- [4] M.P.Cavatorta.(2007). A comparative study of the fatigue and post-fatigue behaviour of carbon-glass/epoxy hybrid RTM and hand lay up composites.*Springer*
- [5] Gay, Daniel. (2007). *Design and Applications Composite Materials*. Boca Raton, USA: Taylor and Francis Group.
- [6] Quartus Engineering Incorporated . (2014). Dipetik Desember 12,2014, dari <http://www.quartus.com/resources/white-papers/composites-101/>
- [7] ASTM (American Standart Testing Material) International . ASTM D 638-02 Standart Test Method for Tensile Properties of Polimer Matrix Composite Material. 100 Barr Harbor Drive, USA
- [8] William D. Callister, J. (2007). *Materiasl Science and Engineering*. New York:John Wiley & Sons ,Inc