

**PENGARUH KETEBALAN VARIASI *CORE* (3D PRINT)  
TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH*  
MENGUNAKAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN*  
*INFUSION* (*VARI*)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Azra Haidar Rahman**

**No. Mahasiswa : 17525043**

**NIRM 2017030244**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2021/2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Azra Haidar Rahman menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “PENGARUH KETEBALAN VARIASI *CORE* (3D PRINT) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION (VARI)*” adalah hasil tulisan saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan, pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui sebagai tulisan saya sendiri atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis lainnya.

Yogyakarta, 19 Januari 2022



Azra Haidar Rahman

17525043

# LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH KETEBALAN VARIASI *CORE (3D PRINT)*  
TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH*  
MENGUNAKAN METODE *VACUUM ASSISTED RESIN*  
*INFUSION (VARI)*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

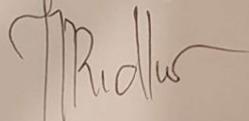
Nama : Azra Haidar Rahman

No. Mahasiswa : 17525043

NIRM : 2017030244

Yogyakarta, 19 Januari 2022

Pembimbing,



Muhammad Ridwan S.T., M.T

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH KETEBALAN VARIASI CORE (3D PRINT)  
TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH  
MENGUNAKAN METODE VACUUM ASSISTED RESIN  
INFUSION (VARI)**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Azra Haidar Rahman**  
**No. Mahasiswa : 17525043**  
**NIRM : 2017030244**

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan S.T., M.T

Ketua

Tanggal : 06/02/2022

Purtojo S.T., M.Sc.

Anggota I

Tanggal : 30-01-22

Faisal Arif Nurgesang S.T., M.Sc.

Anggota II

Tanggal : 01/02/2022

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Risdiyono S.T., M.Eng., Ph.D

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Diri saya sendiri, Orang tua saya Bapak Atasworo Handoko dan Ibu Ai Sunariah yang telah memberikan nasihat dan doa yang tulus kepada saya sampai penulisan tugas akhir ini selesai.

Adik saya Aqil Fauzan Fadlurrahman dan Azmi Taufiqurrahman yang selalu menjadi penyemangat saat mengerjakan tugas akhir ini



## HALAMAN MOTTO

“Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik.”

(Ali Bin Abi Thalib)

“Mahkota seseorang adalah akalnya, derajat seseorang adalah agamanya,  
sedangkan kehormatan seseorang adalah budi pekertinya”

(Umar Bin Khattab)



## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Sholawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Risdiyono, S.T., M.Eng. Selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Atasworo Handoko dan Ibu Ai Sunariah selaku orang tua serta Aqil Fauzan Fadlurrahman dan Azmi Taufiqurrahman selaku saudara saya yang telah memberikan doa, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang begitu tulus.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman seperjuangan M.Ashfan, Fadhyl dan Galang Pangestu yang sudah saling membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.

7. Teman-teman kontrakan baik, teman-teman Latahzan dan teman-teman dari kota asal saya atas canda tawa dan semangatnya selama perkuliahan berlangsung.
8. Teruntuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas suka duka yang telah diberikan selama penulis berkuliah, semoga kebaikannya dapat diberi balasan oleh Allah SWT.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 19 Januari 2022



Azra Haidar Rahman

17525043

## ABSTRACT

*Sandwich composites are a combination of two materials consisting of two skins, between which there is a core, where the skin is used to coat the core. In this study using core (PLA+), fiberglass (Skin) and glued using 2668wnc resin using the vacuum assisted resin infusion (VARI) method. In this study, varied the thickness of the core, namely 3 mm, 5 mm and 7 mm. The core is made using a 3D print machine with PLA+ (Polylactic Acid) 20% infill and honeycomb fill pattern. This study uses tensile testing to determine the tensile strength, strain, and modulus of elasticity in each test specimen. Specimens tested using the ASTM D638-01 standard. Tensile testing was carried out at the engineering materials laboratory, Gadjah Mada University. Based on the tests that have been carried out, the highest tensile strength value is obtained in the specimen with a thickness variation of 3 mm with a value of 72.83 Mpa and the highest maximum elastic modulus value in a specimen with a core variation of 3 mm with a value of 2457.30 Mpa.*

*Keywords: Sandwich Composite, Core Thickness Variation, Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI), Tensile Testing*

## ABSTRAK

Komposit *Sandwich* merupakan gabungan dua material yang terdiri dari dua buah *skin*, dimana diantara (*skin*) tersebut terdapat *core*, letak *skin* digunakan untuk melapisi *core*. Pada penelitian ini menggunakan *core* (PLA+), *fiberglass* (*skin*) dan direkatkan menggunakan resin jenis 2668wnc dengan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI). Pada penelitian ini ,memvariasikan ketebalan *core*, yaitu 3 mm, 5 mm dan 7 mm. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dengan bahan PLA+ (*Polylactic Acid*) *infill* 20% dan *fill pattern honeycomb*. Penelitian ini menggunakan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas pada masing – masing spesimen uji. Spesimen yang di uji menggunakan standar ASTM D638-01. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan variasi ketebalan 3 mm dengan nilai 72,83 MPa dan nilai modulus elastisitas maksimal tertinggi pada spesimen dengan variasi *core* 3 mm dengan nilai 2457,30 MPa,.

Kata kunci: Komposit *sandwich*, Variasi Tebal *Core*, *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI), Pengujian Tarik

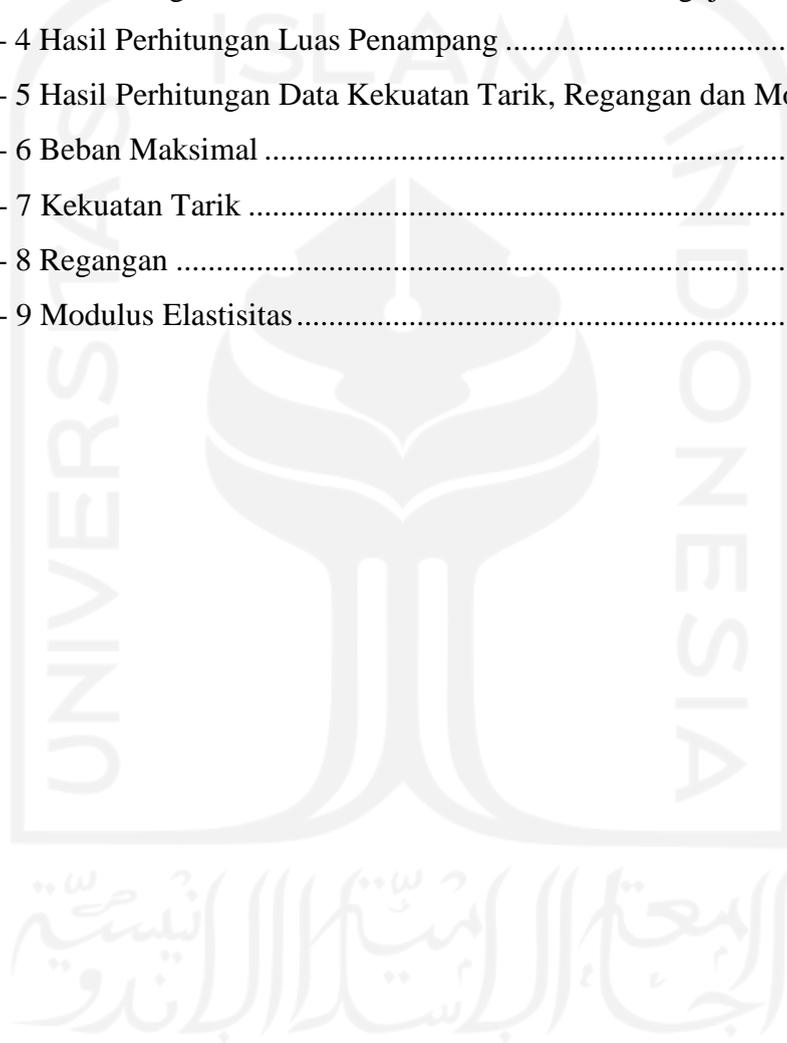
## DAFTAR ISI

Pernyataan Orisinalitas Tugas Akhir .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto.....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih .....	vii
Abstract .....	ix
Abstrak .....	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel .....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Notasi .....	xv
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.1 Rumusan Masalah .....	2
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Kajian Pustaka .....	4
2.2 Komposit .....	5
2.3 Komposit Sandwich .....	6
2.3.1 Core.....	7
2.3.2 Skin ( <i>Fiberglass</i> ).....	8
2.3.3 Matriks (Resin).....	10
2.4 3D Print .....	12
2.5 <i>Vacuum Assited Resin Infusion (VARI)</i> .....	13

2.6	Uji Tarik .....	14
2.6.1	Standar Uji Tarik ASTM D638-90 .....	17
2.7	Water Jet Cutting .....	18
2.8	Bentuk dan Tipe Kegagalan Uji Tarik.....	18
Bab 3 Metode Penelitian .....		20
3.1	Alur Penelitian.....	20
3.2	Peralatan dan Bahan .....	21
3.3	Standar dan Ukuran Spesimen.....	27
3.4	Komposisi Komposit Sandwich .....	28
3.5	Proses Pengerjaan.....	28
3.5.1	Proses Pembuatan Core 3D Printing .....	28
3.5.2	Proses <i>Vacuum Assited Resin Infussion (VARI)</i> .....	29
3.5.3	Proses Finishing .....	31
Bab 4 Hasil dan Pembahasan .....		33
4.1	Proses Pengujian Tarik .....	33
4.2	Hasil Pengujian Tarik .....	34
4.3	Analisis Data dan Pembahasan.....	36
4.3.1	Analisis Data .....	36
4.3.2	Pembahasan.....	39
4.4	Bentuk Patahan dan Modus Kegagalan .....	44
Bab 5 Penutup .....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya .....	48
Daftar Pustaka .....		49

## DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Dimensi ASTM D638.....	18
Tabel 2- 2 Ketentuan Jenis Pola Patahan .....	19
Tabel 4- 1 Keterangan Kode Spesimen.....	34
Tabel 4- 2 Hasil Pengujian Tarik .....	35
Tabel 4- 3 Perbandingan Dimensi Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	35
Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Luas Penampang .....	37
Tabel 4- 5 Hasil Perhitungan Data Kekuatan Tarik, Regangan dan Modulus .....	38
Tabel 4- 6 Beban Maksimal .....	39
Tabel 4- 7 Kekuatan Tarik .....	40
Tabel 4- 8 Regangan .....	42
Tabel 4- 9 Modulus Elastisitas.....	43



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Klasifikasi Komposit .....	6
Gambar 2- 2 Struktur Sandwich.....	7
Gambar 2- 3 Struktur Honeycomb .....	8
Gambar 2- 4 Countnous Roving .....	9
Gambar 2- 5 Woven Roving .....	10
Gambar 2- 6 Chopped Strant Matt .....	10
Gambar 2- 7 Alat 3D Printing .....	13
Gambar 2- 8 Skema Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI).....	14
Gambar 2- 9 Bentuk Pengujian Tarik .....	15
Gambar 2- 10 Luas permukaan 3D Print .....	16
Gambar 2- 11 Luas Permukaan Fiberglass .....	16
Gambar 2- 12 Standar Uji Tarik ASTM D638.....	17
Gambar 2- 13 Jenis Pola Patahan.....	18
Gambar 2- 14 Kegagalan Komposit Sandwich.....	19
Gambar 3- 1 Pompa Vacuum .....	21
Gambar 3- 2 Tabung Reservoir.....	21
Gambar 3- 3 Filter.....	22
Gambar 3- 4 Hasil filter setelah terkena cairan resin.....	22
Gambar 3- 5 Timbangan .....	22
Gambar 3- 6 Gergaji.....	23
Gambar 3- 7 Vacuum Block .....	23
Gambar 3- 8 Katup Bensin.....	23
Gambar 3- 9 <i>Fiberglass</i> .....	24
Gambar 3- 10 Resin wnc 2668.....	24
Gambar 3- 11Katalis .....	24
Gambar 3- 12 Kain Peelply.....	25
Gambar 3- 13 Kain Strimin.....	25
Gambar 3- 14 Plastisin .....	25
Gambar 3- 15 Vacuum Bagging Film.....	26
Gambar 3- 16 Selang Spiral .....	26

Gambar 3- 17 PLA+ .....	26
Gambar 3- 18 Selang Pneumatik.....	27
Gambar 3- 19 Dimensi Spesimen Uji ASTM D638 tipe I.....	27
Gambar 3- 20 Komposisi Komposit Sandwich.....	28
Gambar 3- 21 Proses Pembuatan Spesimen .....	29
Gambar 3- 22 Susunan Komposit Sandwich .....	29
Gambar 3- 23 Pemasangan Selang Spiral .....	30
Gambar 3- 24 Pemasangan Spesimen.....	30
Gambar 3- 25 Timbang Resin dan Katalis .....	31
Gambar 3- 26 Proses Vacuum.....	31
Gambar 3- 27 Proses Pemotongan dengan Gerinda.....	32
Gambar 3- 28 Pemotongan dengan Water Jet.....	32
Gambar 4- 1 Proses Pengujian Tarik .....	33
Gambar 4- 2 Spesimen sebelum di uji .....	34
Gambar 4- 3 Spesimen setelah di uji.....	34
Gambar 4- 4 Grafik Baban Maksimal .....	39
Gambar 4- 5 Grafik Kekuatan Tarik .....	41
Gambar 4- 6 Grafik Regangan .....	42
Gambar 4- 7 Grafik Modulus Elastisitas.....	43
Gambar 4- 8 Bentuk Patahan Spesimen Kode A .....	44
Gambar 4- 9 Bentuk Patahan Spesimen Kode B.....	45
Gambar 4- 10 Bentuk Patahan Spesimen Kode C.....	46

## DAFTAR NOTASI

- $\sigma$  = Kekuatan tarik maksimum (Pa)  
 $F$  = Beban maksimum (N)  
 $A$  = Luas penampang ( $m^2$ )  
 $L$  = Lebar (m)  
 $t$  = Ketebalan (m)  
 $\varepsilon$  = Regangan (%)  
 $\Delta l$  = Pertambahan panjang (m)  
 $L_0$  = Panjang awal (m)  
 $E$  = Modulus Elastisitas

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada dunia industri di Indonesia sangat pesat. Hal ini yang membuat para peneliti terus melakukan inovasi dengan membuat produk untuk kebutuhan para industri besar maupun pada penggunaan sehari-hari. Produk yang dibuat memiliki sifat kuat, ringan, bentuk yang kompleks dan harga yang relatif murah. Hasil produk teknologi 3D *Printing* salah satunya.

Teknologi 3D *Print* yang paling banyak digunakan adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM), yang menggunakan bahan filamen seperti *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan sebagainya. Material filament yang bervariasi memberikan fleksibilitas pemilihan material dalam membuat produk hasil 3D *Printing*. Namun hasil produk 3D *Printing* masih belum banyak digunakan secara langsung dalam produk mekanik dikarenakan nilai kekuatan tarik masih relatif rendah dibanding produk material rekayasa lainnya. Produk hasil dari 3D *Printing* yang dapat mewujudkan 3D CAD model menjadi produk yang cepat, bentuk yang kompleks dan relatif murah. Para peneliti tertarik untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik produk 3D *Printing*.

Komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala mikroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Produk hasil dari komposit memiliki keunggulan yaitu kuat, ringan, sifat mekanis yang lebih baik dan dimensi yang besar. Komposit serat kaca (*fiberglass*) dan serat karbon (*carbon fiber*) dengan matriks polimer semakin banyak digunakan dalam pembuatan produk komposit. Dimana produk komposit dirancang dengan mengatur jenis material dan fraksi volume matriks dengan serat penguat komposit.

Komposit *sandwich* merupakan material yang tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* dan *core* pada bagian tengahnya serta bahan perekat untuk merekatkan kedua bahan tersebut. Bahan

perekat yaitu resin (*matriks*) digunakan untuk menggabungkan *skin* dan *core* (Diharjo, 2011).

Pada produk komposit sandwich untuk menambah kekuatan dan kekakuan, digunakan *core* seperti *honeycomb* pada bagian tengahnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit *sandwich* yaitu jenis *core*, ukuran *core*, ukuran serat, konsentrasi serat, dan distribusi serat (Nayiroh N., 2015).

Pada proses pembuatan komposit sendiri juga memiliki beberapa jenis pembuatan, yaitu *hand lay-up*, *spray-up*, *vacuum bag* dan *vacuum infusion*. Dalam hal ini, muncul ide untuk menggabungkan 3D *Printing* dan komposit *sandwich* dalam satu produk. Dimana produk hasil 3D *Printing* sebagai *core* dan komposit sebagai *skin*. Berdasarkan uraian di atas dilakukan penelitian mengenai pengaruh ukuran variasi ketebalan *core* 3D *Printing* terhadap kekuatan tarik komposit *sandwich* yang diperkuat dengan *skin fiberglass*.

## 1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi tebal *core* terhadap kekuatan tarik (uji tarik) komposit *sandwich*.
2. Bagaimana melakukan proses *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) yang tepat terhadap spesimen uji.

## 1.2 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini akan diberikan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Proses *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) dilakukan di Laboratorium Proses Produksi UII
2. Pembuatan spesimen uji sebagai *core* menggunakan 3D *Print* dengan bahan filament PLA+ (*Polylactic Acid*) *infill* 20% dan variasi tebal *core honeycomb* yang digunakan yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm.
3. Serat yang digunakan yaitu *fiberglass* dengan jenis serat acak dan resin yang digunakan dengan jenis 2668wnc.

4. Penelitian ini hanya pembuatan spesimen uji dan pengujian tarik saja, tidak sampai merancang atau membuat *prototype* alat
5. Pengujian yang dilakukan hanya uji tarik, untuk mengetahui kekuatan produk tersebut.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini:

1. Menganalisis pengaruh variasi ketebalan *core honeycomb* (3 mm, 5 mm, dan 7 mm) terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI).
2. Mengetahui jenis patahan yang terjadi setelah melakukan pengujian tarik

### **1.4 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan produk komposit *sandwich* dengan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI)
2. Mengetahui pengaruh variasi ketebalan *core honeycomb* terhadap kekuatan tarik.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistem penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, sebagai berikut :

1. BAB 1. Pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian
2. BAB 2. Kajian pustaka dan dasar teori yang akan digunakan pada penelitian ini.
3. BAB 3. Metodologi penelitian, berisi mengenai alur penelitian, alat dan bahan, serta tahapan proses pembuatan produk yang akan diuji.
4. BAB 4. Hasil dan pembahasan yang berisikan analisis data dan pembahasan hasil dari uji tarik.
5. BAB 5. Penutup yang berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Analisis Pada Proses 3D Printer Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Filamen PLA +”, Dalam penelitian ini penulis membuat spesimen dengan *core* 3D print berbahan PLA+ dengan inti berbentuk *honeycomb* dengan menggunakan mesin printer 3D tipe FDM. Spesimen hasil 3D *Print* kemudian dilakukan uji Tarik. nilai kekuatan tarik tertinggi ditempati oleh tipe *infill* yang sama yaitu *honeycomb*, Pada suhu 210°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 44,2 Mpa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada tipe *infill hilbert curve* dan *archimedean chord* sebesar 16,3 Mpa. Pada suhu 220°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 38,1, nilai kekuatan tarik terendah terdapat tipe *infill archimedean chord* sebesar 16 Mpa, Pada suhu 230°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 39,7 Mpa, dan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada tipe *infill* yang sama dengan suhu 220°C sebesar 15,7 Mpa (Subkhan, 2018).

Kajian Pustaka kedua dari penelitian berjudul “A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites”, Dimana dalam penelitian ini meneliti tentang perbandingan kekuatan tarik antara hand lay-up, vacuum bagging, dan vacuum assisted resin infusion. Nilai rata-rata kuat tarik adalah 260.982 MPa untuk *hand lay-up*, 346,15 MPa untuk proses *vacuum assisted resin infusion*, dan 271.298 MPa untuk proses *vacuum bagging* (K. Abdurrohman, 2018).

Kajian Pustaka yang ketiga berasal dari penelitian berjudul “Pengaruh Penambahan Coremate Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Tipe *Sandwich*”. Data pengujian menunjukkan penambahan dua lapis *coremate* menurunkan kekuatan tarik 10% dan penambahan tiga lapis *coremate* menurunkan kekuatan tarik 43%. Hal ini menunjukkan bahwa inti *coremate* mampu menambah kekakuan struktur komposit tapi tidak menambah kekuatan struktur (Mabe S., 2018).

Kajian Pustaka keempat berasal dari penelitian berjudul “Analisis uji bending komposit sandwich yang digabungkan 3D Printing.” oleh Yudha Izma Adriansyah, 2021. Penelitian ini membahas tentang pengujian bending pada komposit *sandwich* dengan metode *hand lay-up* dengan *infill* 10% dan *infill* 20%. Didapat kesimpulan bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik dibanding dengan komposit *sandwich* dengan *infill* 10%. Komposit dengan *infill* 20% dapat menanggung beban maksimal yaitu 935 Newton, sedangkan komposit dengan *infill* 10% dapat menanggung beban maksimal yaitu 315 Newton. (Yudha Izma Adriansyah, 2021)

## 2.2 Komposit

Komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungannya, yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriknya (komposit serat) sedangkan pada *alloy* / paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya (Jones, 1975).

Penyusun komposit umumnya terjadi pada 2 fasa :

1. Matriks, fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan) dengan mentransfer tegangan ke serat yang memiliki keunggulan tetap stabil setelah proses manufaktur.
2. *Reinforcement* atau *fiber*, berfungsi sebagai penanggung beban utama komposit.

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan *phase* yang berbatasan dengan *phase* lain).

Komposit diklasifikasikan menjadi 3 kelompok :

- a. Komposit matriks polimer (KMP), polimer sebagai matrik
- b. Komposit matrik logam (KML), logam sebagai matrik

- c. Komposit matrik keramik (KMK), keramik sebagai matrik (Nayiroh N., 2015).

Matrix phase/Reinforcement Phase	Metal	Ceramic	Polymer
Metal	Powder metallurgy parts – combining immiscible metals	Cermets (ceramic-metal composite)	Brake pads
Ceramic	Cermets, TiC, TiCN Cemented carbides – used in tools Fiber-reinforced metals	SiC reinforced Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Tool materials	Fiberglass
Polymer			Kevlar fibers in an epoxy matrix
Elemental (Carbon, Boron, etc.)	Fiber reinforced metals Auto parts aerospace		Rubber with carbon (tires) Boron, Carbon reinforced plastics

  
**MMC's**  
Metal Matrix Composites

  
**CMC's**  
Ceramic Matrix Comp's

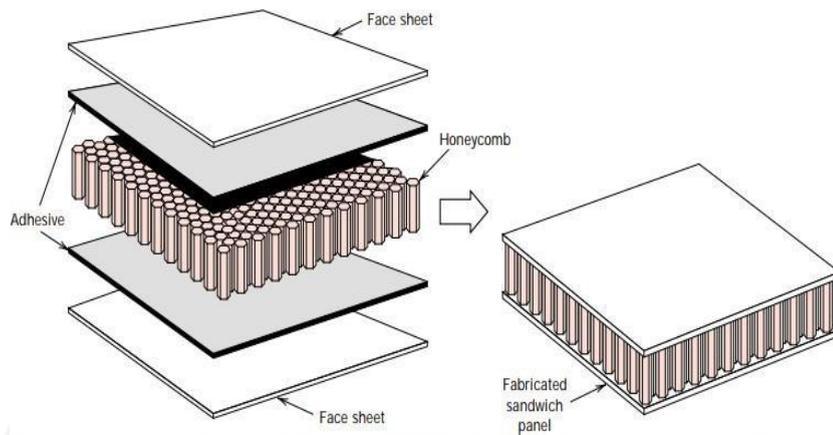
  
**PMC's**  
Polymer Matrix Comp's

Gambar 2- 1 Klasifikasi Komposit

### 2.3 Komposit Sandwich

Panel sandwich, dianggap sebagai kelas komposit struktural, terdiri dari dua lembaran luar yang kuat atau wajah (*skin*), dipisahkan oleh lapisan bahan yang kurang padat (*inti*), atau inti, yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih rendah. Wajah menanggung sebagian besar di dalam pesawat pembebanan, dan juga setiap tegangan lentur melintang. Bahan wajah yang umum termasuk paduan aluminium, plastik yang diperkuat serat, titanium, baja, dan kayu lapis.

Secara struktural, inti melayani dua fungsi. Pertama, itu memisahkan wajah dan menahan deformasi tegak lurus terhadap bidang muka. Kedua, ini memberikan kepastian derajat kekakuan geser sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap permukaan. Berbagai-bagai bahan dan struktur digunakan untuk inti, termasuk polimer berbuis, sintetis, karet, semen anorganik, serta kayu balsa.



Gambar 2- 2 Struktur Sandwich

Inti populer lainnya terdiri dari struktur "*honeycomb*" foil tipis yang memiliki telah dibentuk menjadi sel-sel heksagonal yang saling mengunci, dengan sumbu yang berorientasi tegak lurus terhadap pesawat wajah. Bahan pembuatan sarang lebah mungkin serupa untuk bahan wajah.

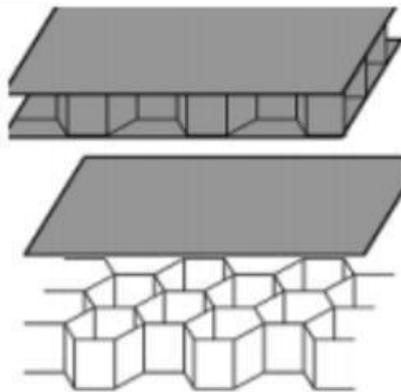
Panel sandwich ditemukan dalam berbagai macam aplikasi; mereka termasuk atap, lantai, dan dinding bangunan; dan, di pesawat, untuk sayap, badan pesawat, dan kulit ekor pesawat (Callister, 2001).

### 2.3.1 Core

Salah satu bagian yang terpenting dari komposit sandwich adalah *core*, pada bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Kekakuannya *core* harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk *core*, karena kekuatan pada lapisan *sandwich* akan berkurang. Tidak hanya mempunyai densitas rendah, *core* biasanya mempunyai syarat lain. Seperti *buckling*, umur panjang dan sebagainya (Hidayat, 2016).

Sarang Lebah (Struktur *honeycomb* terdiri dari berbagai macam material dan konfigurasi yang tidak terbatas. Struktur *honeycomb* umumnya terbuat dari material komposit, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut. Selain ditujukan kepada massa material konstruksi yang ringan, juga didapatkan tingkat fleksibilitas yang cukup besar dari pemilihan material komposit tersebut. Struktur *honeycomb sandwich* yang sering digunakan untuk

mendapatkan kekakuan yang tinggi dan juga bobot yang ringan. Gaya geser yang bekerja pada *core* relatif rendah, namun pemilihan material yang tepat harus tepat untuk memungkinkan tegangan geser yang terjadi. Selain itu faktor perekatan lapisan material atas dan bawah terhadap inti (*core*) juga berpengaruh terhadap pertimbangan struktural ini (Siregar, 2021).



Gambar 2- 3 Struktur Honeycomb

### 2.3.2 Skin (*Fiberglass*)

Serat adalah salah satu bahan utama penyusun komposit yang berfungsi sebagai penahan beban, sehingga besar kekuatan bahan komposit sangat kecil bergantung pada serat pembentuknya. Semakin kecil diameter serat maka akan semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono dan Diharjo, 2000).

Serat dibedakan menjadi dua yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang berasal dari alam yaitu berupa tumbuh-tumbuhan seperti serat eceng gondok, serabut kelapa, sonokeling, serat pohon pinang. Sedangkan serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi bahan kimia tertentu. Pada umumnya serat sintetis yang paling sering digunakan adalah seperti serat gelas, nilon, kelvar, serat karbon dan lain-lain (Schwartz, 1984).

Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit karena serat gelas yang dinilai mempunyai sifat-sifat dan kekuatan yang tangguh. Sifat-sifat dari serat gelas yaitu memiliki sifat yang tidak mudah terbakar, sebagai isolasi listrik yang

baik dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Serat masih dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain :

1. Serat gelas A, Serat gelas jenis ini sangat jarang digunakan untuk bahan produksi penguat atau komposit karena memiliki kandungan alkali.
2. Serat Gelas E, Serat gelas jenis ini memiliki kandungan kalsium, alumunium hidrosikda, borosilikat, pasir silika dan serat gelas E ini memiliki kandungan alkali yang rendah. Serat gelas E ini memiliki kekuatan tarik, tekan dan geser yang cukup tinggi sehingga memiliki fungsi isolator listrik yang baik, namun serat ini bersifat getas.
3. Serat Gelas D, Serat gelas ini memiliki sifat dielektrik yang baik, sehingga banyak digunakan untuk bahan pembuatan elektronik.
4. Serat Gelas R dan S, Serat jenis ini memiliki komposisi kimia yang berbeda. Kedua serat ini merupakan bahan penguat dengan kemampuan tinggi (Nugroho, 2007).

Serat fiberglas dibagi menjadi beberapa bentuk :

a. *Countinous Roving*

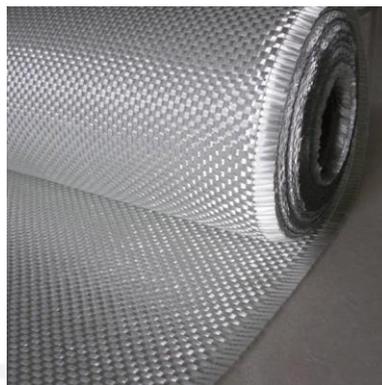
*Countinous Roving* adalah jenis serat *fiberglass* yang arah seratnya tersusun menjadi benang yang Panjang dan bersifat kontinu.



Gambar 2- 4 Countnous Roving

b. *Woven Roving*

*Woven Roving* adalah jenis serat *fiberglass* yang arah seratnya dipintal dan kemudian disusun hingga menyerupai bentuk anyaman.



Gambar 2- 5 Woven Roving

c. *Chopped Strant Mat*

*Chopped Strant Mat* adalah serat yang tersusun dari bulu-bulu yang disatukan sehingga membentuk lembaran dan bentuk susunannya tidak beraturan.



Gambar 2- 6 Chopped Strant Matt

### 2.3.3 Matriks (Resin)

Komposit berjenis PMC (*Polymer Matrix Composite*) digunakan resin (matriks) yang berjenis termoset. Termoset adalah salah satu jenis plastik yang banyak digunakan untuk bahan komposit dengan penguat serat. Jenis matriks ini memiliki rantai molekul yang saling berhubungan meskipun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing molekul tidak akan saling bergerak secara relatif. Matriks akan mencair kemudian mengeras secara bersamaan dengan terbentuknya monomer sehingga akan bersifat stabil. Penggunaan termoset sebagai matriks memiliki beberapa keunggulan seperti dapat mengikat serat dengan mudah dan baik (Kristanto, 2018).

Resin untuk pembuatan komposit dengan jenis termoset terbagi menjadi dua yaitu ;

a. Resin Epoxy

Resin Epoxy Resin epoxy adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset dan merupakan bahan perekat sintetik yang banyak dipakai untuk berbagai keperluan termasuk untuk konstruksi bangunan. Resin termoset adalah polimer cairan yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanis bergantung pada unit molekul yang membentuk jaringan silang. Epoxy memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada polyester pada keadaan basah, namun tidak tahan terhadap asam. Epoxy memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimum bahan (Oktavilla, 2020).

Epoxy sangat baik sebagai bahan matriks pada pembuatan bahan komposit karena memiliki keunggulan sebagai zat perekat dibanding dengan polimer-polimer lain. Diantaranya adalah keaktifan permukaan tinggi, daya pembasahan baik, kekuatan kohesif tinggi, tidak mengkerut, mudah diubah-ubah sifatnya dengan memilih resin hardener yang tepat.

b. Resin Polyester

Resin Poliester ini dibuat dengan mereaksikan dihidrik alkohol dengan *asam dikarboksilat*. Hasilnya dapat jenuh (*saturated*) atau tak jenuh (*unsaturated*), tergantung ada tidaknya rangkap dalam polimer liniernya. Polyester sering digunakan untuk pembuatan serat. Polyester tak lazim dipakai sebagai resin laminasi atau digabung dengan booster serat sebagai formulasi komposit. Resin Polyester tak jenuh dapat mengubah minyak dan asam lemak menjadi resin alkid atau sebagai pengubah sifat perekat lain (misalnya *poliuretan* dari *isosianat*). Resin Poliester tak jenuh termoset, memiliki beragam tipe dan kode berdasarkan dari pabrik atau merk yang memproduksinya. Merk yang paling dikenal adalah resin poliester dari Justus, SHCP (*Singapore Highpolymer Chemical Product*), Yucalac, Arindo, Eterna, dan sebagainya. Setiap

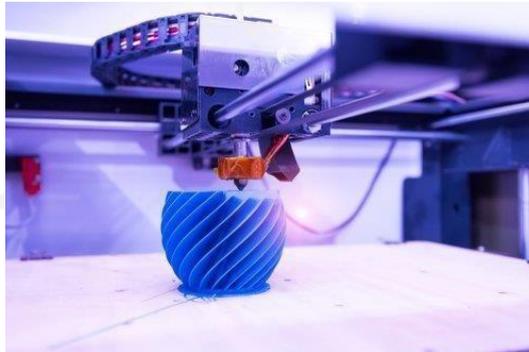
pabrik mengeluarkan kode resin yang berbeda walaupun memiliki sifat dari resin tersebut. Sebagai contoh resin 157 BQTN yang dikeluarkan oleh Justus, memiliki sifat dan wujud yang hampir sama dengan resin 268 IIQTN yang dikeluarkan oleh SHCP, walaupun kekuatan dari sedikit berbeda. Resin dengan sifat dan kualitas yang lain SHCP juga memberikan kode resin yang berbeda pula, misalnya Resin 2668wnc yang lebih kental daripada 268 BQTN yang disesuaikan dengan sifat dan kegunaannya (Oktavilla, 2020).

## 2.4 3D Print

Teknologi *Additive Manufacturing* (AM) adalah prinsip pembuatan benda tiga dimensi dengan berbagai struktur. Ada beberapa teknologi manufaktur aditif, salah satunya adalah teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). S. Scott Crump mengembangkan teknologi printer FDM 3D (tiga dimensi) pada akhir 1980-an dan menjualnya oleh stratasys pada 1990. Saat ini, dibandingkan dengan teknologi lain, FDM merupakan teknologi pencetakan 3D yang paling banyak digunakan. Kemudahan pengoperasian, biaya yang lebih rendah dan sifat yang ramah lingkungan merupakan alasan mengapa teknologi FDM lebih populer dibandingkan teknologi manufaktur lainnya. Keunggulan ini mendorong pengembangan berbagai bentuk dasar produk, proses pembuatan, dan pengembangan berbagai aplikasi industri. Teknologi buatan manusia tidak ada yang sempurna.

FDM adalah teknologi yang bisa mengalami cacat karena menggunakan proses konstruksi lapis demi lapis, sehingga permukaan produk akhir tampak memiliki garis menunjukkan batas antar *layer* (lapis). Batasan setiap lapisan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kecepatan pencetakan printer menggerakkan pola, tinggi lapisan (yaitu tinggi atau ketebalan atau jarak lapisan) dan tekstur plastik cair akibat pencetakan suhu. Kemampuan printer 3D yang dapat digunakan untuk membuat komponen yang dirancang khusus. Perkembangan pencetakan printer 3D tidak terlepas dari berbagai perangkat lunak desain yang telah dibuat, dan produk 3D dapat diproduksi dan dicetak dengan menggunakan printer 3D. *Software* yang digunakan untuk mendesain objek 3D

sebelum dicetak biasanya menggunakan CAD Inventor, Solidwork atau Sketch Up. Perancangan dengan software dapat membantu pengguna membuat produk 3D sesuai keinginan (Hanafi, 2021).



Gambar 2- 7 Alat 3D Printing

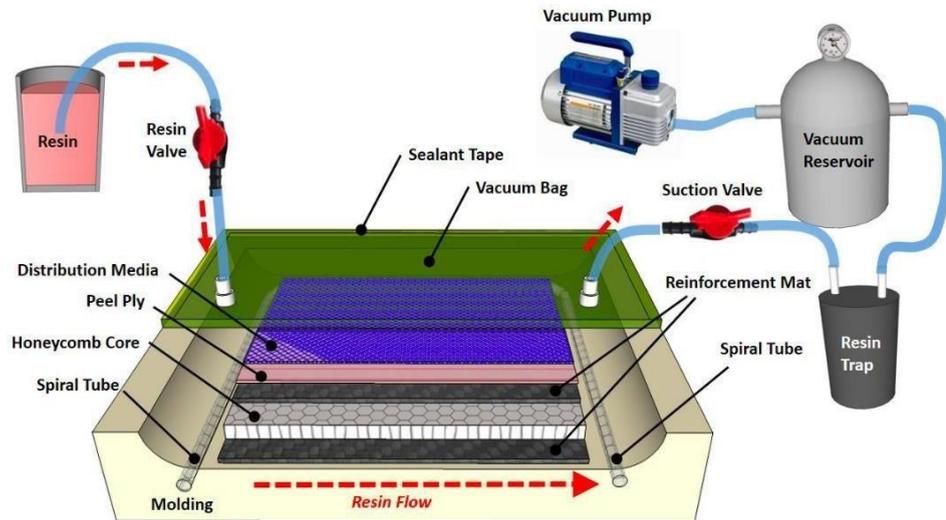
Proses pembuatan sampel uji diawali dengan proses pembuatan model dengan menggunakan *software* CAD, lalu mengeluarkan *G-code* dengan perangkat lunak yang sesuai dengan jenis printer 3D. Selanjutnya yaitu menggunakan printer 3D untuk mencetak sampel uji. Kemudian gunakan jangka sorong untuk mengukur sampel uji yang dicetak untuk mengetahui ukuran sampel uji yang sebenarnya. Setelah mengetahui bahwa ukuran sampel uji sesuai dengan standar ASTM D638, akan digunakan mesin uji tarik untuk menguji kekuatan sampel uji.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis filament PLA+. PLA+ atau *poliester biodegradable* yang terdiri dari blok bangunan *asam laktat*. Pada masa awal, hanya PLA+ dengan kepadatan rendah yang diproduksi. Dengan menggunakan laktida sebagai bahan baku dan melalui proses *polimerisasi* pembukaan cincin, versi PLA+ kepadatan tinggi akhirnya dikembangkan..

## **2.5 Vacuum Assited Resin Infusion (VARI)**

*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.



Gambar 2- 8 Skema Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)

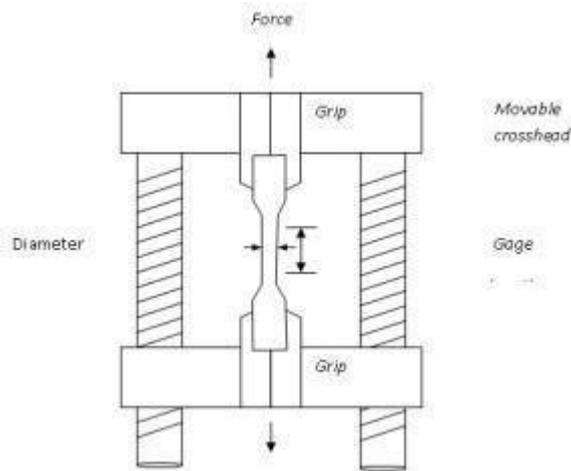
Metode VARI menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber-resin yang tinggi dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan oleh tekanan vakum yang konstan (Febriyanto, 2011).

## 2.6 Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985).

Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya.

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana dan terstandarisasi.



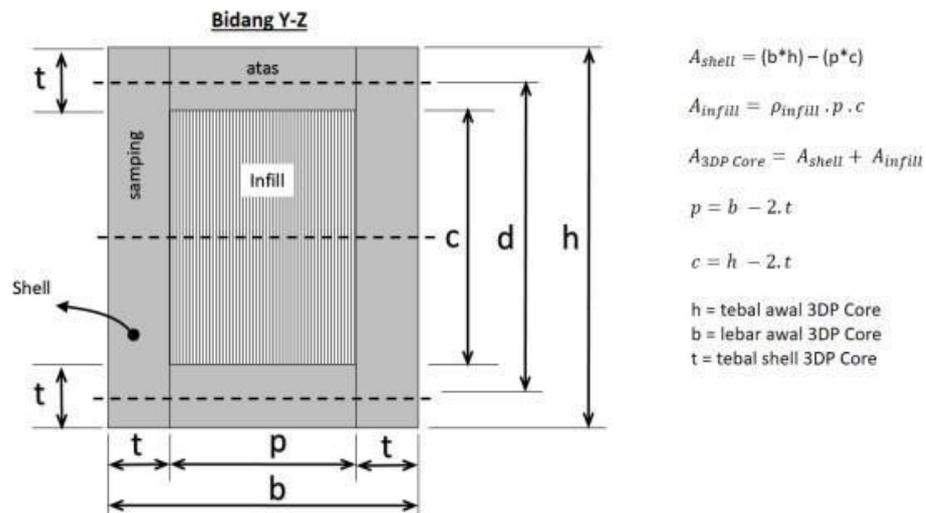
Gambar 2- 9 Bentuk Pengujian Tarik

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

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

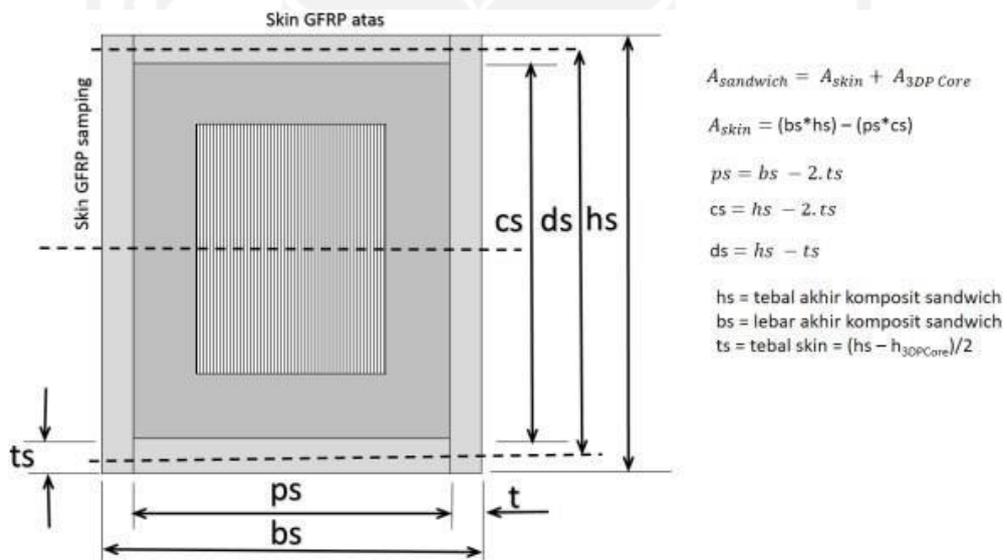
dengan F adalah beban yang diberikan (N) dan A adalah luas permukaan di mana beban bekerja (mm<sup>2</sup>). Luas permukaan komposit sandwich didapat dari gambar berikut :

- Luas Permukaan 3D *Print*



Gambar 2- 10 Luas permukaan 3D Print

- Luas Permukaan *Fiberglass*



Gambar 2- 11 Luas Permukaan Fiberglass

Tegangan pada suatu sistem akan menyebabkan terjadinya regangan, yaitu perubahan panjang atau perubahan ukuran benda. Regangan dirumuskan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

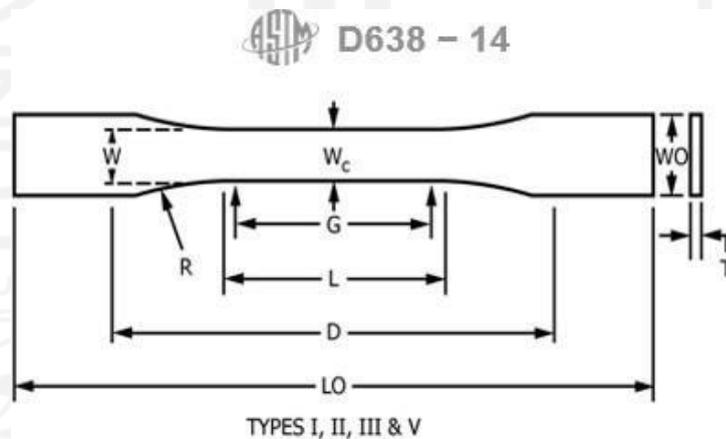
adalah regangan, L adalah panjang akhir benda dan lo adalah panjang awal benda. Dari dua besaran ini didapatkan suatu besaran lain yang dinamakan sifat elastisitas benda, atau lebih umum dinamakan modulus. Modulus elastisitas adalah sifat mekanik material yang menunjukkan seberapa besar material untuk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

$$E = \frac{\sigma}{s} \dots\dots\dots(3)$$

dengan E merupakan tegangan dibagi dengan regangan (Pangestu, 2017).

### 2.6.1 Standar Uji Tarik ASTM D638-90

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan standar pengujian tarik ASTM D-638 dengan dimensi spesimen seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah :



Gambar 2- 12 Standar Uji Tarik ASTM D638

(Sumber : Designation: D638 – 14)

Tabel 2-1 Dimensi ASTM D638

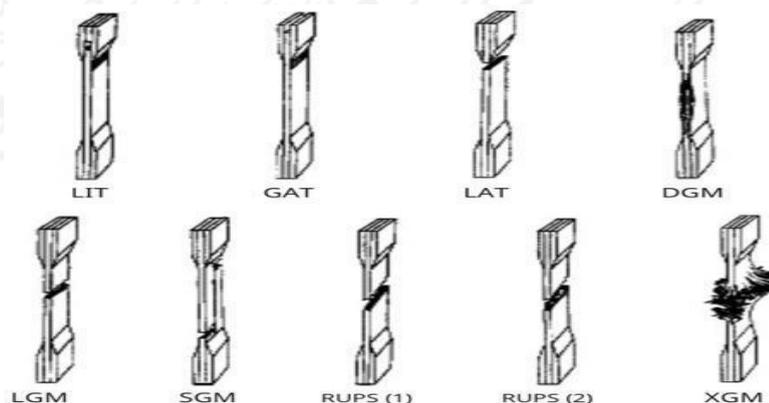
Specimen Dimension for Thickness T,mm(in)						
Dimension (see drawings)	7(0.28) or under		over 7 to 14 (0.28 to 0.55)	4(0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	
W-Width of narrow section E.F	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02)B.C
L-Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02)c
WO-Width overall,min WO-Width overall,min	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)		+ 6.4 ( +0.25)
LO-Length overall,min LO-Length overall,min	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	9.53 (0.375)	+3.18 ( +0.125)
G-Gage length'	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)		63.5 (2.5)	±0.25 (±0.010)0
G-Gage length'				25 (1.00)	7.62 (0.300)	±0.13 (±0.005)
D-Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)J	25.4 (1.0)	1:5 (:t:0.2)
A-Radius of fillet	76	76 (3.00)	76 (3.00)	14	12.7	1:1 (:t:0.04)c
RO-Outer radius (Type IV)				25 (1.00)		t:1(±0.04)

## 2.7 Water Jet Cutting

Proses pemesinan *water jet* terjadi sebagai yang paling efektif untuk operasi pemesinan. Waterjet digunakan untuk berbagai operasi dalam tujuan pemesinan seperti *deburring, polishing, cutting, turning dan milling*. Bahan yang digunakan dalam mesin waterjet adalah sebagai berikut: garnet, *fiberglass*, aluminium oksida, dan silikon karbida (Sarvesh, 2020).

## 2.8 Bentuk dan Tipe Kegagalan Uji Tarik

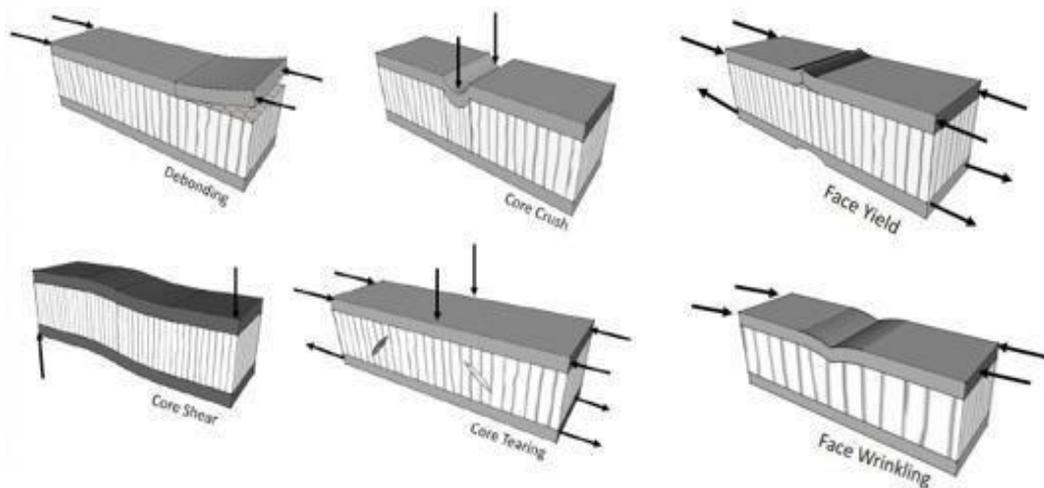
Bentuk patahan dan tipe kegagalan dari hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2- 13 Jenis Pola Patahan  
(Sumber : Designation D 3039/D 3039M)

Tabel 2-2 Ketentuan Jenis Pola Patahan

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/ cekam	l	Bottom	B
Deleminasi	D	Pada Grip/cekam	A	Top	T
Grip/cekam	G	< 1W dari grip/ ceka	w	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(x yz)	Multiple Areas	M	Midd le	M
Long splitting	s	Varius	v	Varius	V
Explosive	x	Unknown	u	Unknown	U
Other	0				

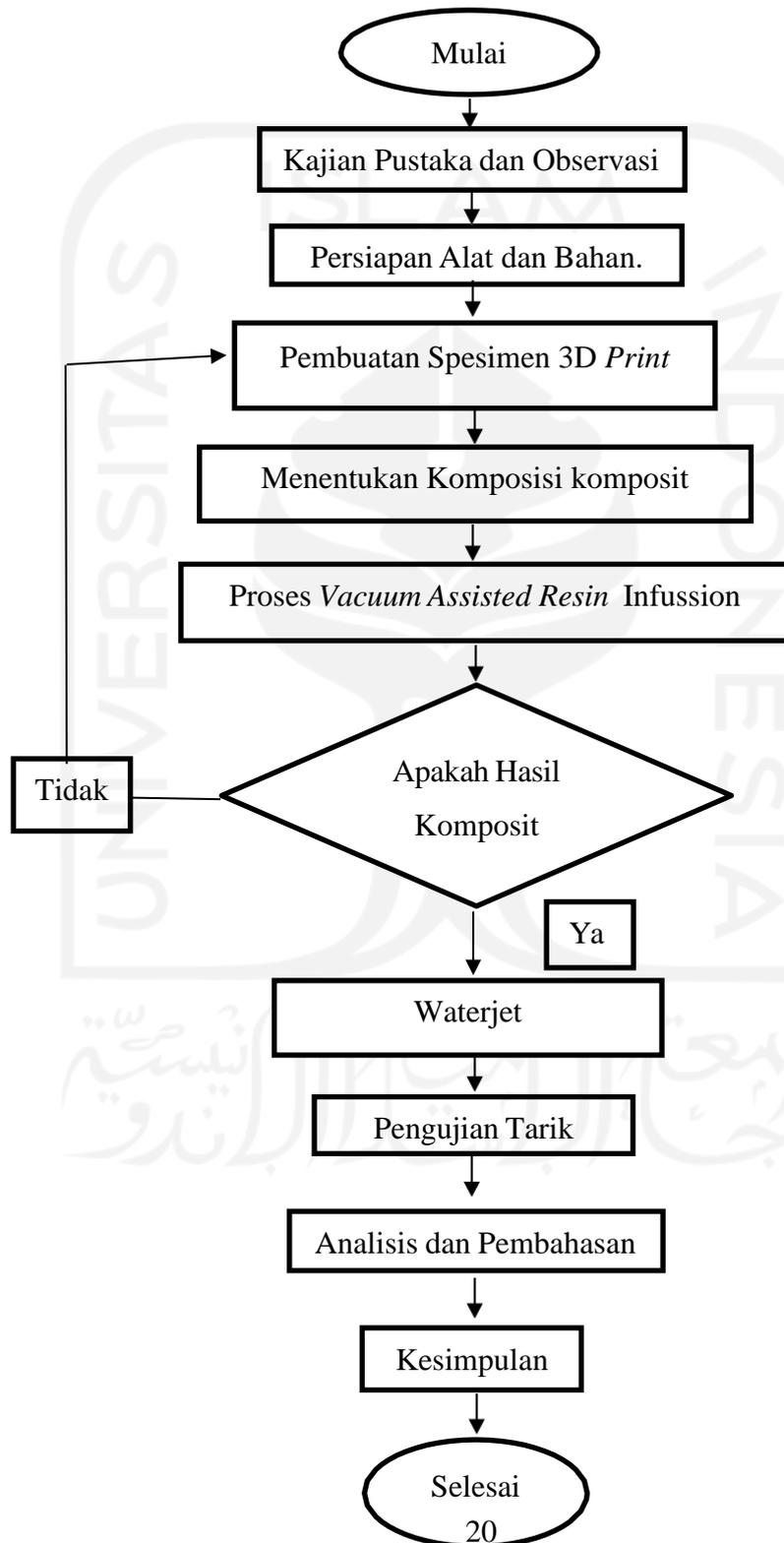


Gambar 2- 14 Kegagalan Komposit Sandwich

Pada gambar 2-14 ada 6 kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian core spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan untuk kegagalan *core tearing* jenis kegagalan yang terjadi adalah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. Pompa Vacuum

Pompa *vacuum* yang digunakan yaitu Krisbow dengan tenaga sebesar ½ HP berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum assisted resin infusion*.



Gambar 3- 1 Pompa Vacuum

### 2. Tabung Reservoir

Tabung Reservoir yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan pompa vakum dan memiliki dua input. Satu input sebagai penghubung ke *vacuum* dan satu lagi sebagai penghubung ke filter.



Gambar 3- 2 Tabung Reservoir

### 3. Filter

Filter ini terbuat dari pipa PVC dengan dua bagian yaitu berdiameter 3,5 inch dan 3 inch yang didalamnya terdapat besi spiral, balutan kawat, dan terakhir dibalut dengan tisu. Filter ini berfungsi sebagai penyerap atau penyaring cairan resin sebelum agar tidak masuk ke tabung reservoir.



Gambar 3- 3 Filter

Pada gambar 3-4 dibawah ini menunjukkan bagian dalam dari filter yang telah terkena cairan resin, dan harus segera dibersihkan sebelum cairan resin tersebut mengering yang dapat menghambat aliran udara yang masuk.



Gambar 3- 4 Hasil filter setelah terkena cairan resin

#### 4. Timbangan

Timbangan yang berfungsi sebagai takaran untuk mencampur resin dan katalis juga sebagai alat untuk menimbang spesimen sebelum dilapisi komposit dan setelah diberikan komposit.



Gambar 3- 5 Timbangan

## 5. Gergaji

Gergaji yang berfungsi untuk memotong spesimen uji yang masih terlapisi oleh resin.



Gambar 3- 6 Gergaji

## 6. Vacuum Block

Vacuum block yang berfungsi sebagai jalur masuknya resin kedalam plastic ziplock. *Vacuum block* ini terbuat dari 3D Print menggunakan bahan PLA+.



Gambar 3- 7 Vacuum Block

## 7. Katup Bensin

Katup bensin yang berfungsi sebagai pengatur udara dari selang resin dan dari selang pompa vakum.



Gambar 3- 8 Katup Bensin

## 8. *Fiberglass*

*Fiberglass* yang berfungsi sebagai *skin* pada penelitian ini, dan jenis *fiberglass* yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis *fiberglass Chopped Strant Matt*



Gambar 3- 9 *Fiberglass*

## 9. Resin

Resin yang berfungsi sebagai bahan yang digunakan untuk merekatkan lapisan – lapisan komposit *sándwich*. Jenis resin yang digunakan adalah resin *polyester 2688wnc*.



Gambar 3- 10 Resin 2668wnc

## 10. Katalis

Katalis yang berfungsi sebagai campuran resin agar resin cepat mengeras. Perbandingan resin dan katalis yang digunakan yaitu 100:1.



Gambar 3- 11 Katalis

### 11. Kain *Peel Ply*

Kain *peel ply* yang berfungsi sebagai pemisah antara serat *fiberglass* dan kain strimin agar kain strimin tidak menyatu dengan *fiberglass* serta memudahkan melepas produk hasil komposit



Gambar 3- 12 Kain Peelply

### 12. Kain Strimin

Kain strimin yang berfungsi sebagai pemisah antara plastik *ziplock* dan *peel ply* agar tidak terjadi hambatan ketika proses *vacuum* dilakukan.



Gambar 3- 13 Kain Strimin

### 13. Plastisin

Plastisin yang berfungsi sebagai penutup bagian-bagian apabila terjadi kebocoran.



Gambar 3- 14 Plastisin

#### 14. Vacuum Bagging Film

*Vacuum bagging film* pada penelitian ini berfungsi sebagai menutup dan tempat terjadinya proses vakum agar tidak ada gelembung didalam komposit.



Gambar 3- 15 Vacuum Bagging Film

#### 15. Selang Spiral

Selang spiral yaitu selang yang berongga berfungsi sebagai jalur udara dan resin untuk memenuhi semua bagian pada plastik.



Gambar 3- 16 Selang Spiral

#### 16. PLA+

PLA+ (*Polylactic Acid*) yang merupakan salah satu bahan dasar untuk pembuatan 3D Print, berfungsi sebagai *core* pada pembuatan spesimen komposit *sandwich*.



Gambar 3- 17 PLA+

### 17. Selang Pneumatik

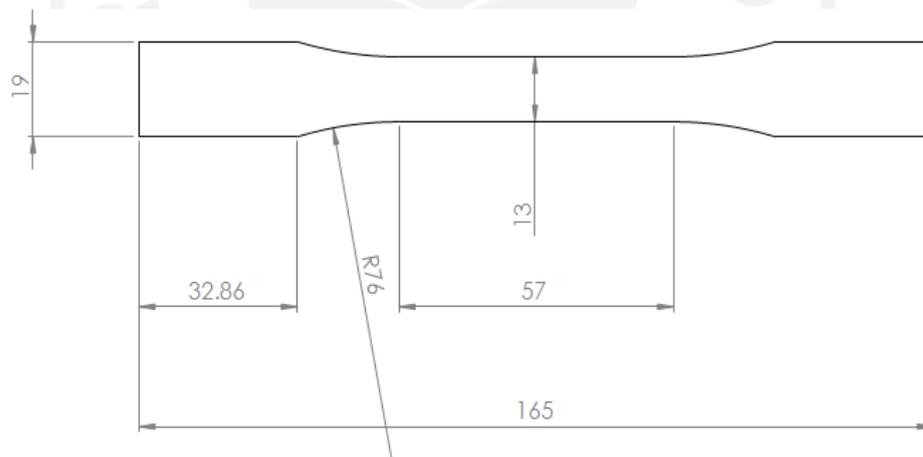
Selang pneumatik yang berfungsi sebagai jalur udara dari plastik *bagging* ke pompa vakum, dan jalur masuk resin ke plastik *bagging*.



Gambar 3- 18 Selang Pneumatik

### 3.3 Standar dan Ukuran Spesimen

Dimensi spesimen komposit *sandwich* pada menggunakan standar ASTM D638 tipe I dengan infill 20 % berbentuk *honeycomb* dapat dilihat dibawah ini :

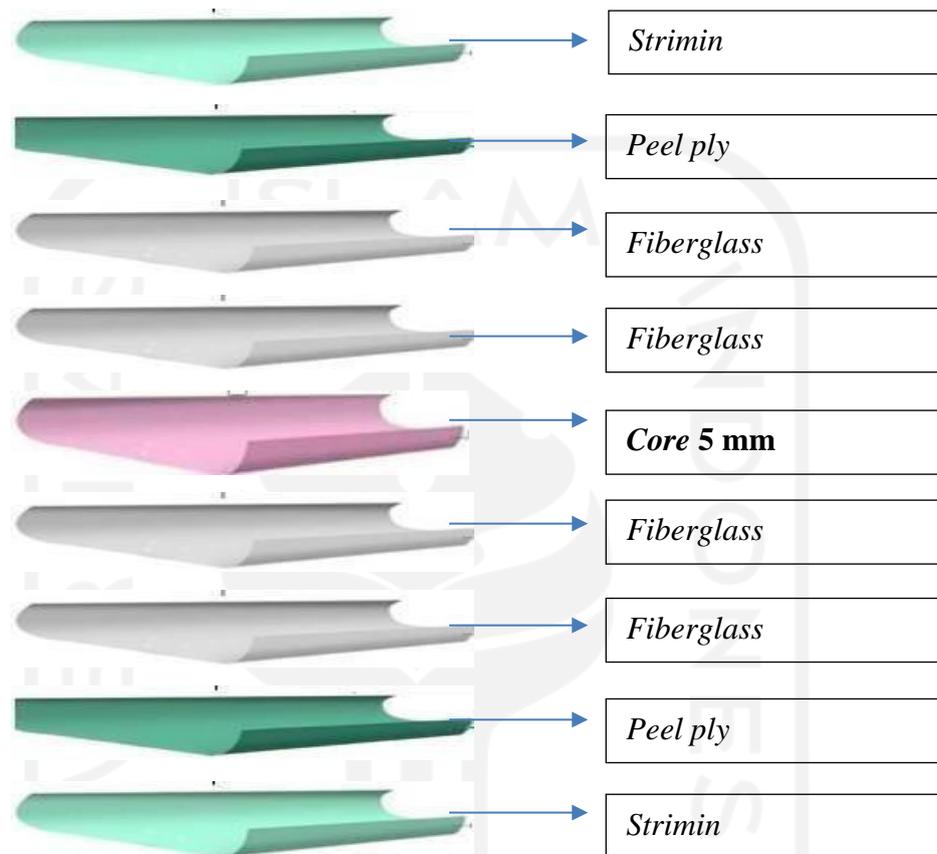


Gambar 3- 19 Dimensi Spesimen Uji ASTM D638 tipe I

ASTM D638 tipe I digunakan sebagai *core* pada komposit *sandwich*. Spesimen uji dibuat dengan 3 variasi ketebalan yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Pada proses pembuatan spesimen setiap variasi ketebalan *skin fiberglass* dibuat sebanyak 3 spesimen yang maka jumlah spesimen yang akan dibuat adalah 9 spesimen yang akan dilapisi *skin*. Dibuat juga 1 spesimen 3 mm, 1 spesimen 5 mm, dan 1 spesimen 7 mm sebagai spesimen pembanding.

### 3.4 Komposisi Komposit Sandwich

Dalam penyusunan :



Gambar 3- 20 Komposisi Komposit Sandwich

Pada gambar 3- 20 diatas menunjukkan komposisi lapisan komposit yang menggunakan *core* berukuran 5 mm.

### 3.5 Proses Pengerjaan

#### 3.5.1 Proses Pembuatan Core 3D Printing

1. Desain menggunakan *Software Solidworks*, dengan ukuran balok 180 x 80 x 3 mm, 180 x 80 x 5 mm, dan 180 x 80 x 7 mm.
2. Simpan *file* dalam bentuk format STL dan simpan dalam SD card.
3. Atur posisi objek agar sesuai dengan bidang cetak.

4. Parameter pencetakan yang sudah ditentukan antara lain *density* sebesar 20%, tebal *layer* 0,2 mm, suhu meja 60 °C, suhu *nozzle* 220 °C, *speed* 50 mm/s, dan *fill pattern honeycomb*.
5. Tahapan final adalah pencetakan objek *3D Print*. Klik *print*, lalu mesin *3D Printer* akan otomatis menjalankan kalibrasi, memanaskan *nozzle* dan *bed* sesuai apa yang sudah diatur sebelumnya di komputer.



Gambar 3- 21 Proses Pembuatan Spesimen

### 3.5.2 Proses *Vacuum Assited Resin Infussion (VARI)*

1. Potong *fiberglass*, *peel ply*, *strimin*, dan *vacuum bagging film* sesuai dengan jumlah balok yang ingin di *vacuum*.
2. Menyusun bagian-bagian yang telah dipotong sesuai dengan komposisi komposit sandwich.



Gambar 3- 22 Susunan Komposit Sandwich

3. Memasang selang spiral berbentuk huruf U untuk mempercepat aliran resin.



Gambar 3- 23 Pemasangan Selang Spiral

4. Masukkan hasil 3D *Print* ke dalam *Vacuum Bagging Film*.



Gambar 3- 24 Pemasangan hasil 3D *Print*

5. Lapsi dan tutup bagian sisi *vacuum bagging film* menggunakan *Butyl Tape* agar tidak ada kebocoran udara.
6. Sambungkan semua struktur *vacuum assisted resin infusion (VARI)* menggunakan selang udara.
7. Memasang kran bensin pada bagian selang udara yang fungsinya sebagai pembuka dan penutup saluran udara.
8. Menyiapkan resin yang telah dicampur oleh katalis dengan rasio resin : katalis yaitu 100 : 1.



Gambar 3- 25 Timbang Resin dan Katalis

9. Nyalakan mesin *vacuum* dan tutup saluran udara dengan keran bensin hingga mencapai tekanan yang cukup.
10. Memastikan semua bagian tidak ada kebocoran dan menggunakan plastisin jika terjadi kebocoran sebagai penutupnya.
11. Buka keran bensin secara bersamaan yang siap mengalirkan resin ke semua bagian cetakan dan proses *vacuum assisted resin infusion* (VARI) dilakukan secara perlahan.



Gambar 3- 26 Proses Vakum

12. Jika resin sudah merata ke seluruh bagian cetakan, tutup keran bensin agar tidak ada udara yang masuk ke dalam cetakan.
13. Diamkan cetakan hingga mengering dalam waktu 1 x 24 jam.
14. Buka cetakan

### 3.5.3 Proses Finishing

1. Pemotongan hasil *vacuum assisted resin infusion* (VARI) menggunakan gerinda.



Gambar 3- 27 Proses Pemotongan dengan gerinda

2. Proses pemotongan dengan *Water Jet*

Proses pemotongan dilakukan menggunakan water jet. Ukuran yang dipotong pada hasil dibawah sama dengan desain pada gambar 3-19.



Gambar 3- 28 Spesimen hasil pemotongan dengan water jet

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Proses Pengujian Tarik

Komposit yang sudah dibentuk sesuai standar ASTM D638 tipe I diuji menggunakan metode pengujian tarik. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada Langkah-langkah pengujian dari spesimen komposit adalah sebagai berikut:

1. Spesimen uji yang sudah dibentuk disiapkan dengan memberi tanda parameter pada daerah perhitungan.
2. Kertas milimeter blok diletakkan pada printer mesin uji tarik.
3. Mesin uji tarik kemudian dinyalakan.
4. Spesimen uji dipasang pada *grip* (penjepit) kemudian posisi *grip* atas dan bawah diatur, sehingga spesimen uji berada pada posisi *grip* dengan tepat.
5. Pemasangan *extensometer* pada spesimen uji dan nilai *elongation* mesin uji tarik diatur menjadi nol.
6. Nilai beban diatur menjadi nol.
7. Kecepatan uji diatur, area *start* ditekan sebanyak dua kali kemudian tombol *down* ditekan.
8. Setelah data dari pengujian tarik didapatkan, proses pengujian tarik diulang untuk spesimen uji komposit selanjutnya hingga selesai.



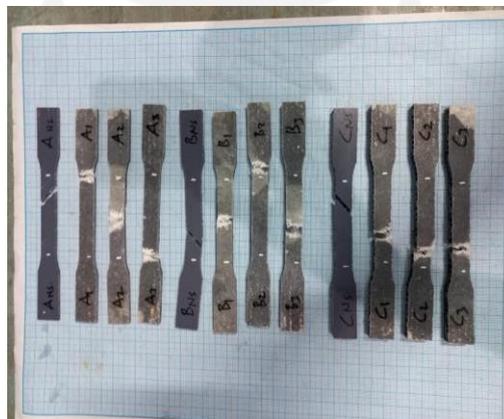
Gambar 4- 1 Proses Pengujian Tarik

## 4.2 Hasil Pengujian Tarik

Spesimen komposit *sandwich* dengan *core 3D print* sebelum dan setelah pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4-2 dan 4-3 dibawah ini :



Gambar 4- 2 Spesimen sebelum di uji



Gambar 4- 3 Spesimen setelah di uji

Berikut keterangan spesimen yang akan diuji ;

Tabel 4- 1 Keterangan Kode Spesimen

Keterangan	Variasi Tebal Core (mm)
A_NS	3_tanpa skin
B_NS	5_tanpa skin
C_NS	7_tanpa skin
A	3
B	5
C	7

Tabel 4- 2 Hasil Pengujian Tarik

No.	Kode Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	A_NS	2,78	13,34	0,99	1,98	26,70	3,47
2	A_1	4,10	13,36	2,96	1,52	54,04	2,67
3	A_2	4,12	13,32	3,25	2,84	59,22	4,98
4	A_3	4,10	13,30	3,28	2,02	60,15	3,54
5	B_NS	4,72	13,38	1,00	2,00	15,83	3,51
6	B_1	6,10	13,42	3,31	3,10	40,43	5,44
7	B_2	6,14	13,42	3,24	1,42	39,32	2,49
8	B_3	6,00	13,40	3,29	2,52	40,92	4,42
9	C_NS	6,88	13,68	1,02	2,02	10,84	3,54
10	C_1	8,08	13,56	3,32	2,42	30,30	4,25
11	C_2	8,26	13,60	3,42	3,12	30,44	5,47
12	C_3	8,12	13,60	3,35	2,58	30,34	4,53

Tabel 4-2 hasil pengujian tarik diatas merupakan data pengujian yang didapat dari Laboratorium Bahan Teknik UGM. Untuk beban maksimal yaitu pada spesimen C\_2 sebesar 3,42 KN. Beban maksimal merupakan gaya yang menarik spesimen dari kedua arah secara bersamaan.

Tabel 4- 3 Perbandingan Dimensi Sebelum dan Sesudah Pengujian

No	Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)
1.	A_1	6,80	12,02	2,78	4,10
2.	A_2	6,80	12,50	2,78	4,12
3.	A_3	6,80	12,60	2,78	4,10
4.	B_1	8,30	15,00	4,72	6,10
5.	B_2	8,30	13,70	4,72	6,14
6.	B_3	8,30	14,80	4,72	6,00
7.	C_1	10,10	16,20	6,88	8,08
8.	C_2	10,10	15,90	6,88	8,26
9.	C_3	10,10	15,70	6,88	8,12

Tabel 4-3 merupakan perbandingan penambahan berat dan tebal dari setiap spesimen sebelum dan setelah pengujian. Data hasil penambahan berat dan tebal tidak berbeda jauh karena proses *vacuum* dilakukan secara bersamaan. Pertambahan berat yaitu rata - rata 5 – 6 gram dan tebal 1 – 1,5 mm.

### 4.3 Analisis Data dan Pembahasan

#### 4.3.1 Analisis Data

Pada pengujian ini spesimen yang diuji adalah komposit sandwich dengan variasi ketebalan core 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Dari hasil pengujian tarik didapatkan sifat- sifat mekanik yaitu kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. *Density* pada spesimen 3D print yaitu 20% *infill* dengan *pattern honeycomb*.

Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan hasil pada pengujian ini:

##### 1. Menghitung Luas Penampang

Luas penampang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, sebelum mendapatkan nilai kekuatan tarik kita terlebih dahulu mencari luas penampang. Nilai tersebut diketahui dari perhitungan yang bisa dilihat pada gambar 2-10 dan 2-11. Untuk nilai *c* pada perhitungan tersebut ukuran yang diukur secara manual menggunakan jangka sorong. Nilai *b* dan *p* merupakan nilai lebar yang dapat dilihat pada tabel 4-2. Contoh perhitungan pada kode A\_NS untuk luas permukaan spesimen tanpa skin (3D Print) dan A\_1 untuk luas permukaan yang telah dilapisi *skin (fiberglass)*.

$$\begin{aligned}
 A_{3D \text{ print core}} &= A_{shell} + A_{infill} \\
 &= ((b \times h) - (p \times c)) + 20\% \times p \times c \\
 &= ((13,34 \times 2,78) - (13,34 \times 0,9)) + (0,2 \times 13,34 \times 0,9) \\
 &= 27,48 \text{ mm}^2 \text{ (Kode Spesimen A\_NS)}
 \end{aligned}$$

$$A_{sandwich} = A_{skin} + A_{3D \text{ print core}}$$

$$\begin{aligned}
 &= ((bs \times hs) - (ps \times cs)) + 27,48 \text{ mm}^2 \\
 &= ((13,36 \times 4,10) - (13,36 \times 2,78)) + 27,48 \text{ mm}^2 \\
 &= 45,12 \text{ mm}^2 \text{ (Kode Spesimen A_1)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Luas Penampang

No.	Kode Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )
1	A_NS	2,78	13,34	27,48
2	A_1	4,10	13,36	45,12
3	A_2	4,12	13,32	45,33
4	A_3	4,10	13,30	45,04
5	B_NS	4,72	13,38	34,25
6	B_1	6,10	13,42	52,77
7	B_2	6,14	13,42	53,31
8	B_3	6,00	13,40	51,40
9	C_NS	6,88	13,68	40,49
10	C_1	8,08	13,56	56,76
11	C_2	8,26	13,60	59,26
12	C_3	8,12	13,60	57,36

## 2. Menghitung Nilai Kekuatan Tarik

Nilai kekuatan tarik dapat dicari setelah mengetahui nilai luas penampangnya. Nilai F dapat diketahui pada tabel 4-2 sebagai contoh perhitungan kita gunakan data spesimen kode A\_1

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{F}{A} \\
 \sigma &= \frac{2960}{45,12} \\
 \sigma &= 65,60 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

## 3. Menghitung Nilai Regangan

Nilai regangan dapat dilihat pada tabel 4-2 sebagai contoh data spesimen kode A\_1.

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{1,52}{57}$$

$$\varepsilon = 0,0267 \times 100 \%$$

$$\varepsilon = 2,67 \%$$

#### 4. Nilai Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas dapat diketahui setelah menghitung nilai regangan dan regangan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{65,60 \text{ MPa}}{0,0267}$$

$$E = 2456,92 \text{ Mpa}$$

Tabel 4- 5 Hasil Perhitungan Data Kekuatan Tarik, Regangan dan Modulus

No.	Kode Spesimen	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	A_NS	36,03	3,47	10,38
2	A_1	65,61	2,67	24,57
3	A_2	71,70	4,98	14,40
4	A_3	72,83	3,54	20,57
5	B_NS	29,19	3,51	8,32
6	B_1	62,72	5,44	11,53
7	B_2	60,78	2,49	24,41
8	B_3	64,00	4,42	14,48
9	C_NS	25,19	3,54	7,12
10	C_1	58,49	4,25	13,76
11	C_2	57,71	5,47	10,55
12	C_3	58,41	4,53	12,89

### 4.3.2 Pembahasan

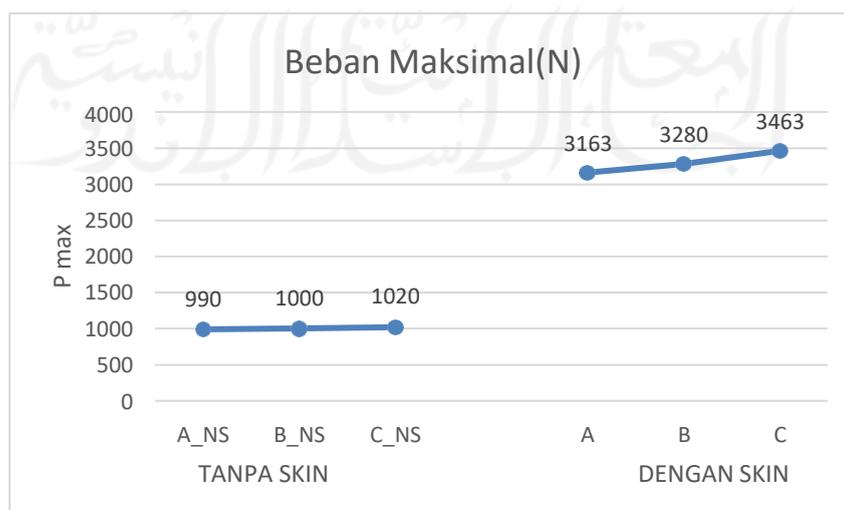
Pengujian tarik mendapatkan nilai kekuatan tarik, beban maksimal, regangan, dan modulus elastisitas. Setiap variasi *core* dilakukan pengujian sebanyak 3 spesimen yang kan di rata – rata serta membandingkan dengan *core* tanpa *skin*. Terdapat 3 spesimen dengan tebal *core* 3 mm + 2 lapis *fiberglass*, 3 spesimen dengan tebal *core* 5 mm + 2 lapis *fiberglass*, dan 3 spesimen dengan tebal *core* 7 mm + 2 lapis *fiberglass*. Berikut pembahasan dari hasil pengujian tarik.

#### 1. Beban Maksimal (P max)

Beban maksimum merupakan beban atau gaya maksimal untuk mematahkan spesimen uji tarik. Data beban tersebut dapat lihat langsung saat spesimen patah melalui *Universal Testing Machine*.

Tabel 4- 6 Beban Maksimal

No	Spesimen	P Max (N)			
		1	2	3	Rata-rata
1	A	2960	3250	3280	3163
2	B	3310	3240	3290	3280
3	C	3320	3420	3350	3363
4	A_NS	990			
5	B_NS	1000			
6	C_NS	1020			



Gambar 4- 4 Grafik Baban Maksimal

Pada gambar 4-4 nilai rata – rata spesimen tebal *core* 3 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 3163 N , tebal *core* 5 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 3280 N, dan tebal *core* 7 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 3463 N. Pada gambar 4.6 diatas menunjukkan grafik beban maksimal, dimana semakin tebal *core* maka nilai beban maksimalnya semakin besar. Data pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai beban maksimal pada spesimen yang telah dilapisi skin pada spesimen C\_2 yaitu 3420 N dan nilai terendah pada spesimen A\_1 yaitu 2960 N. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang dilapisi *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum resin assisted infusion (VARI)* memiliki beban maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*. Perbandingan beban maksimal untuk mematahkan spesimen antara skin dan tanpa skin hingga 3 - 4 kali lipat.

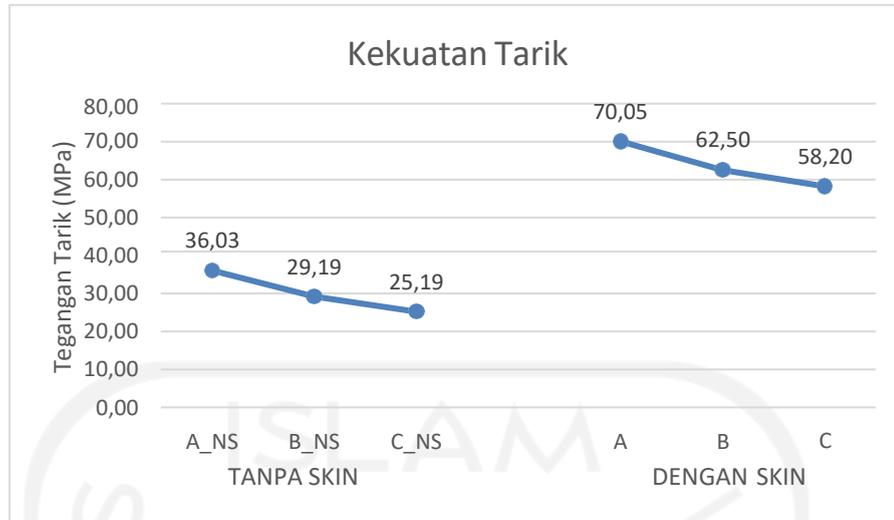
## 2. Kekuatan Tarik

Pengujian tarik mendapatkan hasil nilai kekuatan tarik di setiap spesimennya. Berikut hasil data hasil kekuatan tarik yang diperoleh :

Tabel 4- 7 Kekuatan Tarik

No	Spesimen	Kekuatan Tarik (Mpa)			
		1	2	3	Rata-rata
1	A	65,61	71,70	72,83	70,05
2	B	62,72	60,78	64,00	62,50
3	C	58,49	57,71	58,41	58,20
4	A_NS	36,03			
5	B_NS	29,19			
6	C_NS	25,19			

Pada data hasil variasi ketebalan *core* kode A, B, C yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm dengan skin dan tanpa skin. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata.



Gambar 4- 5 Grafik Kekuatan Tarik

Pada gambar 4-5 nilai rata – rata spesimen tebal *core* 3 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 70,05 MPa , tebal *core* 5 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 62,50 MPa, dan tebal *core* 7 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 58,20 MPa. Hasil data grafik kekuatan tarik rata-rata, dimana semakin tebal *core* membuat nilai tegangan tarik mengalami penurunan. Data pada tabel 4-7 menunjukkan bahwa kekuatan tarik yang telah dilapisi *skin* pada spesimen kode A\_3 memiliki nilai tertinggi dengan 72,83 MPa dan nilai terendah yang telah dilapisi *skin* terdapat pada kode C\_2 dengan 57,71 MPa Penambahan kekuatan tarik variasi tebal *core* mengalami peningkatan antara yang dilapisi skin dan tidak dilapisi skin , untuk tebal 3 mm spesimen yang dilapisi skin pertambahan kekuatannya 1,94x dari yang tanpa *skin*. Tebal 5 mm spesimen yang dilapisi skin pertambahan kekuatan 2,14x dari yang tanpa *skin*, Tebal 7 mm spesimen yang dilapisi skin pertambahan kekuatan 2,31x dari yang tanpa *skin*.

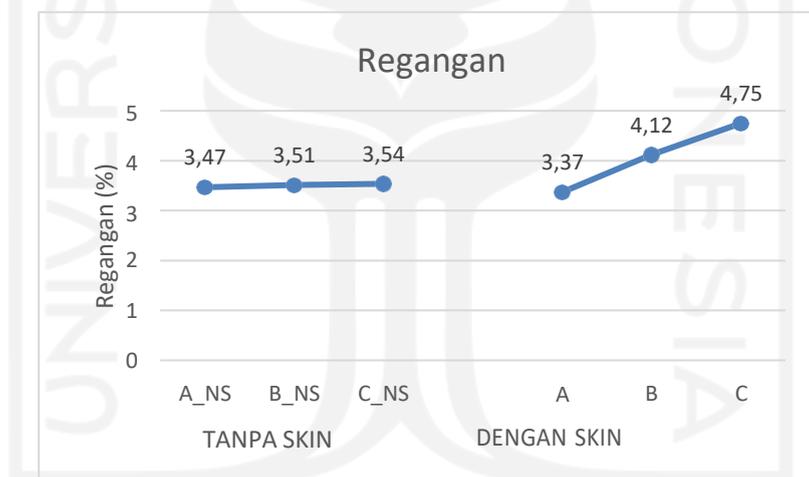
### 3. Regangan

Regangan merupakan pertambahan panjang spesimen setelah melakukan pengujian. Saat pengujian selesai akan mendapatkan nilai regangan setiap spesimen yang selanjutnya akan diolah datanya. Berikut data hasil regangan :

Tabel 4- 8 Regangan

No	Spesimen	Regangan (%)			
		1	2	3	Rata-rata
1	A	2,67	4,98	3,54	3,73
2	B	5,44	2,49	4,42	4,12
3	C	4,25	5,47	4,53	4,75
4	A_NS	3,47			
5	B_NS	3,51			
6	C_NS	3,54			

Pada data hasil variasi ketebalan core kode A,B,C yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm dengan skin dan tanpa skin. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata:



Gambar 4- 6 Grafik Regangan

Pada gambar 4-6 nilai rata – rata spesimen tebal *core* 3 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 3,37 % , tebal *core* 5 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 4,12 % , dan tebal *core* 7 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 4,75 % . Hasil data diatas menunjukkan grafik regangan, dimana semakin tebal *core* maka nilai regangannya semakin besar. Data pada tabel 4-8 menunjukkan bahwa nilai regangan yang telah dilapisi skin pada spesimen C\_2 yaitu 5,47 % dan nilai terendah pada spesimen B\_2 yaitu 2,49%. Nilai terendah itu terjadi karena patahan terjadi diluar batas yang diberikan.

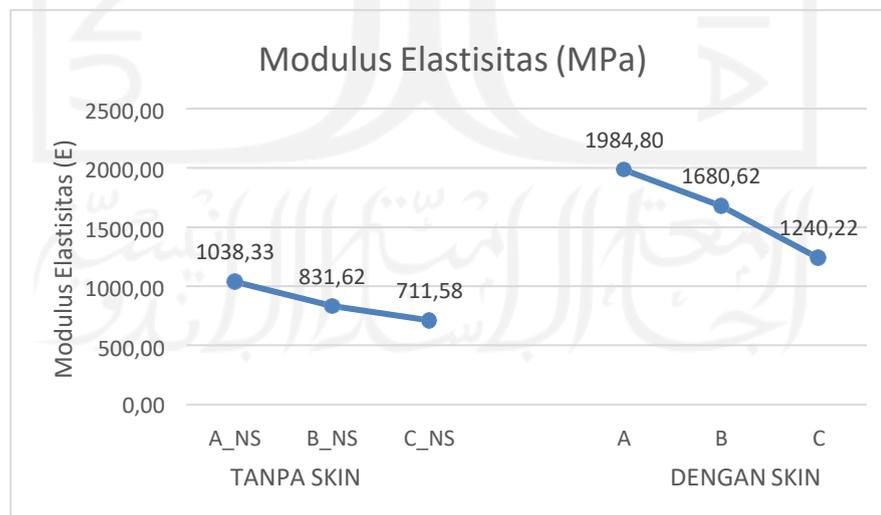
#### 4. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas suatu bahan untuk mengetahui nilai kekakuan pada bahan tersebut. Modulus elastisitas dapat dianalisis jika telah mendapatkan nilai tegangan dan regangannya. Berikut nilai modulus elastisitas:

Tabel 4- 9 Modulus Elastisitas

No	Spesimen	Modulus Elastisas (MPa) ke			Rata-rata
		1	2	3	
1	A	2457,30	1439,76	2057,34	1984,8
2	B	1152,94	2440,96	1447,96	1680,62
3	C	1376,24	1055,03	1289,4	1240,22
4	A_NS	36,03			
5	B_NS	29,19			
6	C_NS	25,19			

Pada data hasil variasi ketebalan core kode A,B,C yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm dengan skin dan tanpa skin. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata:

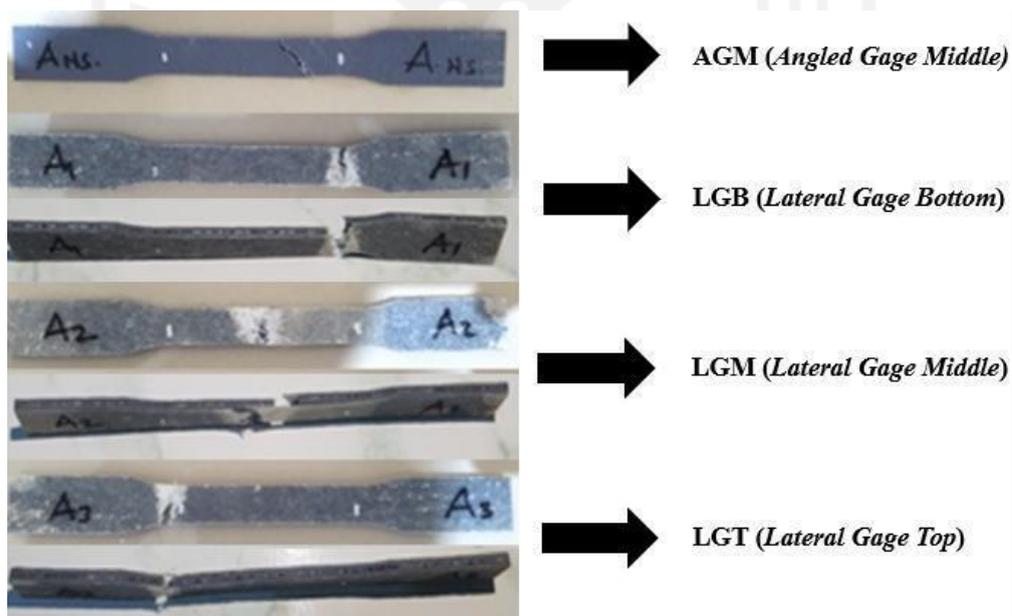


Gambar 4- 7 Grafik Modulus Elastisitas

Pada gambar 4-7 nilai rata – rata spesimen tebal *core* 3 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 1984,40 MPa, tebal *core* 5 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 1680,68 MPa, dan tebal *core* 7 mm + 2 lapis *fiberglass* sebesar 1240,22 MPa hasil data diatas menunjukkan grafik modulus elastisitas, dimana semakin tebal *core* membuat nilai kekakuan suatu bahan semakin menurun. Data pada tabel 4-9 menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang telah dilapisi *skin* pada spesimen kode A\_1 memiliki nilai tertinggi dengan 2457,7 MPa dan nilai terendah yang telah dilapisi *skin* terdapat pada kode C\_2 dengan 1055,03 Mpa. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang dilapisi *skin* (*fiberglass*) memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

#### 4.4 Bentuk Patahan dan Modus Kegagalan

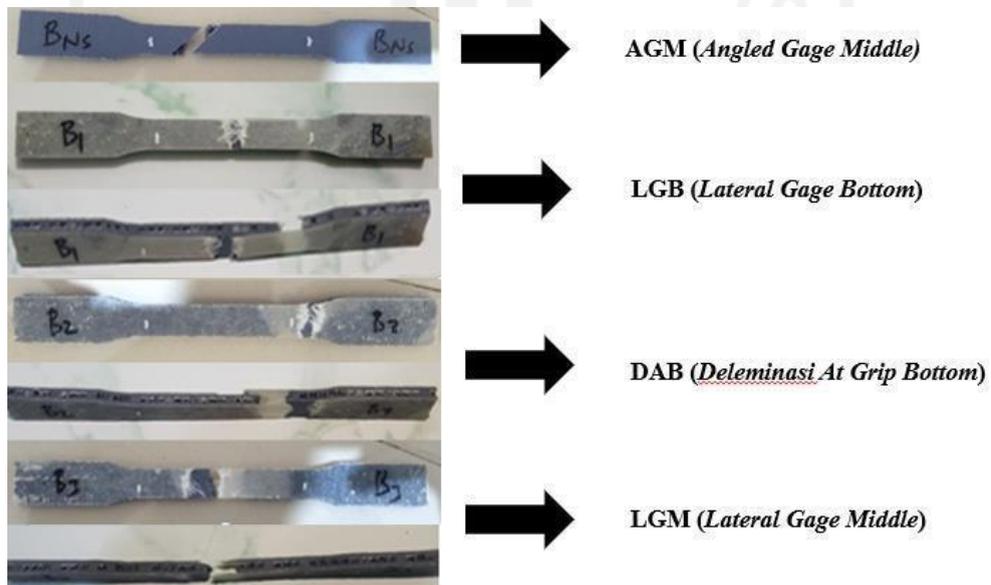
Jenis patahan dan modus kegagalan yang terjadi setelah melakukan pengujian tarik komposit *sandwich* dengan variasi ketebalan *core* 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Selanjutnya akan dianalisis bentuk patahan dan modus kegagalan.



Gambar 4-8 Bentuk Patahan Spesimen Kode A

Pada gambar 4-8 diatas spesimen Kode A1 dengan jenis patahan yang terjadi yaitu AGM (*Angled Gage Middle*), dimana tipe kegagalan berbentuk sudut dan letak patahan terjadi di bagian tengah. Spesimen kode A1 dengan bentuk patahan LGB (*Lateral Gage Bottom*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian bawah. Spesimen kode A2 dengan bentuk patahan LGM (*Lateral Gage Middle*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian tengah. Spesimen kode A3 dengan bentuk patahan LGT (*Lateral Gage Top*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian bawah.

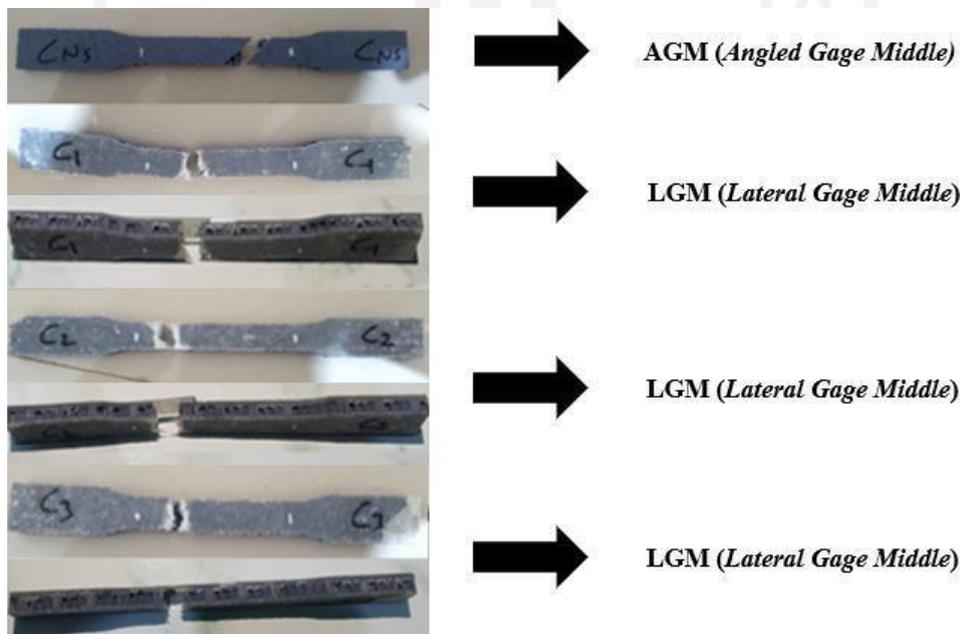
Pada kode A1, dan A3 terjadi kegagalan *face yield* atau bisa disebut gagal tarik. Hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik dan letak patahan terjadi di bagian ujung karena bagian serat rusak terlebih dahulu di bagian sisi patahan tersebut. Pada kode A2 terjadi *debonding*, dimana matriks tidak mampu menahan konsentrasi beban yang timbul di ujung serat yang patah sehingga serat terlepas dari matriks serta kondisi serat tercabut dari matriksnya. *Debonding* pada serat terjadi adanya gesekan antara *core* dan *skin* yang mengakibatkan nilai regangan meningkat.



Gambar 4-9 Bentuk Patahan dan Modus Kegagalan Spesimen Kode B

Pada gambar 4-9 di atas kode spesimen BNS dengan jenis patahan yang terjadi yaitu AGM (*Angled Gage Middle*), dimana tipe kegagalan berbentuk sudut dan letak patahan terjadi di bagian tengah. Spesimen kode B1 dengan bentuk patahan LGB (*Lateral Gage Bottom*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian bawah. Spesimen kode B3 dengan bentuk patahan LGM (*Lateral Gage Middle*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian tengah. Spesimen kode B2 dengan bentuk patahan DAB (*Deleminasi At grip/tab Bottom*) dimana tipe kegagalan deleminasi pada kedua sisi spesimen pada bagian *grip* dan letak patahan terjadi di luar batas spesimen uji.

Pada Kode B3 terjadi kegagalan *face yield* tau bisa disebut gagal tarik. Hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik. Pada kode B1 dan B2 terjadi *debonding*, dimana matriks tidak mampu menahan konsentrasi beban yang timbul di ujung serat yang patah sehingga serat terlepas dari matriks serta kondisi serat tercabut dari matriksnya. Pada kode B2 terjadi patah saat uji tarik di bagian grip terlebih dahulu sehingga mengakibatkan nilai regangan menurun. Patah dan terjadi deleminasi pada bagian grip mengakibatkan nilai kekuatan tarik menurun.



Gambar 4-10 Bentuk Patahan dan Modus Kegagalan Spesimen Kode C

Pada gambar 4-10 diatas spesimen kode CNS dengan jenis patahan yang terjadi yaitu AGM (*Angled Gage Middle*), dimana tipe kegagalan berbentuk sudut dan letak patahan terjadi pada bagian tengah spesimen. Spesimen kode C1,C2 dan C3 dengan bentuk patahan LGM (*Lateral Gage Middle*) dimana tipe kegagalan berbentuk lateral dan letak patahan terjadi pada bagian tengah. Pada spesimen kode C terjadi kegagalan *face yield* atau bisa disebut gagal tarik dan *debonding*, dimana matriks tidak mampu menahan konsentrasi beban yang timbul di ujung serat yang patah sehingga serat terlepas dari matriks serta kondisi serat tercabut dari matriksnya. Hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa modulus elastisitas rata-rata pada spesimen variasi *core* 3 mm yaitu sebesar 1984,40 MPa, *core* 5 mm yaitu sebesar 1680,68 MPa, dan *core* 7 mm yaitu sebesar 1240,22 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal *core* maka nilai modulus elastisitas semakin menurun
2. Nilai kekuatan tarik rata - rata pada spesimen variasi *core* 3 mm yaitu sebesar 70,05 MPa, *core* 5 mm sebesar 62,50 MPa, dan *core* 7 mm sebesar 58,20 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal *core* maka nilai kekuatan tarik semakin menurun
3. Perbedaan dimensi hasil penggabungan dua material komposit dengan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) mengalami penambahan berat dan tebal pada spesimen setelah dilapisi komposit yaitu 5-6 gram dan 1-1,5 mm,
4. Kegagalan yang terjadi setelah pengujian yaitu debonding dan delaminasi, dimana bagian serat rusak terlebih dahulu daripada *core*. Letak patahan juga berpengaruh terhadap hasil regangan.

#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

1. Pastikan resin tidak masuk pada tabung *reservoir* yang menyebabkan kerusakan pada alat *vacuum*.
2. Memastikan tidak ada kebocoran udara pada proses *vacuum assisted resin infusion* agar resin dapat merata keseluruhan bagian spesimen.
3. Melakukan proses *vacuum* pada spesimen secara bersamaan sehingga tidak ada perbedaan rasio resin dan katalis yang nantinya akan berpengaruh pada hasil uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- Nayiroh N. (2015) “Teknologi Material Komposit”.
- M. Ikhsan Taufik, Sugianto, Zulhanif (2012). “Perilaku Creep Pada Komposit Polyester Dengan Serat Kulit Bambu Apus (*Gigantochloa Apus* (J.A & J. H. Schultes Kurz)”
- Diharjo (2011) “Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Divinycell-Pvc H-60 (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap Kekuatan Bending)”
- Jonas (1999) “Mechanics of composite material”
- Callister (2001) “Fundamentals of Materials Science and Engineering”
- Triyono dan Diharjo (2000) “Buku Material Teknik Universitas Sebelas Maret , Surakarta.”
- Schwartz, M.M (1984) “*Composite Material Handbook* Mc. Graw-hill Inc New York”
- Kristanto (2018) “Pengaruh Persentase Serat Fiberglass terhadap Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polimer Polyester”
- Oktavilla (2020) “Pengaruh Alkalisasi Terhadap kekuatan Tarik dan Impak pada Komposit Epoxy Berpenguat Serat Daun Nanas”
- Sarvesh (2020) “Water Jet Cutting”
- Pangestu (2017) “Pengaruh Sudut dan Jarak Z-Pin Terhadap Kekuatan Tekan dan Tarik Komposit Sandwich dengan Inti Plyurethane foam yang dibuat dengan Metode VARI (Vacuum Assisted Resin Infussion).”
- Askeland D.R, 1985. “The Science and Engineering of Material”. Boston: PWSEngineering.
- Febriyanto, S. (2011). “Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise-8.”
- ASTM, D638. 2002. “America Society For Testing Material”. Philadelphia: Pa.
- K. Abdurrahman, (2018) “A Comparison Process Between Hand Lay-Up, Vacuum Infusion And Vacuum Bagging Method Toward E-Glass Ew 185/Lycal Composites.”

- Subkhan, (2018) “Analisis Pada Proses 3d Printer Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Filamen Pla +”
- Mabe S., (2018) “Pengaruh Penambahan Coremate Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Tipe Sandwich”
- Yudha Izma Adriansyah,,(2021) “Analisis uji bending komposit *sandwich* yang digabungkan 3D *printing*”
- ASTM D-3093, (2004) “Designation: D 3039/D 3039m – 00e1 Standard Test Method For Tensile Properties Of Polymer Matrix Composite Materials”



## LAMPIRAN

  
**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN TARIK**

No.	Kode Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	A_NS	2,78	13,34	0,99	1,98	26,70	3,47
2	A_1	4,10	13,36	2,96	1,52	54,04	2,67
3	A_2	4,12	13,32	3,25	2,84	59,22	4,98
4	A_3	4,10	13,30	3,28	2,02	60,15	3,54
5	B_NS	4,72	13,38	1,00	2,00	15,83	3,51
6	B_1	6,10	13,42	3,31	3,10	40,43	5,44
7	B_2	6,14	13,42	3,24	1,42	39,32	2,49
8	B_3	6,00	13,40	3,29	2,52	40,92	4,42
9	C_NS	6,88	13,68	1,02	2,02	10,84	3,54
10	C_1	8,08	13,56	3,32	2,42	30,30	4,25
11	C_2	8,26	13,60	3,42	3,12	30,44	5,47
12	C_3	8,12	13,60	3,35	2,58	30,34	4,53

*Lembar asli, tidak untuk digandakan*

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 11 November 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201

Yogyakarta, 11 November 2021  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

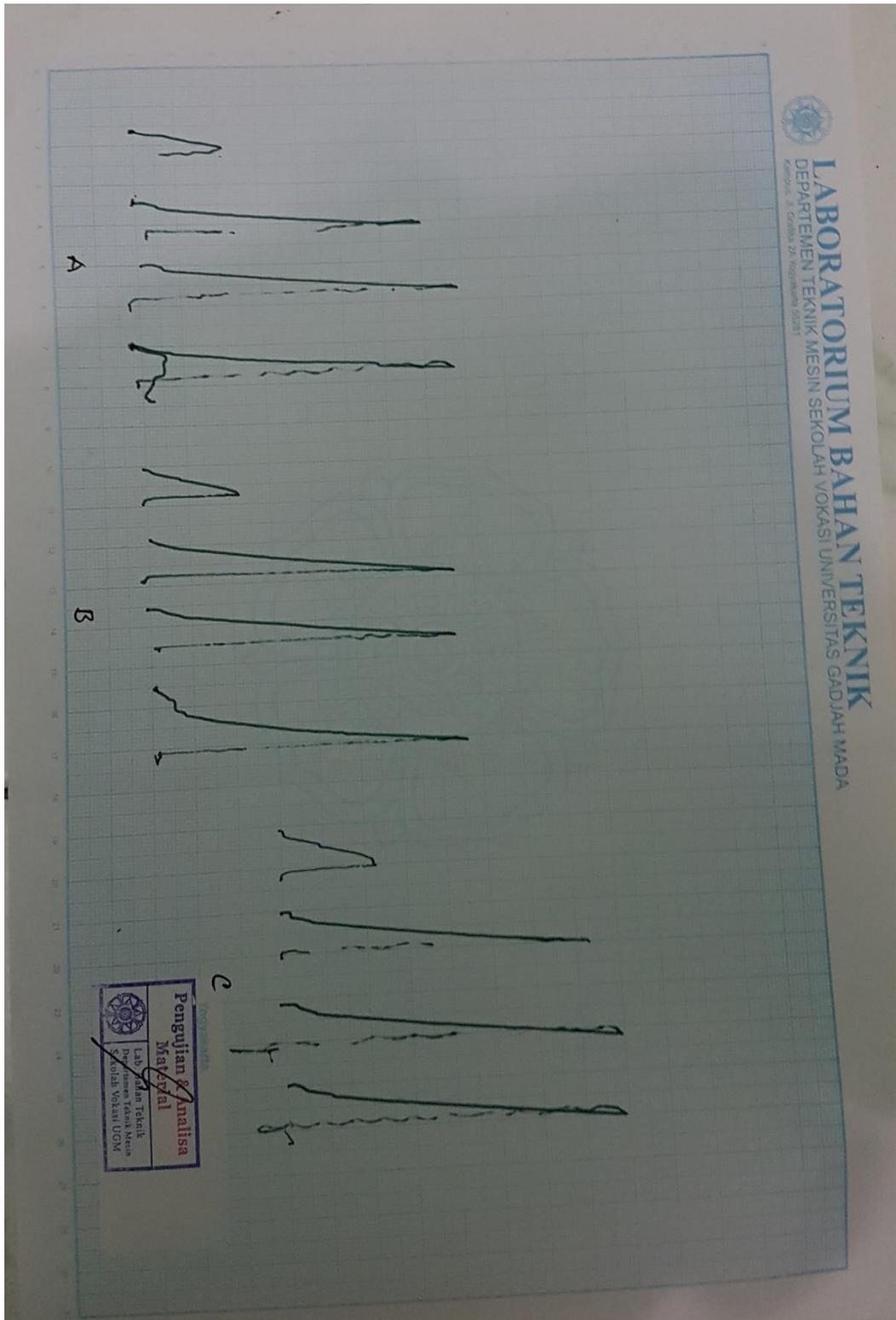
**Pengujian & Analisa**  
**Materia**

 Lab. Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
Sekolah Vokasi UGM

Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T  
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

(Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM)



(Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM)