

**Pengaruh Ketebalan *Skin* GFRP pada Komposit *Sandwich*
terhadap Uji Tarik menggunakan Metode *Vacuum Infusion***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Galang Pangestu Prawira
No. Mahasiswa : 17525025
NIRM : 2017023590

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

YOGYAKARTA

2022

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari terbukti terdapat kekeliruan pada pernyataan saya ini dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah saya untuk ditangguhkan dan ditinjau ulang oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 22 Juni 2021



Galang Pangestu Prawira

NIM. 17525025

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Pengaruh Ketebalan *Skin* GFRP pada Komposit *Sandwich*
terhadap Uji Tarik menggunakan Metode *Vacuum Infusion*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

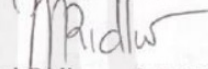
Nama : Galang Pangestu Prawira

No. Mahasiswa : 17525025

NIRM : 2017023590

Yogyakarta, 01 September 2021

Pembimbing I,



Muhammad Ridwan, S.T, M.T

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pengaruh Ketebalan *Skin* GFRP pada Komposit *Sandwich* terhadap Uji Tarik menggunakan Metode *Vacuum Infusion*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Galang Pangestu Prawira

No. Mahasiswa : 17525025

NIRM : 2017023590

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

Ketua

Tanggal : 28 Februari 2022

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I

Tanggal : 28 Februari 2022

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

Anggota II

Tanggal : 28 Februari 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua yang saya sayangi dan cintai beserta keluarga yang selama ini sudah memberikan doa, semangat, perhatian serta kasih sayang yang tak terhingga.



HALAMAN MOTTO

“Warriors aren’t the one who always win, but the ones that always fight.”

Unknown



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum 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 Edy Hartono dan Ibu Diana Budiarti selaku orang tua serta Tiara Mega Pratiwi selaku kakak 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-teman Teknik Mesin 2017, dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Firman Yudha Kusdianto yang sudah mengajarkan dalam penyusunan laporan.
8. Teman-teman bimbingan Gufran, Fadil, Haidar, dan Ashfan.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar. Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 15 Februari 2022



Galang Pangestu Prawira

17525025

ABSTRAK

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekuatan yang tinggi. Oleh sebab itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui perbandingan antara *3D Print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan *3D Print* tanpa lapisan komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik dengan menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Dibuatlah spesimen uji dengan beberapa variasi antara lain: *3D Print* tanpa lapisan komposit, *3D Print* + 2 lapisan komposit, *3D Print* + 3 lapisan komposit, *3D Print* + 4 lapisan komposit dimana setiap variasi terdapat 3 sampel spesimen. Data yang didapat dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai tertinggi adalah *3D Print* + 4 lapisan komposit yaitu 71,23 MPa pada kekuatan tarik, 6,21 % pada regangan, dan 11,53 MPa pada modulus elastisitas, serta berat 22,62 gram. Sedangkan spesimen dengan hasil pengujian tarik terendah adalah *3D Print* tanpa lapisan komposit yaitu 27,63 MPa pada kekuatan tarik, 3,22 % pada regangan, dan 8,71 MPa pada modulus elastisitas, serta berat 12,29 gram. Berdasarkan data yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa lapisan *skin* berpengaruh terhadap hasil pengujian tarik dan berat spesimen. Hal ini diketahui dari data yang diperoleh dimana semakin tebal lapisan *skin* pada spesimen, maka semakin meningkat hasil pengujian tarik dan beratnya.

Kata kunci: Komposit *sandwich*, *3D print*, pengujian tarik.

ABSTRACT

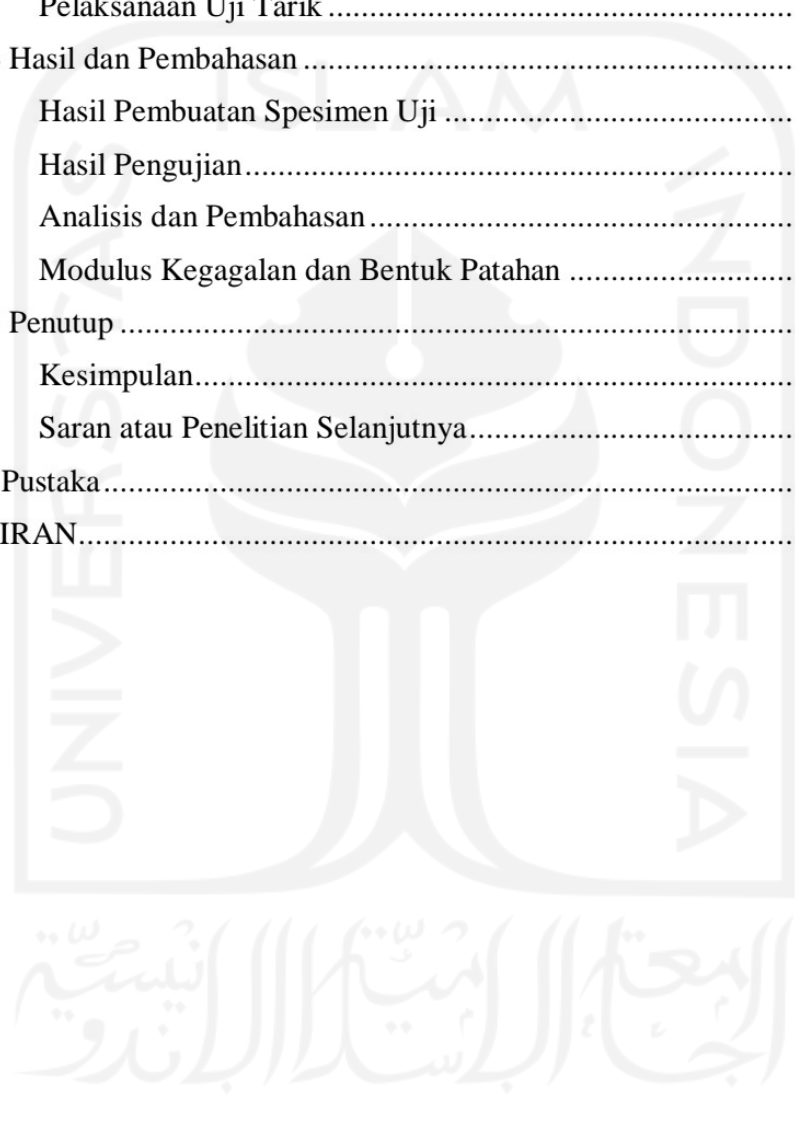
Sandwich composites consist of 3 layers consisting of a flat composite or metal sheet as a skin and a core in the middle. Composite sandwiches are designed for optimum weight efficiency and high strength. Therefore, this study was conducted to determine between 3D Print coated with a composite sandwich and 3D Print without a composite layer on tensile testing using the Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) method. The test specimens were made with several variations, including: 3D Mold without composite layer, 3D Mold + 2 composite layers, 3D Mold + 3 composite layers, 3D Mold + 4 composite layers and each variation contained 3 specimen samples. The results from the test showed that the specimen with the highest value was 3D Print + 4 layer composite with 71.23 MPa in tensile strength, 6.21 % in strain, and 11.53 MPa in modulus of elasticity, and a weight of 22.62 grams. While the specimen with the lowest tensile test results was 3D Print without a composite layer with 27.63 MPa in tensile strength, 3.22% in strain, and 8.71 MPa in modulus of elasticity, and weighs 12.29 grams. Based on these results, it can be concluded that the skin layer affects the tensile test results and the weight of the specimen. It is known from the data obtained that the more layers on the specimen, the higher the test results and weight.

Keyword: *Sandwich Composites, 3D Print, Tensile Testing.*

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xv
BAB 1 Pendahuluan.....	16
1.1 Latar Belakang.....	16
1.2 Rumusan Masalah.....	16
1.3 Batasan Masalah	17
1.4 Tujuan Penelitian	17
1.5 Manfaat Penelitian	17
1.6 Sistematika Penulisan	17
BAB 2 Tinjauan Pustaka	19
2.1 Kajian Pustaka	19
2.2 Komposit	20
2.3 Jenis Ikatan.....	22
2.4 Komposit Sandwich.....	22
2.5 Skin Fiberglass	23
2.6 Core 3D Print.....	23
2.7 Resin Unsaturated Polyester dan Aditif.....	24
2.8 Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)	25
2.9 Pengujian Tarik.....	26
2.10 Modus Kegagalan dan Bentuk Patahan Pada Komposit Sandwich.....	31
2.11 Water Jet Cutting	33
BAB 3 Metode Penelitian.....	35

3.1	Alur Penelitian	35
3.2	Alat dan Bahan	36
3.3	Komposisi Lapisan Spesimen.....	43
3.4	Objek Penelitian	45
3.5	Proses Pembuatan Spesimen	46
3.6	Proses Finishing.....	49
3.7	Pelaksanaan Uji Tarik	50
BAB 4 Hasil dan Pembahasan		51
4.1	Hasil Pembuatan Spesimen Uji	51
4.2	Hasil Pengujian.....	52
4.3	Analisis dan Pembahasan.....	53
4.4	Modulus Kegagalan dan Bentuk Patahan	58
BAB 5 Penutup		62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	62
Daftar Pustaka.....		63
LAMPIRAN.....		65



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen.....	52
Tabel 4. 2 Data Kekuatan Tarik Maksimal.....	54
Tabel 4. 3 Data Regangan.....	55
Tabel 4. 4 Data Modulus Elastisitas.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya.....	21
Gambar 2. 2 Struktur Komposit Sandwich.....	23
Gambar 2. 3 Diagram VARI Surface Infusion dan Interlaminar Infusion	26
Gambar 2. 4 Grafik Pengujian Tarik	29
Gambar 2. 5 Kurva Regangan-Tegangan	30
Gambar 2. 6 Model Spesimen ASTM D 638-III	31
Gambar 2. 7 Standar Ukuran Pengujian Tarik Komposit ASTM D-638	31
Gambar 2. 8 Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i>	32
Gambar 2. 9 Penentuan Jenis Pola Patahan	32
Gambar 2. 10 Jenis Pola Patahan	32
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	35
Gambar 3. 2 Vacuum Pump.....	36
Gambar 3. 3 <i>Filter Resin</i>	36
Gambar 3. 4 Tabung <i>Reservoir</i>	37
Gambar 3. 5 <i>Fiberglass</i>	37
Gambar 3. 6 <i>Vacuum Bagging Film</i>	38
Gambar 3. 7 Kain Infusion mesh	38
Gambar 3. 8 <i>Peelply</i>	39
Gambar 3. 9 Selang Resin	39
Gambar 3. 10 Katup Bensin.....	40
Gambar 3. 11 Selang Spiral	40
Gambar 3. 12 <i>Butyl Tape</i>	41
Gambar 3. 13 Plastisin.....	41
Gambar 3. 14 Resin.....	42
Gambar 3. 15 Katalis.....	42
Gambar 3. 16 Timbangan	43
Gambar 3. 17 Standar ASTM D 638-III.....	45
Gambar 3. 18 Standar Ukuran Pengujian Tarik Komposit ASTM D-638	46
Gambar 3. 19 Parameter Pencetakan <i>3D Print</i>	46
Gambar 3. 20 Proses <i>3D Print</i>	47

Gambar 3. 21 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	49
Gambar 3. 22 a.) spesimen sebelum <i>finishing</i> ; b.) spesimen sesudah <i>finishing</i> ...	49
Gambar 3. 23 Proses Pengujian Tarik	50
Gambar 4. 1 Spesimen tanpa lapisan	51
Gambar 4. 2 Spesimen dengan 2 lapisan	51
Gambar 4. 3 Spesimen dengan 3 lapisan	51
Gambar 4. 4 Spesimen dengan 4 lapisan	51
Gambar 4. 5 Grafik Kekuatan Tarik Maksimal	55
Gambar 4. 6 Grafik Regangan	56
Gambar 4. 7 Grafik Modulus Elastisitas	57
Gambar 4. 8 a.) Kegagalan pada 3DP tanpa lapisan <i>skin</i> ; b.) Patahan pada 3DP tanpa lapisan <i>skin</i>	58
Gambar 4. 9 a.) Kegagalan pada 3DP + 2 lapisan <i>skin</i> ; b.) Patahan pada 3DP + 2 lapisan <i>skin</i>	59
Gambar 4. 10 a.) Kegagalan pada 3DP + 3 lapisan <i>skin</i> ; b.) Patahan pada 3DP + 3 lapisan <i>skin</i>	59
Gambar 4. 11 a.) Kegagalan pada 3DP + 4 lapisan <i>skin</i> ; b.) Patahan pada 3DP + 4 lapisan <i>skin</i>	60

DAFTAR NOTASI

σ	= Kekuatan tarik maksimum (Pa)
F	= Beban maksimum (N)
Ao	= Luas penampang (m ²)
L	= Lebar (m)
t	= Ketebalan (m)
ϵ	= Regangan (%)
Δl	= Pertambahan panjang (m)
Lo	= Panjang awal (m)
E	= Modulus Elastisitas
h	= Tebal awal 3DP core (mm)
b	= Lebar awal 3DP core (mm)
t	= Tebal awal 3DP core (mm)
hs	= Tebal akhir komposit <i>sandwich</i>
bs	= Lebar akhir komposit <i>sandwich</i>
ts	= Tebal <i>skin</i> = $(h_s - h_{3DP\ Core})/2$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi yang semakin maju menyebabkan manusia semakin penasaran untuk dapat melakukan suatu pengembangan hal-hal baru yang dapat memperbaiki penemuan-penemuan yang ada sebelumnya. Dimana hasil yang diharapkan akan menjadi lebih baik dari sebelumnya. Kelebihan yang diperoleh yaitu bernilai guna, ekonomis, praktis dan efisien. Komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material dalam skala *macroscopic* untuk membentuk material baru yang lebih bermutu (Jones, 1999). Adapun sifat-sifat yang dapat diperbaiki pada komposit seperti kekuatan, kekakuan, berat jenis dan beberapa sifat lain yang lebih baik dari sifat sebelumnya.

Penggunaan komposit telah berkembang pesat karena komposit memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan bahan teknik alternatif lainnya, diantaranya yaitu bahan komposit lebih kuat, tahan terhadap korosi, lebih ekonomis, dan sebagainya. Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik komposit antara lain adalah jenis *skin*, ukuran *skin*, dan ketebalan *skin*.

Pada komposit *sandwich* ini material *core* yang digunakan adalah material hasil *3D printing* dengan tebal 10mm yang memiliki sifat ringan dan kuat. Sedangkan material *skin* yang digunakan yaitu serat gelas kaca (*fiberglass*) karena dapat mencapai nilai kekakuan dan kekuatan lebih tinggi dari beberapa jenis logam. Berdasarkan uraian di atas dilakukan penelitian mengenai seberapa besar pengaruh variasi ketebalan *skin fiberglass* terhadap pengujian tarik komposit *sandwich* yang diperkuat dengan *core 3D Printing*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di sampaikan, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah bagaimana perbandingan antara *3D Print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan *3D Print* tanpa lapisan komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik.

1.3 Batasan Masalah

1. Pembuatan spesimen menggunakan 3D *Print* FDM *Creality Ender 3* dengan material PLA+ merk *esun*.
2. Lapisan *skin* menggunakan *Glass Fiber Reinforced Plastic*.
3. *Vacuum Infusion* dilakukan menggunakan mesin *Vacuum Pump* Krisbow ½ HP pada Lab Proses Produksi UII.
4. Menggunakan resin jenis 2668WNC dengan campuran katalis *mepoxe*.
5. Pengujian tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada.
6. Hanya membahas pengaruh ketebalan *skin* terhadap uji tarik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara 3D *Print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan 3D *Print* tanpa lapisan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion* terhadap pengujian tarik.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui proses pembuatan spesimen dengan metode *Vacuum Infusion*.
2. Mengetahui pengaruh yang diberikan oleh 3D *Print* tanpa komposit *sandwich* dan 3D *Print* dengan komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik.
3. Mendapatkan komposisi terbaik dari beberapa variasi yang dibuat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu :

1. Bab 1. Pendahuluan, yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan
2. Bab 2. Kajian pustaka dan teori-teori yang akan dipakai pada penggunaan metode ini.
3. Bab 3. Metodologi penelitian, berisikan alur penelitian, alat dan bahan, dan tahapan-tahapan proses pembuatan produk yang akan diuji Tarik.

4. Bab 4. Hasil dan pembahasan, berisikan proses pembuatan produk, pembahasan proses pembuatan produk
5. Bab 5. Penutup, berisikan kesimpulan dari hasil pembuatan dan saran untuk penelitian selanjutnya



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang digunakan sebagai dasar yang dilakukan pada penelitian ini berjudul “Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* yang Digabungkan *3D Printing*” oleh (Yudha Izma, 2021). Pada penelitian tersebut dilakukan Uji *Bending*, komposit yang digunakan yaitu *fiberglass* dan *core* berupa *3D Printing*. Variasi spesimen yang dibuat diantaranya 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, dan 3DP + *Lantor Soric*. Dari variasi komposit *sandwich* tersebut dibuat 2 kerapatan atau *infill* 3DP 10% dan 20% dengan total 8 spesimen uji untuk dibandingkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih unggul dari pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 10%, lebih tepatnya pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% 3 lapis *fiberglass*, pada variasi tersebut memiliki keregangan *infill* lebih rapat, serta dapat menahan tegangan bending lebih besar dari pada variasi lainnya dengan nilai tegangan *bending* 27,48MPa nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari pada variasi komposit *sandwich* yang lainnya.

Kajian Pustaka kedua yaitu berjudul “Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam *Bambu Gintochioa Apus* Jenis Anyaman *Diamond Braid* dan *Plain Weave*” oleh (Djamil et al., 2014) dimana pada penelitian tersebut matrik yang digunakan yaitu *polymer* dan *reinforcement* berupa fiber bahan alam bambu jenis *gigantochloa apus* yang dipotong berbentuk serat. Pada penelitian ini menggunakan dua spesimen yaitu anyaman tipe *diamond braid* dan *plain weave*, proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay-up*, ketebalan bahan komposit 4mm, pembuatan spesimen dengan standar ASTM D3039 dengan sudut orientasi sudut 0°, 45°, dan 90°. Hasil penelitiannya menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimum dari spesimen *plain weave* yaitu dengan orientasi 0°/90° sebesar 4,2 N/mm² sedangkan spesimen *diamond braid* dengan orientasi 45° sebesar 2,387 N/mm².

Kajian pustaka ketiga yang berjudul “Analisis Kekuatan Tarik, Bending, Mikrostruktur, Komposisi dan Kemampuan Redam Suara Komposit Serat Pelepah Pisang menggunakan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion*” oleh (Angelia et al., 2020). Dimana penelitian ini mengenai pengujian tarik dari komposit serat pelepah pisang dengan waktu pengeringan selama 1 hari dan 7 hari menggunakan metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI). Spesimen ini akan diuji tarik dengan standar ASTM D3039 menggunakan *Universal Testing Machine*. Hasil dari penelitian ini diperoleh kekuatan tegangan tarik yang dihasilkan oleh komposit serat pelepah pisang dengan waktu pengeringan selama 7 hari sebesar 17,90 N/mm² sedangkan dengan waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 16,72 N/mm².

Kajian Pustaka keempat yang berjudul “Analisa Kekuatan Tarik Komposit Polimer *Unsaturated Polyester Resin* Berpenguat Serat Sisal dengan Penambahan Filler Serbuk Karbon” yang dilakukan oleh (Thamliha et al., 2020). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan uji tarik komposit *polymer UPR* berpenguat serat sisal dengan penambahan *filler* serbuk karbon yang dibuat lurus, acak, dan sudut 45°. Pengujian uji tarik menggunakan mesin *universal testing* dengan bentuk spesimen standar ASTM D3090. Hasilnya yaitu pada serat sisal lurus 27,75 MPa, serat sisal acak 28,43 MPa, dan serat sisal sudut 45° 21,18 MPa.

2.2 Komposit

Komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material dalam skala *macroscopic* untuk membentuk material baru yang lebih bermutu. Pencampuran kedua material tersebut diharapkan dapat memberikan material yang lebih unggul dari material sebelumnya. Komponen komposit terdiri dari matriks yang berfungsi sebagai fase pengisi dan *reinforce* sebagai fase penguat. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase di antara fase matriks dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan (Aboudi et al., 2013).

Dalam teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat

komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. PMC (*Polymer Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah: GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

2. CMC (*Ceramic Reinforced Composite*)

Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai fase pengisinya (matriks). Contohnya adalah: *Boron reinforced SiC*.

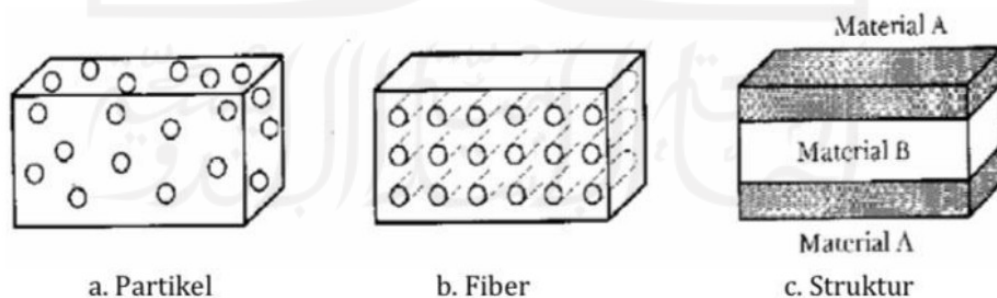
3. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah: *Carbon reinforced aluminium*. Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks.

Sedangkan berdasarkan penguatnya komposit dibedakan menjadi tiga jenis sebagai berikut:

1. *Particulate Composite* yaitu penguatnya berbentuk partikel.
2. *Fibre Composite* yaitu penguatnya berbentuk serat.
3. *Structural Composite* yaitu cara penggabungan material komposit.

Berikut ini merupakan ilustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya

Sumber: (Nurun Nayiroh, 2017)

2.3 Jenis Ikatan

Menurut buku pada *chapter Introduction To Composite Materials* (Patients et al., 2012) jenis ikatan terbagi sebagai berikut:

1. *Interdifussion*

Disebabkan ikatan yang bebas antara dua permukaan yang membentuk belitan-belitan rantai sehingga dapat meningkatkan kekuatan adhesinya.

2. Reaksi *Electrostatic*

Disebabkan daya tarik permukaan antara dua permukaan, satu permukaan membawa ion positif (+) dan satu permukaan lain membawa ion negatif (-).

Contoh: ikatan antara Na^+ dan Cl^- yang membentuk NaCl .

3. *Cationic-anionic*

Disebabkan oleh permukaan yang mempunyai anion dan kation *properties*.

Contoh: pada besi yang mengalami korosi terdapat elektroda negatif dan positif.

4. *Chemical bonding*

Jenis ikatan permukaan antara dua permukaan yang didukung oleh kompatibilitas dari *couping agent*.

Contoh: ikatan antara resin dengan katalis.

5. *Mechanical adhesion*

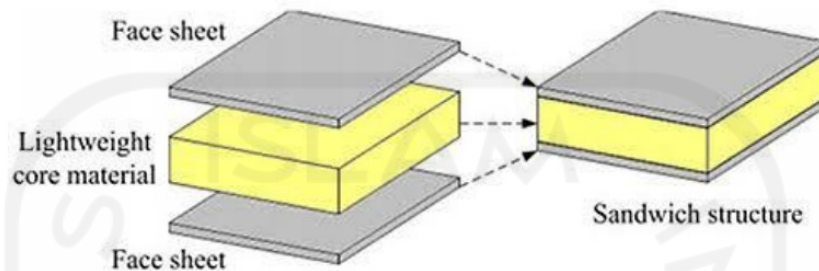
Disebabkan oleh *mechanical interlocking* dari dua permukaan dimana salah satu permukaan memiliki kontur permukaan sehingga memungkinkan terjadinya suatu ikatan.

Contoh: ikatan antara resin dengan permukaan logam yang telah mengalami *surface treatment*, sehingga resin dapat masuk dan membasahi setiap detail dari permukaan fiber tersebut.

2.4 Komposit *Sandwich*

Komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core* (Catur et al., 2014).

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan.



Gambar 2. 2 Struktur Komposit Sandwich

Sumber: (Suryanto, 2019)

2.5 *Skin Fiberglass*

Skin didefinisikan sebagai komponen material terluar (*facing*) atau kulit dari material komposit *sandwich*, yaitu komponen yang digunakan untuk memperkuat (menyokong) *core*. *Skin* dapat berupa serat - serat dengan arah tertentu di dalam material komposit. *Skin* yang berupa serat dan arah tertentu merupakan definisi dari fiber. Lapisan kulit berfungsi sebagai penahan utama dari gangguan berupa gaya dari tekanan dari luar. Material yang biasa digunakan sebagai lapisan kulit adalah campuran aluminium *alloy*, plastik berpenguat serat, titanium, besi, dan kayu lapis. Bagian inti memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antar kedua permukaan dan sebagai penahan deformasi dari tegangan geser yang dialami material saat berhadapan dengan gaya dari luar. Material yang cocok digunakan sebagai inti merupakan material yang bersifat elastis dan tahan terhadap tekanan dari luar seperti polimer *foam*, karet sintesis, perekat *inorganik*, dapat juga menggunakan kayu lapis (Febriyanto, 2011).

2.6 *Core 3D Print*

3D Printer adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga

dipegang dan memiliki volume (Budiono, 2015). Pada tahun 1986, seseorang bernama Charles W. Hull memiliki hak paten dengan teknologi *stereolithography*. Teknologi ini merupakan teknologi untuk membuat objek 3D. *3D printer* atau dikenal juga sebagai *Additive Layer Manufacturing* merupakan proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki *volume*. *3D printing* dicapai dengan menggunakan proses aditif, dimana sebuah obyek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut dari bahan baku.

3D printing dapat mencetak pemodelan, dan tidak membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembuatan suatu produk namun *3D printing* juga memiliki kekurangan yaitu kekuatan yang rendah serta dimensi dari produk yang terbatas.

Dalam pembuatan *3D Printing* dibutuhkan bahan yang berbentuk filamen. PLA merupakan salah satu jenis filamen yang terbuat dari bahan-bahan yang dapat terurai, seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. Karena terbuat dari bahan yang mudah terurai, PLA ramah lingkungan. Hal inilah yang membuat bahan ini semakin banyak mendapatkan popularitas. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi (Saputra, 2019).

2.7 Resin *Unsaturated Polyester* dan Aditif

Unsaturated Polyester merupakan jenis *thermoset*. Kebanyakan orang menyebutnya dengan *polyester*. Resin ini mempunyai viskositas yang relatif rendah, dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis (Husaini, 2014).

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mempunyai suhu deformasi *thermal* yang lebih rendah dibandingkan dengan resin *thermoset* lainnya dan mampu menahan panas kira-kira 110-1400C dalam waktu yang cukup lama. Mempunyai sifat ketahanan listrik yang baik. Mampu menahan asam dengan cukup baik, namun lemah terhadap alkali. Secara luas digunakan dalam dunia material sebagai bahan komposit.

Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari mulai proses yang paling sederhana yaitu proses *hand lay-up* hingga dengan metode manufaktur yang kompleks. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia

industri karena beberapa keunggulannya, yaitu harganya yang relatif murah, waktu *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan *dimensional* dan mudah penanganannya.

Penggunaan polimer dalam komposit memerlukan material lain yang mempunyai fungsi khusus yang disebut aditif. Menurut (Erningsih et al., 2011) material tambahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Catalyst, stabilizer, coupling agent* merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk mempercepat, menstabilkan, dan membantu perekatan polimer dengan fasa penguat komposit.
2. *Pigments* digunakan untuk memberi tekstur dan warna pada polimer.
3. *Release agents* dan *lubricants* merupakan material yang ditambahkan untuk mempermudah dalam melepaskan komposit dari cetakannya dalam proses produksi komposit.

2.8 Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI)

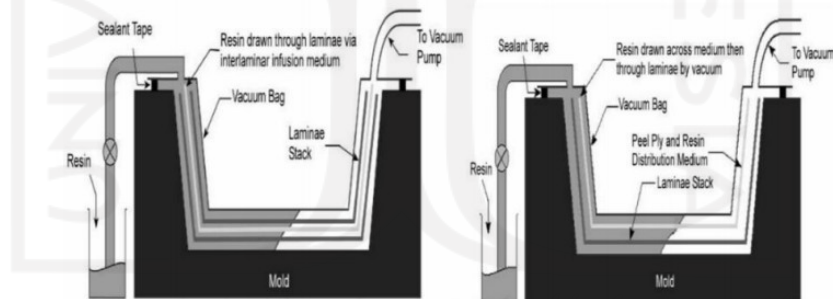
Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan tekanan rendah untuk mengatur resin menjadi lamina. Material yang menjadi matrik diletakkan di sebuah beton, kemudian dilakukan proses vacuum untuk menarik aliran resin ke dalam matrik. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matriks terbentuk, maka tabung vakum akan meletakkan sisa-sisa resin yang tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk memiliki ketebalan yang sama (Rizky, 2010b).

Metode VARI menghasilkan komposit material yang memiliki rasio *fiber-resin* yang tinggi dibandingkan dengan *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan dengan tekanan vakum yang konstan. Penggunaan vakum konstan dalam mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber-resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan komposit material yang lebih kuat dan ringan (Rizky, 2010b).

Menurut (Febriyanto, 2011) tekanan vakum pada proses VARI berpengaruh terhadap gelembung udara pada bahan. Gelembung udara dapat menyebabkan penurunan kekuatan karena beban tidak dapat terdistribusi dengan

baik, kelebihan dari metode vakum menggunakan keadaan vakum untuk mencegah porositas akibat udara yang terperangkap dalam komposit material, sehingga filler dapat meresap ke pori-pori fiber dan menghasilkan sifat perekat yang baik pada permukaan fiber. Beberapa langkah dasar dalam proses VARI adalah sebagai berikut:

1. Material yang bekerja sebagai matrik diletakkan dalam suatu cetakan yang dilapisi kantong vakum.
2. Resin cair yang berfungsi sebagai filler dalam suatu wadah yang terhubung dengan beton dan mesin vakum.
3. Tekanan udara yang ada di dalam beton yang diturunkan oleh mesin vakum.
4. Resin dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah.
5. Proses *curing* dilakukan setelah resin membentuk lamina. Metode VARI dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode *Surface Infusion* dan metode *Interlaminar Infusion*. Pada *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina. Pada *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina. Pada Gambar 2. 7 menunjukkan perbandingan metode *surface infusion* dan *interlaminar infusion*.



Gambar 2. 3 Diagram VARI Surface Infusion dan Interlaminar Infusion

Sumber: (Rizky, 2010)

2.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan (*stress strain test*). Pengujian yang dilakukan pada suatu material padatan (logam dan non logam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis.

Data yang diperoleh dari uji tarik adalah data pengukuran serta kurva tarik. Nilai kekuatan tarik maksimum (σ) adalah beban maksimum (F) dibagi dengan luas penampang awal (A_0) spesimen uji (Spackman, Frank, & Kyle C. Picha, 2016).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 2.1$$

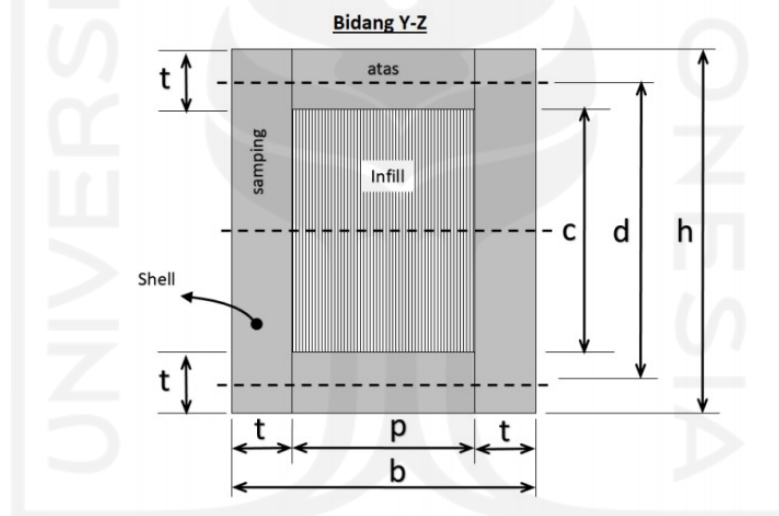
Keterangan:

σ = Kekuatan tarik maksimum (Pa)

F = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (m^2)

Untuk menghitung luas efektif penampang komposit sandwich dengan core hasil 3D printing dan skin komposit sandwich dengan mempertimbangkan kerapatan dan bentuk infill adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Bagian dalam 3DP Core

$$p = b - (2 \times t)$$

$$c = h - (2 \times t)$$

$$A_{shell} = (b \times h) - (p \times c) \quad 2.2$$

$$A_{infill} = P_{infill} \times p \times c \quad 2.3$$

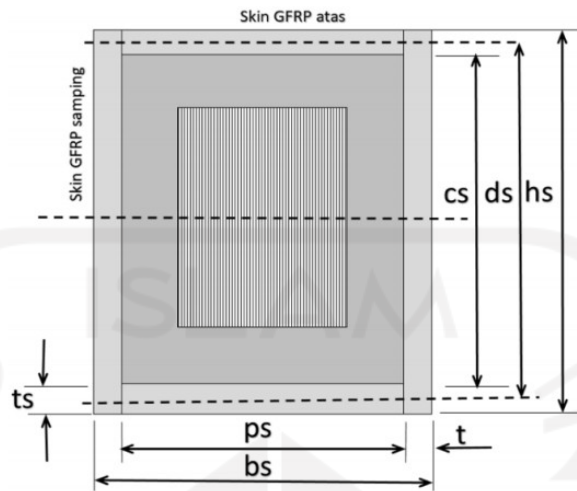
$$A_{3DP} = A_{shell} + A_{infill} \quad 2.4$$

Keterangan:

A_0 = Luas penampang (m^2)

h = Tebal awal 3DP core (mm)

- b = Lebar awal 3DP core (mm)
t = Tebal awal 3DP core (mm)



Gambar 2. 5 Bagian dalam Komposit *Sandwich*

$$ps = bs \times (2 \times ts)$$

$$cs = hs - (2 \times ts)$$

$$ds = hs - ts$$

$$A_{skin} = (bs \times hs) - (ps \times cs) \quad 2.5$$

$$A_{sandwich} = A_{skin} + A_{3DP} \quad 2.6$$

Keterangan:

hs = Tebal akhir komposit *sandwich*

bs = Lebar akhir komposit *sandwich*

ts = Tebal *skin* = $(hs - h_{3DP \text{ Core}})/2$

Selain nilai tegangan tarik didapat pula nilai regangan. Regangan (ϵ) adalah perubahan panjang (Δl) dibagi dengan panjang awal (l_0).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad 2.7$$

Keterangan:

ϵ = Regangan (%)

Δl = Pertambahan panjang (m)

L_0 = Panjang awal (m)

Setelah diperoleh nilai regangan maka dapat dicari modulus elastisitas dengan cara sebagai berikut:

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

2.8

Keterangan:

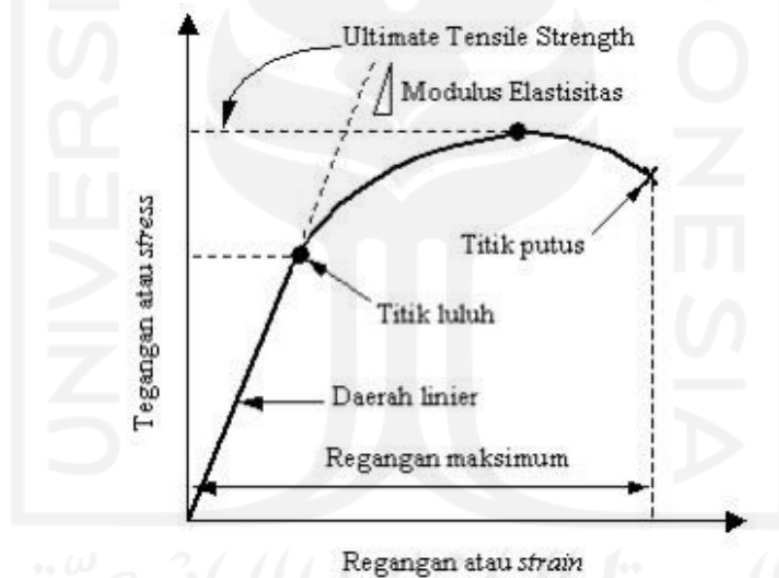
E = Modulus Elastisitas

σ = Kekuatan tarik maksimum (Pa)

ϵ = Regangan (%)

2.9.1 Perilaku Mekanik Material

- Batas proporsionalitas (*proportionality limit*) merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Titik P pada Gambar 2. 6 di bawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan-regangan.



Gambar 2. 6 Grafik Pengujian Tarik

Sumber: (Salindeho et al., 2018)

- Batas elastis (*elastic limit*) Daerah elastis adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastis ini.
- Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*). Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan

menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada gambar 2.7. Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur kristal yang membentuk *interstitial solid solution* dari atom - atom karbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antara dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti *mild steel* menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*).



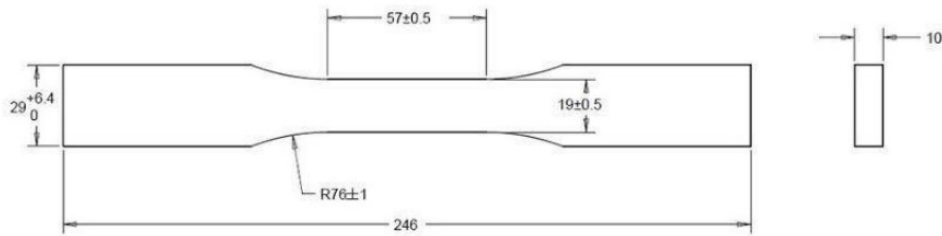
Gambar 2. 7 Kurva Regangan-Tegangan

Sumber:(Salindeho et al., 2018)

- d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum (σ) ditentukan dari beban maksimum (F_{maks}) dibagi luas penampang awal (A_0).

2.9.2 Pengujian Tarik ASTM D-368

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan standar pengujian tarik ASTM D-638. Yang memiliki dimensi spesimen seperti yang ditunjukkan **Error! Reference source not found.** dan Gambar 2. 9 di bawah ini:



Gambar 2. 8 Model Spesimen ASTM D638-III

Sumber: (Susilowati, 2017)

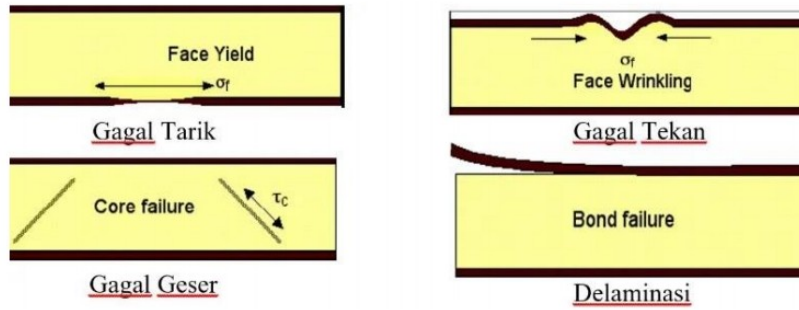
Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±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)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Gambar 2. 9 Standar Ukuran Pengujian Tarik Komposit ASTM D-638

Sumber: (Susilowati, 2017)

2.10 Modus Kegagalan dan Bentuk Patahan Pada Komposit Sandwich

Mode kegagalan komposit sandwich ada 4 macam yaitu (1) kegagalan di bagian skin akibat beban tarik, (2) kegagalan bagian skin akibat beban *buckling*, (3) kegagalan geser pada bagian *core*, dan (4) kegagalan delaminasi antara komposit skin dan core. Mode kegagalan tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 2. 10 dibawah ini.



Gambar 2. 10 Kegagalan Komposit Sandwich

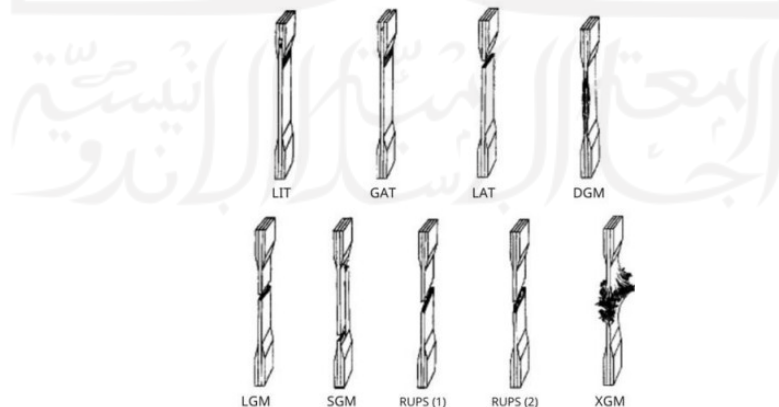
Sumber: (Nurun Nayiroh, 2017)

Selain itu, pada pengujian tarik untuk komposit terdapat berbagai kemungkinan gagal yang terjadi, hal tersebut dapat disebabkan oleh komponen penyusunnya serta metode manufaktur yang digunakan dalam proses pembuatan komposit tersebut. Jenis pola patahan dapat dilihat pada gambar berikut :

Tipe Kegagalan	Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/ cekam	I		Bottom	B
Delaminasi	D	Pada Grip/cekam	A		Top	T
Grip/cekam	G	< 1W dari grip/cekam	W		Left	L
Lateral	L	Gage	G		Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple Areas	M		Middle	M
Long splitting	S	Varius	V		Varius	V
Explosive	X	Unknown	U		Unknown	U
Other	O					

Gambar 2. 11 Penentuan Jenis Pola Patahan

Sumber: (Maria et al., 2006))



Gambar 2. 12 Contoh Jenis Pola Patahan

Sumber: (Maria et al., 2006)

Pada spesimen tarik, umumnya serat yang putus terjadi secara merambat dalam proses kegagalan pada komposit. Tahapan awal adalah patah pada salah satu serat penguat sehingga berdampak memberikan beban kepada matriks yang kemudian diteruskan ke penguat yang berada didekatnya. Dengan adanya peningkatan tegangan tersebut memungkinkan terjadinya serat penguat patah secara berurutan/ merambat. Hal tersebut terjadi secara berkelanjutan hingga spesimen komposit tersebut patah.

2.11 Water Jet Cutting

Waterjet cutting machine adalah mesin yang digunakan dalam proses pemotongan dingin (tanpa bara/ hawa panas) dengan cara menyembrotkan air yang bertekanan dan kecepatan tinggi ke permukaan benda yang akan dikerjakan. Dibawah ini adalah lima keuntungan pemotongan dengan *waterjet machine*:

1. Tanpa batasan material.

Waterjet cutting adalah proses yang fleksibel, mesin ini mampu untuk memotong banyak variasi material: material komposit, plastik, berbagai jenis besi, kaca, batu, keramik, karet, bahkan titanium dan hastelloy. Dengan tambahan bahan abrasif (seperti garnet), mesin waterjet mampu untuk memotong material dengan tebal sampai dengan 200mm.

2. Tidak adanya area yang terpengaruh oleh temperatur tinggi.

Kelebihan besar dari *waterjet cutting* adalah tidak adanya *heat-affected zone* (HAZ) yang bisa terjadi karena sifat pemotongannya dengan temperatur rendah (*cold cutting*). Tak hanya *cold cutting* memungkinkan untuk potongan yang rapi, namun juga demi keselamatan sang operator dengan melenyapkan faktor luka bakar dari hawa panas.

3. Tidak adanya distorsi material.

Dengan temperatur dingin, eksposur terhadap panas tidak terjadi pada material yang dipotong. Proses ini sangat penting dengan material seperti besi, yang mengarah kepada potongan yang rapi tanpa adanya perubahan apapun terhadap material. Hasilnya adalah potongan yang presisi pada material yang dipotong.

4. Tidak perlu melalui proses finishing tambahan.

Hasil yang presisi dari proses *waterjet cutting* ini membuat material yang telah dipotong tidak perlu lagi untuk melalui proses finishing tambahan. Proses ini tentunya mempercepat produksi material dan lebih cepat, yang mengarah kepada efisiensi tenaga kerja.

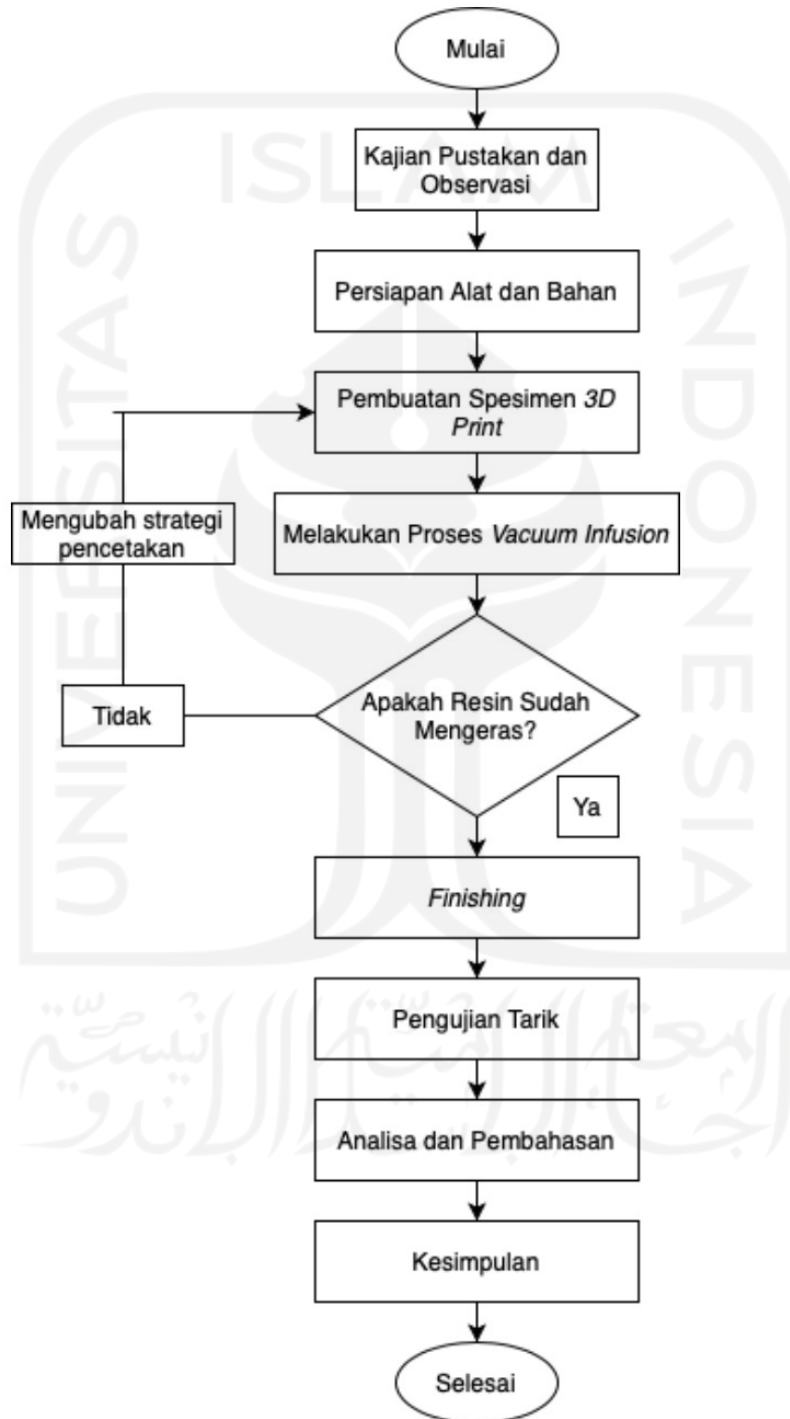
5. Tidak adanya limbah yang berbahaya bagi lingkungan.

Kepedulian terhadap kondisi alam dan pencemaran lingkungan di berbagai sektor industri menjadi salah satu fokus global. Kelebihan signifikan dari pemotongan dengan mesin waterjet adalah tidak adanya limbah polusi yang diciptakan dalam bentuk gas ataupun asap.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

1. *Vacuum Pump*

Pompa vakum adalah sebuah alat untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari sebuah ruangan tertutup ke area luar untuk mencapai tekanan vakum sempurna, vakum yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Krisbow Model KW 19-534 bertenaga $\frac{1}{2}$ HP.



Gambar 3. 2 Vacuum Pump

2. *Filter Resin*

Filter resin terbuat dari Pipa Pvc tipe AW berukuran 4 inci dan memiliki dua *input* yang berisi besi spiral, balutan kawat, dan tissue. *Filter* ini berfungsi untuk menyerap resin agar tidak masuk ke dalam Tabung *Reservoir*.



Gambar 3. 3 *Filter Resin*

3. Tabung *Reservoir*

Tabung ini merupakan tabung kosong yang memiliki dua input dari *Vacuum Pump* dan *Filter* yang berfungsi sebagai kontrol tekanan vakum dengan memutar keran/katup pada *reservoir*.



Gambar 3. 4 Tabung *Reservoir*

4. *Fiberglass*

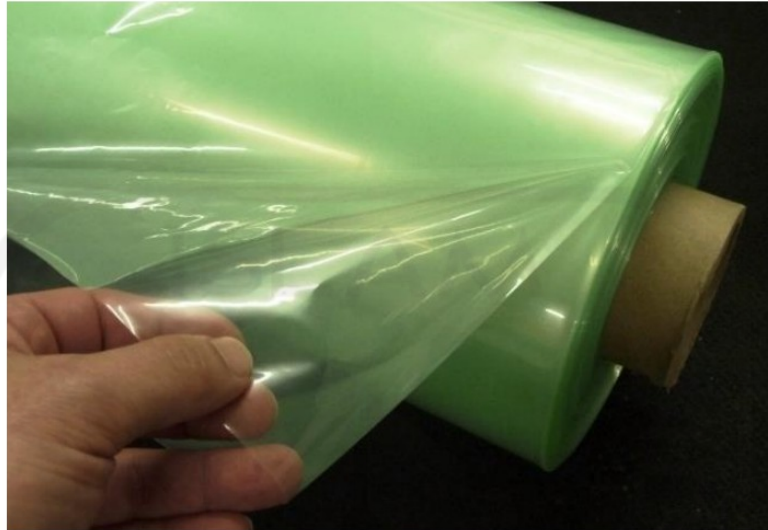
Pada penelitian ini digunakan serat fiber acak yang berfungsi sebagai material laminasi *3D Printing*.



Gambar 3. 5 *Fiberglass*

5. *Vacuum Bagging Film*

Plastik ini berfungsi untuk menjaga perbedaan tekanan di dalam dan di luar cetakan.



Gambar 3. 6 *Vacuum Bagging Film*

6. *Kain Infusion mesh*

Kain infusion mesh merupakan media agar plastik tidak melekat secara permanen pada permukaan produk.



Gambar 3. 7 *Kain Infusion mesh*

7. *Peelply*

Kain ini berfungsi untuk memberikan permukaan laminasi menjadi lebih rata dan memudahkan melepas spesimen yang sudah diresin.



Gambar 3. 8 *Peelply*

8. Selang Resin

Selang ini berdiameter 8mm yang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah ke dalam cetakan dan sebagai saluran vakum pada *vacuum pump* ke *reservoir*.



Gambar 3. 9 Selang Resin

9. Katup Bensin

Katup ini berfungsi untuk membuka dan menutup saluran udara dari cetakan.



Gambar 3. 10 Katup Bensin

10. Selang Spiral

Selang ini berfungsi untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*.



Gambar 3. 11 Selang Spiral

11. *Butyl Tape*

Butyl Tape atau *double tape* ini berfungsi untuk merekatkan *vacuum bagging film* di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran udara.



Gambar 3. 12 *Butyl Tape*

12. Plastisin

Plastisin berfungsi sebagai penutup lubang jika terjadi kebocoran udara.



Gambar 3. 13 Plastisin

13. Resin

Resin berfungsi sebagai matriks atau pengikat *fiberglass* agar menjadi kaku. Resin yang digunakan pada penelitian ini adalah resin dengan jenis 2668WNC.



Gambar 3. 14 Resin

14. Katalis

Katalis berfungsi sebagai campuran resin agar menjadi cepat kering/mempercepat proses reaksi. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis *mepoxe*.



Gambar 3. 15 Katalis

15. Timbangan

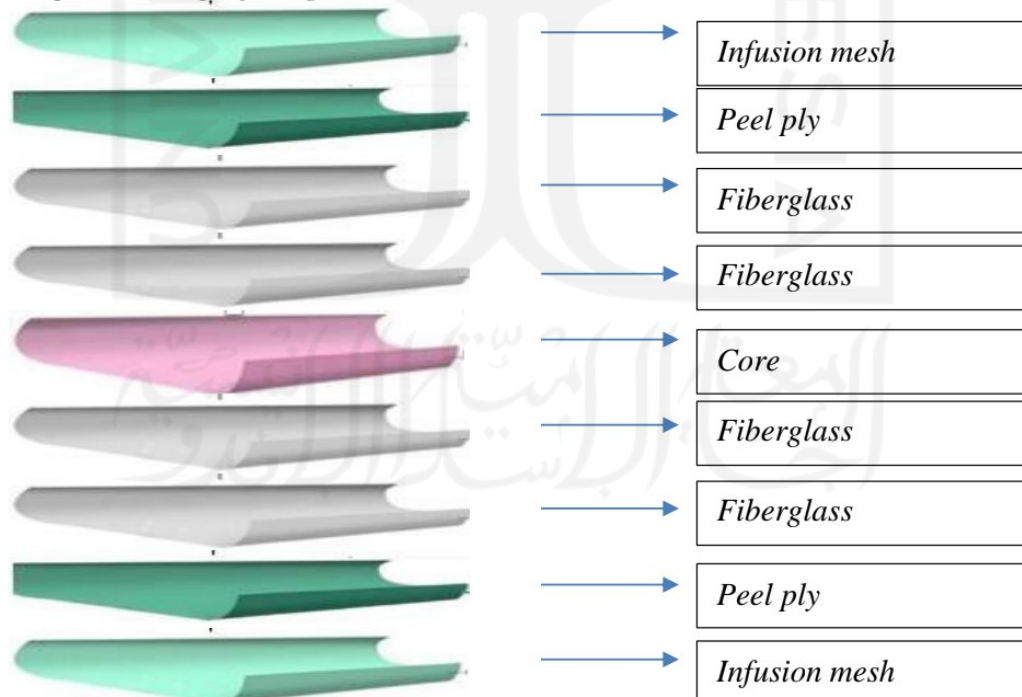
Timbangan berfungsi untuk menghitung perbandingan massa Resin dengan Katalis.



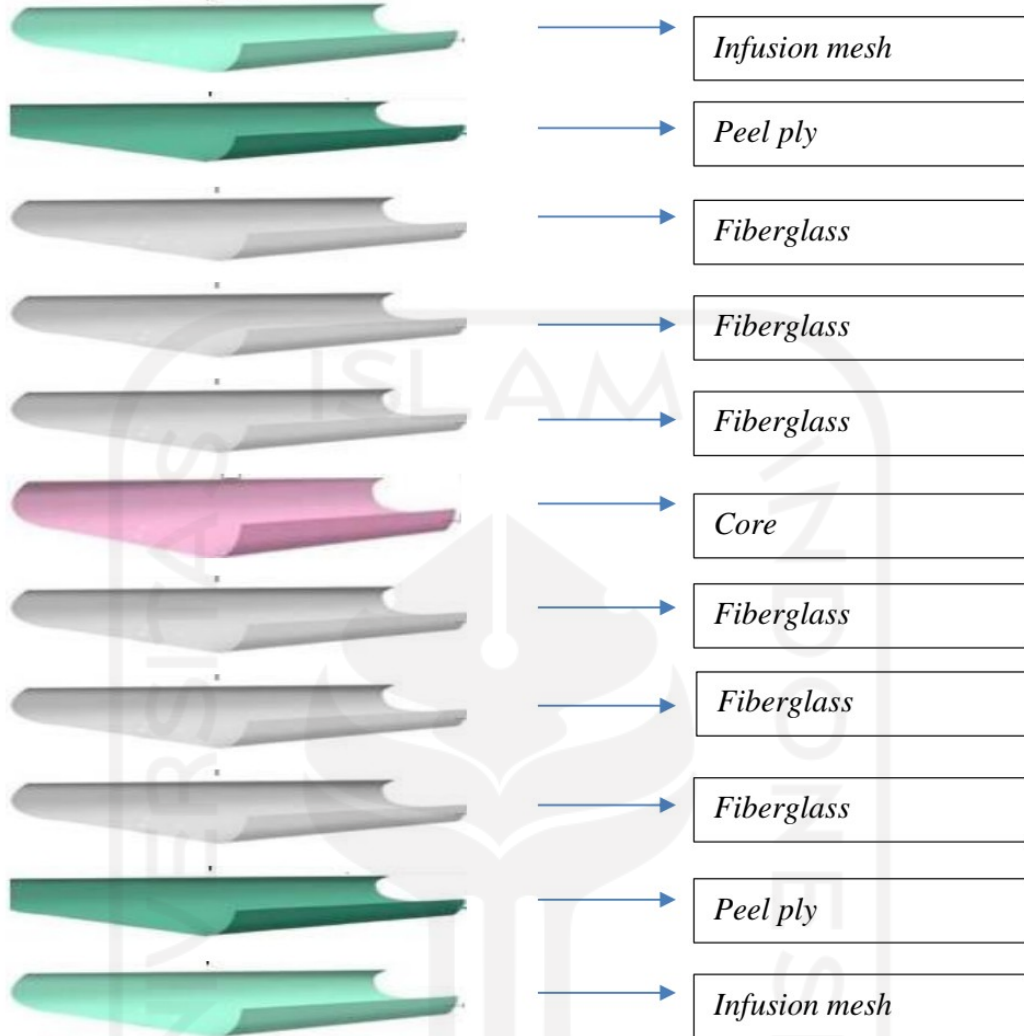
Gambar 3. 16 Timbangan

3.3 Komposisi Lapisan Spesimen

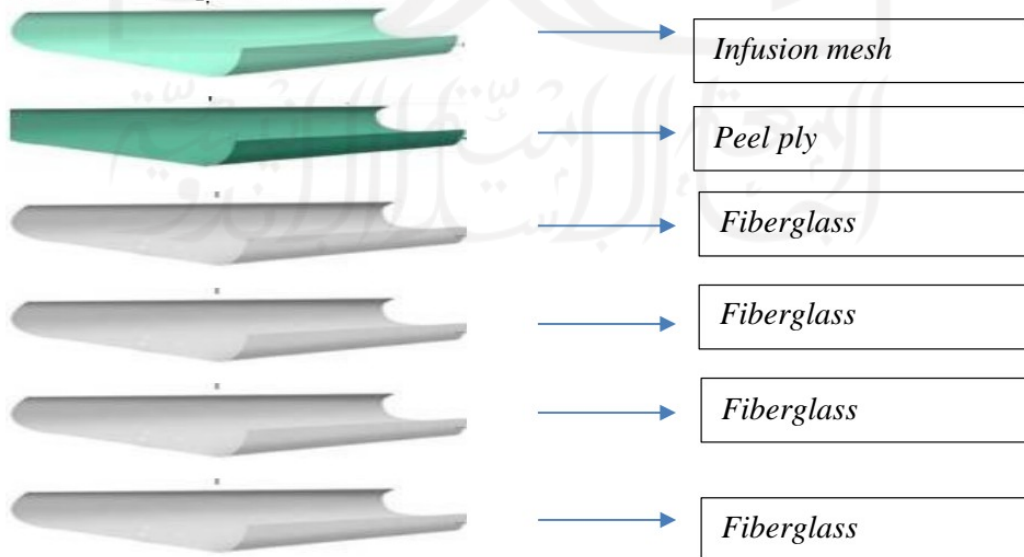
3D print + 2 lapis fiberglass

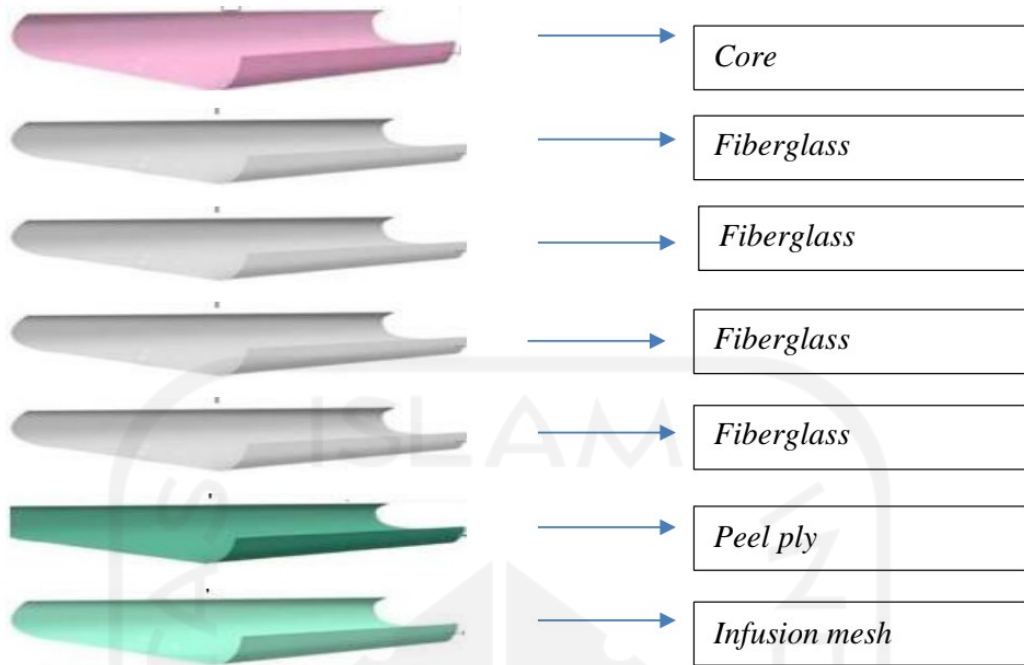


3D print + 3 lapis fiberglass



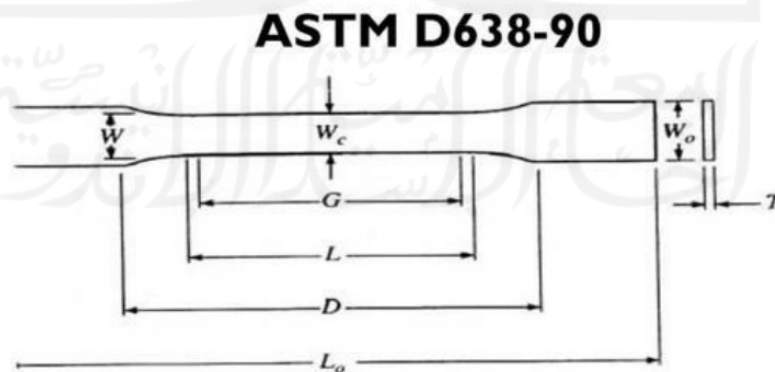
3D print + 4 lapis fiberglass





3.4 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah hasil cetak dari mesin 3D print. Hasil cetak dari mesin akan diteliti dan diuji guna mengetahui produk dari parameter proses pencetakan yang telah divariasikan. Pengujian tarik dilakukan guna mengetahui nilai kekuatan tarik dari material yang digunakan. Pada pengujian ini dibuat spesimen uji sesuai standar yaitu ASTM D 638-III. Sesuai dengan dibawah ini merupakan standar ukuran ASTM D 638-III yang dibuat menggunakan bantuan SolidWork 2018.



Gambar 3. 17 Standar ASTM D 638-III

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
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 ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±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)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Gambar 3. 18 Standar Ukuran Pengujian Tarik Komposit ASTM D-638

Setelah dilakukan pembuatan model spesimen maka model tersebut dicetak sesuai dengan variasi parameter yang telah ditentukan. Pembuatan spesimen uji sebanyak 12 buah dimana terdiri dari 3 buah untuk setiap kondisi. Pada pengujian tarik dilakukan dengan menguji spesimen uji dimana parameter yang divariasikan adalah lapisan *skin*. Sesuai dengan Gambar 3. 19 berikut adalah parameter pencetakan *3D Print*.

No.	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Density (%)	Suhu Nozzle (°C)	Skin Fiberglass (Lapisan)
1	I	0,2	80	20	220	0
2	II	0,2	80	20	220	2
3	III	0,2	80	20	220	3
4	IV	0,2	80	20	220	4

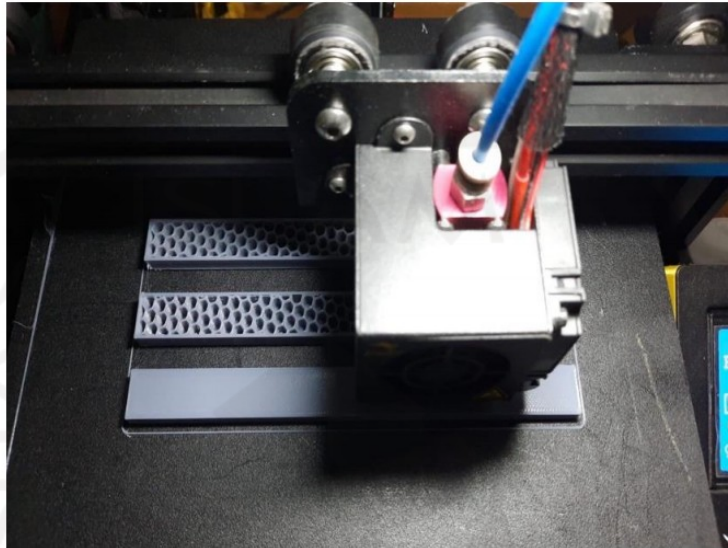
Gambar 3. 19 Parameter Pencetakan *3D Print*

3.5 Proses Pembuatan Spesimen

3.5.1 Proses Pembuatan *3D Print*

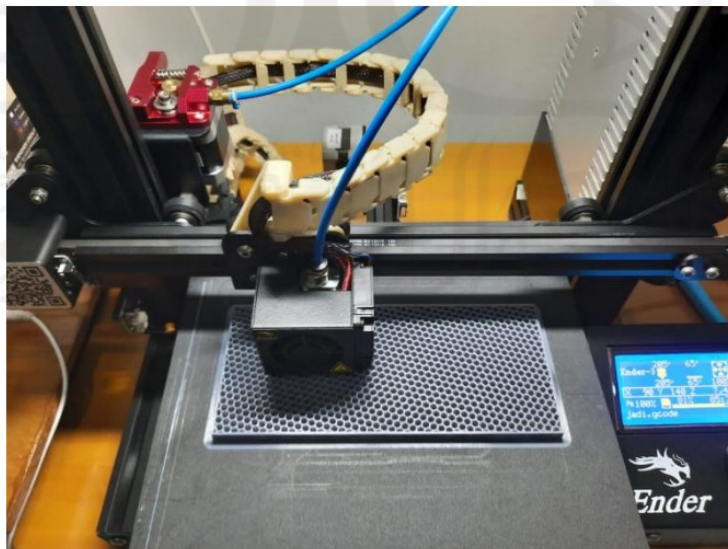
1. Melakukan desain menggunakan *Software Solidworks* berbentuk balok dengan ukuran 170mm x 80mm x 10mm.
2. Menyimpan *file* dalam bentuk format STL.
3. Mengatur posisi objek agar sesuai dengan bidang cetak atau *bed printer*.
4. Parameter pencetakan spesimen yang sudah ditentukan diantara lain *density* sebesar 20%, tebal *layer* 0,2 mm, suhu meja 80 °C, suhu *nozzle* 220 °C, *speed*

50 mm/s, dan *fill pattern honeycomb*. Dengan arah cetakan horizontal pada layer pertama dan terakhir (sesuai arah pengujian tarik) untuk memberikan kekuatan tarik yang lebih besar pada bagian *core* dibandingkan dengan arah cetakan vertikal.



Gambar 3. 20 Arah Cetakan 3D Print

5. *File G-Code* disimpan dalam *SD Card*.
6. 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 3D Print

3.5.2 Proses Vacuum Infusion

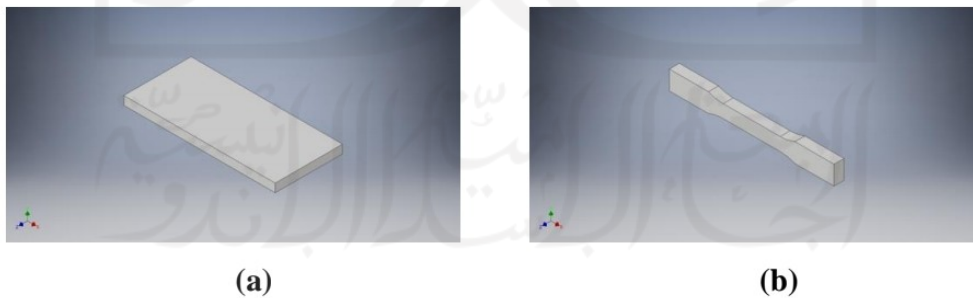
1. Potong *fiberglass*, *peel ply*, dan *infusion mesh* sesuai dengan ukuran *vacuum bagging film*. *Fiberglass* yang digunakan adalah CRM (*Chopped Strand Mat*) / serat gelas acak.
2. Siapkan spesimen uji yang telah dicetak menggunakan mesin *3D Printing*.
3. Timpa spesimen dengan *fiberglass* yang sudah dipotong sebanyak 2 lapis, 3 lapis, dan 4 lapis pada bagian atas dan bawah (*sandwich*). Setelah itu, timpa dengan *peel ply* dan lapisan terluar timpa dengan *infusion mesh*.
4. Pasang selang spiral di ketiga sisi pada cetakan membentuk *letter 'U'* untuk mempercepat aliran resin dalam cetakan.
5. Tutup spesimen dengan *Vacuum Bagging Film*.
6. Masukkan selang resin (*inlet*) ke dalam *Vacuum Bagging Film*.
7. Tutup semua sisi *Vacuum Bagging Film* menggunakan *Butyl Tape* agar tidak ada kebocoran udara
8. Sambungkan semua bagian menggunakan selang resin. Mulai dari resin, cetakan, *filter*, tabung *reservoir*, hingga *vacuum pump*.
9. Pasangkan katup bensin pada selang resin sebagai penutup dan pembuka saluran udara.
10. Siapkan resin yang sudah dicampur katalis dengan komposisi katalis 1% dari massa resin.
11. Nyalakan *vacuum pump* dan tutup saluran udara dengan katup bensin hingga mencapai tekanan yang cukup. Tekanan dapat dilihat melalui indikator yang terdapat pada tabung *reservoir*.
12. Pastikan tidak ada kebocoran udara pada semua sisinya, gunakan *plastisin* untuk menutup kebocoran yang ada.
13. Buka katup bensin dan resin siap mengalir ke seluruh bagian cetakan.
14. Jika resin sudah merata ke seluruh bagian cetakan, tutup katup bensin.
15. Diamkan cetakan hingga mengering dalam waktu 1x24 jam.



Gambar 3. 22 Proses *Vacuum Infusion*

3.6 Proses *Finishing*

Pada proses *finishing* spesimen menggunakan bantuan *waterjet cutting*. Hal ini dilakukan karena *waterjet cutting* dapat memotong spesimen dengan presisi sesuai yang diinginkan. Selain itu, *waterjet cutting* menggunakan temperatur dingin sehingga tidak terjadi eksposur panas terhadap material yang dipotong. Proses *finishing* dilakukan untuk menyesuaikan bentuk spesimen yang diperlukan dengan bentuk standar dimana hasil proses *vacuum infusion* sebelumnya berbentuk balok menjadi bentuk sesuai standar ASTM D638-III. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. 23 a.) spesimen sebelum *finishing*; b.) spesimen sesudah *finishing*

3.7 Pelaksanaan Uji Tarik

Proses pengujian tarik pada masing-masing produk ini menggunakan standar pengujian tarik ASTM D-638 tipe III yang dilakukan di Laboratorium Universitas Gadjah Mada, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat spesimen uji dari produk yang telah kita buat tadi sesuai dengan ASTM D 638 tipe III. Produk dengan 2 lapisan skin, 3 lapisan skin, dan 4 lapisan skin masing-masing dibuat 3 buah spesimen uji. Spesimen uji *3DP* + Komposit *Sandwich* berjumlah 9 spesimen uji, dan spesimen uji *3DP* tanpa menggunakan Komposit *Sandwich* sebanyak 3 buah. Total spesimen yang dilakukan Pengujian berjumlah 12 spesimen.
2. Ukur dimensi spesimen sebelum dilakukan pengujian.
3. Masukkan dan setting kertas milimeter block di atas mesin *plotter*.
4. Pasang dan pastikan spesimen yang akan diuji terjepit dengan baik pada mesin uji tarik.
5. Jalankan mesin uji tarik.
6. Setelah terjadi patahan segera hentikan mesin pengujian.
7. Ambil hasil rekaman hasil pengujian yang tertera di milimeter blok pada mesin *plotter*.
8. Ulang langkah 2 sampai 7 untuk pengujian spesimen lainnya.



Gambar 3. 24 Proses Pengujian Tarik

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Spesimen Uji

Pada setiap spesimen, komposit sandwich dibuat pada bagian atas dan bawah spesimen tersebut. Sebelum melakukan pengujian tarik dengan variasi lapisan *skin* berbeda yang telah dibuat, berikut adalah gambar spesimen sebelum dilakukan pengujian tarik.

1. Hasil Spesimen Tanpa Lapisan *Skin*



Gambar 4. 1 Spesimen tanpa lapisan

2. Hasil Spesimen Dengan 2 Lapisan



Gambar 4. 2 Spesimen dengan 2 lapisan

3. Hasil Spesimen Dengan 3 Lapisan



Gambar 4. 3 Spesimen dengan 3 lapisan

4. Hasil Spesimen Dengan 4 Lapisan



Gambar 4. 4 Spesimen dengan 4 lapisan

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta menggunakan mesin uji tarik *Universal Testing Machine*. Pengujian tarik dilakukan guna mengetahui sifat mekanis material terhadap beban tarik dimana sifat mekanik. Berikut sesuai dengan Tabel 4. 1 adalah hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen

No.	Kode Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Berat (g)
1	0_1	9,66	13,58	1,26	2,08	9,60	3,65	12,25
2	0_2	9,68	13,48	1,44	1,72	11,04	3,02	12,36
3	0_3	9,62	13,46	1,43	1,70	11,04	2,98	12,27
4	2_1	11,18	13,68	3,50	2,50	22,88	4,39	17,67
5	2_2	11,12	13,60	3,96	3,25	26,18	5,70	17,27
6	2_3	11,08	13,44	3,80	1,18	25,52	2,07	17,62
7	3_1	11,58	13,82	4,53	1,06	28,31	1,86	19,58
8	3_2	11,40	13,70	4,73	2,94	30,29	5,16	19,67
9	3_3	11,48	13,68	4,55	3,48	28,97	6,11	19,71
10	4_1	12,35	13,74	6,07	3,84	35,77	6,74	22,50
11	4_2	12,18	13,48	6,93	3,86	42,21	6,77	22,70
12	4_3	12,38	13,80	5,45	2,92	31,90	5,12	22,66

Keterangan:

0_1 = Spesimen pertama tanpa lapisan skin

0_2 = Spesimen kedua tanpa lapisan skin

0_3 = Spesimen ketiga tanpa lapisan skin

0_4 = Spesimen keempat tanpa lapisan skin

2_1 = Spesimen pertama dengan 2 lapisan skin

2_2 = Spesimen kedua dengan 2 lapisan skin

2_3 = Spesimen ketiga dengan 2 lapisan skin

2_4 = Spesimen keempat dengan 2 lapisan skin

3_1 = Spesimen pertama dengan 3 lapisan skin

3_2 = Spesimen kedua dengan 3 lapisan skin

3_3 = Spesimen ketiga dengan 3 lapisan skin

3_4 = Spesimen keempat dengan 3 lapisan skin

4_1 = Spesimen pertama dengan 4 lapisan skin

4_2 = Spesimen kedua dengan 4 lapisan skin

4_3 = Spesimen ketiga dengan 4 lapisan skin

4_4 = Spesimen keempat dengan 4 lapisan skin

4.3 Analisis dan Pembahasan

Dari pengujian tarik didapatkan sifat-sifat dari spesimen komposit yaitu beban maksimal, kekuatan tarik, dan regangan. Sebelum melakukan pengujian pada spesimen dilakukan pengukuran sebagai berikut:

1. Menghitung luas penampang

Cara menghitung luas penampang untuk spesimen dengan 2 lapisan skin (2_1) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{3D \text{ print core}} &= A_{shell} + A_{infill} \\ &= ((b \times h) - (p \times c)) + P_{infill} \times p \times c \\ &= ((13,68 \times 11,18) - (11,28 \times 8,78)) + (0,000427 \times 11,28 \times 8,78) \\ &= 53,96 \text{ mm}^2 \text{ (Kode Spesimen 2_1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sandwich} &= A_{skin} + A_{3D \text{ print core}} \\ &= ((b_s \times h_s) - (p_s \times c_s)) + 53,96 \text{ mm}^2 \\ &= ((14,28 \times 11,78) - (13,68 \times 11,18)) + 53,96 \text{ mm}^2 \\ &= 69,22 \text{ mm}^2 \text{ (Kode Spesimen 2_1)} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tarik maksimum

Cara menghitung kekuatan tarik maksimum untuk spesimen dengan 2 lapisan skin (2_1) adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\sigma = 50,56 \text{ MPa}$$

3. Menghitung nilai regangan

Cara menghitung regangan untuk spesimen dengan 2 lapisan skin (2_1) adalah sebagai berikut:

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

$$\varepsilon = 4,39 \%$$

4. Menghitung modulus elastisitas

Cara menghitung modulus elastisitas untuk spesimen dengan 2 lapisan skin (2_1) adalah sebagai berikut:

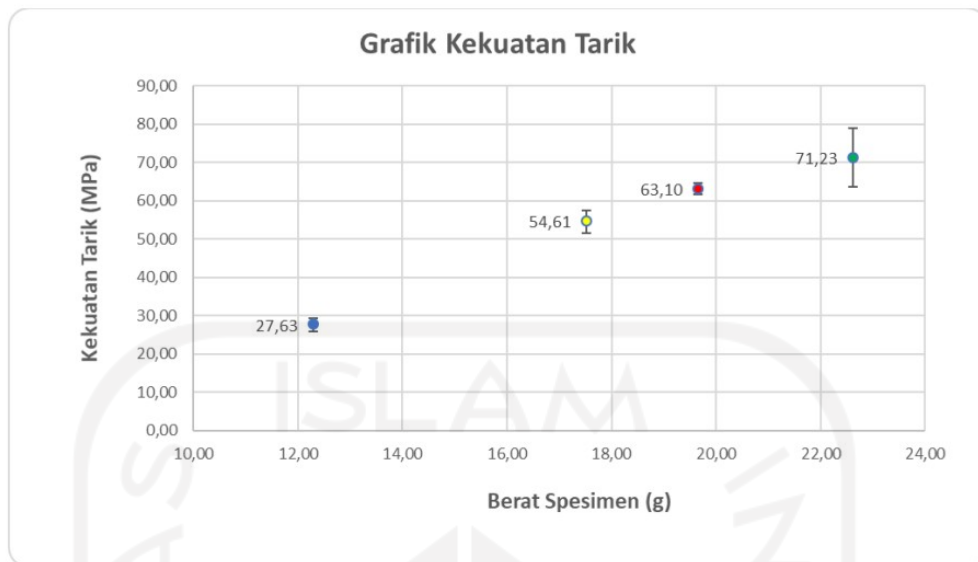
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = 11,53 \text{ MPa}$$

Setelah dilakukan perhitungan pada seluruh data yang diperoleh dalam pengujian tarik, maka didapat nilai kekuatan tarik maksimal dengan bantuan *Microsoft Excel*. Data yang sudah diolah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Kekuatan Tarik Maksimal

No.	Spesimen	Kekuatan Tarik (Mpa)			Rata-rata (MPa)	Rata-rata berat (g)
		1	2	3		
1	3D Print + 0 lapisan	25,18	28,89	28,8	27,63	12,29
2	3D Print + 2 lapisan	50,56	57,56	55,72	54,61	17,52
3	3D Print + 3 lapisan	61,62	65,16	62,52	63,10	19,65
4	3D Print + 4 lapisan	69,92	81,23	62,55	71,23	22,62



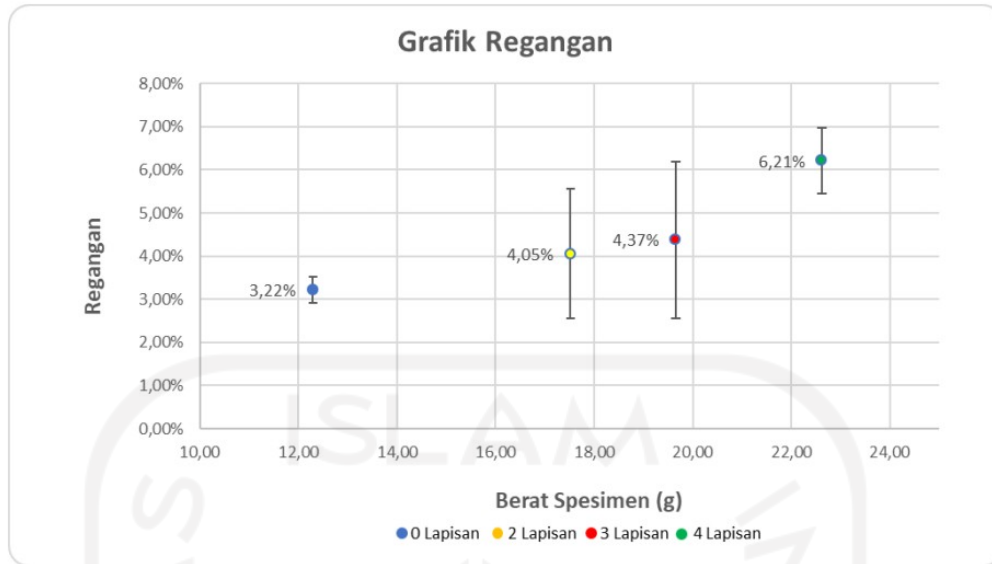
Gambar 4. 5 Grafik Kekuatan Tarik Maksimal

Peneliti mengambil rata-rata kekuatan tarik maksimal pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin*, 3DP + 2 lapisan *skin*, 3DP + 3 lapisan *skin*, dan 3DP + 4 lapisan *skin* untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh penambahan lapisan *skin* terhadap kekuatan tarik maksimal. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4. 1 terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik dari tiap spesimen. Pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin* memiliki nilai kekuatan tarik maksimal sebesar 27,63 MPa, untuk spesimen 3DP + 2 lapisan *skin* adalah 54,61 MPa, untuk spesimen 3DP + 3 lapisan *skin* adalah 63,10 MPa, dan untuk spesimen 3DP + 4 lapisan *skin* adalah 71,23 MPa. Dari data yang didapat menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan *skin* maka kekuatan tarik maksimal semakin meningkat.

Setelah didapatkan nilai kekuatan tarik maksimal, maka didapat nilai regangan dengan bantuan *Microsoft Excel*. Data yang sudah diolah sesuai Tabel 4. 3 sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Data Regangan

No	Spesimen	Regangan (%)			Rata-rata (%)	Rata-rata berat (g)
		1	2	3		
1	3D Print + 0 lapisan	3,65	3,02	2,98	3,22	12,29
2	3D Print + 2 lapisan	4,39	5,7	2,07	4,05	17,52
3	3D Print + 3 lapisan	1,86	5,16	6,11	4,38	19,65
4	3D Print + 4 lapisan	6,74	6,77	5,12	6,21	22,62



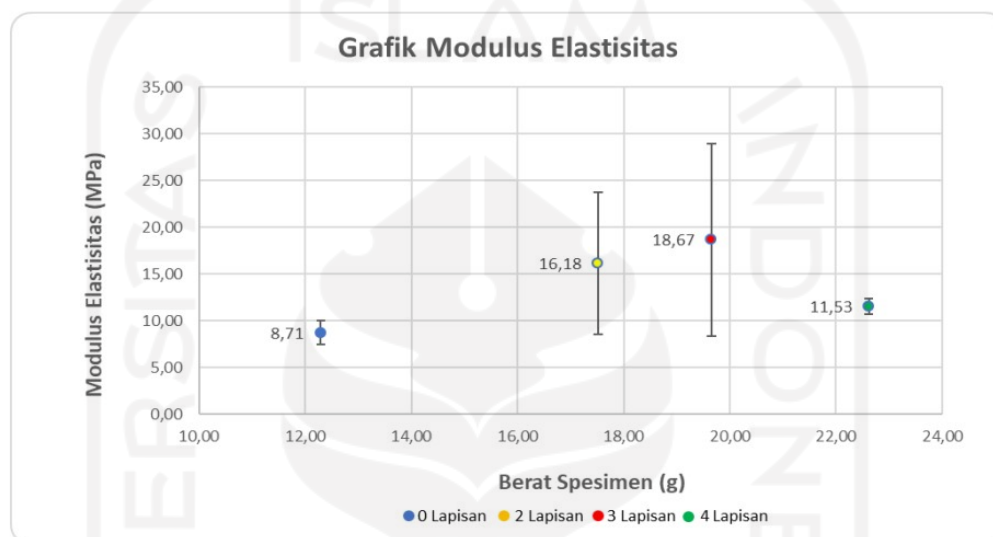
Gambar 4. 6 Grafik Regangan

Setelah didapat nilai rata-rata kekuatan tarik maksimal pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin*, 3DP + 2 lapisan *skin*, 3DP + 3 lapisan *skin*, dan 3DP + 4 lapisan *skin* selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil pengujian untuk mendapatkan nilai regangan. Pengolahan data yang dilakukan sama dengan ketika ingin mengetahui kekuatan tarik maksimal yaitu menggunakan nilai rata-rata regangan tiap spesimen. Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, didapat nilai regangan untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh penambahan lapisan *skin* terhadap regangan. Data hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4. 3 terdapat perbedaan nilai regangan dari tiap spesimen. Pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin* memiliki nilai regangan sebesar 3,22 %, untuk spesimen 3DP + 2 lapisan *skin* adalah 4,05 %, untuk spesimen 3DP + 3 lapisan *skin* adalah 4,37 %, dan untuk spesimen 3DP + 4 lapisan *skin* adalah 6,21 %. Dari data yang didapat menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan *skin* maka nilai regangan semakin meningkat.

Setelah didapatkan nilai regangan, maka didapat nilai modulus elastisitas dengan bantuan *Microsoft Excel*. Data yang sudah diolah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Data Modulus Elastisitas

No.	Spesimen	Modulus Elastisitas (Mpa)			Rata-rata (MPa)	Rata-rata berat (g)
		1	2	3		
1	3D Print + 0 lapisan	6,9	9,58	9,66	8,71	12,29
2	3D Print + 2 lapisan	11,53	10,09	26,91	16,18	17,52
3	3D Print + 3 lapisan	33,13	12,63	10,24	18,67	19,65
4	3D Print + 4 lapisan	10,38	12	12,21	11,53	22,62



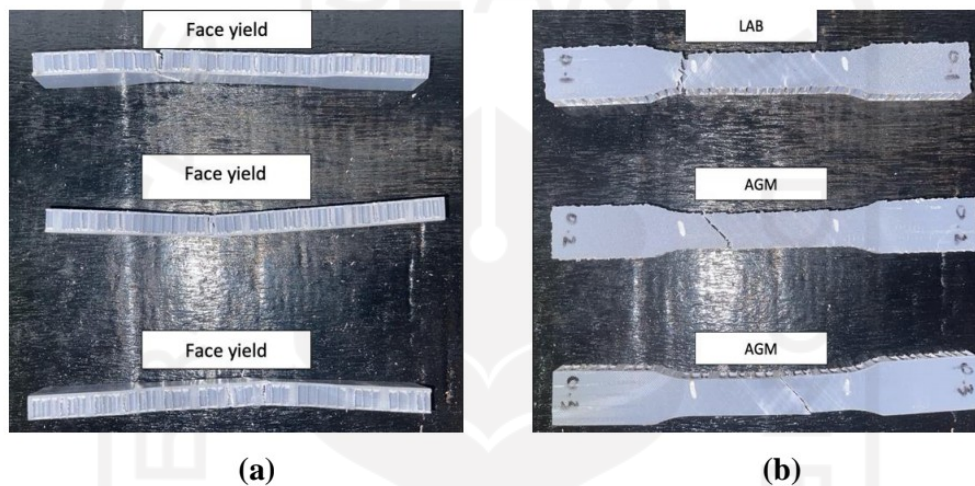
Gambar 4. 7 Grafik Modulus Elastisitas

Setelah didapat nilai rata-rata regangan pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin*, 3DP + 2 lapisan *skin*, 3DP + 3 lapisan *skin*, dan 3DP + 4 lapisan *skin* selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil pengujian untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas. Pengolahan data dilakukan menggunakan nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata regangan tiap spesimen. Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, didapat nilai modulus elastisitas untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh penambahan lapisan *skin* terhadap modulus elastisitas. Data hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4. 4 terdapat perbedaan nilai modulus elastisitas dari tiap spesimen. Pada spesimen 3DP tanpa lapisan *skin* memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 8,71 MPa, untuk spesimen 3DP + 2 lapisan *skin* adalah 16,18 MPa, untuk spesimen 3DP + 3 lapisan *skin* adalah 18,67 MPa, dan untuk spesimen 3DP + 4 lapisan *skin* adalah 11,53 MPa. Nilai modulus elastisitas pada 3DP + 4 lapisan *skin* menurun disebabkan oleh regangan pada 3DP + 2 lapisan *skin* dan 3DP + 3 lapisan *skin* memiliki nilai yang

kecil, sehingga berpengaruh pada nilai modulus elastisitas yang tinggi dan memiliki perbandingan yang cukup jauh dengan 3DP tanpa lapisan *skin*. Dari data yang didapat menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan *skin* maka nilai modulus elastisitas semakin meningkat.

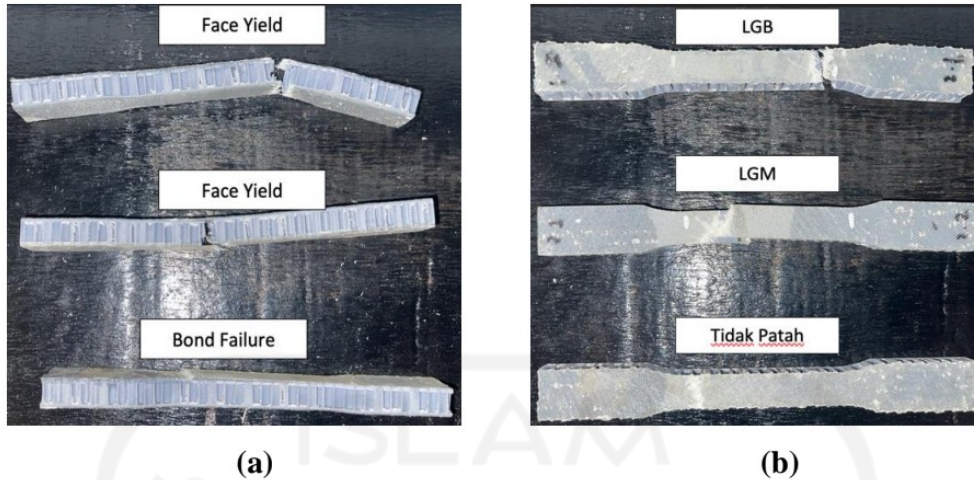
4.4 Modulus Kegagalan dan Bentuk Patahan

Setelah melakukan pengujian tarik pada spesimen komposit *sandwich* yang telah dibuat selanjutnya akan dilakukan analisis modulus kegagalan dan bentuk patahan pada masing-masing spesimen.



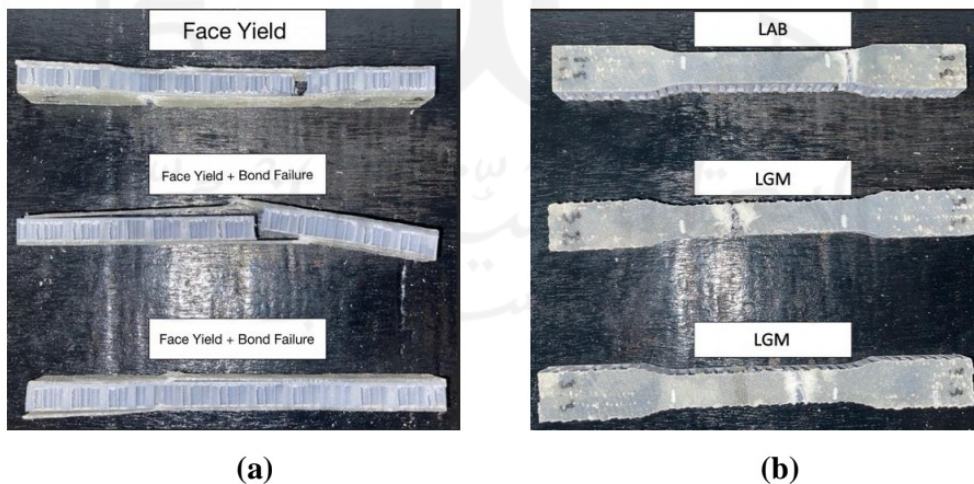
Gambar 4. 8 a.) Kegagalan pada 3DP tanpa lapisan skin; b.) Patahan pada 3DP tanpa lapisan skin

Berdasarkan Gambar 4. 8 modulus kegagalan yang terjadi dari ketiga sampel spesimen adalah *face yield*. Hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik. Sedangkan bentuk patahan pada sampel spesimen pertama yaitu *Lateral At grip/tab Bottom* (LAB) dimana patahan terjadi pada sisi grip bagian bawah, dan bentuk patahan pada sampel spesimen kedua dan ketiga yaitu *Angled Gage Middle* (AGM) dimana patahan terjadi membentuk sudut pada bagian tengah spesimen.



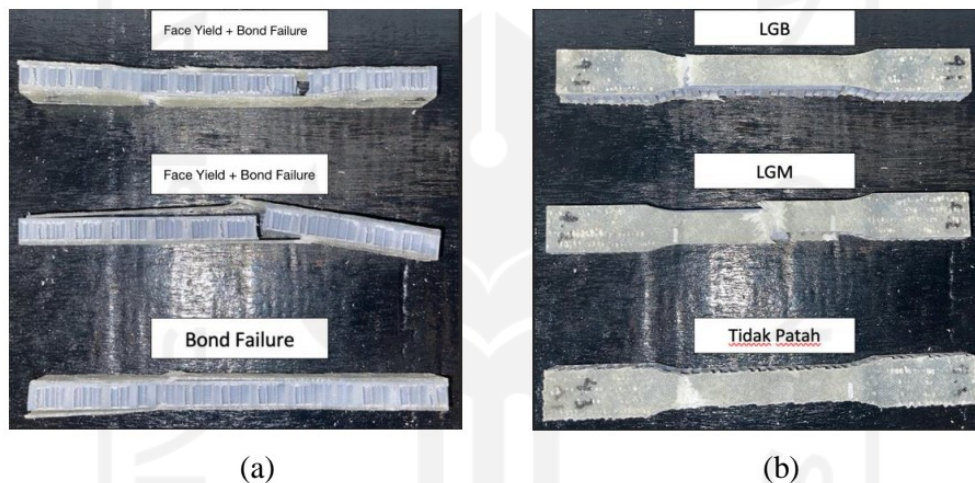
Gambar 4. 9 a.) Kegagalan pada 3DP + 2 lapisan *skin*; b.) Patahan pada 3DP + 2 lapisan *skin*

Berdasarkan Gambar 4. 9 modus kegagalan yang terjadi pada spesimen pertama dan kedua adalah *face yield*. Hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik, dan sampel spesimen ketiga modus kegagalan yang terjadi adalah *bond failure* dimana lapisan *skin* terlepas dari *core*. Sedangkan bentuk patahan pada sampel spesimen pertama yaitu *Lateral Gage Bottom* (LGB) dimana patahan terjadi pada bagian bawah spesimen, bentuk patahan pada sampel spesimen kedua yaitu *Lateral Gage Middle* (LGM) dimana patahan terjadi pada bagian tengah spesimen, dan pada sampel spesimen ketiga tidak terjadi patahan karena *skin* sudah terlepas dari *core*.



Gambar 4. 10 a.) Kegagalan pada 3DP + 3 lapisan *skin*; b.) Patahan pada 3DP + 3 lapisan *skin*

Berdasarkan Gambar 4. 10 modus kegagalan yang terjadi pada sampel spesimen pertama adalah *face yield*, hal ini terjadi karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik. Untuk sampel spesimen kedua dan ketiga modus kegagalan yang terjadi adalah *face yield* dan *bond failure* dimana hal ini diakibatkan karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik dan lapisan *skin* terlepas dari *core*. Sedangkan bentuk patahan pada sampel spesimen pertama yaitu *Lateral At grip/tab Bottom* (LAB) dimana patahan terjadi pada sisi grip bagian bawah, dan bentuk patahan pada sampel spesimen kedua dan ketiga yaitu *Lateral Gage Middle* (LGM) dimana patahan terjadi pada bagian tengah spesimen.



Gambar 4. 11 a.) Kegagalan pada 3DP + 4 lapisan skin; b.) Patahan pada 3DP + 4 lapisan skin

Berdasarkan Gambar 4. 11 modus kegagalan yang terjadi pada sampel spesimen pertama dan kedua adalah *face yield* dan *bond failure* dimana hal ini diakibatkan karena spesimen mengalami kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik dan lapisan *skin* terlepas dari *core*. Untuk sampel spesimen ketiga modus kegagalan yang terjadi adalah *bond failure* dimana lapisan *skin* terlepas dari *core*. Sedangkan bentuk patahan pada sampel spesimen pertama yaitu *Lateral Gage Bottom* (LGB) dimana patahan terjadi pada bagian bawah spesimen, patahan pada sampel spesimen kedua yaitu *Lateral Gage Middle* (LGM) dimana patahan terjadi pada bagian tengah spesimen, dan pada sampel spesimen ketiga tidak terjadi patahan karena *skin* sudah terlepas dari *core*.

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa modulus kegagalan terbaik untuk komposit *sandwich* pada penelitian ini adalah kegagalan *face yield* karena memiliki nilai kekuatan tarik terbesar pada sampel spesimen 0_2, 2_2, 3_3, dan 4_2. Sedangkan bentuk patahan terbaik adalah *Lateral Gage Middle* dimana patahan terjadi pada bagian tengah dan memiliki beban maksimum tertinggi pada sampel spesimen 2_2, 3_2, dan 4_2.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa lapisan skin berpengaruh terhadap hasil pengujian tarik dan berat spesimen. Hal ini diketahui dari data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik berikut menunjukkan bahwa:

1. Spesimen dengan nilai tertinggi adalah 3D *Print* + 4 lapisan komposit yaitu 71,23 MPa pada kekuatan tarik, 6,21 % pada regangan, dan 11,53 MPa pada modulus elastisitas, serta berat 22,62 gram.
2. Spesimen dengan hasil pengujian tarik terendah adalah 3D *Print* tanpa lapisan komposit yaitu 27,63 MPa pada kekuatan tarik, 3,22 % pada regangan, dan 8,71 MPa pada modulus elastisitas, serta berat 12,29 gram.

Sehingga dapat dikatakan semakin tebal lapisan *skin* pada spesimen, maka semakin meningkat hasil pengujian tarik dan beratnya.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Setelah seluruh proses penelitian selesai dilakukan, peneliti memberikan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pastikan resin tidak masuk pada tabung *reservoir* yang menyebabkan kerusakan pada alat *Vacuum*.
2. Memastikan tidak ada kebocoran udara pada proses *Vacuum Infusion* agar resin dapat merata keseluruh 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.
4. Membuat lebih dari tiga buah spesimen pada masing-masing variasi lapisan *skin* untuk memudahkan pengolahan data hasil uji jika terdapat spesimen yang abnormal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboudi, J., Arnold, S., & Bednarczyk, B. (2013). Micromechanics of Composite Materials. In *Micromechanics of Composite Materials*.
<https://doi.org/10.1016/C2011-0-05224-9>
- Angelia, A., Ghofur, M. A., Nugroho, A. D., Purwadi, P., & P, H. (2020). Analisis Kekuatan Tarik, Bending, Mikrostruktur, Komposisi dan Kemampuan Redam Suara Komposit Serat Pelepah Pisang Menggunakan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 6, 67–80. <https://doi.org/10.28989/senatik.v6i0.429>
- Budiono. (2015). *Pengujian kuat tarik terhadap produk hasil 3d printing dengan variasi ketebalan layer 0,2 mm dan 0,3 mm yang menggunakan bahan abs (acrylonitrile butadiene styrene)*.
- Catur, A. D., D.S., P., Sinarep, S., & Prayitno, N. (2014). Sifat Mekanik Komposit Sandwich Berpenguat Serat BambuFiberglass Dengan Core Polyurethane Rigid Foam. *Rekayasa Mesin*, 5(1), pp.51-57.
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm>
- Djamil, S., Sobron Y Lubis, & Hartono, D. (2014). Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu Gigantochloa Apus Jenis Anyaman Diamond Braid dan Plain Weave. *Universitas Tarumanegara*, 1–9.
- Erningsih, R., Mutia, T., & Judawisastra, H. (2011). *Komposit Sunvisor Tahan Api dari Bahan Baku Serat Nenas*. 5, 191–203.
- Febriyanto, S. (2011). *Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise*-8.
- Husaini. (2014). Kekuatan Tarik Komposit Hibrid Unsaturated Polyester/Serat Gelas. *Universitas Gadjah Mada*.
- Maria, J., Paiva, F. De, Mayer, S., & Cerqueira, M. (2006). *Comparison of Tensile Strength of Different Carbon Fabric Reinforced Epoxy Composites*. 9(1), 83–89.
- Nurun Nayiroh. (2017). *Teknologi Material Komposit*.

- Patients, S., in Solid Cancer, P. C., Hassan, B. A. R., Yusoff, Z. B. M., Othman, M. A. H., Bin, S., information is available at the end of the Chapter, A., & [Http://dx.doi.org/10.5772/55358](http://dx.doi.org/10.5772/55358). (2012). Introduction to Composite Materials. In *Intech* (p. 13).
<http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J><https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics><http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Rizky, A. (2010a). *Evaluasi penggunaan ...*, Andes Rizky, FMIPA UI, 2010.
- Rizky, A. (2010b). *Evaluasi Penggunaan Metode VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion) Pada Komposit Epoxy-E Glass dan Karakterisasi Mikro Untuk Aplikasi Sudu Turbin Angin*.
- Salindeho, R. D., Soukota, J., & Poeng, R. (2018). Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material. *Jurnal J-Ensitem*, 3(1), 1–11.
- Saputra, O. A. (2019). *Pengoperasian Mesin Cetak 3D* (Issue December).
- Suryanto, H. (2019). Biokomposit Stratch-Nanoclay : Sintesis dan Karakterisasi. In *Universitas Negeri Malang* (Issue September 2019).
- Susilowati, S. E. (2017). Studi Perlakuan Alkali terhadap Sifat Mekanik Bahan Komposit Berpenguat Sekam Padi. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2(1), 67–80.
- Thamliha, T., Jannifar, A., & Nurlaili, N. (2020). Analisa Kekuatan Tarik Komposit Polimer Unsaturated Polyester Resin Berpenguat Serat Sisal Dengan Penambahan Filler Serbuk Karbon. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(2), 106. <https://doi.org/10.30811/jmst.v4i2.2017>

LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN TARIK

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Kode Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	0_1	9,66	13,58	1,26	2,08	9,60	3,65
2	0_2	9,68	13,48	1,44	1,72	11,04	3,02
3	0_3	9,62	13,46	1,43	1,70	11,04	2,98
4	2_1	11,18	13,68	3,50	2,50	22,88	4,39
5	2_2	11,12	13,60	3,96	3,25	26,18	5,70
6	2_3	11,08	13,44	3,80	1,18	25,52	2,07
7	3_1	11,58	13,82	4,53	1,06	28,31	1,86
8	3_2	11,40	13,70	4,73	2,94	30,29	5,16
9	3_3	11,48	13,68	4,55	3,48	28,97	6,11
10	4_1	12,35	13,74	6,07	3,84	35,77	6,74
11	4_2	12,18	13,48	6,93	3,86	42,21	6,77
12	4_3	12,38	13,80	5,45	2,92	31,90	5,12

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 20 November 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201

Yogyakarta, 20 November 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik

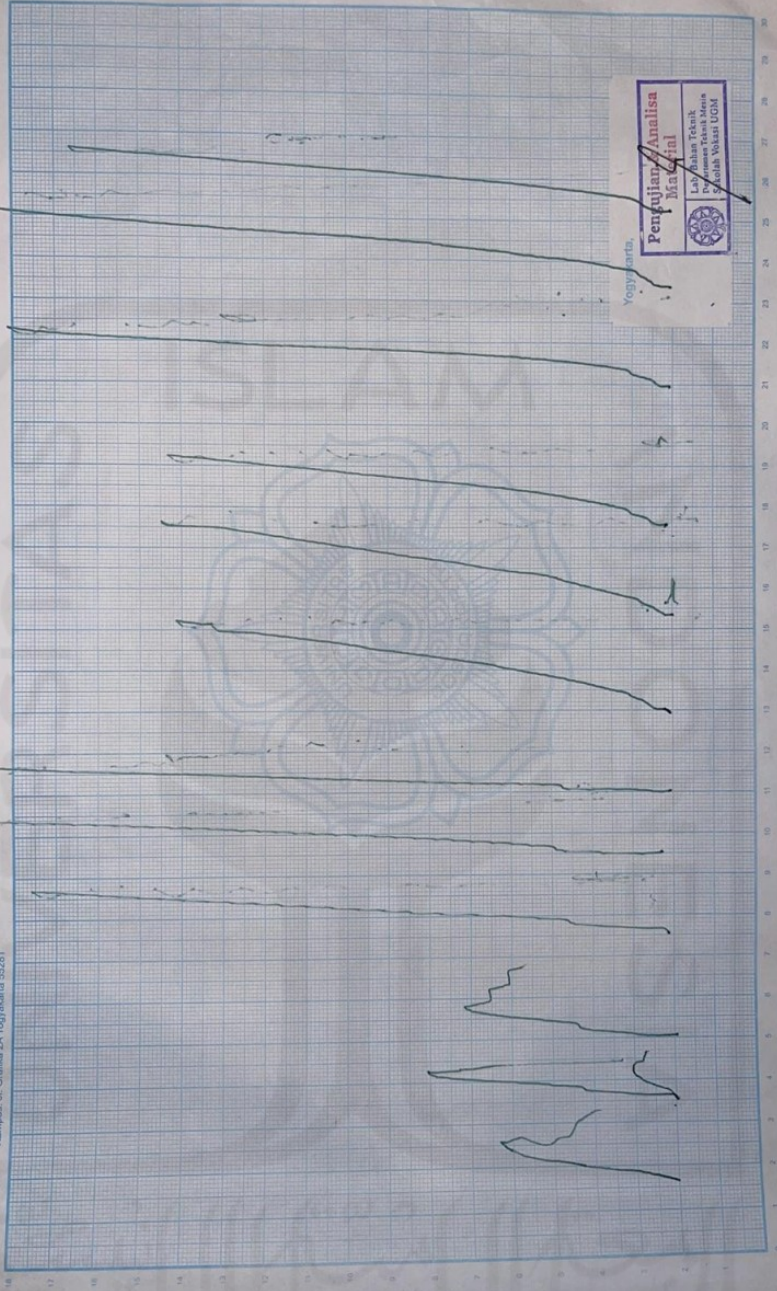
Pengujian & Analisa
Materi

Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Dr. Lilik Dwi Setyandani, S.T., M.T

NIP. 19770331200221002





Yogyakarta,
Pengajaran/Analisa
Materi
Lab. Bahan Teknik
Program Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM