PENGARUH KERAPATAN *INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID* (PLA) HASIL *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama	**: Asty Astuty Shetiawaty**
No. Mahasiswa	**: 19525144**
NIRM	**: 1907160062**

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, Asty Astuty Shetiawaty selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Kerapatan *Infill Gyroid Core Polylactic Acid* (PLA) Hasil *Addictive Manufacturing* Terhadap Kekuatan tarik Komposit *Sandwich* Serat Karbon" menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil *plagiarisme* dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustaka nya. Apabila di kemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 15 Mei 2023



Asty Astuty Shetiawaty

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH KERAPATAN *INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID* (PLA) HASIL ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama	**: Asty Astuty Shetiawaty**
No. Mahasiswa	**: 19525144**
NIRM	**: 1907160062**

Yogyakarta, 15 Mei 2023

Pembimbing

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH KERAPATAN *INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID* (PLA) HASIL *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **Asty Astuty Shetiawaty**

No. Mahasiswa : **19525144**

NIRM : **1907160062**

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP
Ketua

Tanggal: 03/07/2023

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.
Anggota I

Tanggal: 03 Juli 2023

Ir. Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng., IPP
Anggota II

Tanggal: 26 Juni 2023

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Muhammad Khafidh, S.T., M.T,. IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

Bapak Pardi dan Ibu Munawaroh sebagai orangtua yang selalu memberi doa yang sangat tulus serta memberi nasihat kepada saya sampai dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Ibu Herawati Onink dan Bapak Pascal Onink selaku om dan tante terima kasih sudah merawat dengan penuh cinta dan selalu memberikan dukungan sampai sampai saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Adik saya Alisha Haura N S yang selalu menanyakan kabar dan memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Sukses adalah jumlah dari upaya kecil, yang diulangi tiap hari”

-Robert Collier

“Sit down be humble”

-Kendrick Laman

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin segala puji dan syukur atas ke hadirat *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan inayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapat ilmu, bimbingan, saran, dorongan, bantuan serta semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hari perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Pardi dan Ibu Munawaroh selaku orang tua yang selalu memberikan doa yang tulus, dukungan serta semangat.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP selaku Dosen Pembimbing dalam melaksanakan tugas akhir ini yang senantiasa memberikan masukan dan nasihat dalam melaksanakan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin atas segala ilmu yang diberikan selama masa perkuliahan
5. Partner dalam mengerjakan tugas akhir ini : Hafiz Ramadhan, Geofinda Desmanto dan M. Zuhayr A.L yang selalu bersama dalam melaksanakan tugas akhir hingga saat ini.
6. Muhammad irfan Restu F, S.E., Gufran Rahardi, S.T., Rio Ari Sandika, S.T., R.B Raihan Rato, S.T., David Yade H P, S.T., Ferdi Nurikhram, Abdul Mukhyi, Abdullah Faqih, Attala Rafana Azizah dan Anggiyan Setiawan yang turut serta membantu dan menemani penulis hingga saat ini.
7. Penghuni wisma syariah Ainul Islami, Rini Sulistiawati dan Haswind Rahmadani yang telah bersama selama dua tahun yang selalu mendengar keluh kesah selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.
8. Andry Syaharani Wiguna, Ghaisani Nurhalimah dan Shafa Qotrunada Aulia Z yang selalu suport dan mendengarkan keluh kesah penulis walaupun kami

berada dilokasi yang sangat jau.

9. Seluruh mahasiswa teknik mesin angkatan 2019
10. Seluruh pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 14 Mei 2023

Asty Astuty Shetiawaty

ABSTRACT

A composite is a material composed of two or more materials that have mechanical properties similar to those of different materials produced by a mixing process. A composite sandwich is composed of two parts: in the middle there is a core, and the outer part is the skin. In this study, a core form of addictive manufacturing was used: polylactic acid for the material with a gyroid structure and carbon fibers for the skin, which are glued using epoxy resin with the vacuum infusion method. This study aims to make sandwich composites with PLA (Polylactic Acid) core material made using an addictive manufacturing process with gyroid infills to determine the effect of infill density on the tensile strength value of carbon fiber sandwich composites using the vacuum infusion method. Based on the results of the tensile test conducted, the highest tensile stress value was at a 50% infill density of 29.52 MPa, and that which was not coated with skin experienced an increase in two samples tested at a 10% stress density of 9.43 MPa and a 50% density of 15.76 MPa. These results indicate that the infill density affects the increase in the resulting tensile stress value, and the addition of skin provides an additional stress value. The highest specific tensile strength value at 20% infill density was 133.85 N/g with a weight of 41.79 gr. From the test results and calculations, it appears that the optimum value for specific tensile strength is at a density of 20%, which has a high strength value but a light mass.

Keywords: Sandwich composites, Polylactic acid (PLA), Gyroid, Additive manufacturing, Carbon fibers, Tensile testing.

ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari dua bagian pada bagian tengah terdapat *core* dan bagian luar yaitu *skin.* pada penelitian ini menggunakan *core* hasil *addictive manufacturing* menggunakan material *polylactic acid* dengan struktur *gyroid* dan untuk *skin* menggunakan serat karbon yang direkatkan menggunakan resin *epoxy* dengan metode *vacuum infusion.* Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit *sandwich* dengan material PLA (*Polylactic Acid*) *core* yang dibuat menggunakan proses *addictive manufacturing* dengan *infill gyroid* untuk mengetahui pengaruh kerapatan *infill* terhadap nilai kekuatan tarik komposit *sandwich carbon fibers* dengan metode *vacuum infusion.* Berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan bahwa nilai tegangan tarik tertinggi pada kerapatan *infill* 50% sebesar 29.52 Mpa dan yang tidak dilapisi *skin* mengalami peningkatan yang di uji dua sampel pada kerapatan 10% tegangan sebesar 9.43 MPa dan kerapatan 50% sebesar 15.76 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kerapatan *infill* mempengaruhi kenaikan pada nilai tegangan tarik yang dihasilkan dan penambahan *skin* memberikan penambahan nilai tegangan. Nilai kekuatan tarik spesifik tertinggi pada kerapatan *infill* 20% sebesar 133.85 (N/g) dengan berat 41.79 gr. Dari hasil pengujian dan perhitungan bahwa nilai optimum pada kekuatan tarik spesifik yaitu pada kerapatan 20% yang memiliki nilai kekuatan tinggi namun memiliki massa yang ringan.

Kara kunci : Komposit *sandwich, Polylactic acid* (PLA), *Gyroid, Addictive mufacturing, Carbon fibers*, Pengujian tarik

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Pernyataan keaslian ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iv
Halaman Persembahan v
ABSTRACT ix
Abstrak x
Daftar Isi xi
Daftar Tabel xiii
Daftar Gambar xiii
Daftar Notasi xvi
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
Bab 2 Tinjauan Pustaka 4
2.1 Kajian Pustaka 4
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1 Komposit 6
2.2.2 Komposit Sandwich 7
2.2.3 *3D Print* 9
2.2.4 *Vacuum Infusion* 10
2.2.5 *Water Jet Cutting* 10
2.2.6 Pengujian Tarik 11
2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian Tarik 12
Bab 3 METODE Penelitian 14
3.1 Alur Penelitian 14

3.2 Peralatan dan Bahan 15
3.3 Standar dan Ukuran Spesimen 21
3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich* 22
3.5 Proses Pengerjaan 23
3.5.1 Pembuatan *Core* dengan Mesin 3D *Printing* 23
3.5.2 Proses *Vacuum Infusion* 24
3.5.3 Proses *Finishing* 27
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 28
4.1 Pengujian Tarik 28
4.2 Hasil Pengujian Tarik 29
4.3 Analisis dan Pembahasan 30
4.3.1 Analisis 30
4.3.2 Pembahasan 31
Bab 5 Penutup 42
5.1 Kesimpulan 42
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 42
Daftar Pustaka 44

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Keterangan Jenis Patah Pengujian Tarik 13
Tabel 3-1 Parameter *Printing* 23
Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian Tarik 29
Tabel 4-2 Data Hasil Tegangan Tarik Maksimum 31
Tabel 4-3 Data Hasil Kekuatan Tarik Spesifik 33
Tabel 4-4 Tegangan Regangan 34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks 7
Gambar 2-3 Struktur *Gyroid* 8
Gambar 2-4 Serat Karbon 9
Gambar 2-5 Mesin 3D *Print* 9
Gambar 2-6 Skema *Vacuum Infusion* 10
Gambar 2-7 *Universal Testing Machine* 11
Gambar 2-8 Bentuk Patah Pengujian Tarik 12
Gambar 2-9 Modulus Kegagalan Pengujian tarik 13
Gambar 3-1 Alur Penelitian 14
Gambar 3-2 Pompa *Vacuum* 15
Gambar 3-3 Tabung *Reservoir* 15
Gambar 3-4 Timbangan 16
Gambar 3-5 Katup Bensin 16
Gambar 3-6 Plastik 17
Gambar 3-7 *Infusion Mesh* 17
Gambar 3-8 *Peel Ply* 17
Gambar 3-9 Selang 18
Gambar 3-10 Selang *Spiral* 18
Gambar 3-11 19
Gambar 3-12 *Hardener* 19
Gambar 3-13 *Butyl Tape* 19
Gambar 3-14 Lem Dextone 20
Gambar 3-15 Serat Karbon 20
Gambar 3-16 *Filament* PLA 20
Gambar 3-18 Wadah Plastik 21
Gambar 3-19 Bentuk Standar Spesimen ASTM D638 Tipe III 22
Gambar 3-20 Standar Ukuran Spesimen ASTM D638 22
Gambar 3-21 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich* 22
Gambar 3-23 Susunan Komposit *Sandwich* 24
Gambar 3-24 Pemasangan Selang Spiral 24

Gambar 3-25 Pelapisan Dexrone 25
Gambar 3-26 Menyusun Bahan Ke dalam *Vacuum Bag* 25
Gambar 3-27 Pencampuran *epoxy* dan *Hardener* 26
Gambar 3-28 Proses *Vacuum Infusion* 26
Gambar 3-29 Hasil *Vacuum* Setelah Gerinda 27
Gambar 3-30 Hasil *Vacuum* setelah *Water Jet* 27
Gambar 4-1 Pengujian Tarik 28
Gambar 4-2 Spesimen Setelah Pengujian Tarik 29
Gambar 4-3 Grafik Tegangan Tarik terhadap Variasi *Infill* 32
Gambar 4-4 Grafik Tegangan Tarik terhadap Berat Spesimen 32
Gambar 4-5 Grafik Kekuatan Tarik Spesifik terhadap Berat 33
Gambar 4-6 Grafik Kekuatan Tarik Spesifik terhadap Variasi Spesimen 34
Gambar 4-7 Grafik Tegangan-Regangan *Infill* 10%-50% *Skin* 35
Gambar 4-8 Betuk Patah Spesimen Kerapatan *Infill* 10% - 50% 36
Gambar 4-9 Grafik Tegangan-Regangan *Non Skin* 10% dan 50% 36
Gambar 4-10 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 10%+*Skin* dan 10% *Non Skin* 37
Gambar 4-11 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 20%+*Skin* 38
Gambar 4-12 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 30%+*Skin* 39
Gambar 4-13 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 40%+*Skin* 40
Gambar 4-14 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 50%+*Skin* dan 50% *Non Skin* 41

DAFTAR NOTASI

σ = Tegangan tarik (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

δ = Kekuatan tarik spesifik (N/gr)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya material yang sering ditemui merupakan material yang memiliki keunggulan hanya di bidangnya saja. Seperti halnya besi yang memiliki kekuatan tinggi namun tidak mudah untuk berubah bentuk dan untuk proses pengerjaan nya yang memakan waktu lama. Selain itu ada bahan yang elastis, ringan dan mudah dibentuk seperti karet namun tidak memiliki kekuatan yang tinggi, mudah terbakar dan mudah putus.

Proses menginovasikan material baru dengan menggabungkan dua material menjadi satu agar mendapat nilai kekuatan yang tinggi dan geometri yang diinginkan karena kebutuhan akan bahan dengan berbagai sifat saat ini seperti kuat dan ringan. Penggunaan hasil *addictive manufakturing* yang digabungkan dengan material pendukung yang untuk menciptakan material baru.

Pada penelitian sebelumnya peneliti hanya menggunakan dua *variable* dengan menggunakan *fiberglass* dengan metode *hand lay up* (Izma Adriansyah, 2021). Namun pada penelitian ini ingin mengembangkan *variable* sebelumnya dengan menggunakan material yang berbeda dikarenakan pesatnya perkembangan teknologi pada saat ini menyebabkan banyak penelitian yang telah dilakukan di berbagai bidang, tanpa terkecuali dalam bidang material dikarenakan tuntutan material ini akan mencakup berbagai bidang kehidupan seperti industri, teknologi, otomotif, konstruksi dll.

Vacuum infusion merupakan metode pembuatan material komposit dengan menggunakan pompa *vacuum* untuk mengalirkan dan menyebarkan resin pada cetakan. *Vacuum infusion* dapat memperkuat sifat mekanik dari suatu material komposit dikarenakan pada proses pembuatan nya diberikan tekanan negatif yang membuat resin atau matriks dapat meresap dengan lebih baik dibandingkan dengan metode *hand lay-up*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kerapatan *infill gyroid* terhadap kekuatan tarik komposit *sandwich?*
2. Bagaimana melakukan proses *vacuum infusion* yang tepat pada spesimen uji?
3. Bagaimana analisis kegagalan serta bentuk patahan pada spesimen setelah melakukan uji tarik?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini batasan masalah yang perlu diperhatikan untuk memfokuskan kajian metode sehingga prosesnya menjadi terarah dan jelas, diantaranya:

1. Pembuatan spesimen menggunakan ASTM D638 tipe III dengan tebal 10mm.
2. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *printing* dengan variasi *infill* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dan *fill pattern gyroid.*
3. Jenis material *core* yang digunakan adalah PLA dan *skin Carbon Fiber* dengan metode yang digunakan adalah *vacuum infusion.*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat komposit *sandwich* dengan material PLA (*Polylactic Acid*) *core* yang dibuat menggunakan proses *addictive manufacturing* dengan *infill gyroid* untuk mengetahui pengaruh kerapatan *infill* terhadap nilai kekuatan tarik komposit *sandwich carbon fibers* dengan metode *vacuum infusion.*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan oleh peneliti sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion.*

2. Mengetahui pengaruh kerapatan *infill* 10% sampai 50% dengan *core gyroid* terhadap kekuatan tarik yang akan digunakan untuk membuat sebuah produk komposit.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka dan teori-teori yang menjadi landasan pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan. Prosedur penelitian dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisis data dan pembahasan hasil dari pengujian tarik.

BAB V Penutup

Pada bab ini 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 membandingkan antar spesimen yang menggunakan *infill* 20% dan 10% dengan standar uji ASTM D790 dan menggunakan metode *vacuum infusion.* Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih unggul daripada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 10%. Lebih tepatnya pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% 3 lapis *fiberglass* pada variasi tersebut dapat menahan tegangan *bending* lebih besar dari pada variasi lainnya dengan nilai tegangan *bending* 27,48 MPa nilai tersebut merupakan nilai tertinggi daripada variasi komposit *sandwich* lainnya. Yang menjadi perbaruain dalam (Izma Adriansyah, 2021)

Kajian pustaka kedua peneliti mencoba memvariasikan ketebalan *core* yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D *print* dengan bahan PLA+, *infill pattern honeycomb* menggunakan standar uji ASTM D638-01. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan variasi ketebalan 3 mm sebesar 72,83 Mpa dan nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 2457,30 Mpa. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa semakin tebal *core* nilai kekuatan semakin menurun (Rahman, 2022)

Kajian pustaka yang ketiga penelitian ini menggunakan mekanisme *hybrid* dengan gabungan antara serat karbon dan *E-Glass* WR 185 yang mengikatnya digunakan polimer berjenis *polyester* dengan metode *Hand Lay-up*. Metode dengan laminasi secara satu persatu lembaran serat dengan memanfaatkan bantuan kuas atau *roll*. Ketika plat komposit sudah terbentuk maka dilakukan pemotongan spesimen sesuai ukuran *density*, standar ASTM D3039 (uji tarik), ASTM D6641 (uji tekan) dan ASTM D5379 (uji geser). Pengujian sifat mekanik dilakukan dengan menambahkan *hole* pada spesimen sebagai peraga dudukan sambungan dalam mengaplikasikan material sebagai *primary structure* pada pesawat terbang. Nilai densitas (berat jenis) material dengan dimensi sampel 100 mm^2 berada pada

nilai 1,42 g/cm^3 dengan berat di udara 0,418 g dan berat di air 0,12 g. Berdasarkan hasil penelitian Pengujian Tarik *no hole* memiliki nilai *maximum stress* sebesar 293,18 MPa dan *open hole* sebesar 236,66 MPa. Pengujian tekan *no hole* memiliki nilai *maximum stress* sebesar 146,9 MPa dan *open hole* sebesar 139,1 MPa. Pengujian geser memiliki nilai *maximum stress* sebesar 44,164 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 769,66 MPa. Hal ini membuktikan *open hole* menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik dan tekan sebesar 19,27 %. dan 5,3 %. Tipe kegagalan uji tarik AGM, AGT, dan AGB. Kemudian uji tekan memiliki tipe patahan AGM dan LAT (Rahmat, 2019)

Kajian pustaka keempat meneliti untuk mengetahui perbandingan antara 3D *print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan komposit *sandwich* yang tidak dilapisi komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik dengan menggunakan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI). Peneliti membuat variasi spesimen uji antara lain: 3D *print* tanpa komposit, 3D *print* + 2 lapis komposit, 3D *print* + 3 lapis komposit dan 3D *print* + 4 lapis komposit yang terdiri dari 3 sampel setiap variasinya. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 3D *print* + 4 lapis komposit yaitu 71,23 Mpa, regangan sebesar 6,21% dan modulus elastisitas sebesar 11,53 Mpa dengan berat 22,62 gram. Sedangkan spesimen nilai pengujian terendah adalah 3D *print* tanpa lapisan komposit dengan kekuatan tarik sebesar 17,63z Mpa, regangan sebesar 3,22% dan modulus elastisitas sebesar 8,71 Mpa dengan berat 12,29 gram. Dari hal tersebut membuktikan bahwa semakin tebal lapisan skin maka semakin tinggi nilai kekuatannya (Prawira, 2022)

Kajian pustaka yang kelima meneliti untuk mengetahui pengaruh jenis, ketebalan, dan *core density* terhadap kekuatan *bending core* komposit . Spesimen uji dicetak sesuai dengan standar ASTM C393 menggunakan *filamen* ABS. Spesimen uji divariasikan pada jenis pola yaitu tipe *square, honeycomb*, dan *triangle,* ketebalan divariasikan pada 10, 15, dan 20 mm sedangkan *core density* divariasikan pada 23, 19, dan 17 %. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode three point *bending*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa tegangan *bending* sebesar 4,46 MPa dan modulus elastisitas sebesar 454,93 N/mm2 diperoleh pada jenis pola *square* dengan ketebalan 10 mm.

Namun untuk kekakuan *bending* sebesar 2,082,949.80 Nmm2 diperoleh pada jenis pola *square* dengan ketebalan 20 mm dan kekakuan *bending* spesifik sebesar 165,855.26 Nmm^2/g diperoleh pada jenis pola square dengan ketebalan 10mm. Untuk *core density*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik tertinggi diperoleh pada *core density* 23 % (Gunawan, 2022)

Perbedaan pada penelitian ini adalah dilakukan studi pengaruh kerapatan *infill* 10% sampai 50% dengan bentuk *infill gyroid* menggunakan *core* dari hasil *addictive manufacturing* material *polylactic acid* (PLA) dengan *skin* serat karbon dan menggunakan metode *vacuum infusion* dan dilakukan pengujian tarik.

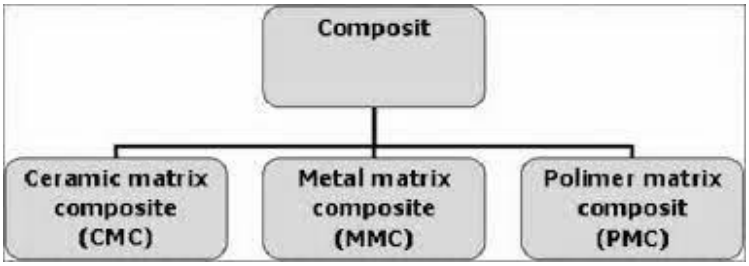
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuk dan memiliki sifat yang berbeda dari komponen pembentuknya. Penggunaan komposit telah berkembang pesat dikarenakan komposit memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan alternatif bahan teknik lainnya, seperti komposit lebih kuat, tahan terhadap korosi, lebih ekonomis dan lain-lain (Prayoga et al., 2018)

Penyusun komposit pada umumnya memiliki dua fasa yaitu matriks dan *reinforcement* atau *filler* atau *fiber*. Matriks sendiri memiliki fungsi transfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren, melindungi serat, melepas ikatan serta tetap stabil setelah proses manufaktur. *Reinforcement* atau penguat yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

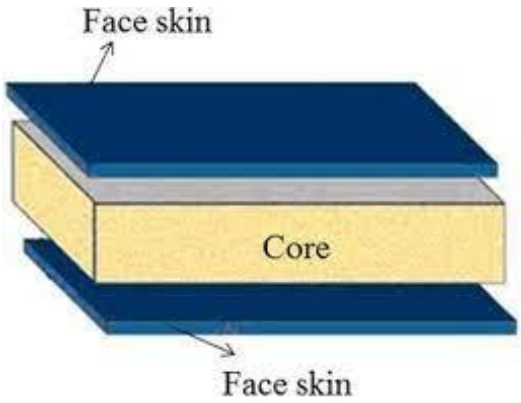
Klasifikasi komposit berdasarkan matriks dikelompokkan dalam tiga besar yaitu, PMC (*Polymer Matrix Composite*) merupakan polimer sebagai matriks, MMC (*Metal Matrix Composite*) merupakan logam sebagai matriks dan CMC (*Ceramic Reinforced Composite*) merupakan keramik sebagai matriks (Nayiroh, 2013)



Gambar 2-1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks

2.2.2 Komposit *Sandwich*

Pada prinsipnya, konsep konstruksi *sandwich* adalah meningkatkan kekakuan (*stiffness*) pada suatu panel tanpa adanya penambahan berat. Secara teoritis konstruksi komposit *sandwich* merupakan konstruksi *single skin* dengan tebal yang dibagi dua, dan dipisahkan oleh lapisan inti yang ringan dan tebal. Lapisan inti dan lamina direkatkan oleh suatu bahan perekat. Bahan yang digunakan sebagai lapisan inti harus mempunyai sifat yang ringan, memiliki kekuatan geser untuk mendistribusikan tegangan antara kedua kulit dan kekuatan tekanan yang baik untuk menahan beban. Baik lapisan inti maupun bahan perekat harus bersifat tahan air (Muchtiwibowo et al., 2016)



Gambar 2-2 Struktur Komposit *Sandwich*

2.2.2.1 Core

Core merupakan salah satu bagian yang terpenting dalam komposit *sandwich*, pada bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Kekakuan *core* harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Benda dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk

dijadikan *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 et al., 2016)



Gambar 2-3 Struktur *Gyroid*

Beragam bentuk *core* dapat digunakan pada struktur komposit *sandwich.* Bentuk *core* sering ditemui pada komposit *sandwich* yaitu struktur *gyroid* dan struktur *hexagonal.* Di mana struktur *gyroid* merupakan struktur yang terinspirasi dari alam yaitu dari struktur tulang belakang burung dan sayap kupu-kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekuatan dengan berat yang sangat baik.

2.2.2.2 Skin

Skin merupakan bagian dari struktur komposit *sandwich* di mana *skin* terletak pada bagian terluar atau biasanya bagian yang melapisi *core. Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress.*

Beberapa jenis material lainnya dapat dijadikan sebagai bahan untuk *skin pat* seperti plat logam, baja, aluminium dan *polymer* yang dapat diperkuat oleh serat. Pemilihan material yang akan digunakan sebagai *skin* juga sangat penting. Kekuatan mekanis struktur komposit *sandwich* sangat bergantung pada material penyusun nya, oleh sebab itu untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan tarik.



Gambar 2-4 Serat Karbon

2.2.3 *3D Print*

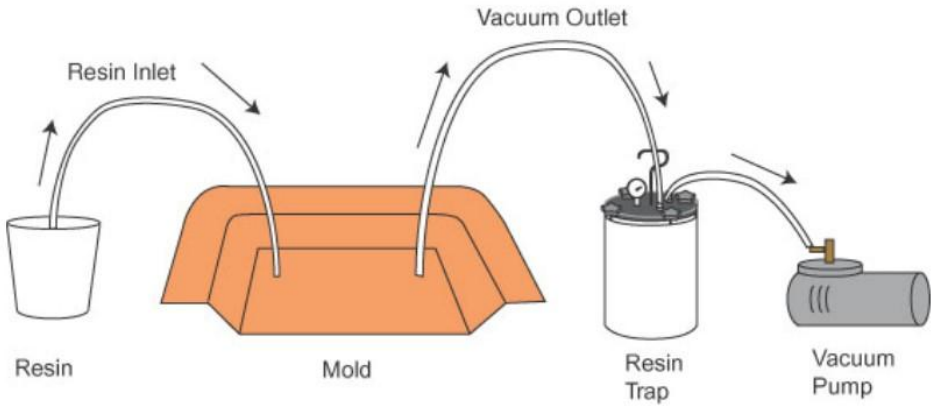
3D printing atau sering juga disebut sebagai *additive manufacturing* yang merupakan suatu proses pembuatan suatu objek solid tiga dimensi (3) dari suatu model digital yang secara skematis. *3D Printing* adalah sebuah *printing* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, namun berbeda dengan *printing* biasanya yang mencetak data dalam sebuah kertas atau pun lembaran lainnya. (Hakim et al., 2019). Proses pencetakan 3D dikerjakan dengan proses aditif, di mana objek dibuat dengan cara meletakkan/ menambahkan material lapis demi lapis. Metode pencetakan 3D sangat berbeda dengan teknik permesinan tradisional yang lebih dikenal dengan proses subtraktif di mana pembuatan produk dengan cara mengurangi material awal melalui proses penyayatan (Sulayman, 2015)



Gambar 2-5 Mesin 3D *Print*

2.2.4 *Vacuum Infusion*

Vacuum infusion adalah metode pembuatan material komposit dengan menggunakan tabung *vacuum* yang memiliki tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin. Metode *vacuum infusion* menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio *fiber-resin* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *hand lay-up.* Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual atau resin langsung dioleskan pada lapisan *skin*, sedangkan pada metode *vacuum infusion* resin dialirkan dengan bantuan tabung *vacuum* yang memiliki tekanan konstan. Penggunaan tekanan *vacuum* yang konstan dapat mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio *fiber-resin* menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang ringan dan kuat (D Smith, Mitchell; Mack, 2016)



Gambar 2-6 Skema *Vacuum Infusion*

2.2.5 *Water Jet Cutting*

Permesinan *water jet* mencakup proses pemotongan dingin agar tidak menimbulkan panas. Dengan demikian, tidak ada kerusakan akibat panas yang terjadi sebagai distorsi termal, HAZ (*Heat Affected Zone*), tegangan termal *(thermal stress*) pada permukaan yang dipotong dan lain-lain. Selain itu, *Water jet machine* (WJM) terintegrasi ke dalam proses pemotongan yang ramah lingkungan karena tidak terjadi pelelehan bahan atau produk sampingan (*byproduct*) yaitu berdebu, lalu udara di sekitarnya tidak tercemar, tidak beracun dan sangat aman bahaya kebakaran.

Water jet seperti pahat potong (*cutting tool*) memiliki daya potong yang hampir tidak terbatas, karena *water jet* dapat memotong area yang lunak hingga yang keras maupun dari yang ulet hingga tangguh di berbagai material. Oleh sebabnya WJM berkembang pesat dalam industri arsitektur, ruang angkasa, otomotif, manufaktur, makanan dan buah - buahan, karton dan produk kertas, tambang batu bara dan sebagainya.

2.2.6 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang kuat. Alat yang dipakai dalam menguji spesimen uji ada *Universal Testing Machine.*



Gambar 2-7 *Universal Testing Machine*

Selain diperoleh spesimen uji yang putus pasca penarikan, dalam proses ini juga dihasilkan kurva uji tarik dari spesimen uji. Kurva uji tarik ini adalah gambaran dari proses pembebanan yang terjadi pada spesimen kerja dari dimulai pada awal penarikan hingga spesimen menjadi putus. Dengan persamaan tegangan dan regangan sebagai berikut :

Tegangan : $\sigma = \frac{P}{t \times b}$.....(2.1)

Dengan :

σ : Tegangan (N/m^2)

P : Beban (N)

t : Tebal Spesimen (mm)

b : Lebar spesimen (mm)

Regangan $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L0}$.....(2.2)

Dengan :

ε : Regangan

ΔL : Penambahan Panjang (mm)

L_0 : Panjang Awal (mm)

Kekuatan Tarik Spesifik : $\delta spesifik = \frac{Pmax}{berat}$ .....(2.3)

Dengan :

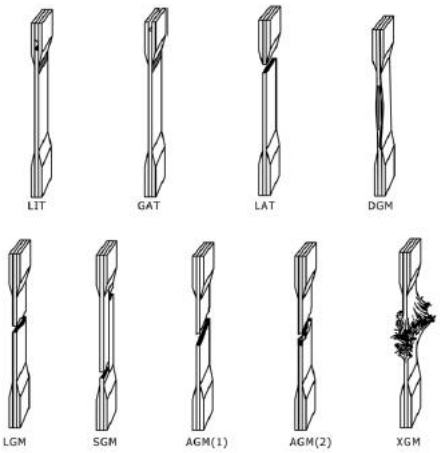
δspesifik : Kekuatan Tarik Spesifik (N/gr)

Pmax : Beban Maksimum (N)

Berat : Massa Spesimen (gr)

2.2.7 Bentuk Patah dan Modulus Kegagalan Pengujian Tarik

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

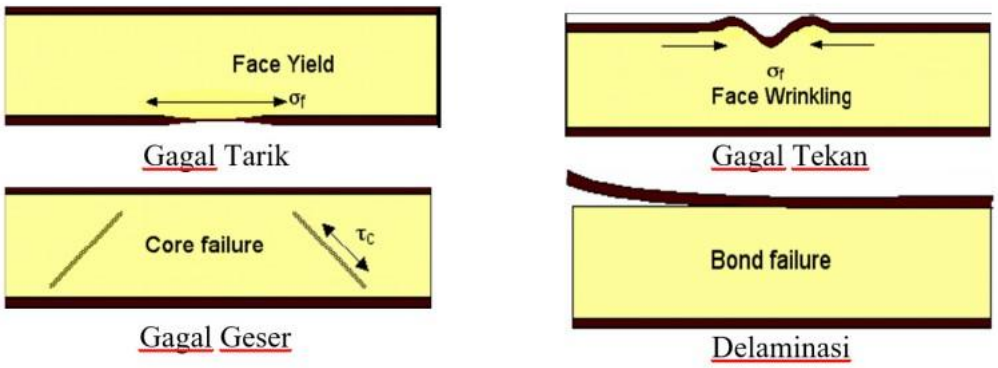


Gambar 2-8 Bentuk Patah Pengujian Tarik

Tabel 2-1 Keterangan Jenis Patah Pengujian Tarik

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	*Inside grip / Tab*	I	*Bottom*	B
Delaminasi	D	*At grip / Tab*	A	*Top*	T
Grip / Cekam	G	*< 1W from grip / Tab*	W	*Left*	L
Lateral	L	*Gage*	G	*Right*	R
Multi – Mode	M (xyz)	*Multiple areas*	M	*Middle*	M
Long. Splitting	S	*Various*	V	*Various*	V
Explosive	X	*Unknown*	U	*Unknown*	U
Other	U				

Modulus kegagalan komposit *sandwich* terdapat empat macam yaitu kegagalan bagian *skin* akibat beban tarik, kegagalan bagian *skin* akibat beban *buckling,* kegagalan geser pada bagian *core* dan kegagalan delaminasi antara komposit *skin* dan *core.* Modus kegagalan dapat dilihat pada gambar 2-9.

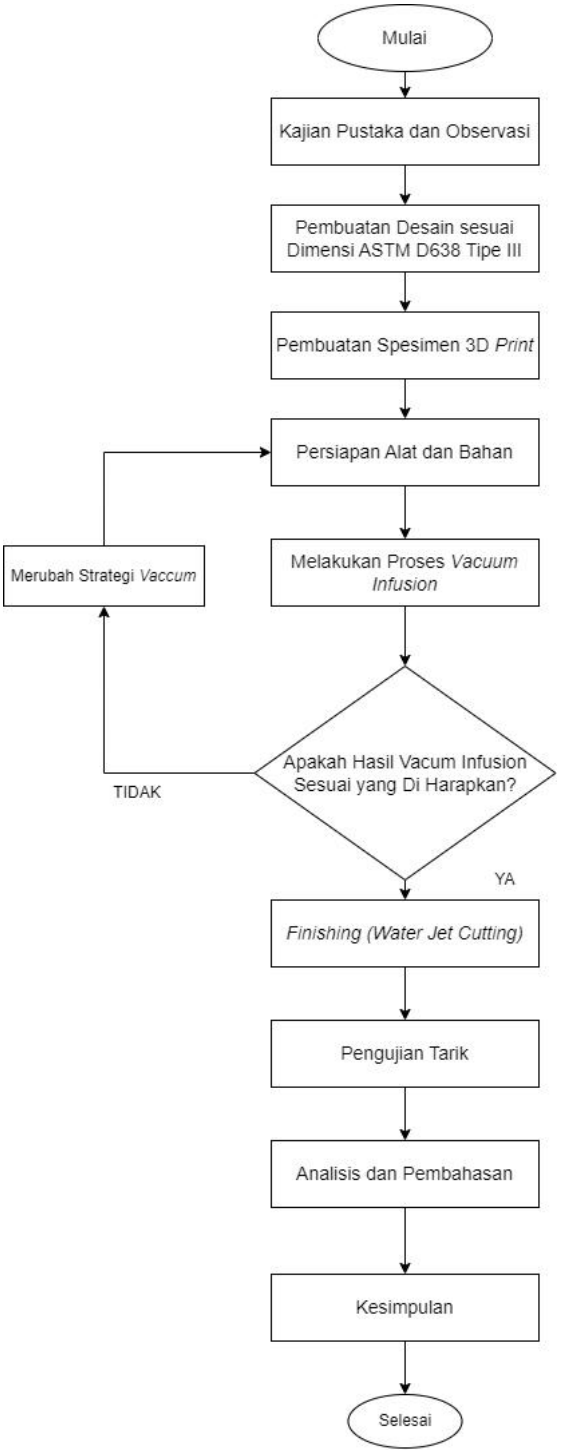


Gambar 2-9 Modulus Kegagalan Pengujian tarik

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 kepada matriks yang kemudian diteruskan ke penguat yang berada dekatnya. Dengan adanya peningkatan tegangan tersebut memungkinkan terjadinya serat penguat patah secara berurutan/ merambat. Hal tersebut terjadi secara berkelanjutan hingga spesimen komposit tersebut patah (Maria et al., 2006)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

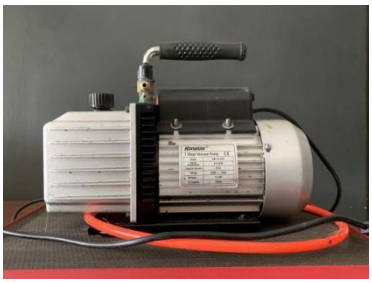


Gambar 3-1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. Pompa *Vucuum*

Pompa *Vacuum* berfungsi sebagai penghisap udara yang ada pada *vacuum bag* pada saat proses *vacuum infusion.* Pompa *vacuum* yang digunakan pada penelitian ini bermerek Krisbow dengan kapasitas 1/2 HP dapat dilihat pada gambar 3-2.



Gambar 3-2 Pompa *Vacuum*

2. Tabung *Reservoir* (*Catch Pot)*

Tabung *Reservoir (Catch Pot)* mempunyai 2 input. Input 1 berfungsi untuk menampung sisa resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di *vacuum* dan mencegah sisa resin masuk dan merusak pompa, sedangkan input 2 berfungsi untuk membaca tekanan saat melakukan proses *vacuum*. Bentuk Tabung *Reservoir (Catch Pot*) dapat dilihat pada gambar 3- 3.



Gambar 3-3 Tabung *Reservoir*

3. Timbangan

Timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran *epoxy* dan *hardener* dan sebagai alat untuk menimbang spesimen sebelum dilapisi

komposit dan setelah dilapisi komposit. Bentuk timbangan dapat dilihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-4 Timbangan

4. Katup Bensin

Katup bensin berfungsi sebagai pengatur udara dari selang epoxy dan dari pompa *vacuum*. Bentuk katup bensin dapat dilihat pada gambar 3-5.



Gambar 3-5 Katup Bensin

5. Plastik

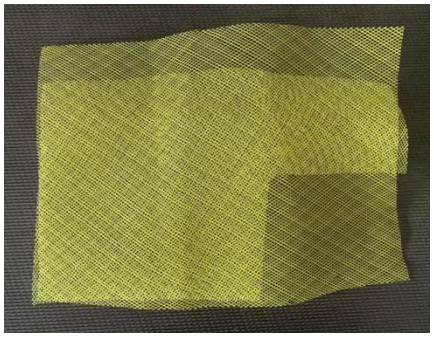
Plastik berfungsi sebagai *vacuum bag* untuk meletakan lapisan komposit agar mengurangi kebocoran. Bentuk plastik dapat dilihat pada gambar 3-6.



Gambar 3-6 Plastik

6. *Infusion Mesh*

Infusion mesh berfungsi sebagai pemisah antara *vacuum bag* dan *peel ply* agar tidak terjadi hambatan pada proses *vacuum* dilakukan dan untuk mempercepat aliran resin. Bentuk *infusion mesh* dapat dilihat pada gambar 3-7.



Gambar 3-7 *Infusion Mesh*

7. *Peel Ply*

Peel ply berfungsi sebagai pemisah antara serat karbon dan *infusion mesh* agar serat karbon tidak menyatu dengan *infusion mesh.*



Gambar 3-8 *Peel Ply*

8. Selang

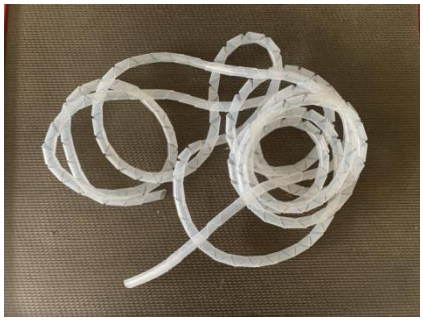
Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah ke dalam *vacuum bag* dan sebagai aluran tekanan pada *vacuum pump* ke *reservoir trap.* Selang yang digunakan berdiameter 6mm dan 8mm.



Gambar 3-9 Selang

9. Selang *Spiral*

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



Gambar 3-10 Selang *Spiral*

10. *Epoxy*

Epoxy merupakan senyawa yang didapatkan dari proses polimerisasi epoksida. *Epoxy* berfungsi sebagai perekat antara *core* 3D *printing* dan serat karbon dapat dilihat pada gambar 3-11.



Gambar 3-11

11. *Hardener*

Hardener merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada *epoxy* dapat dilihat pada gambar 3-12



Gambar 3-12 *Hardener*

12. *Butyl Tape*

Butyl tape berfungsi untuk merekat kan plastik *vacuum* di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan udara dari luar masuk ke dalam plastik *vacuum* dapat dilihat pada gambar 3-13.



Gambar 3-13 *Butyl Tape*

13. Lem *Dextone*

Lem *dextone* berfungsi sebagai perekat antar *core* 3D *printing* dan serat karbon sebelum dilakukan *vacuum infusion* agar serat karbon lebih menempel pada *core*.



Gambar 3-14 Lem Dextone

14. Serat Karbon

Serat karbon pada penelitian ini berfungsi sebagai lapisan *skin* pada komposit *sandwich.* Serat karbon yang digunakan di sini yaitu serat jenis *kevlar fiber* 3k 2x2 200gsm *plain & twill* dapat dilihat pada gambar 3-15.



Gambar 3-15 Serat Karbon

15. *Filamen Polylactic Acid* (PLA)

Filament pada penelitian ini memiliki diameter 1,75 mm digunakan untuk pembuatan spesimen bagian *core* dengan menggunakan mesin 3D *printing* dapat dilihat pada gambar 3-16.



Gambar 3-16 *Filament* PLA

16. Stik Kayu

Stik kayu berfungsi untuk mengaduk *epoxy* dan *hardener* pada saat pencampuran keduanya dapat dilihat pada gambar 3-17.



Gambar 3-17 Stik Kayu

17. Wadah Plastik

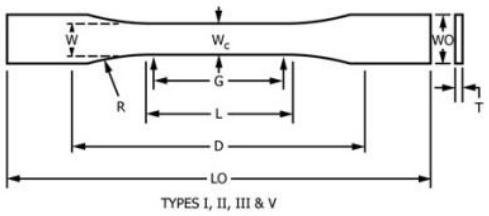
Wadah plastik berfungsi sebagai wadah untuk mencampur *epoxy* dan *hardener* dapat dilihat pada gambar 3-18.



Gambar 3-18 Wadah Plastik

3.3 Standar dan Ukuran Spesimen

Dimensi spesimen komposit *sandwich* menggunakan standar ASTM D638 tipe III dengan tebal 10mm dan menggunakan variasi kerapatan *infill* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% berbentuk *gyroid* dilihat pada gambar 3-19 dan untuk standar ukuran dapat dilihat pada gambar 3-20.



Gambar 3-19 Bentuk Standar Spesimen ASTM D638 Tipe III

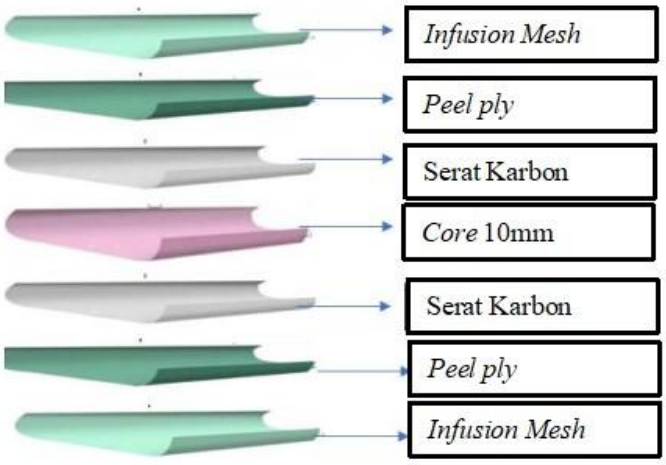
Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)[A]

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 3-20 Standar Ukuran Spesimen ASTM D638

Setelah menentukan standar yang digunakan membuat desain dengan bentuk balok berdimensi 246mmx96mmx10mm menggunakan *software solidworks.*

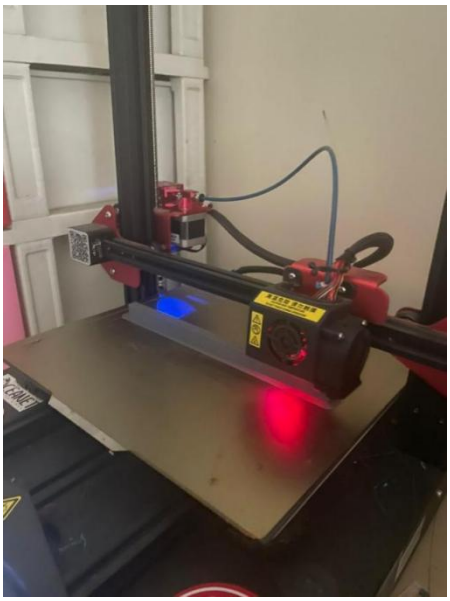
3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*



Gambar 3-21 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan *Core* dengan Mesin 3D *Printing*



Gambar 3-22 Proses Pembuatan *Core* 3D *Printing*

Pada gambar 3-22 menunjukkan proses pembuatan *core* yang dibuat dalam bentuk balok dengan dimensi 246mmx96mmx10mm untuk tiga buat spesimen dengan menggunakan mesin 3D *print* bermerek *Creality cr 10s pro*.

Tabel 3-1 Parameter *Printing*

Material	**Parameter Tetap**				**Parameter Variasi**
	Tebal *Layer*	**Suhu *Bed***	**Suhu *Nozzle***	***Speed***	***Infill Density***
	(mm)	**(℃)**	**(℃)**	**(mm/s)**	**(%)**
PLA	0.2	50	220	100	10
					20
					30
					40
					50

Tabel 3-1 menunjukkan parameter proses pengerjaan spesimen uji yang yang dibuat menggunakan material PLA (*Polylactic Acid*), dengan tebal *layer* 0.2 mm, suhu *bed* 50℃, suhu *nozzle* 220℃, *speed* 100 mm/s serta menjadikan *infill* sebagai variasi dalam penelitian yaitu 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dengan menggunakan *fill pattern gyroid.*

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

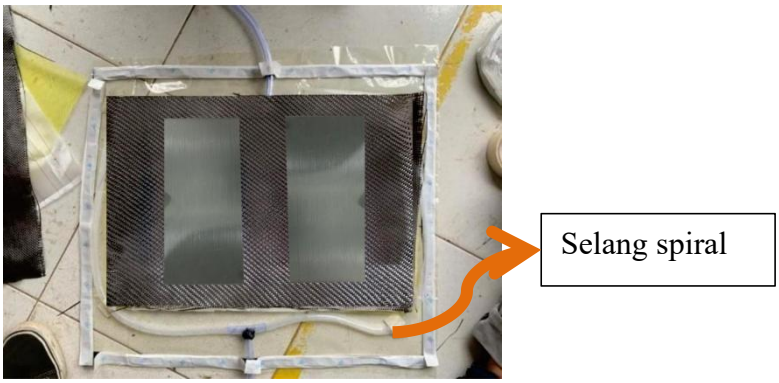
1. Menyusun serat karbon, *peelplay, infusion mesh*



Gambar 3-23 Susunan Komposit *Sandwich*

Gambar 3-23 menunjukkan susuna komposit *sandwich* yang sesuai pada petunjuk gambar 3-21 menggunakan satu *layer* atau lapisan serat karbon di bagian atas dan bawah.

2. Pemasangan selang spiral



Gambar 3-24 Pemasangan Selang Spiral

Gambar 3-24 menunjukkan penggunaan selang spiral berbentuk U bertujuan agar pada saat *vacuum infusion* resin dapat menyebar semua bagian yang akan dilapisi komposit *sandwich.*

3. Pelapisan *dextone*



Gambar 3-25 Pelapisan Dexrone

Gambar 3-35 menunjukkan proses pelapisan *dextone* bertujuan untuk merekatkan *core* dengan serat karbon, proses ini dilakukan sebelum semua bahan dimasukan ke dalam *vacuum bag.*

4. Memasukkan bahan ke dalam *vacuum bag*



Gambar 3-26 Menyusun Bahan Ke dalam *Vacuum Bag*

Memasukkan bahan ke dalam *vacuum bag* dengan direkatkan menggunakan *butyl tape* sesuai urutan pada gambar 3-21.

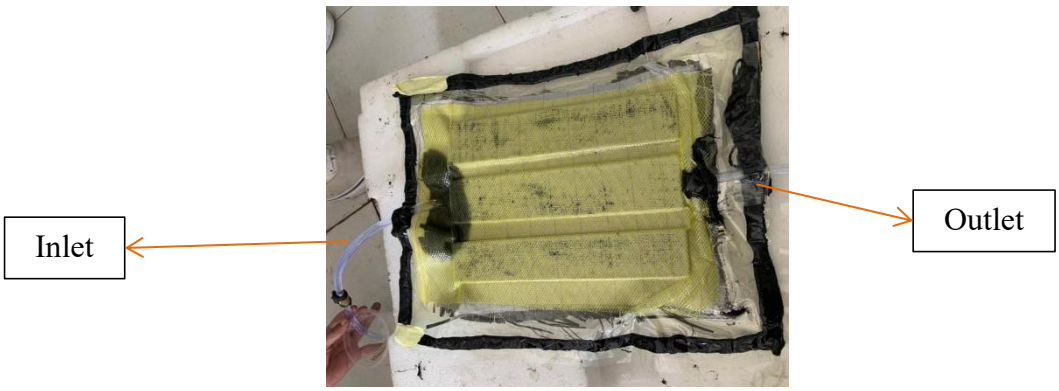
5. Proses pencampuran *epoxy* dan *hardener*



Gambar 3-27 Pencampuran *epoxy* dan *Hardener*

Gambar 3-27 menunjukkan proses pencampuran *epoxy* dengan *hardener* ini dilakukan dengan perbandingan 100:30

6. Proses *vacuum infusion*



Gambar 3-28 Proses *Vacuum Infusion*

Gambar 3-28 merupakan proses v*acuum infusion* ini menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*

3.5.3 Proses *Finishing*

1. Hasil pemotongan spesimen yang sudah di *vacuum* menggunakan gerinda.



Gambar 3-29 Hasil *Vacuum* Setelah Gerinda

2. Hasil pemotongan spesimen yang sudah *water jet*



Gambar 3-30 Hasil *Vacuum* setelah *Water Jet*

Proses pemotongan menggunakan *water jet* bertujuan agar spesimen sesuai dengan standar ASTM D638 tipe 3 pada gambar 3-19.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik pada masing masing spesimen menggunakan standar pengujian tarik ASTM D-638 tipe III proses pengujian dilakukan di Lab. Universitas Gajah Mada, dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 4-1 Pengujian Tarik

1. Membuat spesimen uji dari produk yang telah dibuat sesuai dengan standar ASTM D-638 tipe III. Produk yang dibuat berupa produk variasi dari *infill* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dengan sebanyak tiga buat pada setiap variasinya total seluruhnya 15 spesimen.
2. Mengukur dimensi spesimen sebelum dilakukan pengujian.
3. Memasukkan dan *setting* kertas milimeter blok di atas meja *plotter.*
4. Memasang dan memastikan spesimen yang akan diuji terjepit dengan baik pada mesin uji tarik.
5. Menjalankan mesin uji tarik.
6. Mematikan mesin setelah terjadi patahan pada spesimen.
7. Mengambil rekaman hasil pengujian yang tertera di *milimeter blok* pada mesin *plotter.*
8. Mengulangi langkah 2 sampai 7 untuk pengujian selanjutnya.

4.2 Hasil Pengujian Tarik

Hasil spesimen setelah proses pengujian tarik di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4-2 Spesimen Setelah Pengujian Tarik

Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian Tarik

No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (N)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Berat (g)
1	10% A1	11.46	18.92	4230	5.58	19.51	11.16	33.02
2	10% A2	11.67	18.94	4240	6.68	19.18	13.36	32.89
3	10% A3	11.55	18.85	3710	5.24	17.04	10.48	33.09
4	20% A1	11.52	19.11	6190	4.31	28.12	8.62	42.44
5	20% A2	11.33	19.05	5250	4.94	24.32	9.88	42.08
6	20% A3	11.55	19.05	5340	5.33	24.27	10.66	40.84
7	30% A1	12.09	19.05	5310	2.03	23.06	4.06	52.76
8	30% A2	12.09	19.12	6620	4.57	28.64	9.14	52.72
9	30% A3	11.72	19.13	6490	1.99	28.95	3.98	52.19
10	40 %A1	11.68	19.23	5910	3.33	26.31	6.66	54.19
11	40 %A2	11.62	19.09	6210	1.91	27.99	3.82	55.11
12	40%A3	11.78	19.23	6110	2.14	26.97	4.28	54.59
13	50% A1	10.84	19.30	6280	3.19	30.02	6.38	56.93
14	50% A2	11.06	19.70	6400	3.21	29.37	6.42	56.78
15	50% A3	10.94	19.18	6120	3.17	29.17	6.34	55.34
16	*No Skin* 10%	10.01	18.76	1770	6.45	9.43	12.90	19.91
17	*No Skin* 50%	10.02	19.13	3020	5.12	15.76	10.24	48.32

4.3 Analisis dan Pembahasan

4.3.1 Analisis

Dari pengujian tarik ini mendapatkan nilai tegangan, kekuatan tarik dan regangan. Setiap variasi kerapatan *infill* dilakukan pengujian sebanyak 3 spesimen untuk

1. Menghitung Tegangan Tarik Maksimum

Nilai tegangan dapat dilihat pada tabel 4-1 sebagai contoh untuk perhitungan menggunakan data 10%A1 :

$$\sigma = \frac{\text{Pmax}}{\text{tebal} \times \text{lebar}}$$

$$\sigma = \frac{4230}{11.46 \times 18.92}$$

$$\sigma = 19.51 \text{ Mpa}$$

Dimana:

σ : Tegangan Tarik (MPa)

Pmax : Beban (N)

Tebal : Tebal *Gage* Spesimen (mm)

Lebar : Lebar *Gage* Spesimen (mm)

2. Menghitung Nilai Kekuatan Tarik Spesifik

Nilai kekuatan spesifik dihitung menggunakan hasil dari Pmax dibagi dengan berat spesimen yang terdapat pada tabel 4-1.

$$\delta\text{spesifik} = \frac{\text{Pmax}}{\text{berat}}$$

$$\delta\text{spesifik} = \frac{4230}{33.02}$$

$$\delta\text{spesifik} = 128.10 \text{ N/g}$$

Dimana:

δspesifik : Kekuatan Tarik Spesifik (N/g)

σ : Tegangan Tarik (MPa)

Pmax : Beban (N)

Berat : Berat Spesimen (g)

3. Menghitung Nilai Regangan

Nilai regangan didapatkan pada saat pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4-1 untuk contoh perhitungan menggunakan spesimen 10%A1

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{5.58}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 11.16\ \%$$

Dimana:

ε : Regangan (%)

ΔL : Pertambahan Panjang (mm)

L0 : Panjang Awal *Gage* yaitu 50 (mm)

4.3.2 Pembahasan

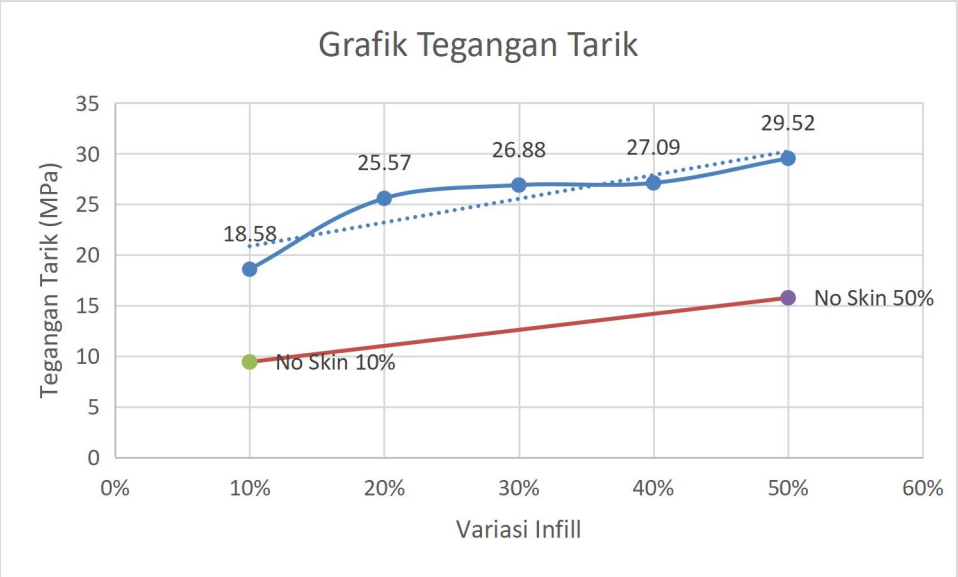
1. Nilai tegangan tarik maksimum

Tegangan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength)* merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan pada pengujian tarik.

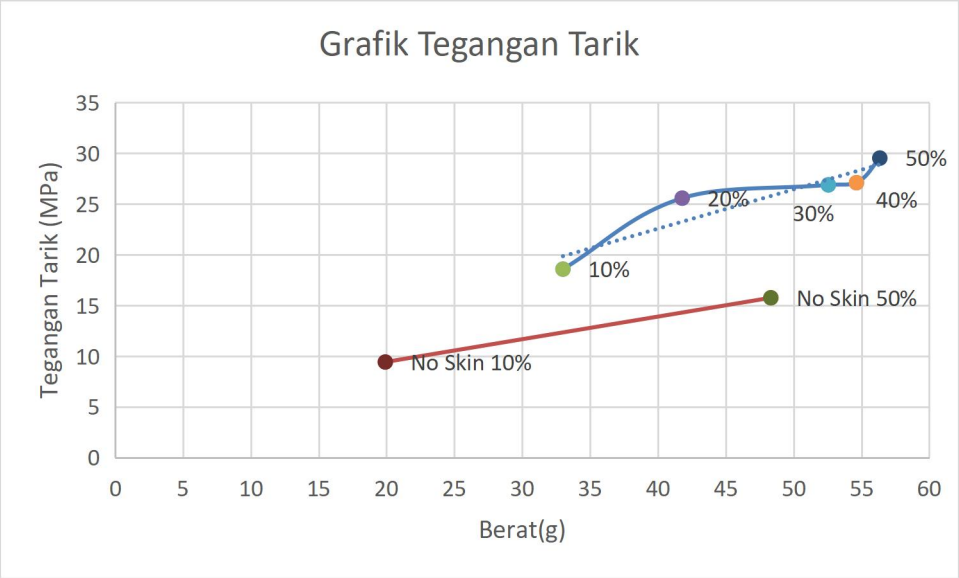
Tabel 4-2 Data Hasil Tegangan Tarik Maksimum

No.	Spesimen	Tegangan (MPa)	Berat (g)
1	10%	18.58	33.00
2	20%	25.57	41.79
3	30%	26.88	52.56
4	40%	27.09	54.63
5	50%	29.52	56.35
6	*No Skin* 10%	9.43	19.91
7	*No Skin* 50%	15.76	48.32

Dari tabel 4-2 disajikan dua grafik yang mempermudah dalam pembacaannya grafik yang pertama yaitu grafik tegangan terhadap variasi *infill* dan yang kedua grafik tegangan terhadap berat spesimen.



Gambar 4-3 Grafik Tegangan Tarik terhadap Variasi *Infill*



Gambar 4-4 Grafik Tegangan Tarik terhadap Berat Spesimen

Berdasarkan gambar 4-3 dan gambar 4-4 menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik untuk sampel yang dilapisi *skin* mengalami peningkatan pada setiap variasi kerapatan *infill* nya dibuktikan dengan nilai tegangan tarik terkecil pada spesimen 10% sebesar 18.68 Mpa dan tegangan tarik tertinggi pada spesimen 50% 29.52 MPa. Pada spesimen *non skin* di uji dua sampel yaitu spesimen dengan kerapatan *infill* 10% sebesar 9.43 MPa dan kerapatan *infill* 50% sebesar 15.76. Dari hasil keduanya menunjukkan bahwa nilai tegangan

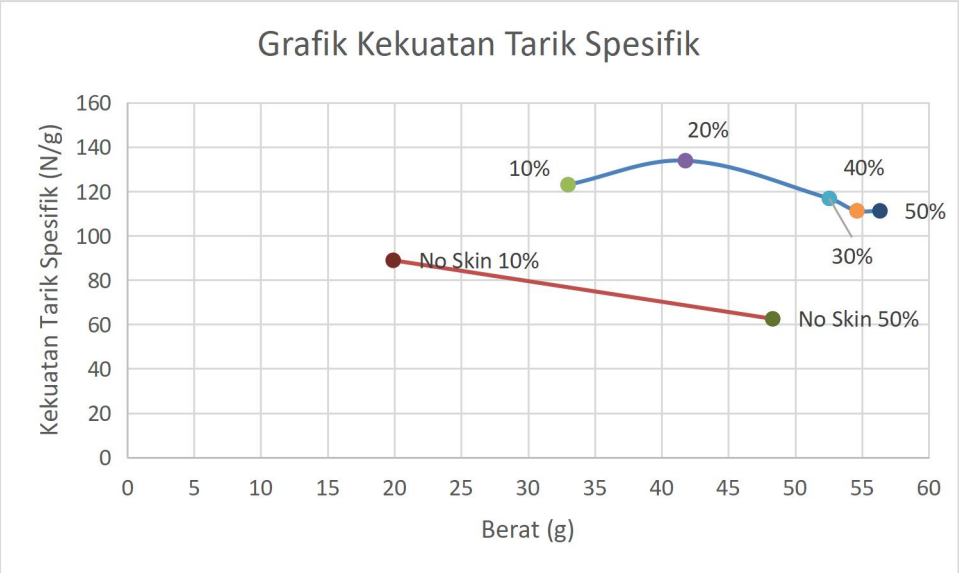
dipengaruhi oleh kerapatan *infill,* semakin rapat *infill* maka semakin besar nilai tegangan nya.

2. Nilai kekuatan tarik spesifik

Pada pengujian tarik ini didapatkan nilai kekuatan tarik spesifik pada setiap spesimennya yang dihitung menggunakan nilai beban maksimal dibagi dengan berat spesimen. Pada tabel 4-5 dapat disajikan dalam dua bentuk grafik yang pertama disajikan dalam sumbu y untuk nilai kekuatan tarik (N/g) dan sumbu x yaitu berat kedua disajikan dalam bentuk sumbu y nilai kekuatan tarik (N/g) dan sumbu x yaitu variasi kerapatan *infill.*

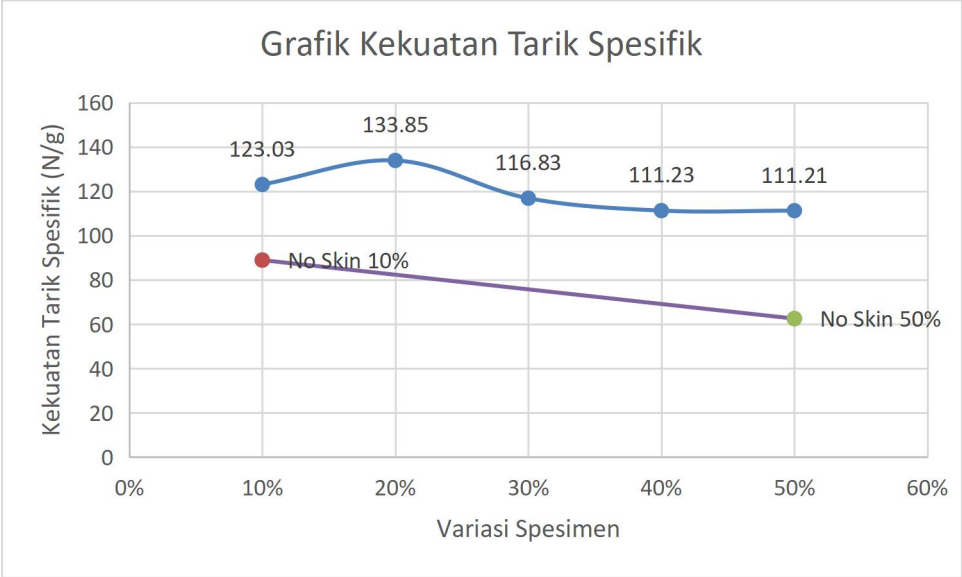
Tabel 4-3 Data Hasil Kekuatan Tarik Spesifik

No.	Spesimen	Pmax	Berat	Kekuatan Tarik
		(N)	(g)	(N/g)
1	10%	4060	33.00	123.03
2	20%	5593.33	41.79	133.85
3	30%	6140	52.56	116.83
4	40%	6076.67	54.63	111.23
5	50%	6266.67	56.35	111.21
6	*No Skin* 10%	1770	19.91	88.90
7	*No Skin* 50%	3020	48.32	62.50



Gambar 4-5 Grafik Kekuatan Tarik Spesifik terhadap Berat

Berdasarkan gambar 4-5 dan gambar 4-6 menunjukkan nilai hasil kekuatan tarik spesifik tertinggi pada kerapatan *infill* 20% sebesar 133.85 (N/g) dengan berat 41.79g. Pada nilai kekuatan tarik spesifik pengaruh kerapatan *infill* tidak mengalami peningkatan karena semakin rapat *infill* maka semakin berat juga massa spesimennya. Dari hasil nilai kekuatan tarik spesifik bahwa nilai optimum yang didapatkan pada pengujian tarik ini yaitu pada kerapatan *infill* 20% dengan memiliki kekuatan yang tinggi namun memiliki massa yang ringan.

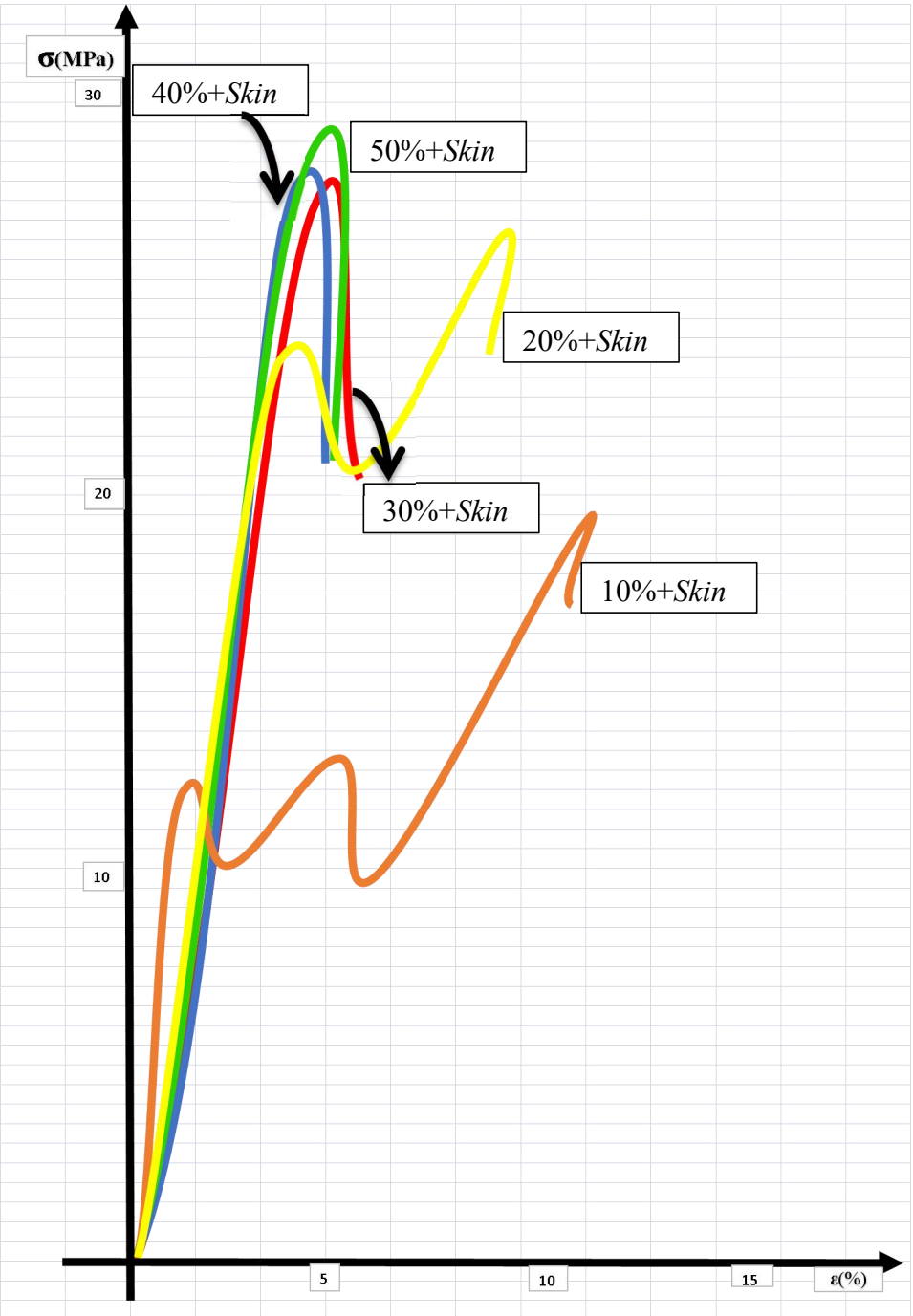


Gambar 4-6 Grafik Kekuatan Tarik Spesifik terhadap Variasi Spesimen

3. Nilai tegangan-regangan

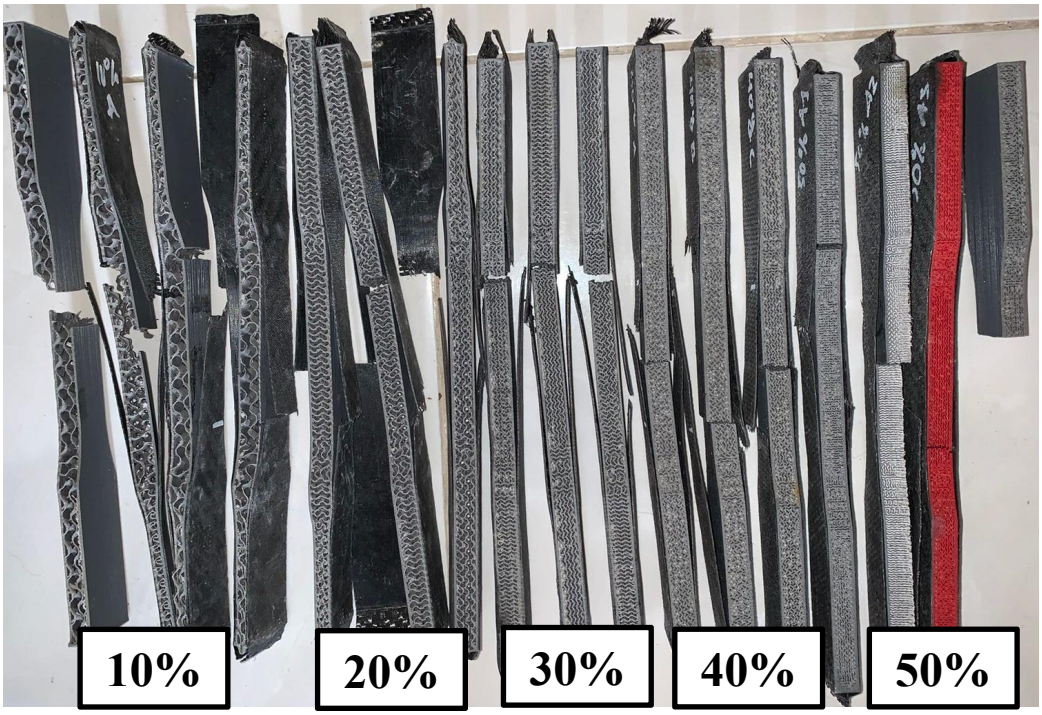
Tabel 4-4 Tegangan Regangan

No.	Spesimen	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	10%	18.58	11.67
2	20%	25.57	9.72
3	30%	26.88	5.73
4	40%	27.09	4.92
5	50%	29.52	6.38
6	No Skin 10%	9.43	12.90
7	No Skin 50%	15.76	10.24

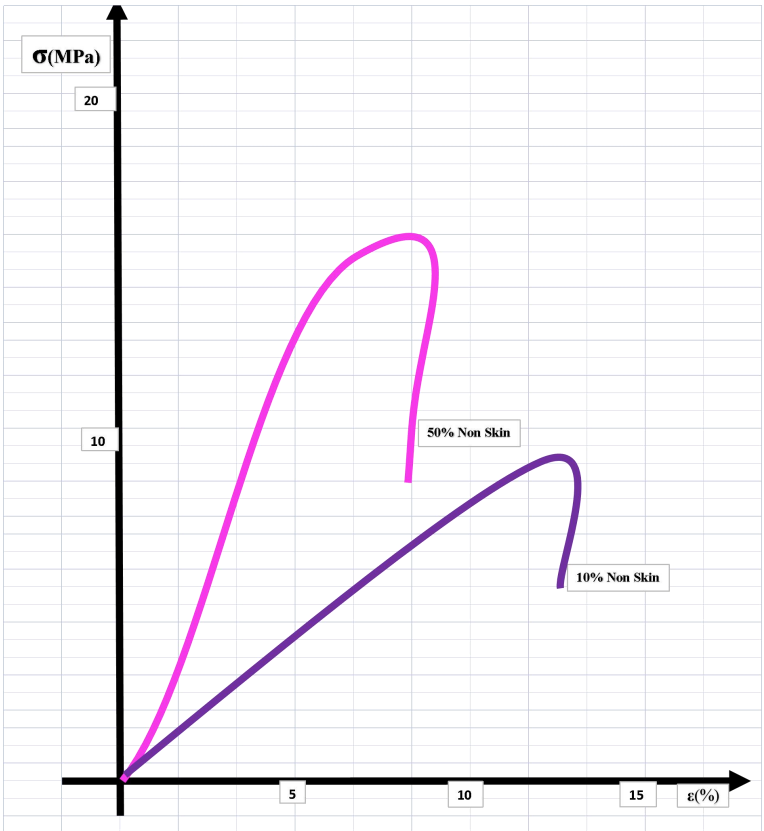


Gambar 4-7 Grafik Tegangan-Regangan *Infill* 10%-50% *Skin*

Pada gambar 4-7 menunjukkan grafik tegangan regangan *core gyroid* dengan *skin* untuk kerapatan *infill* 10% hingga 50% yang dihasilkan setelah melakukan pengujian untuk seluruh spesimen.



Gambar 4-8 Betuk Patah Spesimen Kerapatan *Infill* 10% - 50%

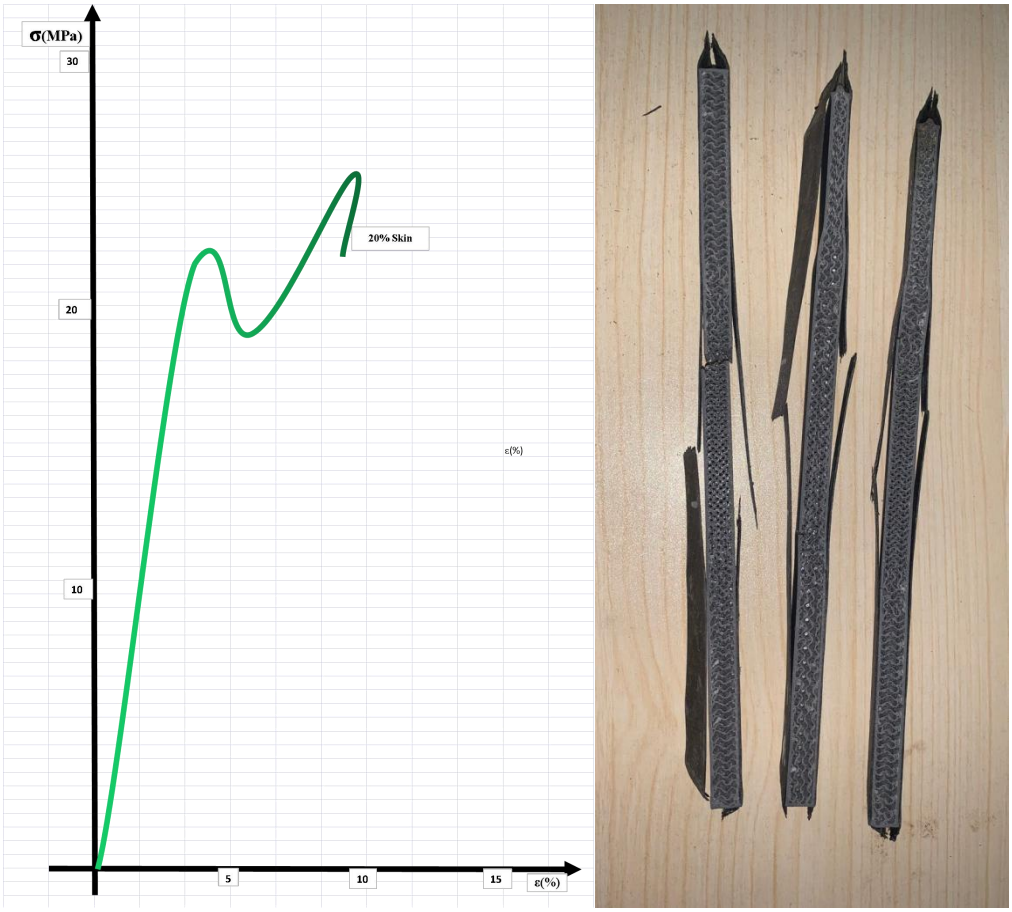


Gambar 4-9 Grafik Tegangan-Regangan *Non Skin* 10% dan 50%



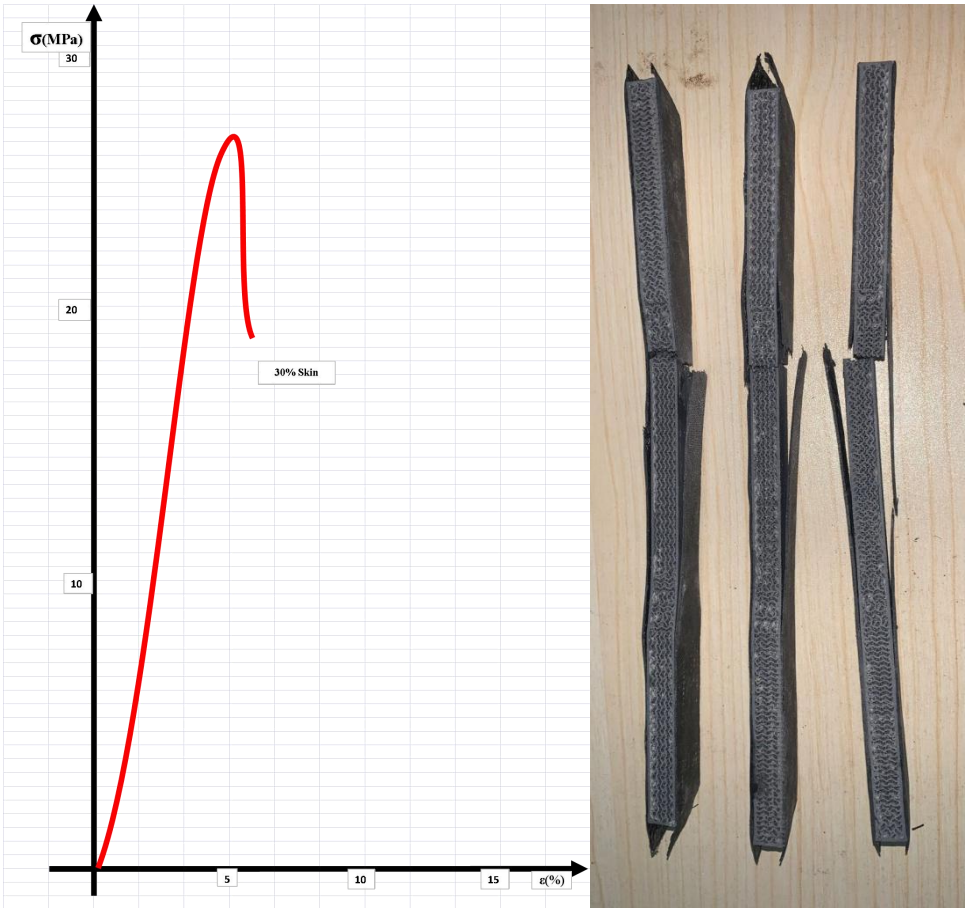
Gambar 4-10 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 10%+*Skin* dan 10% *Non Skin*

Pada gambar 4-10 menunjukkan grafik tegangan regangan dan modulus patah pada pada spesimen dengan *infill* 10%+*skin* dan 10% *non skin.* Dari gambar tersebut berkaitannya dengan fenomena yang terjadi pada grafik, dilihat dari modulus patah pada spesimen menggunakan *skin* memiliki bentuk patah yang tidak beraturan seperti berserabut pada bagian patah dan pada cengkam bagian atas dan bawah mengalami pertambahan panjang. Spesimen dengan kerapatan *infill* 10% ini menandakan memiliki keuletan lebih tinggi dari pada kerapatan 50% (Syafa'aat, 2022). Pada *skin* memiliki kegagalan yaitu *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan *bond failure* yaitu di mana lapisan *skin* terlepas dari *core*.



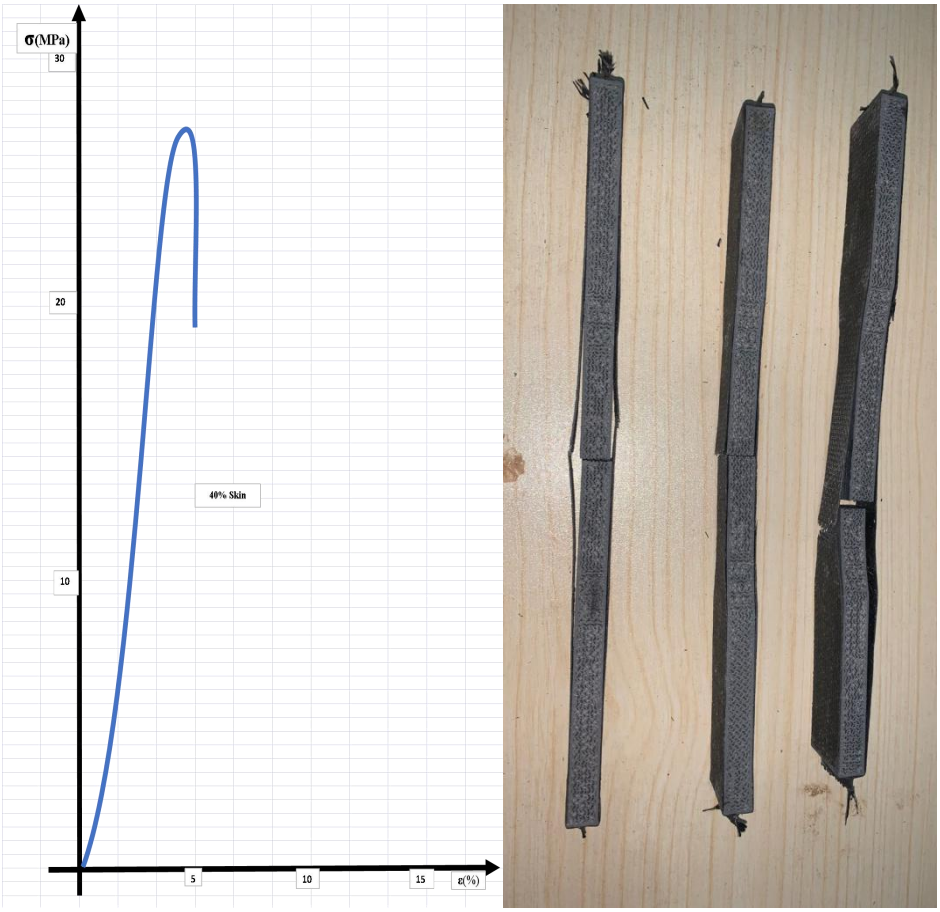
Gambar 4-11 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 20%+*Skin*

Pada gambar 4-11 menunjukkan grafik tegangan regangan dan modulus gagal uji tarik pada kerapatan *infill* 20%+*skin*. Dari grafik tersebut didapat nilai tegangan maksimum sebesar 25.57 MPa dan nilai regangan sebesar 11.67%. Grafik kerapatan *infill* 20% hampir sama seperti grafik kerapatan 10% kaitannya dengan modulus patah yang terjadi hanya satu spesimen yang mengalami patah hingga terbagi dua pada *core* dua spesimen mengalami patah namun tidak terputus hingga terbagi dua. Pada *skin* memiliki kegagalan yaitu *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan bond failure yaitu di mana lapisan *skin* terlepas dari *core*.



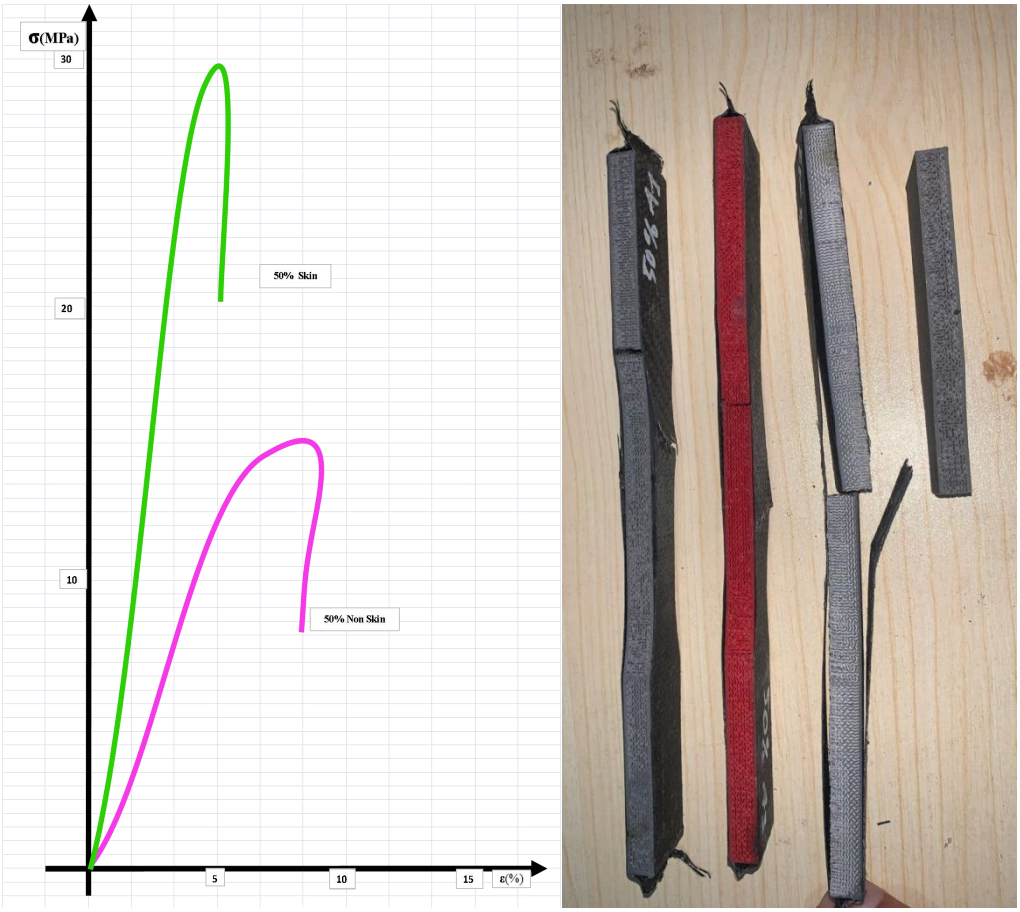
Gambar 4-12 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 30%+*Skin*

Pada gambar 4-12 menunjukkan grafik tegangan regangan dan modulus gagal uji tarik pada kerapatan *infill* 30%+*skin.* Dari grafik terdapat nilai tegangan sebesar 26.88 MPa dan regangan sebesar 5.73%. Pada grafik ini sudah tidak ada fenomena seperti pada grafik kerapatan 10% dan 20%, jika dilihat dari grafik dan patah yang terjadi dari ketiga spesimen mengalami patah relatif sama yaitu pada bagian atas yang mana patah pada *skin* dan *core* terjadi bersamaan. Pada *skin* memiliki kegagalan yaitu *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan bond failure yaitu di mana lapisan *skin* terlepas dari *core*.



Gambar 4-13 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 40%+*Skin*

Pada gambar 4-13 menunjukkan grafik tegangan regangan dan modulus gagal uji tarik yang terjadi pada kerapatan *infill* 40%+*skin.* Dari grafik di dapatkan nilai tegangan sebesar 27.09 MPa dan nilai regangan sebesar 4.92%. Pada grafik dan modus patah menunjukkan kerapatan 40% mengalami patah antara *skin* dan *core* terjadi bersamaan namun untuk bentuk patah pada dua spesimen terjadi pada bagian tengah dan untuk satu spesimen pada bagian bawah. Pada *skin* terjadi kegagalan *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan *bond failure* yaitu di mana lapisan *skin* terlepas dari *core*.



Gambar 4-14 Grafik Tegangan-Regangan dan Gagal Spesimen 50%+*Skin* dan 50% *Non Skin*

Pada gambar 4-14 menunjukkan grafik tegangan regangan dan modus gagal uji tarik yang terjadi pada kerapatan *infill 50%+skin* dan 50% *non skin.* Dari grafik di dapatkan nilai tegangan yang menggunakan *skin* sebesar 29.52 MPa dan nilai regangan sebesar 6.38% dan untuk yang *non skin* sebesar 15.76 MPa dan nilai regangan sebesar 10.24 Mpa. Pada kerapatan 50% batahnya *core* dan *skin* terjadi bersamaan namun untuk letah patahnya tidak sama spesimen pertama patah bagian *grip* atas, kedua patah bagian *gage* atas dan yang ketiga atah bagian tengah untuk spesimen yang tidak menggunakan *skin* mengalami patah pada bagian atas. Pada *skin* terjadi kegagalan yang sama seperti pada keempat sampel sebelumnya. Dari hasil menunjukkan bahwa spesimen dengan kerapatan 50% cenderung memiliki tingkat patah yang datar dari hal tersebut mengindikasikan tingkat keuletan lebih rendah dari pada kerapatan 10% (Syafa'aat, 2022)

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini didapatkan hasil pembuatan *core* dari proses *addictive manufakturing* yang tepat sesuai parameter yang digunakan dan hasil komposit *sandwich* mengalami penambahan berat dan tebal dan dari proses *vacuum infusion* serta spesimen yang telah dilakukan uji tarik mengalami kegagalan. Kegagalan yang terjadi pada *skin* relatif sama yaitu *face yield* dan *bond failure* namun pada *core* cenderung berbeda. Pada kerapatan 10% mengalami patah yang tidak beraturan dan terlihat seperti berserabut menandakan bahwa spesimen kerapatan 10% lebih ulet, pada kerapatan 20% patah pada bagian *gage* atas dan kerapatan 30% sampai 50% patah pada *skin* dan *core* terjadi bersamaan. Dari hasil tersebut bahwa semakin rapat *infill* maka keuletan semakin rendah.
2. Kerapatan infill mempengaruhi nilai tegangan tarik menjadi meningkat dengan berat juga yang meningkat dan penambahan skin serat karbon memberikan penambahan nilai tegangan tariknya.
3. Nilai kekuatan tarik spesifik tertinggi yaitu pada kerapatan 20% sebesar 133.56 N/gr dengan massa 41.79 gr. Dari hasil pengujian dan perhitungan bahwa nilai optimum pada kekuatan tarik spesifik yaitu pada kerapatan 20% yang memiliki nilai kekuatan tinggi namun memiliki berat yang ringan. Pada pengujian tarik komposit *sandwich* yang memiliki pengaruh besar yaitu pada bagian *skin,* memvariasikan kerapatan pada *core* memberi penambahan nilai tegangan tarik namun memberikan berat yang besar juga pada spesimen.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlu dilakukan penelitian tentang permukaan *core* agar pada saat dilakukan proses *vacuum infusion* resin tidak memasuki rongga *infill* pada *core* yang dapat menyebabkan kenaikan berat yang signifikan .

2. Pastikan bahwa *epoxy* dan *hardener* tertutup rapat atau mengerjakan *vacuum infusion d*i waktu yang bersamaan untuk mengurangi tingkat perbedaan hasil maupun *human error.*
3. Melakukan pengujian dengan memperhatikan kelayakan alat.

DAFTAR PUSTAKA

D Smith, Mitchell; Mack, P. E. (2016). *ADVANCES IN VACUUM INFUSION PROCESSING USING SPACER FABRICS AS ENGINEERED REINFORCING INTERLAMINAR INFUSION MEDIA*. 1–23.

Gunawan, H. (2022). *STUDI PENGARUH JENIS, KETEBALAN, DAN CORE DENSITY TERHADAP KEKUATAN BENDING CORE KOMPOSIT SANDWICH DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS*.

Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. P., & Setyoadi, Y. (2019). Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, *1*(1), 1–8. https://doi.org/10.30871/jatra.v1i1.1242

Hidayat, A., Yudo, H., & Manik, P. (2016). Analisa Teknis Komposit Sandwich Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Core Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *4*(1), 265–273.

Izma Adriansyah, Y. (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. In *Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*.

Maria, J., Paiva, F. De, Mayer, S., & Cerqueira, M. (2006). Comparison of Tensile Strength of Different Carbon Fabric Reinforced Epoxy Composites. *Materials Research*, *9*(1), 83–89.

Muchtiwibowo, R. L., Manik, P., Jokosisworo, S., Perkapalan, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Infusion, V., Lentur, K., & Impak, K. (2016). Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Material Komposit Sandwich Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Material Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *4*(1), 314–322.

Nayiroh, N. (2013). *TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT*. 21.

Prawira, G. P. (2022). *Pengaruh Ketebalan Skin GFRP pada Komposit Sandwich terhadap Uji Tarik menggunakan Metode Vacuum Infusion*.

Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandwich dengan Honeycomb Polypropylene sebagai Core. *Jurnal Teknik Mesin*, *18*(1), 23–28.

Rahman, A. H. (2022). *TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN METODE VACUUM ASSISTED RESIN INFUSSION (VARI)*.

Rahmat, F. (2019). *Kajian Eksperimental Komposit Karbon Hybrid E-Glass WR 185 dengan Matriks Polyester menggunakan Metode Manufaktur Hand Lay Up*. http://scholar.unand.ac.id/51654/

Sulayman, D. et al. (2015). Pengaruh Suhu Dari Heater Nozzel Terhadap Produk Printer 3D. *Jurnal Publikasi Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1–18.

Syafa'aat, I. et al. (2022). ANALISIS PENGARUH BENTUK INFILL TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN ASTM D638-14 MATERIAL POLYLATIC ACID PRODUK MESIN CETAK 3D. *Momentum*, *18*(2), 23–28.

LAMPIRAN 1

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi INFILL	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	10% A1	11.46	18.92	4.23	5.58	19.51	11.16
2	10% A2	11.67	18.94	4.24	6.68	19.18	13.36
3	10% A3	11.55	18.85	3.71	5.24	17.04	10.48
4	20% A1	11.52	19.11	6.19	4.31	28.12	8.62
5	20% A2	11.33	19.05	5.25	4.94	24.32	9.88
6	20% A3	11.55	19.05	5.34	5.33	24.27	10.66
7	30% A1	12.09	19.05	5.31	2.03	23.06	4.06
8	30% A2	12.09	19.12	6.62	4.57	28.64	9.14
9	30% A3	11.72	19.13	6.49	1.99	28.95	3.98
10	40 %A1	11.68	19.23	5.91	3.33	26.31	6.66
11	40 %A2	11.62	19.09	6.21	1.91	27.99	3.82
12	40%A3	11.78	19.23	6.11	2.14	26.97	4.28
13	50% A1	10.84	19.30	6.28	3.19	30.02	6.38
14	50% A2	11.06	19.70	6.40	3.21	29.37	6.42
15	50% A3	10.94	19.18	6.12	3.17	29.17	6.34

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 20 Februari 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM D638 Type 3

Yogyakarta, 20 Februari 2023
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Scanned by TapScanner

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi No Skin	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	AL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	10%	10.01	18.76	1.77	6.45	9.43	12.90
2	50%	10.02	19.13	3.02	5.12	15.76	10.24

Keterangan:
1. Pengujian dilakukan tanggal 21 Januari 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM D638 Type 3

Yogyakarta, 21 Januari 2023
Staf Laboratorium Bahan Teknik

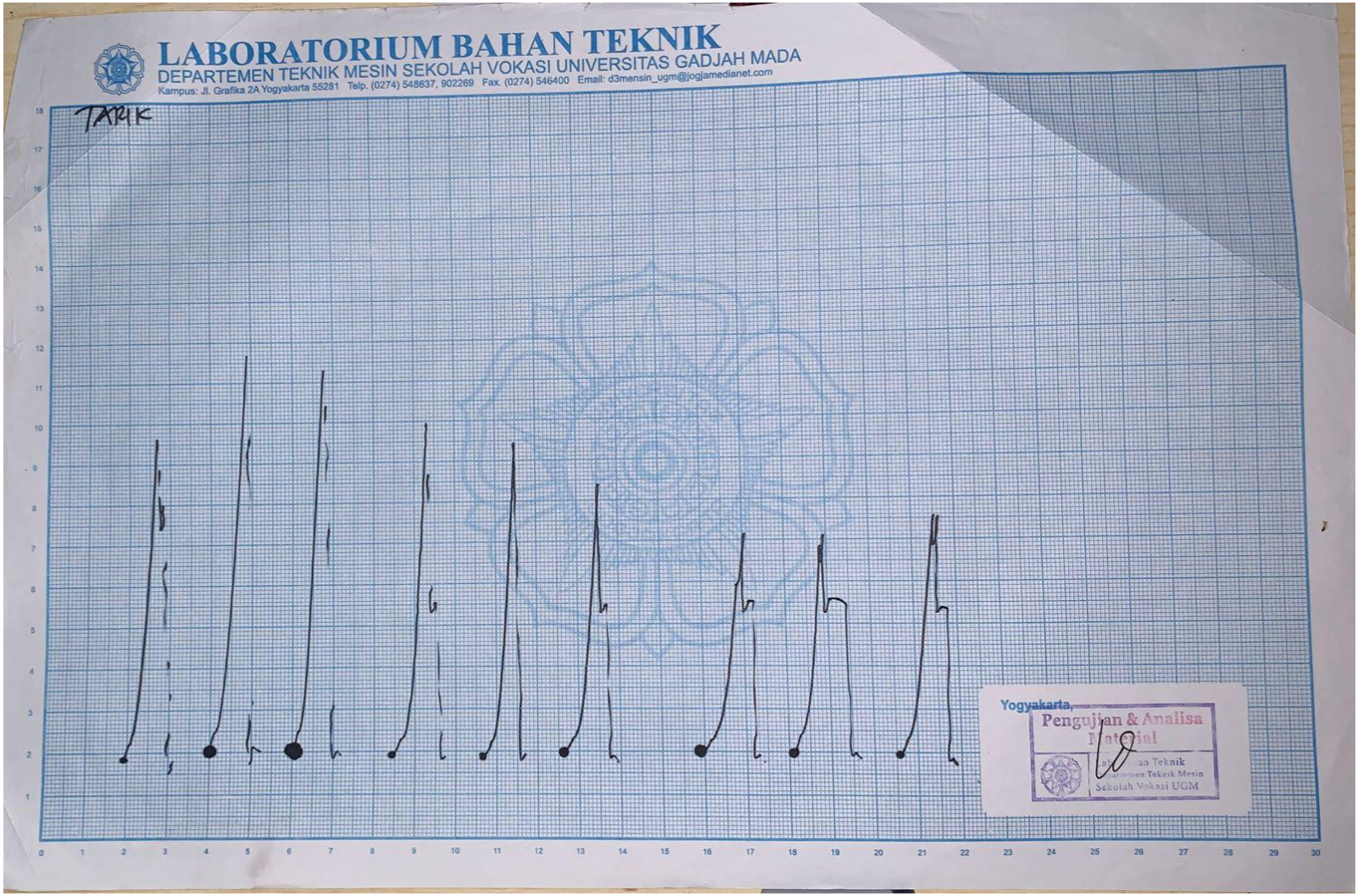
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Scanned by TapScanner

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548637, 902269 Fax. (0274) 546400 Email: d3mensin_ugm@jogjamediagnet.com
PARK
Yogyakarta,
Pengujian & Analisa
Laboratorium Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548637, 902269 Fax. (0274) 546400 Email: d3mensin_ugm@jogjamedianet.com
TARIK
Yogyakarta,
Pengujian & Analisa Material
Laboratorium Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Tarik
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Pengujian & Analisa
Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM