

**ANALISIS UJI BENDING KOMPOSIT SANDWICH YANG
DIGABUNGAN 3D PRINTING**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Yudha Izma Adriansyah
No. Mahasiswa : 15525045
NIRM : 2015011738

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

2021

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
ANALISIS UJI BENDING KOMPOSIT SANDWICH YANG
DIGABUNGAN 3D *PRINTING***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Yudha Izma Adriansyah

No. Mahasiswa : 15525045

NIRM : 2015011738

Yogyakarta, 15 Maret 2021

Pembimbing



Muhammad Ridlwan, ST., MT

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
ANALISIS UJI BENDING KOMPOSIT SANDWICH YANG
DIGABUNGAN 3D PRINTING

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Yudha Izma Adriansyah

No. Mahasiswa : 15525045

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan S.T., M.M.

Ketua


Tanggal : 30 Maret 2021

Purtojo S.T., M.Eng.

Anggota I



Tanggal : 3 April 2021

Santo Ajie Dhewanto S.T., M.M.

Anggota II



Tanggal : 1 April 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin





Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Analisis Uji Bending Komposit *Sandwich* yang Digabungkan 3d *Printing*” ini benar-benar hasil kerja saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain, kecuali kutipan yang secara tertulis saya jelaskan setiap sumbernya. Apabila di kemudian hari pernyataan saya tidak benar, saya sanggup menerima sanksi atau hukuman sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 15 Maret 2021



Yudha Izma Adriansyah

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis diberi kesehatan selalu sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Atas izin Allah SWT tugas akhir ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua bapak dan ibu tercinta yang telah merawat dan membesarkan serta yang senantiasa memberikan segala macam dukungan dan doa.

Dosen pembimbing Muhammad Ridlwan S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan dan juga motivasi hidup.

HALAMAN MOTTO

“ Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”.

(Q.S. Al—Insyirah: 5)

“Jangan katakan pada Allah ‘aku punya masalah besar’, tetapi katakan pada masalah bahwa ‘aku punya Allah Yang Maha Besar’.”

-Ali bin Abi Thalib

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia”

(HR. Ahmad, ath-Thabrani, ad-Daruqutni)

الجمعة الإسلامية الأندلسية

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirobbil'allamin Puji syukur bagi Allah SWT tuhan semesta alam atas rahmat, hidayat dan karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "*Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing*" dengan lancar dan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Tugas Akhir ini dapat terlaksana atas doa, bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, oleh karna itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan segalanya kepada penulis.
2. Kedua orang tua, Bapak Supriatna dan Mamah Sri Dewi Astuti, Pakde Hadi Sukrisno, Bukde Ani Susanti, serta kaka Rizki Agung Nugroho, yang senantiasa mendoakan dan memberikan segala macam bentuk dukungan selama menempuh pendidikan.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan hingga tugas akhir ini terselesaikan.
5. Seluruh dosen prodi Teknik Mesin, yang telah memberikan ilmunya selama menempuh kuliah.
6. Staff jurusan prodi Teknik Mesin, yang telah memberikan arahan selama perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan mahasiswa Teknik mesin 2015 yang telah banyak berbagi pengalaman.

8. Desi Noviawati yang selalu memberikan ide, motivasi, dan dukungan selama penulis menyusun skripsi ini.
9. Uus, Sandy, Egi yang selalu memberi masukan dan dukungan penulis.
10. Bayu, Daus, Ressa, Baim, Ahmad, Aldo, Septian, Reza, Irvan, teman kampus yang selalu berbagi cerita canda dan tawa bersama se masa kuliah.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis memohon maaf apabila di dalam penulisan tugas akhir ini terdapat kesalahan dan kekeliruan, serta penulis mengharapakan kritik dan saran yang membangun untuk menjadi yang lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Yogyakarta, 15 Maret 2021



Yudha Izma Adriansyah

ABSTRAK

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang bagus untuk dikembangkan dan banyak digunakan dalam dunia industri. Komposit *sandwich* adalah material komposit yang terdiri dari dua buah *skin* dimana diantara dua *skin* tersebut terdapat *core*. Karakteristik komposit *sandwich* sendiri memiliki kekuatan tinggi dengan memiliki berat produk yang ringan.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan pada spesimen yang akan diujikan dan mengetahui variasi terbaik diantara semua spesimen yang dibuat. Pada penelitian ini beberapa variasi spesimen yang akan dibuat diantaranya 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, 3DP + Lantor Soric. Dibuat 2 kerapatan atau *infill* 3DP 10% dan 20%, dengan total 8 sampel uji untuk dibandingkan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada variasi komposit *sandwichinfill* 20% lebih unggul dari pada variasi komposit *sandwichinfill* 10%, lebih tepatnya pada variasi komposit *sandwich 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.

Kata kunci : Komposit, Komposit *sandwich*, 3D *printing*

ABSTRACT

Sandwich composites are a form of structural composite that has been well-developed and widely used in the industrial world. Sandwich is a composite material made up of two skins and a core sandwiched between the two skins. The sandwich composite's characteristics include high strength and a light product weight.

The purpose of this study was to determine the strength of the specimens to be tested and to determine the best variation among all specimens made. In this study beberapa variety specimens to be created among 3DP + Fiberglass 1 layer, 3DP + Fiberglass 2 layers, 3DP + Fiberglass 3 layers, 3DP + Lantor Soric 1 layer. 2 densities or 10% and 20% 3DP infills were made, for a total of 8 test samples to be compared.

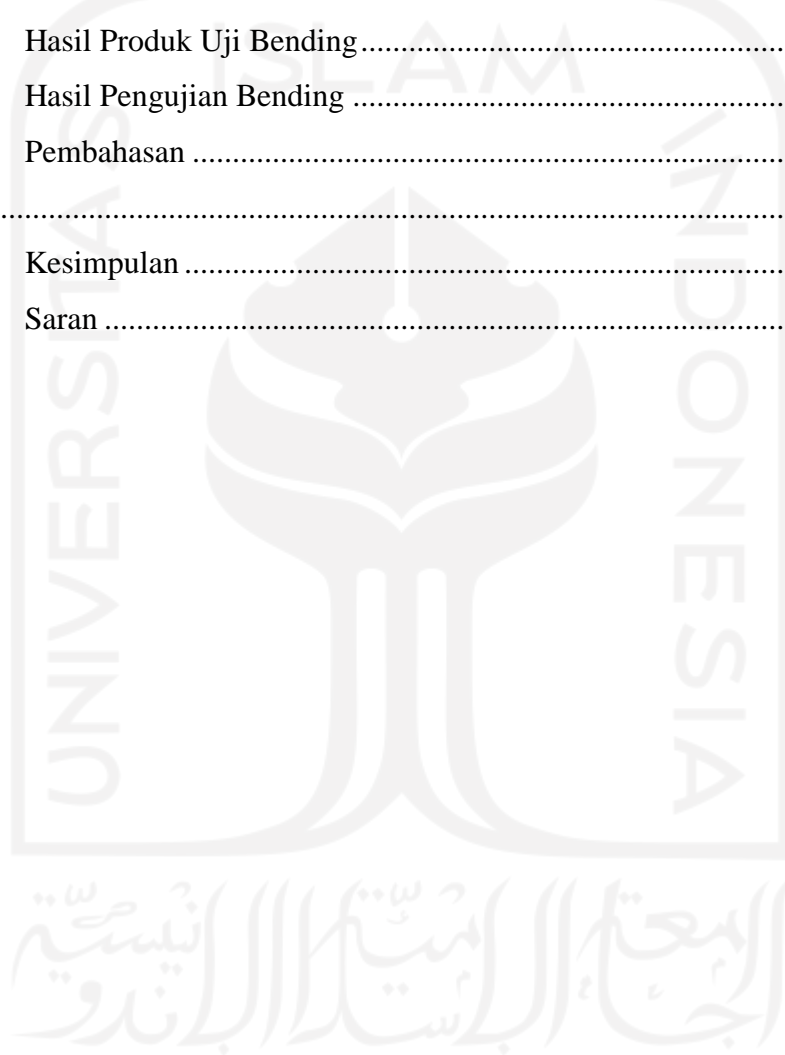
Based on research conducted on the variation of the composite sandwich 20% infill superior to the composite variation sandwich 10% infill, more precisely on composite variation sandwich 20% infill fiberglass 3 layer, this variation has a tighter infill tension, and can withstand greater bending stress. than the other variations with a bending stress value of 27.48 MPa this value is the highest value than the other variations of composites sandwich .

Keywords : Composite, Composite sandwich, 3D printing

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Pernyataan Keaslian	Error! Bookmark not defined.
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
BAB 1	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	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Komposit	5
2.2.2 Bahan Utama Komposit	5
2.2.3 Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.2.4 Printer 3D <i>Printing</i>	7
2.2.5 <i>Infill</i>	7
2.2.6 Pengujian Kekuatam (Uji Bending)	8
2.2.7 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit <i>Sandwich</i>	10

BAB 3	11
3.1 Alur Penelitian	11
3.2 Peralatan dan Bahan.....	12
3.3 Dimensi Spesimen dan Parameter <i>3D Printing</i>	12
3.4 Proses Pembuatan Produk Uji.....	14
3.5 Proses Pengujian Produk	18
BAB 4.....	21
4.1 Hasil Produk Uji Bending.....	21
4.2 Hasil Pengujian Bending	26
4.3 Pembahasan	32
BAB 5.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	40



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Spesimen Komposit <i>Sandwich Infill</i> 10%	13
Tabel 3.2 Dimensi Spesimen Komposit <i>Sandwich Infill</i> 20%	13
Tabel 4.1 Hasil Uji Bending Komposit <i>Sandwich Infill</i> 10%	26
Tabel 4.2 Hasil Uji Bending Komposit <i>Sandwich Infill</i> 20%	27
Tabel 4.3 Beban Maksimal pada	27
Tabel 4.4 Tegangan Bending pada	28
Tabel 4. 5 Perbandingan Tegangan Bending antara	28
Tabel 4.6 Lebar, Tebal, dan Defleksi pada.....	30
Tabel 4.7 Lebar, Tebal, dan Defleksi pada.....	31
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Uji Bending.....	32
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Density.....	34
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Kekakuan.....	34
Tabel 4.11 Hasil Akhir Perhitungan Kekakuan.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komposit <i>Sandwich</i>	6
Gambar 2.2 Mesin 3D <i>Printing</i>	7
Gambar 2.3 Variasi <i>Infill</i>	8
Gambar 2.4 Pengujian Bending	9
Gambar 2.5 Aneka Mode Kegagalan Uji Bending Komposit <i>Sandwich</i>	10
Gambar 3.1 Alur Penelitian	11
Gambar 3.2 Susunan 3DP + <i>Fiberglass</i> 1 Lapis + Resin	14
Gambar 3.3 Susunan 3DP + <i>Fiberglass</i> 2 Lapis + Resin	14
Gambar 3.4 Susunan 3DP + <i>Fiberglass</i> 3 Lapis + Resin	15
Gambar 3.5 Susunan 3DP + Lantor soric 1 Lapis + Resin.....	15
Gambar 3.6 Proses Pembuatan 3DP	16
Gambar 3.7 Proses Pemotongan <i>Fiberglass</i>	16
Gambar 3.8 Proses Pemotongan Lantor Soric.....	17
Gambar 3.9 3DP Siap Dilaminasi	17
Gambar 3.10 Susunan 3DP + <i>Fiberglass</i> Siap Dilaminasi.....	17
Gambar 3.11 Proses Pencampuran Resin dan Katalis	18
Gambar 3.12 Proses Penjemuran.....	18
Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji	19
Gambar 3.14 Alat Uji Bending.....	19
Gambar 3.15 Spesimen Siap Diuji	20
Gambar 4.1 Produk Komposit <i>Sandwich Infill</i> 10% Sebelum Diuji	21
Gambar 4.2 Produk Komposit <i>Sandwich Infill</i> 10% Setelah Diuji	22
Gambar 4.3 Produk Komposit <i>Sandwich Infill</i> 20% Sebelum Diuji.....	23
Gambar 4.4 Produk Komposit <i>Sandwich Infill</i> 20% Setelah Diuji	24
Gambar 4.5 Spesimen 1 Mengalami Gagal <i>Face Wrinkle</i>	24
Gambar 4.6 Spesimen 11 Mengalami Gagal Delaminasi.....	25
Gambar 4.7 Spesimen 5 Mengalami Gagal <i>Core Failure</i>	25
Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Tegangan Bending Pada Produk Komposit <i>Sandwich Infill</i> 10% dan 20% Menggunakan Standar Uji <i>Three Point Bending</i>	29
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Beban Maksimal.....	33

Gambar 4.10 Grafik Rata-Rata Tegangan Bending Pada Produk Komposit
Sandwich Infill 10% dan 20% Menggunakan Analisi Perhitungan..... 36

Gambar 4.11 Spesimen 1 Lapis *Fiberglass Infill* 10%..... 37

Gambar 4.12 Spesimen 2 Lapis *Fiberglass Infill* 10%..... 37

Gambar 4.13 Spesimen 3 Lapis *Fiberglass Infill* 10%..... 37



DAFTAR NOTASI

Sp = Spesimen

FG = *Fiberglass*

LS = Lantor Soric

σ_b = Tegangan Bending (MPa)

E_b = Modulus elastisitas bending (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

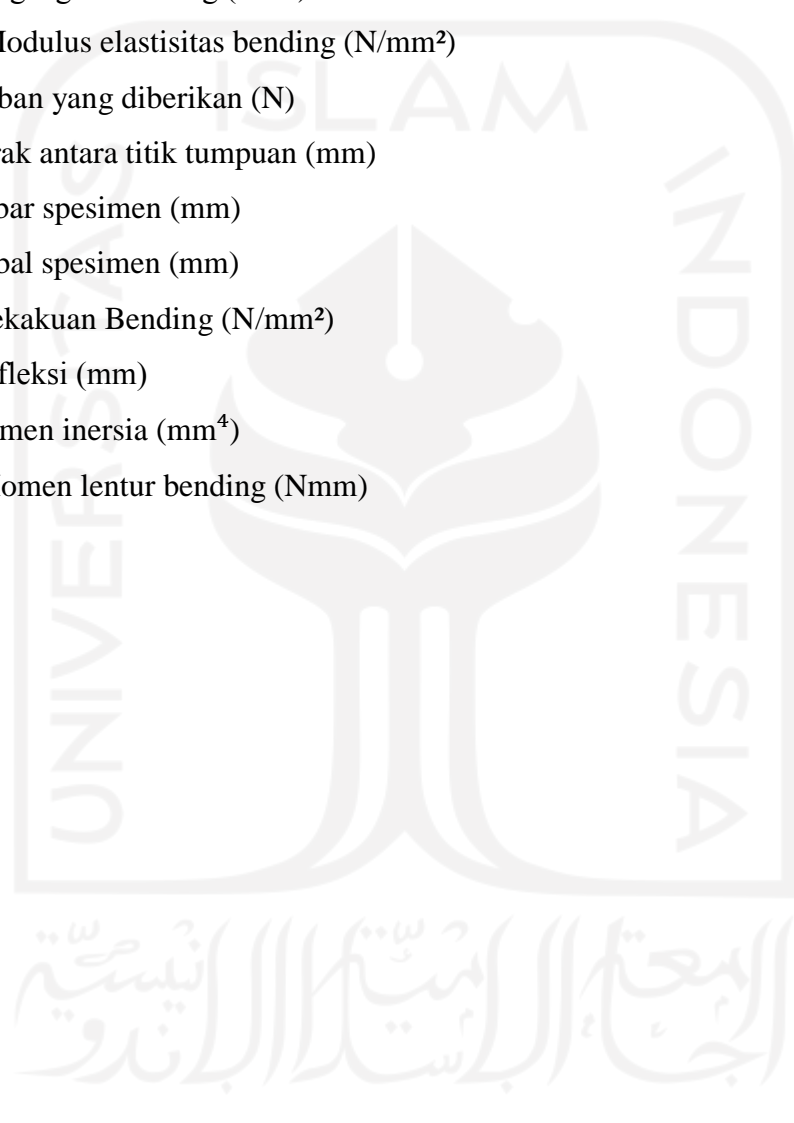
h = Tebal spesimen (mm)

D = Kekakuan Bending (N/mm²)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (mm⁴)

M = Momen lentur bending (Nmm)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan perkembangan teknologi yang cukup pesat, semakin hari teknologi semakin berkembang sehingga membuat manusia menjadi penasaran akan perkembangan teknologi tersebut. Ada yang sebagian memang membuat teknologi baru yang belum ada, ada juga sebagian yang mengembangkan inovasi dari teknologi yang sudah ada agar menjadi suatu teknologi yang lebih baik dari sebelumnya.

3D printing adalah sebuah *printing* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, namun berbeda dengan *printing* biasanya yang mencetak data dalam sebuah kertas ataupun lembaran lainnya.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda (Muhajir et al., 2017). Sifat mekanik dari material tersebut bisa disesuaikan dengan kebutuhan tergantung pada untuk apa material tersebut dibuat, agar menghasilkan sifat mekanik komposit yang baik.

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang bagus untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada diantaranya). 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. Hanya saja banyak orang menerapkan komposit ini tidak sesuai dengan prosedur sehingga hasil komposit tersebut kurang bagus kekuatannya. Serta di Indonesia juga masih sedikit orang yang mengetahui kelebihan dari *3D printing* dan komposit *sandwich* ini.

Pada penelitian sebelumnya telah menghasilkan produk *Aquatic Caravan* (Nanda, dan Zikri, 2015) yang menerapkan komposit *sandwich* dengan perpaduan *3D Printing*. Namun belum dilakukan pengujian kekuatan terhadap produk tersebut. Sehingga keterbaharuan dari penelitian ini adalah dilakukannya uji kekuatan (uji bending) terhadap produk *aquatic caravan* untuk mengetahui seberapa baik hasil komposit yang telah dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang dapat dipecahkan dalam penelitian ini.

1. Bagaimana komposisi lapisan komposit *sandwich* untuk mendapatkan kekuatan yang baik?
2. Bagaimana perbedaan kekuatan produk komposit *sandwich* apabila memiliki kerapatan/*infill* dan komposisi lapisan berbeda?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini batasan masalah perlu dilakukan untuk memfokuskan kajian yang dikerjakan sehingga proses menjadi terarah dan jelas, diantaranya :

1. Menggunakan beberapa spesimen yang sebelumnya sudah direncanakan diantaranya, 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, 3DP + Lantor Soric. Dibuat 2 kerapatan atau *infill* 3DP 10% dan 20%, jadi total 8 spesimen yang diujikan.
2. Dibuat dengan menggunakan metode *hand lay up*.
3. Hanya melakukan uji Bending, untuk mengetahui kekuatan dari produk tersebut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan spesimen yang akan diujikan, dan mengetahui variasi lapisan komposit *sandwich* mana yang terbaik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu :

1. Mengetahui bagaimana cara pengujian bending untuk komposit.
2. Mengetahui kekuatan masing-masing spesimen yang diuji.
3. Mengetahui komposisi mana yang baik digunakan untuk nanti kedepannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, diantaranya :

1. BAB 1. Pendahuluan, terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. BAB 2. Kajian pustaka dan teori-teori yang akan digunakan pada penelitian ini.
3. BAB 3. Metodologi penelitian, berisikan alur penelitian, alat dan bahan, tahapan proses pembuatan produk untuk diuji.
4. BAB 4. Hasil dan pembahasan, berisi mengenai proses pembuatan produk, pembahasan proses pembuatan produk
5. BAB 5. Penutup, berisi Kesimpulan penelitian serta saran yang didapat dari pelaksanaan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Komposisi serat *sandwich* sangat diperhatikan dalam penggunaan material komposit, begitu juga dengan matriks yang akan digunakan sebagai perekat antara 3Dprinting dengan *fiberglass*, dalam pembuatan spesimen uji bending komposisi antara 3D *printing* dengan *fiberglass* sebagai laminasi harus baik guna menghasilkan nilai kekuatan dan kekakuan yang baik

Berdasarkan penelitian yang sebelumnya dilakukan mengenai produk komposit *sandwich* menggunakan inti *core* dari hasil 3D *printing* berbentuk *Aquatic Caravan* (Nanda, dan Zikri, 2015) struktur *sandwich* yang digunakan yaitu dengan menggabungkan antara kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan *core* komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kuat, kaku dengan berat produk yang cukup ringan.

Dengan menggunakan bahan dasar material 3Dprinting yaitu PLA (*Polactic Acid*), PLA adalah polimer termoplastik yang terbuat dari asam laktat, seperti kantong plastik dan gelas tanaman, tetapi pada prinsipnya PLA juga dapat digunakan sebagai bahan matriks dalam komposit. (Oksman 2003)

Pada masa sekarang ini, penelitian mengenai komposit 3D resin *fiberglass* selalu dikembangkan mulai dari biaya yang dikeluarkan agar rendah dengan hasil produk yang kuat serta kaku dan baik untuk digunakan dalam jangka panjang. Dan mulai merambah menuju penelitian mengenai teknologi 3D *printing* ini apabila digabungkan dengan komposit resin *fiberglass* bisa didapatkan hasil yang jauh lebih baik.

3D *printing* adalah sebuah printer pencetak benda berdimensi tiga yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, atau berupa gambar, berbeda dengan *printing* biasa yang mencetak data dalam sebuah kertas ataupun lembaran lainnya.(Rahman 2019) sehingga dengan 3D *printing* bisa digunakan untuk membuat pemodelan pola yang cukup rumit, serta pembuatan produk bisa

dilakukan dengan mudah dan leluasa karena mengandalkan teknologi tiga dimensi tersebut. Yang nantinya pasti dapat berguna bahkan penting dalam dunia Industri.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. (Matthews dkk 1993), Jadi komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

2.2.2 Bahan Utama Komposit

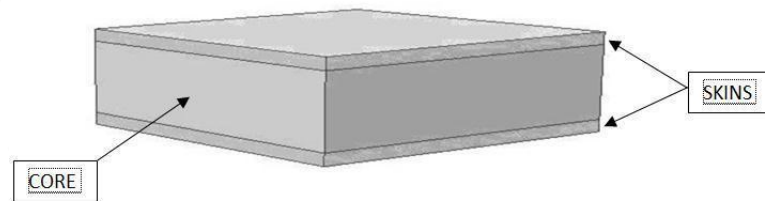
Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Matriks merupakan fasa dalam komposisi bagian volume yang dominan, dan pada umumnya matriks lebih elastis akan tetapi kekuatan dan rigiditasnya lebih rendah. Matriks juga dikenal dengan syarat matriks agar dapat digunakan dalam komposit adalah dapat meneruskan beban, maka serat harus dapat melekat pada matriks dan sesuai antara matriks dan serat agar tidak ada reaksi yang mengganggu. Selain itu dalam pemilihan matriks harus mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Diharjo, K., dan Triyono, T., 2000)

Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. (Mahmuda, E, 2013). Serat tersebut berfungsi sebagai penentu karakteristik bahan komposit

yakni kekakuan, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya, sedangkan peranan serat dalam komposit sebagai bahan utama penahan beban serta besar kecilnya kekakuan bahan komposit maka bergantung kekuatan bahan pembentuknya. Salah satu jenis serat yang dapat digunakan adalah serat gelas (*fiberglass*). Material *fiberglass* merupakan salah satu jenis bahan *fiber* komposit yang memiliki keunggulan yaitu kuat namun tetap ringan, sehingga banyak digunakan.

2.2.3 Komposit *Sandwich*



Gambar 2.1 Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* merupakan salahsatu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* adalah jenis komposit yang mempunyai kekuatan cukup tinggi apabila digunakan sebagai struktur sekunder maupun primer. Komposit ini terdiri dari flat komposit (*skin*) dan *core*. *Core* yang biasa dipakai adalah *coreimport*, seperti polyuretan (PU), *Polyvinyl Chlorida* (PVC), dan *honeycomb*. (Agus H, 2007).

Skin merupakan bagian dari komposit *sandwich* yang terletak pada bagian paling luar atas dan bawah yang berfungsi sebagai penahan beban *compressive stress* dan *tensile*. Bagian *skin* ini memiliki kekuatan yang tinggi namun tingkat kekakuannya rendah, dan dapat digunakan material berbentuk plastik yang diperkuat oleh serat gelas dan *fiber*, karena mempunyai kelebihan yang mudah digabungkan, bentuk permukaan baik, dan desain dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan. (Agus H, 2007)

Core merupakan bagian inti dari komposit *sandwich* yang terletak di bagian tengah, dan berfungsi sebagai penambah kekakuan dan ketebalan dari komposit *sandwich*. Selain itu *core* mempunyai syarat lain seperti *buckling*, tingkat kadar air, dan umur panjang. (Agus H, 2007)

Zat perekat yang digunakan untuk mengikat *skin* dan *core* yaitu *adhesive*. *Adhesive* berfungsi untuk mengikat dan mentransfer gaya geser antara *skin* dan

core supaya kekuatan komposit *sandwich* terjaga. Salah satu contoh *adhesive* yaitu resin yang merupakan suatu bahan matriks dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar atau dominan. Beberapa contoh resin yang dapat digunakan sebagai matrik pada komposit yaitu *epoxy*, *polyester* atau *vinylester*. (Widodo, B., 2008)

2.2.4 Printer 3D Printing

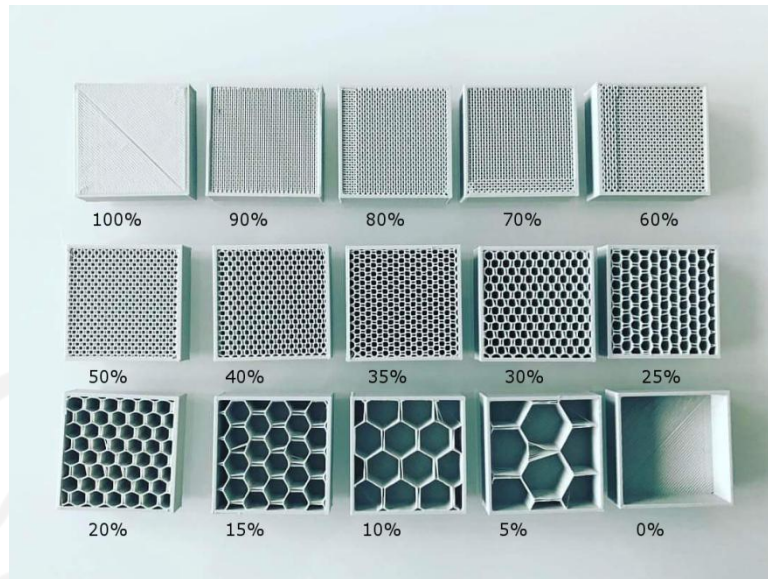
3D *printing* atau sering juga disebut sebagai *additive manufacturing* yang merupakan suatu proses pembuatan suatu objek solid tiga dimensi (3) dari suatu model digital yang secara skematis. 3D *Printing* adalah sebuah *printing* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, namun berbeda dengan *printing*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



Gambar 2.2 Mesin 3D *Printing*

2.2.5 *Infill*

Infill adalah suatu pola di dalam objek yang digunakan sebagai struktur support agar bisa dicetak di 3D *printer*. Biasa juga disebut padatan atau yang ada pada bagian dalam 3D *printing*. Kebanyakan objek tidak dapat diprint tanpa *infill*. Semakin banyak *infill* yang ada, semakin padat dan tahan lama objek tersebut akan terbentuk. Berikut beberapa contoh *infill* yang biasa digunakan.



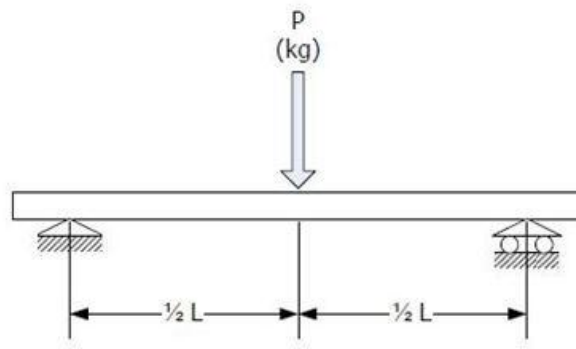
Gambar 2.3 Variasi *Infill*

Semakin besar presentase *infill* semakin padat isian dalam 3D *printing* tersebut. Pada penelitian ini ini menggunakan 2 variasi *infill* yaitu *infill* 10% dan 20%.

2.2.6 Pengujian Kekuatam (Uji Bending)

Pengujian bending merupakan proses pembebanan terhadap suatu material pada suatu titik ditengah-tengah dari material yang ditahan diatas dua tumpuan kanan dan kiri. Dengan diberikannya beban secara maksimal pada material , material akan mengalami perubahan bentuk atau biasa disebut deformasi. Yang kemudian dapat diketahui material mana yang baik hasil ujinya.

Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat Pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Momen bending dan kekuatan bending komposit *sandwich* dapat dicari menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2(Hariyanto, t.t.), dirumuskan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Pengujian Bending

Sehingga kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut :

Momen Lentur Bending :

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{L}{4} \dots\dots\dots(2.1)$$

Kekuatan Tegangan Bending :

$$\sigma_b = \frac{\frac{PL}{4} \times \frac{1}{2} d}{bxd \frac{1}{12}}$$

$$\sigma_b = \frac{12 PLd}{8bh^3}$$

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Momen inersia *sandwich* dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Modulus Elastisitas Bending :

$$E_B = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Kekakuan dicari dengan persamaan :

$$D = E_b \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

σ_b = Tegangan Bending (N/mm²)

E_b = Modulus elastisitas bending (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

D = Kekakuan Bending (Nmm²)

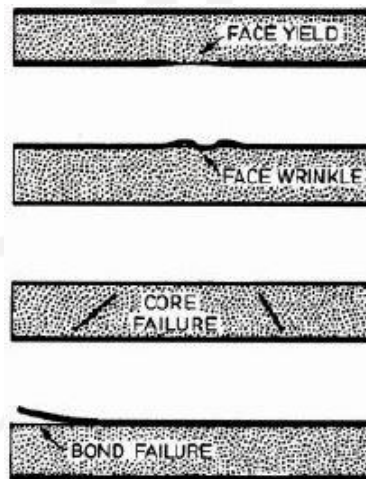
δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (mm⁴)

M = Momen lentur bending (Nmm)

2.2.7 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit *Sandwich*

Kegagalan komposit *sandwich* akibat tegangan bending ada 4 macam yaitu, kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik, kegagalan bagian *skin* akibat beban *buckling*, kegagalan geser padabagian *core*, dan kegagalan delaminasi antara komposit *core* dengan *skin*.

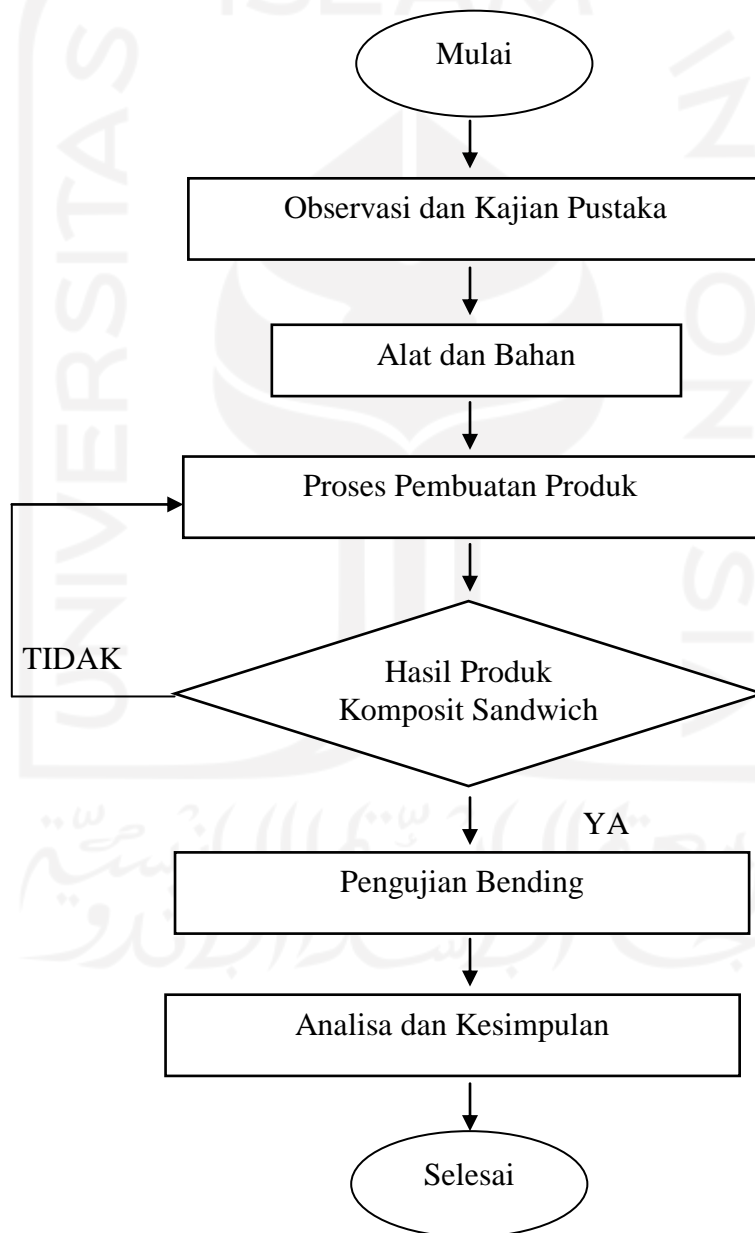


Gambar 2.5 Aneka Modus Kegagalan Uji Bending Komposit *Sandwich*

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Tahapan-tahapan proses pembuatan produk ditunjukkan pada diagram alur yang dapat dilihat pada gambar 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini membutuhkan beberapa alat dan bahan yang digunakan guna mempermudah pembuatan produk, diantaranya

1. Alat yang digunakan
 - a. Laptop
 - b. Mesin 3D *printing*
 - c. Mesin water jet *cutting*
 - d. Gunting
 - e. Penggaris
 - f. Gelas ukur
 - g. Kuas
2. Bahan yang digunakan
 - a. Serat gelas kaca
 - b. Lapisan lantor soric dengan ketebalan 3mm
 - c. Resin polyester
 - e. Katalis
 - f. Aseton
 - g. Sarung tangan latex

3.3 Dimensi Spesimen dan Parameter 3D Printing

Dimensi spesimen 3D *printing* komposit *sandwichinfill* 10% dan 20% dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2

Tabel 3.1 Dimensi Spesimen Komposit *Sandwich Infill* 10%

Jenis <i>Infill</i>	Nama	Jenis Lapisan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang (mm)
3D <i>Printing</i> <i>Infill</i> 10%	Spesimen 1	1 lapis <i>fiberglass</i>	12,28	10,67	150
	Spesimen 2	1 lapis <i>fiberglass</i>	12,28	10,67	
	Spesimen 3	2 lapis <i>fiberglass</i>	13,59	12,00	
	Spesimen 4	2 lapis <i>fiberglass</i>	13,94	12,14	
	Spesimen 5	3 lapis <i>fiberglass</i>	13,06	13,98	
	Spesimen 6	3 lapis <i>fiberglass</i>	11,30	13,60	
	Spesimen 7	1 lapis lantor soric	13,34	13,10	
	Spesimen 8	1 lapis lantor soric	13,09	13,17	

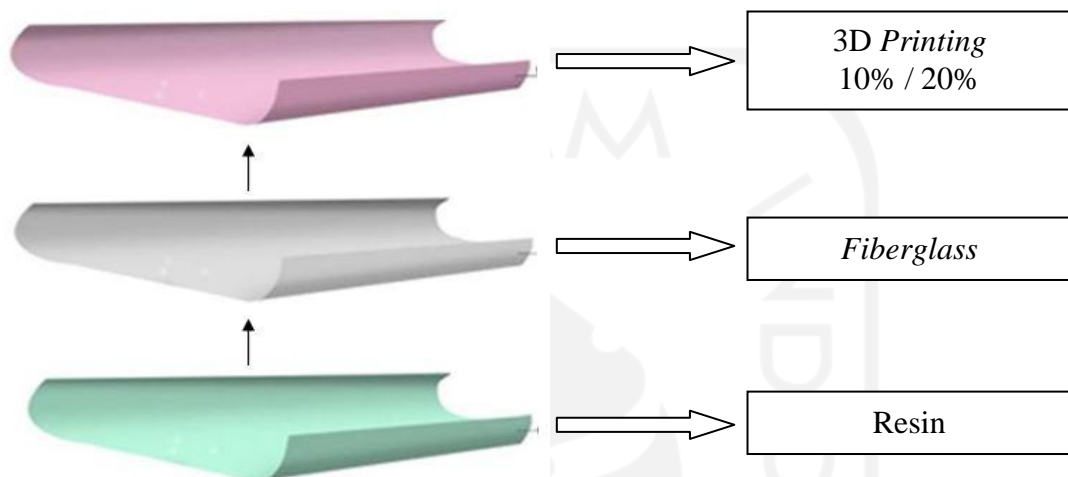
Tabel 3.2 Dimensi Spesimen Komposit *Sandwich Infill* 20%

Jenis <i>Infill</i>	Nama	Jenis Lapisan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang (mm)
3D <i>Printing</i> <i>Infill</i> 20%	Spesimen 9	1 lapis <i>fiberglass</i>	13,14	10,93	150
	Spesimen 10	1 lapis <i>fiberglass</i>	13,14	10,93	
	Spesimen 11	2 lapis <i>fiberglass</i>	12,76	12,75	
	Spesimen 12	2 lapis <i>fiberglass</i>	13,13	12,25	
	Spesimen 13	3 lapis <i>fiberglass</i>	12,80	13,76	
	Spesimen 14	3 lapis <i>fiberglass</i>	13,01	13,79	
	Spesimen 15	1 lapis lantor soric	12,82	12,78	
	Spesimen 16	1 lapis lantor soric	12,90	12,65	

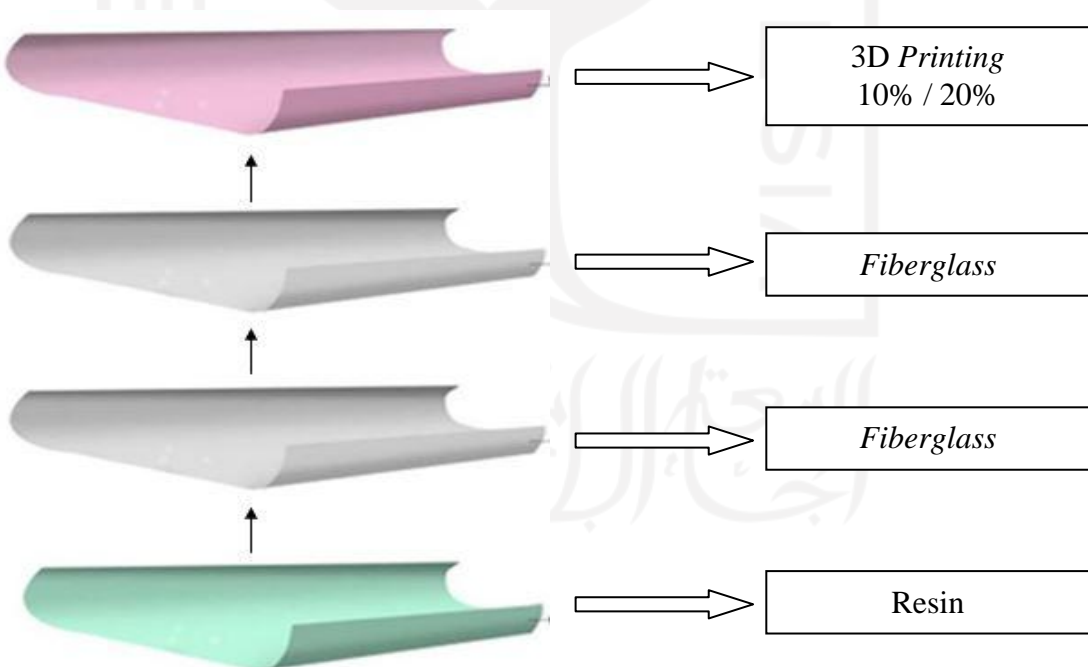
Parameter *setting* mesin 3D *printer* mengacu pada *print speed* dan *temperature extruder* dengan diameter filamen 1.75 mm. Diantaranya *setting Layer High* 0,2mm, dengan *print speed* 50 mm/s, dan *temperatur extrude* 200°C.

3.4 Proses Pembuatan Produk Uji

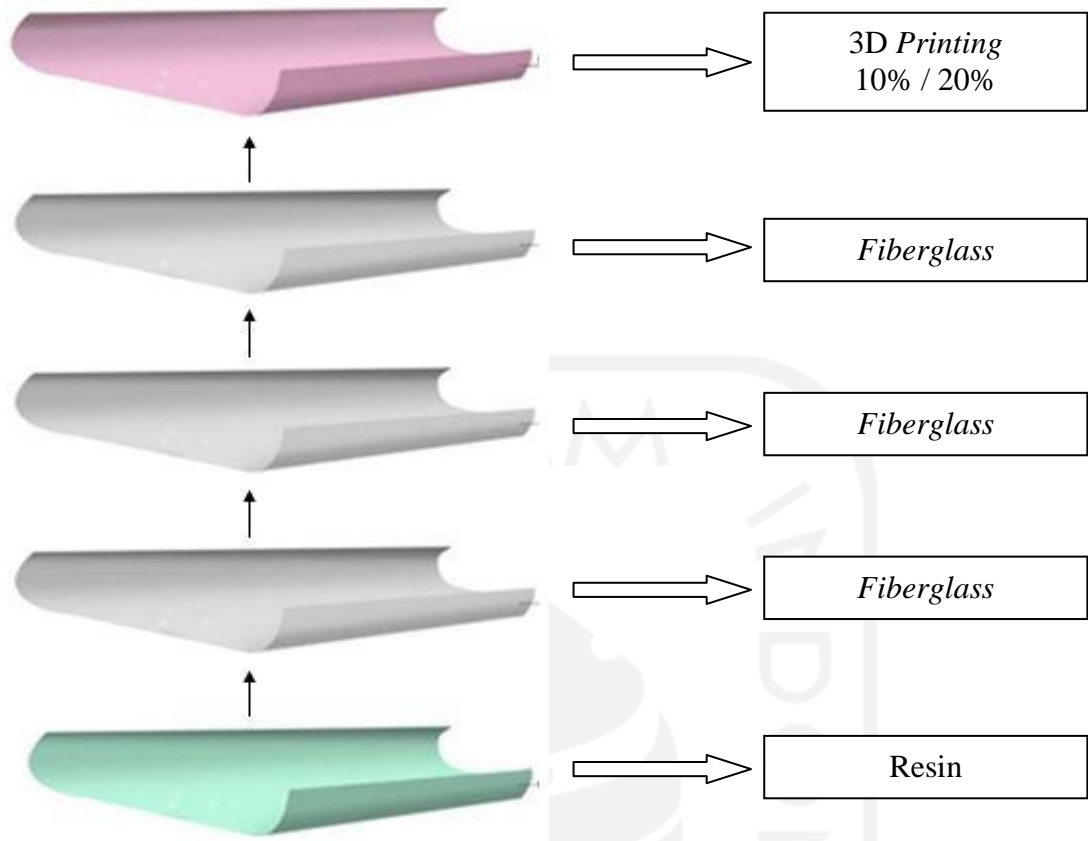
Produk yang dibuat terdiri dari 8 jenis spesimen dengan susunan komposisi material yang berbeda, berikut ada beberapa jenis perbedaan susunan spesimen yang diuji ada pada gambar berikut.



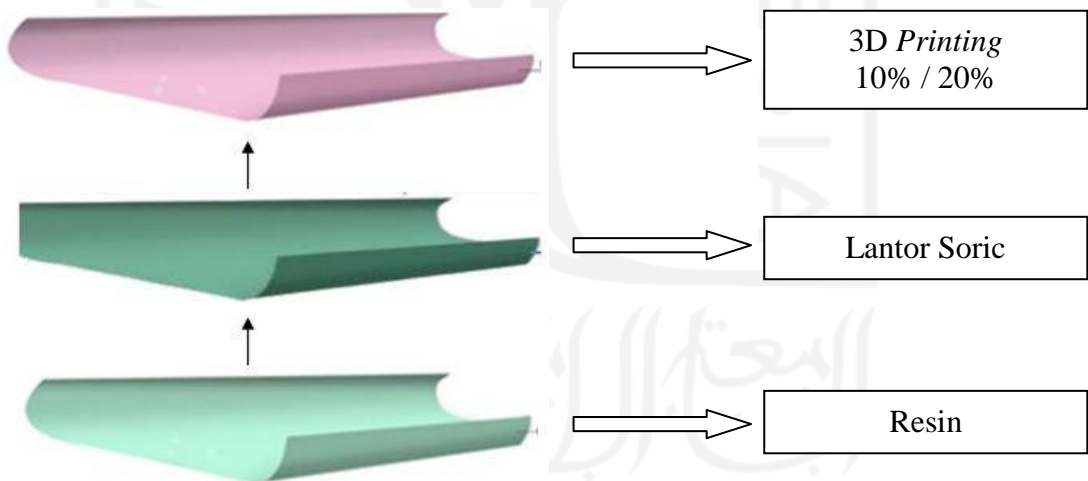
Gambar 3.2 Susunan 3DP + *Fiberglass* 1 Lapis + Resin



Gambar 3.3 Susunan 3DP + *Fiberglass* 2 Lapis + Resin



Gambar 3.4 Susunan 3DP + *Fiberglass* 3 Lapis + Resin



Gambar 3.5 Susunan 3DP + Lantor soric 1 Lapis + Resin

3DP merupakan dasar spesimen uji yang dimana bagian atas 3DP di lapis komposit, perbedaan masing-masing spesimen uji yang dibuat memiliki perbedaan diantaranya, 3DP *infill* 10% + *fiberglass* 1 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP *infill* 10% + *fiberglass* 2 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP

infill 10% + *fiberglass* 3 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP *infill* 10% + 1 lapis lantor soric yang dilapisi resin di atasnya 3DP *infill* 20% + *fiberglass* 1 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP *infill* 20% + *fiberglass* 2 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP *infill* 20% + *fiberglass* 3 lapis yang dilapisi resin di atasnya, 3DP *infill* 20% + 1 lapis lantor soric yang dilapisi resin di atasnya.

Dimensi sampel uji yang dibuat pertama berukuran panjang 150mm dan lebar 70mm yang dilapisi dengan material komposit yang berbeda, yang kemudian dipotong menjadi 2 replikasi sesuai dimensi standar pengujian. Berikut langkah pembuatannya :

1. Persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Membuat sampel 3DP menggunakan alat 3DP dengan dimensi awal yang sudah ditentukan yaitu P 150mm x L 70mm dengan 2 perbedaan *infill* yaitu 10% dan 20%.



Gambar 3.6 Proses Pembuatan 3DP

3. Memotong lapisan *fiberglass* dan lantor soric sesuai dengan dimensi uji sampel yang dibutuhkan.



Gambar 3.7 Proses Pemotongan *Fiberglass*



Gambar 3.8 Proses Pemotongan Lantor Soric

4. Mempersiapkan 3DP yang akan dilaminasi, beri alas pada bagian bawah 3DP dengan kardus atau plat tipis, untuk mempermudah pemindahan spesimen uji sampel.



Gambar 3.9 3DP Siap Dilaminasi

5. Meletakkan susunan 3DP, *fiberglass*, dan lantor soric yang sudah ditentukan.



Gambar 3.10 Susunan 3DP + *Fiberglass* Siap Dilaminasi

6. Melakukan campuran resin dan katalis. Menggunakan gelas ukur untuk mengetahui berapa banyak resin yang akan digunakan. Untuk 1 sampel uji menggunakan resin 100ml dengan campuran katalis 1ml.



Gambar 3.11 Proses Pencampuran Resin dan Katalis

7. Setelah tercampur merata antara resin dan katalis, dan dirasa sudah siap, lakukan penuangan pada sampel yang telah disusun sebelumnya secara perlahan dan merata, bisa diratakan menggunakan kuas.
8. Lakukan penjemuran produk dibawah sinar matahari tidak lebih dari 5 menit sampai sampel dirasa cukup kering.



Gambar 3.12 Proses Penjemuran

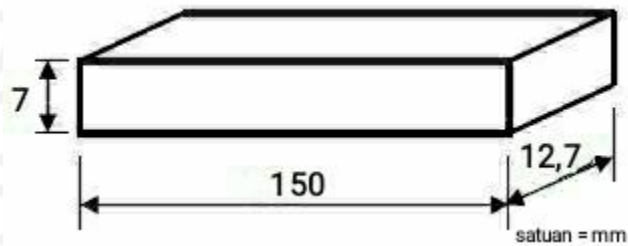
9. Rapikan spesimen uji sampel dan spesimen telah selesai dibuat.

3.5 Proses Pengujian Produk

Pengujian spesimen yang dilakukan yaitu pengujian bending untuk mengetahui kekuatan maksimal pada sampel uji yang telah dibuat, pengujian ini mengacu pada standar pengujian bending ASTM D790 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM.

Sebelum melakukan pengujian, pastikan mempersiapkan semua sampel uji yang akan diuji, dan lainnya. Berikut langkah-langkah pengujian yang dilakukan diantaranya :

1. Membuat sampel uji sesuai yang dibutuhkan yaitu ada 8 spesimen, dipotong sesuai dimensi standar pengujian, pada pengujian ini setiap spesimen dilakukan 2 kali replikasi sehingga total spesimen yang diuji ada 16 spesimen.
2. Dimensi sampel uji yang digunakan mengacu kepada standar uji dengan dimensi P 150mmx L 12,7mmx T 7mm



Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji

3. Letakan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat pengujian bending sesuai standar dan ketentuan yang sudah ada



Gambar 3.14 Alat Uji Bending



Gambar 3.15 Spesimen Siap Diuji

4. Mesin bending akan memberikan beban maksimal secara perlahan kepada spesimen yang diuji sampai dengan spesimen melengkung atau patah.
5. Kemudian dari hasil pengujian tersebut secara otomatis kertas yang ada di panel akan mencatat kekuatan maksimal spesimen tersebut.

BAB 4

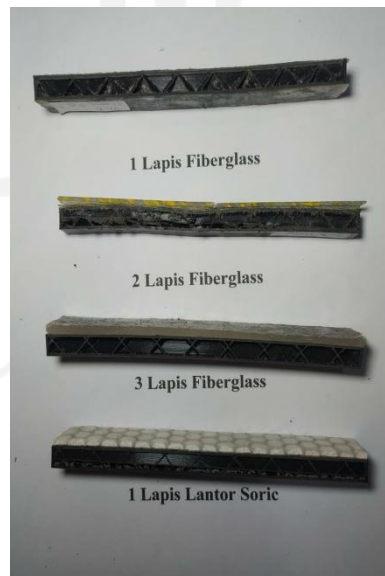
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Produk Uji Bending

Pada setiap spesimen komposit *sandwich* skin (*layer*) dibuat hanya pada bagian atas spesimen tersebut. Setelah melakukan pengujian bending dengan variasi lapisan berbeda yang telah dibuat, berikut adalah gambar produk sebelum dan sesudah dilakukan pengujian bending.

1. Hasil Produk Uji Komposit *sandwich* dengan *Infill* 10%

Pada komposit *sandwichinfill* 10% memiliki pola struktur *core* yang lebih renggang. Pada komposit *sandwichinfill* 10% ini dibuat empat variasi yaitu 1 lapis *fiberglass*, 2 lapis *fiberglass*, 3 lapis *fiberglass* dan 1 lapis lantor soric. Perbedaan dari keempat variasi tersebut sangat terlihat pada gambar 4.1 dimana semakin banyak lapisan *fiberglass* yang digunakan maka semakin tebal komposit *sandwich* yang dihasilkan. Sementara untuk komposit yang dilapisi dengan lantor soric perbedaannya tidak terlihat signifikan karena hanya 1 lapis.



Gambar 4.1 Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% Sebelum Diuji

Pada gambar 4.2 dapat dilihat hasil setelah dilakukan uji bending. Jika dilihat dari keempat variasi yang diuji tiap variasi mengalami modus kegagalan yang berbeda, pada variasi 1 lapis *fiberglass* mengalami gagal *face wrinkle* yaitu kegagalan pada *skin* akibat beban *buckling* spesimen berubah bentuk tapi tidak sampai patah, pada variasi 2 lapis *fiberglass* mengalami kegagalan delaminasi atau *bond failure* yaitu *skin* yang terlepas dari *core* dan *skin*, pada variasi 3 lapis *fiberglass* mengalami *core failure* yaitu pada bagian *core* mengalami kerusakan yang cukup kritis, dan pada variasi 1 lapis lantor soric mengalami gagal seperti yang dialami spesimen variasi 1 lapis *fiberglass* yaitu mengalami kegagalan pada *skin* akibat beban *buckling*. Dapat dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan jumlah dan jenis lapisan yang digunakan pada komposit sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit saat dilakukan pengujian bending.



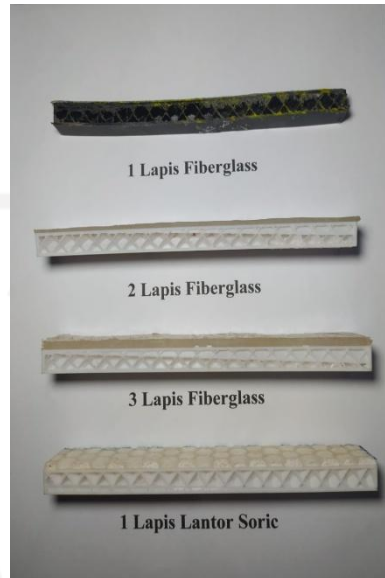
Gambar 4.2 Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% Setelah Diuji

Setelah dilakukan pengujian terlihat perbedaan perubahan bentuk yang dialami antara spesimen satu dengan yang lainnya.

2. Hasil Produk Uji Komposit *sandwich* dengan *Infill* 20%

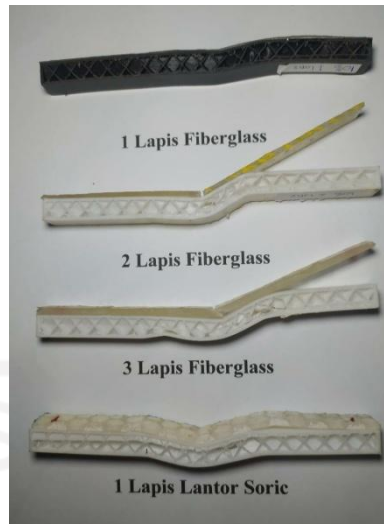
Pada komposit *sandwich infill* 20% memiliki pola struktur *core* yang lebih rapat dibandingkan dengan komposit *sandwich infill* 10%. Pada komposit *sandwich infill* 20% ini dibuat empat variasi juga yaitu 1 lapis *fiberglass*, 2 lapis *fiberglass*, 3 lapis *fiberglass* dan 1 lapis lantor soric. Perbedaan dari keempat

variasi tersebut juga sama dengan komposit *sandwichinfill* 10% yang sudah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4.3 Produk Komposit *Sandwich Infill* 20% Sebelum Diuji

Pada gambar 4.3 merupakan spesimen komposit *sandwichinfill* 20% sebelum dilakukan pengujian. Serta pada gambar 4.4 dibawah dapat dilihat hasil setelah dilakukan uji bending. Jika dilihat dari keempat variasi yang diuji spesimen mengalami modus kegagalan yang berbeda pada tiap variasi yaitu. pada variasi 1 lapis *fiberglass* mengalami gagal *face wrinkle* yaitu kegagalan pada *skin* akibat beban *buckling* spesimen berubah bentuk tapi tidak sampai patah, pada variasi 2 lapis *fiberglass* mengalami kegagalan delaminasi atau *bond failure* yaitu *skin* yang terlepas dari *core* dan *skin*, pada variasi 3 lapis *fiberglass* mengalami gagal seperti pada variasi sebelumnya yaitu delaminasi, dan pada variasi 1 lapis lantor soric mengalami gagal seperti yang dialami spesimen variasi 1 lapis *fiberglass* yaitu mengalam kegagalan pada *skin* akibat beban *buckling*.



Gambar 4.4 Produk Komposit *SandwichInfill* 20% Setelah Diuji

Dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan selain jumlah dan jenis lapisan, kerenggangan struktur *infill* yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan bending komposit. Jika dibandingkan komposit *sandwich infill* 20% pada variasi 1 lapis *fiberglass*, 2 lapis *fiberglass*, 3 lapis *fiberglass* dan 1 lapis lantor soric mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan dengan *sandwich infill* 10% pada variasi 1 lapis *fiberglass*, 2 lapis *fiberglass*, 3 lapis *fiberglass* dan 1 lapis lantor soric.

Beberapa contoh jenis modus kegagalan produk komposit *sandwich infill* 10% dan 20% dapat dilihat lebih jelas pada gambar 4.5, 4.6, dan 4.7



Gambar 4.5 Spesimen 1 Mengalami Gagal *Face Wrinkle*



Gambar 4.6 Spesimen 11 Mengalami Gagal Delaminasi



Gambar 4.7 Spesimen 5 Mengalami Gagal *Core Failure*

Pada gambar 4.5 spesimen 1 dengan variasi 1 lapis *fiberglass* mengalami gagal *face wrinkle* yaitu kegagalan pada *skin* akibat beban *buckling* spesimen berubah bentuk tapi tidak sampai mengalami patah, pada gambar 4.6 spesimen 11 dengan variasi 2 lapis *fiberglass* mengalami kegagalan delaminasi atau *bond failure* yaitu *skin* yang terlepas dari *core* dan *skin*, pada gambar 4.7 spesimen 5 mengalami gagal *core failure* yaitu pada bagian *core* mengalami kerusakan yang cukup kritis.

Dari pengujian bending yang telah dilakukan dapat terlihat jelas perubahan bentuk produk yang terjadi antara produk sebelum diuji dan setelah diuji. Setelah itu akan didapat beberapa nilai-nilai dari hasil uji tersebut untuk mengetahui kekuatan terbaik produk tersebut.

4.2 Hasil Pengujian Bending

Setelah melakukan pengujian bending menggunakan standar uji *Three Point Bending* didapat hasil uji, dimana hasil uji tersebut dapat menggambarkan kualitas dari masing-masing spesimen. Berdasarkan data hasil pengujian yang ada pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 dapat diketahui beban maksimal komposit *sandwich infill* 10% yaitu 400N pada variasi 1 lapis lantor soric, serta memiliki kekuatan bending terbesar 13,39MPa pada variasi 1 lapis *fiberglass*. Sedangkan beban maksimal pada variasi komposit *sandwich infill* 20% yaitu 970N pada variasi 3 lapis *fiberglass*, serta memiliki tegangan bending terbesar 28,23MPa pada variasi 3 lapis *fiberglass*

Tabel 4.1 Hasil Uji Bending Komposit *Sandwich Infill* 10%

Jenis <i>Infill</i>	Nama	Jenis Lapisan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maks (Newton)	Tegangan Bending (MPa)	Defleksi (mm)
<i>3D Printing Infill</i> 10%	Sp 1	1 lapis FG	12,28	10,67	260	13,39	15,28
	Sp 2	1 lapis FG	12,28	10,67	260	13,39	15,28
	Sp 3	2 lapis FG	13,59	12,00	230	8,46	15,79
	Sp 4	2 lapis FG	13,94	12,14	260	9,11	12,62
	Sp 5	3 lapis FG	13,06	13,98	270	7,62	15,06
	Sp 6	3 lapis FG	11,30	13,60	360	12,40	15,09
	Sp 7	1 lapis LS	13,34	13,10	400	12,58	15,39
	Sp 8	1 lapis LS	13,09	13,17	130	4,12	15,06

Tabel 4.2 Hasil Uji Bending Komposit *Sandwich Infill* 20%

Jenis <i>Infill</i>	Nama	Jenis Lapisan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maks (N)	Tegangan Bending (MPa)	Defleksi (mm)
3D <i>Printing</i> <i>Infill</i> 20%	Sp 9	1 lapis FG	13,14	10,93	310	14,22	9,76
	Sp 10	1 lapis FG	13,14	10,93	310	14,22	9,76
	Sp 11	2 lapis FG	12,76	12,75	520	18,05	15,38
	Sp 12	2 lapis FG	13,13	12,25	530	19,37	15,50
	Sp 13	3 lapis FG	12,80	13,76	900	26,74	8,90
	Sp 14	3 lapis FG	13,01	13,79	970	28,23	15,27
	Sp 15	1 lapis LS	12,82	12,78	260	8,94	16,88
	Sp 16	2 lapis LS	12,90	12,65	360	12,56	17,38

Keterangan

L : 48mm.

Sp : Spesimen.

FG : *Fiberglass*.

LS : Lantor Soric.

Pada tabel 4.3 menunjukkan beban rata-rata setiap produk komposit *sandwich infill* 10% dan komposit *sandwich infill* 20% yang telah di uji.

Tabel 4.3 Beban Maksimal pada
Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% dan *Infill* 20%

Kategori	Spesimen Uji 1 (Newton)	Spesimen Uji 2 (Newton)	Rata-Rata (Newton)	Rata-Rata Keseluruhan (Newton)
10% 1 lapis <i>fiberglass</i>	260	260	260	271,25
10% 2 lapis <i>fiberglass</i>	230	260	245	
10% 3 lapis <i>fiberglass</i>	270	360	315	
10% 1 lapis lantorsoric	400	130	265	
20% 1 lapis <i>fiberglass</i>	310	520	310	520
20% 2 lapis <i>fiberglass</i>	520	530	525	
20% 3 lapis <i>fiberglass</i>	900	970	935	
20% 1 lapis lantorsoric	260	360	310	

Pada tabel 4.4 dapat dilihat rata-rata tegangan bending pada produk komposit *sandwich Infill* 10% dan komposit *sandwichinfill* 20%. Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.8 dimana digambarkan perbandingan rata-rata tegangan bending dengan menggunakan grafik. Dari data hasil kekuatan tegangan bending didapatkan variasi komposit *sandwichinfill* 10% dengan rata-rata keseluruhan 10,13MPa dengan nilai rata-rata tertinggi 13,39MPa pada variasi 1 lapis *fiberglass*. Sedangkan pada variasi komposit *sandwichinfill* 20% didapatkan rata-rata 17,79MPa dengan nilai rata-rata tertinggi 27,48MPa pada variasi 3 lapis *fiberglass*.

Tabel 4.4 Tegangan Bending pada
Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% dan *Infill* 20%

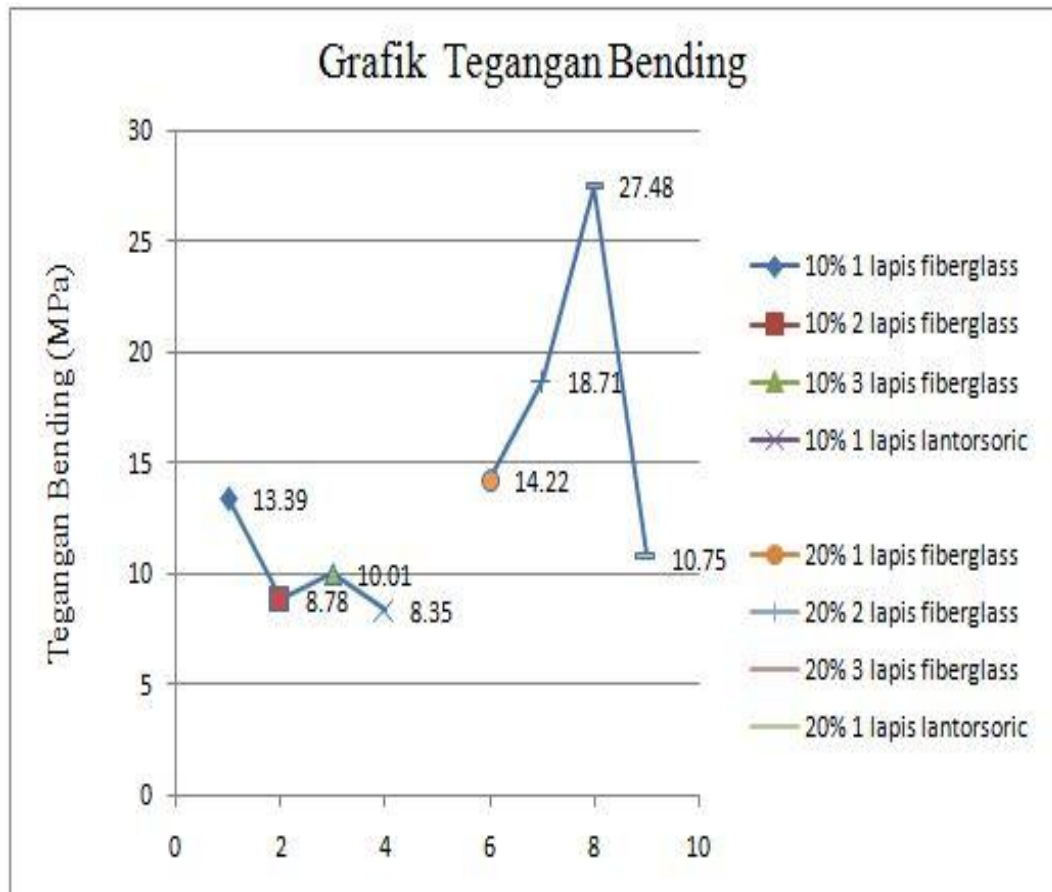
Kategori	Spesimen Uji 1 (MPa)	Spesimen Uji 2 (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Rata-Rata Keseluruhan (MPa)
10% 1 lapis <i>fiberglass</i>	13,39	13,39	13,39	10,13
10% 2 lapis <i>fiberglass</i>	8,46	9,11	8,78	
10% 3 lapis <i>fiberglass</i>	7,62	12,4	10,01	
10% 1 lapis <i>lantorsoric</i>	12,58	4,12	8,35	
20% 1 lapis <i>fiberglass</i>	14,22	14,22	14,22	17,79
20% 2 lapis <i>fiberglass</i>	18,05	19,37	18,71	
20% 3 lapis <i>fiberglass</i>	26,74	28,23	27,48	
20% 1 lapis <i>lantorsoric</i>	8,94	12,56	10,75	

Tabel 4. 5 Perbandingan Tegangan Bending antara
Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% dan *Infill* 20%

Kategori	Tegangan Bending (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	10%	20%		
1 lapis <i>fiberglass</i>	13,39	14,22	0,83	Hampir Sama
2 lapis <i>fiberglass</i>	8,78	18,71	9,93	20% unggul 2x
3 lapis <i>fiberglass</i>	10,01	27,48	17,47	20% unggul 2,5x
1 lapis <i>lantorsoric</i>	8,35	10,75	2,4	Hampir Sama

Berdasarkan tabel 4.5 dapat ditunjukkan bahwa produk 1 lapis *fiberglass* komposit *sandwich infill* 20% memiliki kekuatan tegangan bending hampir sama dengan komposit *sandwich infill* 10% dengan selisih nilai 0,83 lebih unggul komposit *sandwich infill* 20%, untuk komposit *sandwich* 2 lapis *fiberglass*, komposit *sandwich infill* 20% memiliki kekuatan tegangan bending 2x lebih besar

dibandingkan komposit *sandwich infill* 10% dengan selisih nilai 9,93, untuk komposit *sandwich* 3 lapis *fiberglass*, komposit *sandwich infill* 20% memiliki kekuatan tegangan bending 2,5x lebih besar dibandingkan komposit *sandwich infill* 10% dengan selisih nilai 17,47, untuk komposit *sandwich infill* 20% memiliki kekuatan tegangan bending hampir sama dengan komposit *sandwich infill* 10% dengan selisih nilai 2,4 lebih unggul komposit *sandwich infill* 20%.



Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Tegangan Bending Pada Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% dan 20% Menggunakan Standar Uji *Three Point Bending*

Pada gambar 4.8 dapat dilihat grafik rata-rata tegangan bending yang diambil dari data pada tabel 4.3. Grafik rata-rata tegangan bending dengan variasi komposit *sandwichinfill* 10% dan variasi komposit *sandwichinfill* 20% didapatkan perbedaan hasil kekuatan tiap variasi, pada variasi 1 lapis *fiberglassinfill* 10% didapat 13,39MPa, pada variasi 2 lapis *fiberglassinfill* 10% didapat 8,78MPa, pada variasi 3 lapis *fiberglassinfill* 10% didapat 10,01MPa, pada variasi 1 lapis

lantor soricinfill 10% didapat 8,35MPa. Sedangkan pada variasi 1 lapis *fiberglassinfill* 20% didapat 14,22 MPa, pada variasi 2 lapis *fiberglassinfill* 20% didapat 18,71MPa, pada variasi 3 lapis *fiberglassinfill* 20% didapat 27,48MPa, pada variasi 1 lapis lantor soricinfill 20% didapat 10,75MPa.

Dari data tersebut dapat dilihat spesimen mana yang kekuatan variasinya paling baik untuk digunakan kedepannya, pada variasi komposit *sandwich infill* 20% 3 lapis *fiberglass* didapat nilai paling tinggi dibanding variasi komposit lainnya, dan nilai yang paling kecil pada variasi komposit *sandwich infill* 10% 1 lapis lantor soric.

Tabel 4.1 dan 4.2 merupakan data hasil pengujian bending menggunakan standar uji *Three Point Bending*, dimana selanjutnya dari data hasil tersebut akan dicari nilai dari Momen Inersia, Tegangan bending, Momen Lentur, Modulus Elastisitas Bending, dengan menggunakan rumus yang ada pada bab 2 dengan persamaan 2.1 2.2 2.3 dan 2.4.

Tabel 4.6 Lebar, Tebal, dan Defleksi pada Produk Komposit *Sandwich Infill* 10%

Kategori	Lebar (mm)	Rata-Rata (mm)	Tebal (mm)	Rata-Rata (mm)	Defleksi (mm)	Rata-Rata (mm)
10% 1 lapis FG Sp 1	12,28	12,28	10,67	10,67	15,28	15,28
10% 1 lapis FG Sp 2	12,28		10,67		15,28	
10% 2 lapis FG Sp 3	13,59	13,76	12,00	12,07	15,79	14,20
10% 2 lapis FG Sp 4	13,94		12,14		12,62	
10% 3 lapis FG Sp 5	13,06	12,18	13,98	13,79	15,06	15,07
10% 3 lapis FG Sp 6	11,30		13,60		15,09	
10% 1 lapis LS Sp 7	13,34	13,21	13,10	13,13	15,39	15,22
10% 1 lapis LS Sp 8	13,09		13,17		15,06	

Tabel 4.7 Lebar, Tebal, dan Defleksi pada
Produk Komposit *Sandwich Infill* 20%

Kategori	Lebar (mm)	Rata-Rata (mm)	Tebal (mm)	Rata-Rata (mm)	Defleksi (mm)	Rata-Rata (mm)
20% 1 lapis FG Sp 9	13,14	13,14	10,93	10,93	9,76	9,76
20% 1 lapis FG Sp 10	13,14		10,93		9,76	
20% 2 lapis FG Sp 11	12,76	12,94	12,75	12,5	15,38	15,44
20% 2 lapis FG Sp 12	13,13		12,25		15,50	
20% 3 lapis FG Sp 13	12,80	12,90	13,76	13,77	8,90	12,08
20% 3 lapis FG Sp 14	13,01		13,79		15,27	
20% 1 lapis LS Sp 15	12,82	12,86	12,78	12,71	16,88	17,13
20% 1 lapis LS Sp 16	12,90		12,65		17,38	

Berikut digunakan data hasil pengujian komposit *sandwich* variasi 1 lapis *fiberglassinfill* 10%, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 12,28\text{mm}$ $h = 10,67\text{mm}$

$P = 260\text{N}$ $L = 48\text{mm}$

1. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 12,28 \times (10,67)^3$$

$$I = 1.243,11 \text{ mm}^4$$

2. Momen Lentur Bending

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{L}{4}$$

$$M = \frac{260}{2} \times \frac{48}{4}$$

$$M = 1.560 \text{ Nmm}$$

3. Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 260 \times 48}{2 \times 12,28 \times (10,67)^2}$$

$$\sigma_b = 13,38 \text{ MPa}$$

4. Modulu Elastisitas Bending

$$E_b = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$E_b = \frac{1}{4} \times \frac{(48)^3}{12,28 \times (10,67)^3} \times \frac{260}{15,28}$$

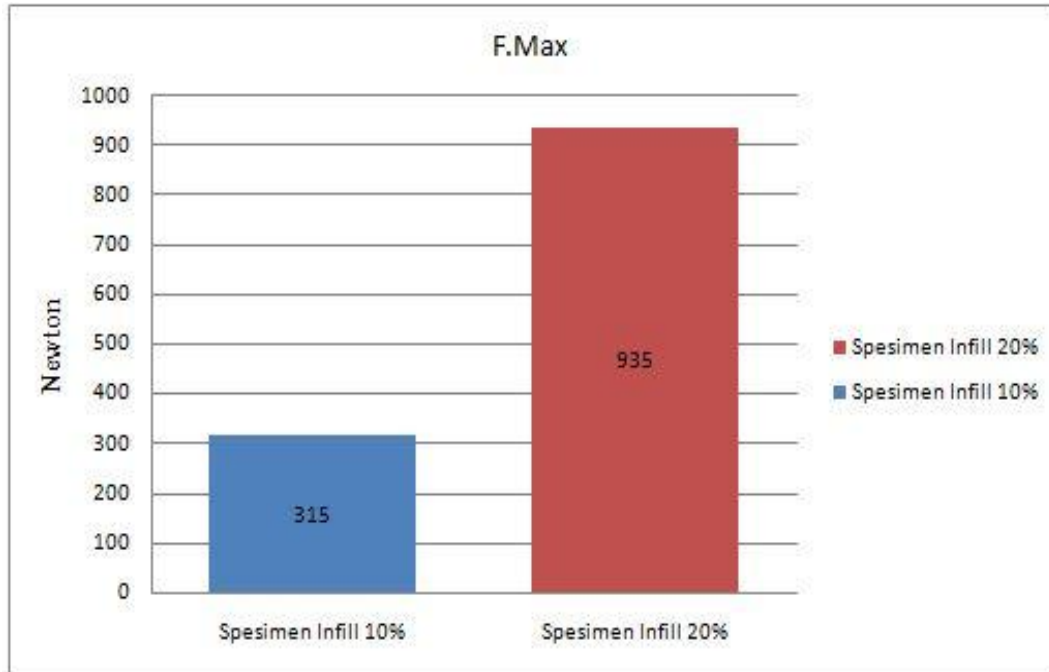
$$E_b = 31,53 \text{ MPa}$$

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Uji Bending

Kategori	Beban Maks (N)	I (mm ⁴)	M (N.mm)	σ_b (MPa)	E_b (MPa)
10% 1 lapis FG	260	1243,11	1560	13,38	31,53
10% 2 lapis FG	245	2016,31	1470	8,97	19,71
10% 3 lapis FG	315	2661,69	1890	9,79	18,09
10% 1 lapis LS	265	2491,81	1590	8,37	16,09
20% 1 lapis FG	310	1429,79	1860	14,21	51,18
20% 2 lapis FG	525	2106,11	3150	18,69	37,19
20% 3 lapis FG	935	2806,79	5610	27,52	63,53
20% 1 lapis LS	310	2200,37	1860	10,74	18,94

4.3 Pembahasan

Berdasarkan dari data hasil nilai perhitungan yang dapat dilihat pada tabel 4.8, diambil beban maksimal antara komposit *sandwichinfill* 10% dan komposit *sandwich infill* 20% untuk membandingkan variasi kekuatan mana yang baik pada pengujian bending ini. Pada komposit *sandwichinfill* 10% didapat beban maksimal 315N pada variasi 3 lapis *fiberglass*, sedangkan pada komposit *sandwichinfill* 20% didapat beban maksimal 935N pada variasi 3 lapis *fiberglass*, dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Beban Maksimal

Pada tabel perhitungan 4.7 dapat dilihat bahwa komposit *sandwichinfill* 10% memiliki nilai momen paling tinggi 1890Nmm pada variasi 3 lapis *fiberglass*, sedangkan pada komposit *sandwichinfill* 20% memiliki nilai momen paling tinggi 5610Nmm pada variasi 3 lapis *fiberglass*, ini membuktikan bahwa spesimen komposit *sandwich infill* 20% memiliki hasil produk lebih kaku.

Dapat dilihat pada gambar 4.10 grafik tegangan bending, untuk kekuatan tegangan bending komposit *sandwichinfill* 10% memiliki nilai paling tinggi 13,38MPa pada variasi 1 lapis *fiberglass*, sedangkan pada komposit *sandwichinfill* 20% nilai paling tinggi 27,52MPa pada variasi 3 lapis *fiberglass*. Dapat dilihat produk spesimen komposit *sandwichinfill* 20% lebih baik kekuatannya dan kekakuan karna mendapatkan nilai tegangan bending jauh lebih unggul.

Dan untuk modulus elastisitas bending, dapat dilihat nilai modulus paling tinggi pada komposit *sandwich infill* 20% 3 lapis *fiberglass* dengan nilai 63,53 MPa, Hal ini membuktikan bahwa produk spesimen komposit *sandwichinfill* 20% memiliki kekakuan yang lebih tinggi, karena memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan komposit *sandwich infill* 10%.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Density

Kategori	P (mm)	L (mm)	T (mm)	V (mm ³)	Massa (gr)	Density (gr/cm ³)
10% 1 lapis FG	150	12,28	10,67	19654,14	8	0,407
10% 2 lapis FG		13,76	12,07	24912,48	13	0,521
10% 3 lapis FG		12,18	13,79	25194,33	15	0,595
10% 1 lapis LS		13,21	13,13	26017,09	11	0,422
20% 1 lapis FG		13,14	10,93	21543,03	10	0,464
20% 2 lapis FG		12,94	12,5	24262,5	14	0,577
20% 3 lapis FG		12,90	13,77	26644,95	16	0,600
20% 1 lapis LS		12,86	12,71	24517,59	12	0,489

Pada tabel 4.9, menunjukkan massa jenis masing masing spesimen, selanjutnya akan dihitung kekakuan dari penampang menggunakan persamaan 2.5 dengan contoh seperti berikut :

Diketahui : $E_b = 31,53 \text{ MPa}$

$$= 31,53 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 1243,11 \text{ mm}^4$$

$$D = E \times I$$

$$D = 31,53 \times 1243,11$$

$$D = 39195,25 \text{ N/mm}^2 = 39,19 \text{ GPa}$$

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Kekakuan

Kategori	D (GPa)
10% 1 lapis fiberglass	39,19
10% 2 lapis fiberglass	39,74
10% 3 lapis fiberglass	48,20
10% 1 lapis lantorsoric	40,09
20% 1 lapis fiberglass	73,17
20% 2 lapis fiberglass	78,32
20% 3 lapis fiberglass	183,42
20% 1 lapis lantorsoric	41,67

Karena setiap spesimen memiliki perbedaan luas penampang, maka nilai dari kekakuan yang didapat dibagi dengan nilai masa jenis atau density (pada tabel 4.9) masing-masing spesimen, untuk mencari nilai kekakuan yang pasti, digunakan persamaan berikut sebagai contoh :

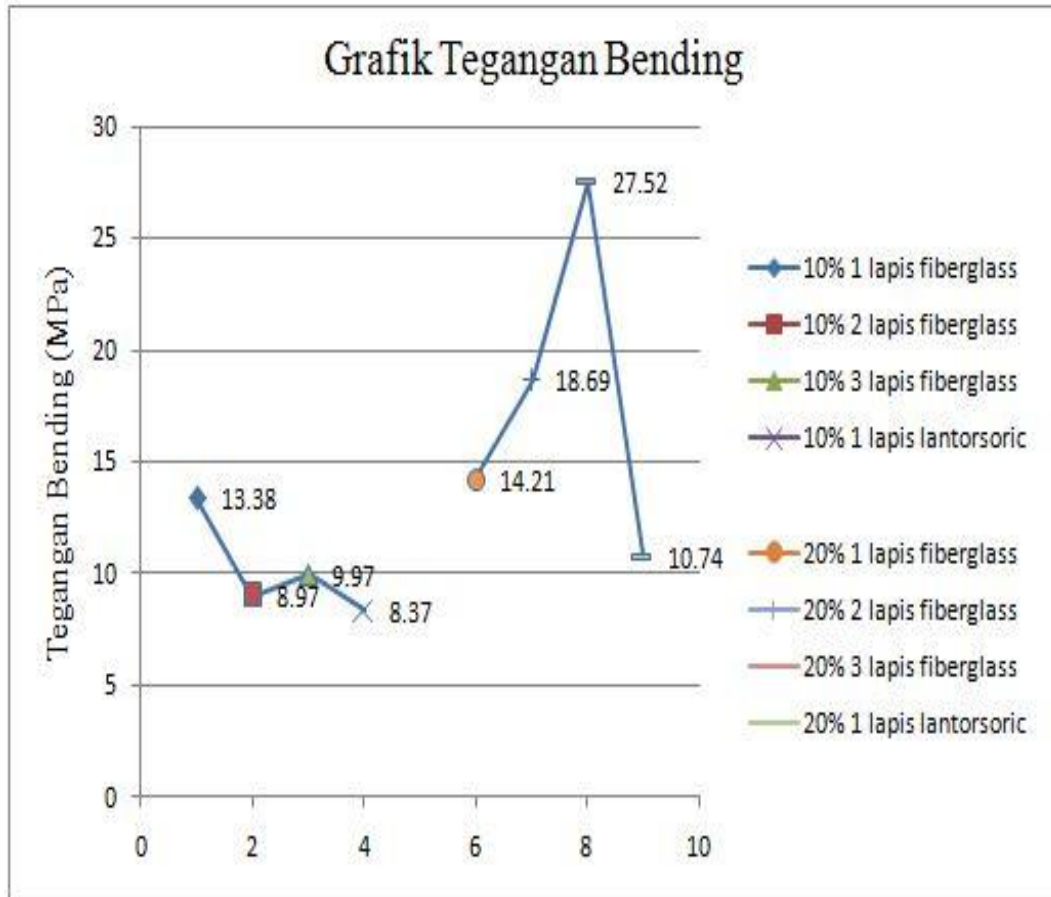
$$\text{Kekakuan} = \frac{39,19}{0,407} = 96,30$$

Tabel 4.11 Hasil Akhir Perhitungan Kekakuan

Kategori	D (GPa)	Density (gr/cm ³)	Hasil Akhir
10% 1 lapis fiberglass	39,19	0,407	96,30
10% 2 lapis fiberglass	39,74	0,521	76,27
10% 3 lapis fiberglass	48,20	0,595	81,01
10% 1 lapis lantorsoric	40,09	0,422	95
20% 1 lapis fiberglass	73,17	0,464	157,70
20% 2 lapis fiberglass	78,32	0,577	135,74
20% 3 lapis fiberglass	183,42	0,600	305,70
20% 1 lapis lantorsoric	41,67	0,489	85,22

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat nilai kekakuan tertinggi pada komposit *sandwich infill* 20% 3 lapis fiberglass dengan nilai 305,70 setelah dibagi dengan massa jenis, dan spesimen tersebut memiliki massa jenis yang cukup ringan bila dibandingkan dengan spesimen yang lainnya, karena perbedaan massa jenis yang sedikit dengan spesimen lainnya, hal ini membuktikan bahwa spesimen tersebut dapat menahan beban tekan yang lebih tinggi dari variasi komposit *sandwich* lainnya.

Setelah melakukan pengujian bending terhadap spesimen dan setelah melakukan analisis data hasil dari pengujian bending didapat perbedaan tiap hasil variasi komposit yang telah dibuat, dimana hasil nilai komposit *sandwich infill* 20% lebih unggul dibanding hasil nilai komposit *sandwich infill* 10%, hal ini membuktikan bahwa pemilihan keregangan *infill* dari 3D Printing yang digunakan sangat mempengaruhi kekuatan spesimen, semakin rapat *infill* maka semakin kuat produk tersebut, tetapi tetap memiliki massa jenis yang ringan, serta lapisan yang digunakan untuk melapisi 3D Printing spesimen juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan spesimen.



Gambar 4.10 Grafik Rata-Rata Tegangan Bending Pada Produk Komposit *Sandwich Infill* 10% dan 20% Menggunakan Analisis Perhitungan

Setelah dilakukan pengujian serta menganalisis data yang didapat jika dilihat pada gambar 4.8 dan 4.10 pada variasi 1 lapis *fiberglass infill* 10%, 2 lapis *fiberglass infill* 10%, dan 3 lapis *fiberglass infill* 10%, hasil dari variasi 1 lapis *fiberglass infill* 10% lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan variasi 2 lapis *fiberglass infill* 10% dan 3 lapis *fiberglass infill* 10%.

Jika dilihat dari hasil pengamatan spesimen setelah dilakukan pengujian, pada spesimen dengan *infill* 10% pada variasi 2 lapis *fiberglass* dan 3 lapis *fiberglass*, spesimen mengalami kerusakan lebih kritis serta lapisan resin pada spesimen tersebut langsung terlepas tidak seperti pada variasi spesimen 1 lapis, tidak mengalami kerusakan yang kritis dan lapisan resin tidak terlepas. Hal ini mungkin saja bisa menyebabkan spesimen yang mengalami kerusakan lebih kritis tidak dapat menerima beban berlebih karna spesimen langsung rusak. Dapat dilihat pada gambar hasil pengamatan spesimen setelah diuji dibawah.



Gambar 4.11 Spesimen 1 Lapis *Fiberglass Infill* 10%



Gambar 4.12 Spesimen 2 Lapis *Fiberglass Infill* 10%



Gambar 4.13 Spesimen 3 Lapis *Fiberglass Infill* 10%

Pada saat melakukan pembuatan spesimen uji pada proses pencampuran antara resin dan katalis pencampuran dilakukan dengan takaran resin 100ml dengan katalis 1ml, dan pada saat melakukan pelapisan *fiberglass* pada spesimen, resin diratakan dengan kuas dan saat meratakan resin ketebalan resin hanya dilihat secara visual dari atas produk.

Bisa jadi dari 2 hal tersebut yang telah dijelaskan merupakan penyebab kenapa pada variasi 1 lapis *fiberglassinfill* 10% hasilnya bisa lebih besar dibanding 2 lapis *fiberglass infill* 10% dan 3 lapis *fiberglass infill*10%.

Pada penelitian selanjutnya diharapkan agar dilakukan secara hati – hati mulai dari proses pembuatan produk sampai dengan proses pengujian produk, serta mengikuti standar yang sudah ada sebelumnya agar mendapatkan hasil produk yang lebih baik.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kekuatan bending pada variasi komposit *sandwichinfill* 10% dengan rata-rata tegangan bending 10,13MPa dengan nilai tertinggi 13,39MPa pada variasi 1 lapis *fiberglass*. Sedangkan pada variasi komposit *sandwichinfill* 20% didapatkan tegangan bending dengan rata-rata 17,79 MPa dengan nilai tertinggi 27,48MPa pada variasi 3 lapis *fiberglass*.
2. Kekuatan produk komposit *sandwichinfill* 10% dan 20% berbeda dimana komposit *sandwichinfill* 20% memiliki kekuatan yang lebih baik karena memiliki nilai beban maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan komposit *sandwichinfill* 10% yaitu didapatkan pada komposit *sandwichinfill* 20% beban rata-rata 520 Newton dan memiliki nilai beban maksimal 935 Newton pada variasi 3 lapis *fiberglass*. Sedangkan pada komposit *sandwichinfill* 10% beban rata-rata 271,25 Newton dan memiliki nilai beban maksimal 315 Newton pada variasi 3 lapis *fiberglass*.
3. Dari data hasil pengujian metode *Three Point Bending*, dan data hasil analisis perhitungan didapatkan hasil yang kurang lebih sama, hasil tegangan bending *Three Point Bending* pada komposit *sandwich infill* 10% yaitu dengan nilai tertinggi 13,39MPa sedangkan analisis perhitungan 13,38MPa, hasil tegangan bending *Three Point Bending* pada komposit *sandwich infill* 20% yaitu dengan nilai tertinggi 27,48MPa sedangkan analisis perhitungan 27,52Mpa. Dimana hasil komposit *sandwich infill* 20% jauh lebih unggul.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk dilakukan perkembangan dan perbaikan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya adalah :

1. Pada saat melakukan proses laminasi dilakukan dengan hati-hati dan sebaik mungkin karena sangat mempengaruhi kekerasan dari spesimen tersebut.
2. Penambahan variasi *infill* untuk mendapatkan produk yang jauh lebih bagus kekuatannya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut seperti pengujian kekerasan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus Hariyanto, 2007. Peningkatan Ketahanan Bending Komposit Hibrid *Sandwich* Serat Kenaf dan Serat Gelas Bermatrik Polyester dengan Core Kayu Sengon Laut. Media mesin 8.
- Matthews, F.L., Rawlings, RD. (1993). Composite Material Engineering And Science, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, UK.
- Anonim, 2004. "Annual Book ASTM Standart", American Society for Testing Materials, USA.
- Diharjo, K., dan Triyono, T., 2000. Buku Pegangan Material Teknik. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Mahmuda, E, 2013. Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk dengan Matrik Epoxy. 79-84.
- Muhajir, M., Mizar, M.A., Sudjimat, D.A., 2017. Analisis kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak. J. Tek. Mesin 24.
- Rahman Hakim et al, 2019. Pengaruh Temperatur Nozzle Dan Base Plate Pada Material Pla Terhadap Nilai Masa Jenis Dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3d Printer. J. Tekinologi Dan Ris. Terap. 1.
- Sulayman, Donny, 2015. Pengaruh Suhu Dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D",. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surak.
- Widodo, B., 2008. Analisa sifat mekanik komposit epoksi dengan penguat serat pohon aren (ijuk) model lamina berorientasi sudut acak (random). J. Teknol. Technoscientia.

Septyanto R., et al., Pengaruh Variasi Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan *Bending* Komposit Matriks Polipropilena Dengan Penguat Serat Sabut Kelapa 10%

Hariyanto, Agus. t.t. “Rekayasa Bahan Komposit *Sandwich* Hibrid Untuk Struktur Sistem Panel,” 10.

Herni, Sinarep. Analisa Kekuatan Bending Komposit Epoxy Dengan Penguatan Serat Nilon

Budi, Totok, Kuncoro., 2008. Studi Optimasi Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Nanas-Nanasan (Bromeliaceae) Kontinu Searah.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Bending Three Point Bending


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No. 194 / P.Bnd / BT.DTM.SV.UGM / 2020

Spesimen Komposit Sandwich + Hasil Printer 3 Dimensi (Sandwich + 3DP).

No.	Kode	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Gaya (Newton)	Tegangan Bending (MPa)	Pergerakan loading nose (mm)
1	10%.1.lps.1	13,63	10,78	570	25,91	14,72
2	10%.1.lps.2	12,28	10,67	260	13,39	15,28
3	10%.2.lps.1	13,59	12,00	230	8,46	15,79
4	10%.2.lps.2	13,94	12,14	260	9,11	12,62
5	10%.3.lps.1	13,06	13,98	270	7,62	15,06
6	10%.3.lps.2	11,30	13,60	360	12,40	15,09
7	10%.LS.1	13,34	13,10	400	12,58	15,39
8	10%.LS.2	13,09	13,17	130	4,12	15,06
9	20%.1.lps.1	13,14	10,93	310	14,22	9,76
10	20%.1.lps.2	12,92	10,85	520	24,62	14,39
11	20%.2.lps.1	12,76	12,75	520	18,05	15,38
12	20%.2.lps.2	13,13	12,25	530	19,37	15,50
13	20%.3.lps.1	12,80	13,76	900	26,74	8,90
14	20%.3.lps.2	13,01	13,79	970	28,23	15,27
15	20%.LS.1	12,82	12,78	260	8,94	16,88
16	20%.LS.2	12,90	12,65	360	12,56	17,38

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

1. Jarak tumpuan (L) 48 mm.
2. Pengujian dilakukan pada tanggal 03 September 2020.

Yogyakarta, 03 September 2020.
Ka Sub Laboratorium Bahan Teknik



Lilik Dwi Setyana, ST., M.T.
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Lampiran 2. ASTM D790



Designation: D 790 – 03

Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 790; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of flexural properties of unreinforced and reinforced plastics, including high-modulus composites and electrical insulating materials in the form of rectangular bars molded directly or cut from sheets, plates, or molded shapes. These test methods are generally applicable to both rigid and semirigid materials. However, flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or that do not fail in the outer surface of the test specimen within the 5.0 % strain limit of these test methods. These test methods utilize a three-point loading system applied to a simply supported beam. A four-point loading system method can be found in Test Method D 6272.

1.1.1 *Procedure A*, designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.1.2 *Procedure B*, designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.1.3 Procedure A shall be used for measurement of flexural properties, particularly flexural modulus, unless the material specification states otherwise. Procedure B may be used for measurement of flexural strength only. Tangent modulus data obtained by Procedure A tends to exhibit lower standard deviations than comparable data obtained by means of Procedure B.

1.2 Comparative tests may be run in accordance with either procedure, provided that the procedure is found satisfactory for the material being tested.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—These test methods are not technically equivalent to ISO 178.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 2002 as D 790 – 02.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing²

D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics²

D 883 Terminology Relating to Plastics²

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials³

D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens⁴

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to these test methods appear in Terminology D 883 and Annex A1 of Test Method D 638.

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1). A support span-to-depth ratio of 16:1 shall be used unless there is reason to suspect that a larger span-to-depth ratio may be required, as may be the case for certain laminated materials (see Section 7 and Note 8 for guidance).

4.2 The specimen is deflected until rupture occurs in the outer surface of the test specimen or until a maximum strain (see 12.7) of 5.0 % is reached, whichever occurs first.

4.3 Procedure A employs a strain rate of 0.01 mm/mm/min [0.01 in./in./min] and is the preferred procedure for this test method, while Procedure B employs a strain rate of 0.10 mm/mm/min [0.10 in./in./min].

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.