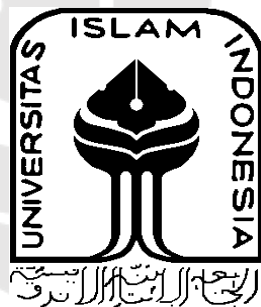


STUDI PENGARUH JENIS, KETEBALAN, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Hendra Gunawan

No. Mahasiswa : 17525077

NIRM : 2017023622

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

STUDI PENGARUH JENIS, KETEBALAN, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Hendra Gunawan

No. Mahasiswa : 17525077

NIRM : 2017023622

Yogyakarta, 19 November 2022

Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

STUDI PENGARUH JENIS, KETEBALAN, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS

TUGAS AKHIR

Di susun Oleh :

Nama : Hendra Gunawan
No. Mahasiswa : 17525077
NIRM : 2017023622

Tim Penguji

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

Ketua



Tanggal : 5 Des 2022

Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

Anggota I



Tanggal : 07/12/2022

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

Anggota II



Tanggal : 5/12/2022

Mengetahui

Dekan Jurusan Teknik Mesin



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hendra Gunawan

NIM : 17525077

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : STUDI PENGARUH JENIS, KETEBALAN, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 9 Desember 2022



Hendra Gunawan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dan ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, ibu , Kak Edy, Kak Deny, Dian, Dhea, dan keluarga besar saya yang selalu mendukung , memotivasi, dan mendoakan saya selalu.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP, selaku ketua Program Studi Teknik Mesin UII.
3. Bapak Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc, IPP selaku dosen pembimbing.
4. Heppy Murti Nityas yang selalu mensupport saya.
5. Teman – teman mahasiswa Teknik Mesin UII.
6. Semua yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Kesuksesan bukanlah kunci dari kebahagiaan. Sebaliknya kebahagiaan adalah kunci dari kesuksesan.”

(Bob Dylan)

“Kalau kamu tidak mau sekali-kali terlihat bodoh, tidak akan ada hal besar yang akan terjadi padamu”

(Robert Downey Jr)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, kecuali mereka mengubah keadaan mereka sendiri”

(QS Ar Ra'd 11)

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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

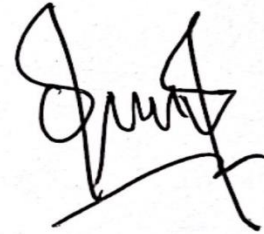
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN,Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua, ibu dan bapak terima kasih banyak atas doa yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkah, semangat, motivasi, dukungan baik secara moral dan material.
5. Kedua kakak dan kedua adek saya terima kasih banyak atas doa dan dukungan terhadap saya selama menjalankan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah mendidik, mengajarkan banyak ilmu pengetahuan tentang Teknik Mesin.
7. Heppy Murti Nityas yang selalu mensupport saya.
8. Teman seperjuangan Dimas “om dim”, Rafki Azhari “mang mulet”, Ari Asyahid “Om Ari”, Johan Pavlevi “mang Jo dan Rifki Surya “mang Sur” yang sudah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Terakhir, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi penulisan maupun penyajian dari laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik

dan saran yang membangun sangat penulis harapkan guna perbaikan. Penulis berharap penyusunan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 19 November 2022



Hendra Gunawan



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis, ketebalan, dan *core density* terhadap kekuatan *bending core* komposit *sandwich*. 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 Nmm²/gram diperoleh pada jenis pola *square* dengan ketebalan 10 mm. Untuk *core density*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik tertinggi diperoleh pada *core density* 23 %.

Kata Kunci : *Core* Komposit *Sandwich*, Filamen ABS, Kekuatan *Bending*



ABSTRACT

This study aims to determine the effect of type, thickness, and core density on the bending strength of sandwich composite cores. The test specimens were printed according to ASTM C393 standard using ABS filament. The test specimens were varied on the type of pattern, namely square, honeycomb, and triangle types, the thickness was varied at 10, 15, and 20 mm while the core density was varied at 23, 19, and 17 %. The bending test was carried out using the three point bending method. Based on the results of the tests that have been carried out, it is obtained data that the bending stress is 4.46 MPa and the modulus of elasticity is 454.93 N/mm² obtained on a square pattern type with a thickness of 10 mm. However, the bending stiffness of 2,082,949.80 Nmm² was obtained for a square pattern with a thickness of 20 mm and a specific bending stiffness of 165,855.26 Nmm²/gram was obtained for a square pattern with a thickness of 10 mm. For core density, bending stress, modulus of elasticity, bending stiffness, and the highest specific bending stiffness were obtained at core density of 23 %.

Keywords : Sandwich Composite Cores, ABS Filaments, Bending Strength

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
Abstract	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit <i>Sandwich</i>	7
2.2.2 <i>Core</i>	8
2.2.3 <i>Rapid Prototyping</i>	9
2.2.4 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	10
2.2.5 <i>3D Printing</i>	10
2.2.6 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	12
2.2.7 <i>Flashforge Creator Pro</i>	12
2.2.8 <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	14

2.2.9	<i>Infill</i>	15
2.2.10	Kekuatan <i>Bending</i>	15
Bab 3	Metode Penelitian	18
3.1	Alur Penelitian	18
3.2	Parameter Penelitian.....	19
3.2.1	Parameter Jenis Pola	20
3.2.2	Parameter Ketebalan <i>Core</i>	20
3.2.3	Parameter <i>Core Density</i>	20
3.3	Peralatan dan Bahan	21
3.3.1	Peralatan	21
3.3.2	Bahan.....	25
3.4	Dimensi <i>Core</i>	25
3.4.1	Pola <i>Square</i>	25
3.4.2	Pola <i>Triangle</i>	27
3.4.3	Pola <i>Honeycomb</i>	29
3.4.4	Pola <i>Square Core Density</i> 19 % dan 17 %	30
3.5	Proses Pembuatan <i>Core</i>	32
3.5.1	Pembuatan Desain Menggunakan <i>Software Solidwork</i> 2018.....	32
3.5.2	Memposisikan Objek 3D ke <i>Software 3D Printing (Flashprint)</i> ...	32
3.5.3	Pemilihan Parameter pada <i>Software Flashprint</i>	33
3.5.4	Pemilihan Jenis <i>Support</i>	33
3.5.5	Simulasi	34
3.6	Proses Pencetakan <i>Core</i> 3D.....	34
3.7	Pengujian <i>Bending</i>	35
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	37
4.1	Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan <i>Bending</i> , dan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik	37
4.1.1	Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	37
4.1.2	Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan <i>Core</i> Terhadap Modulus Elastisitas	44

4.1.3	Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan <i>Core</i> Terhadap Kekakuan <i>Bending</i>	46
4.1.4	Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan <i>Core</i> Terhadap Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	48
4.2	Pengaruh Variasi <i>Core Density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan <i>Bending</i> , dan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	50
4.2.1	Pengaruh Variasi <i>Core Density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	51
4.2.2	Pengaruh Variasi <i>Core Density</i> Terhadap Modulus Elastisitas	54
4.2.3	Pengaruh Variasi <i>Core Density</i> Terhadap Kekakuan <i>Bending</i>	55
4.2.4	Pengaruh Variasi <i>Core Density</i> Terhadap Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik	58
Bab 5	Penutup.....	61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	62
	Daftar Pustaka.....	63
	Lampiran 1	66
	Lampiran 2.....	71
	Lampiran 3.....	73
	Lampiran 4.....	74
	Lampiran 5.....	77
	Lampiran 6.....	78
	Lampiran 7.....	79



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter jenis pola	20
Tabel 3-2 Parameter ketebalan <i>core</i>	20
Tabel 3-3 Parameter <i>core density</i>	21
Tabel 4-1 Data variabel tegangan <i>bending</i> jenis pola dan ketebalan <i>core</i>	37
Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas jenis pola dan ketebalan <i>core</i>	45
Tabel 4-3 Data variabel kekakuan <i>bending</i> jenis pola dan ketebalan <i>core</i>	46
Tabel 4-4 Data variabel kekakuan <i>bending</i> spesifik jenis pola dan ketebalan <i>core</i>	49
Tabel 4-5 Data variabel tegangan <i>bending core density</i>	51
Tabel 4-6 Data variabel modulus elastisitas <i>core density</i>	54
Tabel 4-7 Data variabel kekakuan <i>bending core density</i>	56
Tabel 4-8 Data variabel kekakuan <i>bending</i> spesifik <i>core density</i>	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Struktur komposit <i>sandwich</i>	2
Gambar 2-1 Struktur komposit <i>sandwich</i>	8
Gambar 2-2 Jenis <i>core</i>	9
Gambar 2-3 Proses <i>rapid prototyping</i>	10
Gambar 2-4 <i>Computer aided design</i>	10
Gambar 2-5 Proses 3D <i>printing</i>	11
Gambar 2-6 Ilustrasi skema print FDM.....	12
Gambar 2-7 <i>Flashforge creator pro</i>	13
Gambar 2-8 a) Spesifikasi mesin <i>flashforge creator pro</i> b) Spesifikasi kapasitas dimensi cetak.....	13
Gambar 2-9 a) Data sheet ABS dan b) <i>Acrylonitrile butadiene styrene</i>	14
Gambar 2-10 a) Ilustrasi padatan <i>infill</i> b) Tipe <i>Infill</i>	15
Gambar 2-11 a) <i>Three point bending</i> , b) Pembebanan lentur <i>bending</i>	16
Gambar 3-1 Diagram alur penelitian.....	19
Gambar 3-2 Laptop lenovo legion 5.....	21
Gambar 3-3 <i>Software solidwork 2018</i>	22
Gambar 3-4 <i>Software flashprint</i>	22
Gambar 3-5 Mesin <i>flashforge creator pro</i>	23
Gambar 3-6 Mesin uji <i>bending</i> JTM-UTC 220 serial 660.....	23
Gambar 3-7 Timbangan digital.....	24
Gambar 3-8 Jangka sorong digital 0,02 mm.....	24
Gambar 3-9 Filamen ABS.....	25
Gambar 3-10 a) Pola <i>square</i> ketebalan <i>core</i> 10 mm b) Pola <i>square</i> ketebalan <i>core</i> 15 mm c) Pola <i>square</i> ketebalan <i>core</i> 20 mm.....	26
Gambar 3-11 a) Pola <i>triangle</i> ketebalan <i>core</i> 10 mm, b) Pola <i>triangle</i> ketebalan <i>core</i> 15 mm, c) Pola <i>triangle</i> ketebalan <i>core</i> 20 mm.....	28
Gambar 3-12 a) Pola <i>honeycomb</i> ketebalan <i>core</i> 10 mm, b) Pola <i>honeycomb</i> ketebalan <i>core</i> 15 mm, c) Pola <i>honeycomb</i> ketebalan <i>core</i> 20 mm.....	30
Gambar 3-13 a) Pola <i>square core density</i> 19%, b) Pola <i>square core density</i> 17%.....	31

Gambar 3-14 Proses desain menggunakan <i>solidwork</i> 2018	32
Gambar 3-15 Posisi objek 3D di <i>flashprint</i>	33
Gambar 3-16 Parameter <i>flashprint</i>	33
Gambar 3-17 <i>Support</i> dan <i>raft</i>	34
Gambar 3-18 Simulasi <i>flashprint</i>	34
Gambar 3-19 Proses pencetakan 3D	35
Gambar 3-20 <i>Three point bending</i>	35
Gambar 4-1 Pengaruh jenis pola dan tebal <i>core</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	38
Gambar 4-2 a) Pola <i>square</i> 20 mm, b) Pola <i>square</i> 15 mm c) Pola <i>square</i> 10 mm	39
Gambar 4-3 a) Pola <i>triangle</i> 20 mm, b) Pola <i>triangle</i> 15 mm, c) Pola <i>triangle</i> 10 mm.....	41
Gambar 4-4 a) Pola <i>honeycomb</i> 20 mm, b) Pola <i>honeycomb</i> 15 mm c) Pola <i>honeycomb</i> 10 mm	43
Gambar 4-5 Perbandingan massa jenis (<i>density</i>) jenis pola dan tebal <i>core</i>	44
Gambar 4-6 Pengaruh jenis pola dan tebal <i>core</i> terhadap modulus elastisitas.....	45
Gambar 4-7 Pengaruh jenis pola dan tebal <i>core</i> terhadap kekakuan <i>bending</i>	47
Gambar 4-8 Perbandingan <i>volume</i> jenis pola dan tebal <i>core</i>	48
Gambar 4-9 Pengaruh jenis pola dan tebal <i>core</i> terhadap kekakuan spesifik	50
Gambar 4-10 Pengaruh <i>core density</i> pola terhadap tegangan <i>bending</i>	52
Gambar 4-11 a) <i>Square core density</i> pola 19 %, b) <i>Square core density</i> pola 17 %	53
Gambar 4-12 Pengaruh <i>core density</i> pola terhadap modulus elastisitas	55
Gambar 4-13 Pengaruh <i>core density</i> pola terhadap kekakuan <i>bending</i>	57
Gambar 4-14 Perbandingan <i>volume core density</i>	58
Gambar 4-15 Pengaruh <i>core density</i> pola terhadap kekakuan <i>bending</i> spesifik ..59	

DAFTAR NOTASI

σ_b	= Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
E_b	= Modulus Elastisitas <i>Bending</i> (N/mm ²)
P	= Beban yang diberikan (N)
L	= Jarak antara titik tumpuan (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
h	= Tebal spesimen (mm)
D	= Kekakuan <i>bending</i> (Nmm ²)
δ	= Defleksi (mm)
ρ	= Massa jenis (gr/cm ³)
I	= Momen Inersia (mm ⁴)
D Spe	= Kekakuan Spesifik (Nmm ² /gram)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

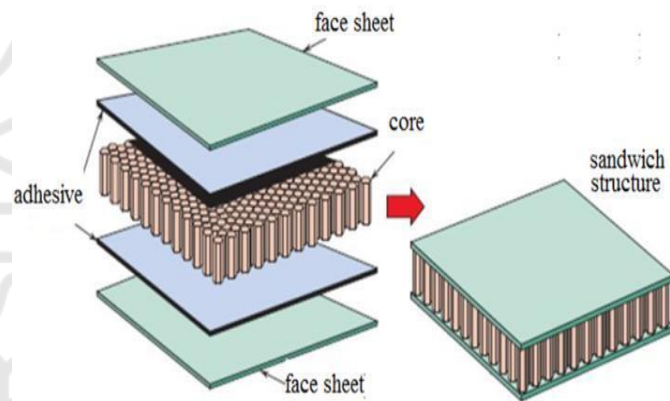
Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi banyak sekali mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya adalah UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) dimana sistem penerbangannya tidak menggunakan awak atau tanpa pilot didalamnya (Saputra & Pramujati, 2013). Berdasarkan jenisnya, UAV sendiri memiliki dua jenis yaitu *multicopter* dan *fixed wing*. Untuk penelitian ini penulis akan membahas tentang penggunaan material 3D *Printing* terhadap kekuatan dari *fixed wing*.

Fixed wing adalah suatu UAV yang dimana mempunyai sayap yang tetap dan sayap tersebut merupakan komponen penggerak utama dari pesawat. Dalam pembuatan *frame fixed wing* biasanya digunakan bahan dari aluminium, kayu, *plastic* dan *carbon fiber*. Tetapi biasanya material dari sebuah pesawat terbang dalam kasus ini adalah UAV dibutuhkan sebuah material yang kaku, tidak mudah patah, tahan terhadap getaran. Dan dari semua kriteria tersebut biasanya materialnya menggunakan aluminium tetapi aluminium sendiri tidak ringan dalam fisiknya (Suzanna, 2013). Maka dari itu penelitian ini mengharapkan dengan adanya pergantian bahan dari aluminium menjadi 3D *Print* dengan metode komposit *sandwich* dengan tujuan untuk mendapatkan sifat material yang lebih ringan dari aluminium tetapi mempunyai kekuatan yang lebih tinggi.

Komposit adalah suatu bahan material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih komponen dengan campuran yang tidak homogen dengan masing – masing komponen memiliki sifat mekanik yang berbeda. Komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur yaitu serat sebagai bahan pengisi dan serat matriks sebagai pengikat. Campuran ini menghasilkan material komposit dengan sifat mekanik dan sifat yang berbeda dari bahan cetak (Muhajir et al., 2016).

Saat ini komposit tidak hanya berfokus pada pengembangan variasi penguat atau variasi serat saja tetapi sedang dikembangkan material komposit jenis baru yaitu material komposit *sandwich*. Komposit *sandwich* adalah jenis

komposit yang terbuat dari lapisan yang terdiri dari dua *face* (lapisan terluar), *adhesive* (pengikat), dan *core* (inti). Komposit memiliki beberapa keunggulan seperti mampu menjadi bentuk yang sangat baik, biaya rendah, gaya normal yang meningkat secara signifikan dan ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan komposit. . Sifat struktur *sandwich* bergantung pada sifat inti (*core*), kulit (*face*) dan jenis perekat (*adhesive*) yang digunakan (Bimawan, 2007). Struktur komposit *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 1- 1.



Gambar 1-1 Struktur komposit *sandwich*

Sumber : (Dinur, 2019)

Pada Gambar 1-1 menunjukkan susunan struktur komposit *sandwich* dengan 3 lapisan yang penting yaitu *face* (lapisan terluar), *adhesive* (perekat) dan *core* (inti). *Face* dalam struktur komposit *sandwich* terbuat dari bahan komposit jadi dan berfungsi sebagai penopang untuk beban aksial dan *bending*. Untuk *core* (inti) memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban aksial ke beban geser pada seluruh luasan yang disebabkan oleh beban luar. Sedangkan *adhesive* berfungsi untuk merekatkan antara *face* dan *core*.

Pada komposit *sandwich core* (inti) memiliki salah satu peranan penting dimana *core* pada komposit *sandwich* juga digunakan untuk memperkuat sifat mekanik menjadi lebih kaku, kuat dan tangguh dibandingkan dengan tidak adanya menggunakan *core* (Pratama, 2022). Selain itu beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik *core* pada komposit *sandwich* antara lain jenis *core* dan ukuran dari *core*. Dalam pembuatan *core*, banyak metode saat pembuatannya salah satu nya yang umum paling digunakan adalah metode 3D *Printing*.

Penggunaan 3D *printing* tidak terlepas dari fungsinya yaitu dapat membuat produk dapat diproduksi dengan cepat, mudah dan detail. Untuk hasilnya juga biasanya menjadi lebih optimal (Putra & Sari, 2018). 3D Print berkembang mengikuti banyaknya *software* desain yang berbeda dengan tujuan produk 3D dapat dicetak dan di produksi menggunakan 3D *Printing*. *Software* yang digunakan dalam proses desain 3D adalah CAD *Inventor*, *Solidwork* atau biasa *SketchUp*.

Penelitian tentang jenis *core* dan ukuran dari *core* sudah beberapa kali dilakukan salah satunya oleh Finali et al (2021) menyatakan bahwa variasi jenis pola (*pattern*) pada *core* mempengaruhi nilai rata rata tegangan dengan pola *rectilinear*, *triangular*, *honeycomb* menggunakan filamen PLA+ dan didapatkan hasil bahwa pola *triangular* memiliki nilai tegangan tertinggi. Kemudian penelitian selanjutnya Ashfan (2022) terkait dengan ukuran *core* menggunakan ketebalan *core* 5, 10, dan 20 mm pola *honeycomb* mendapatkan bahwa ketebalan *core* 15 mm memiliki nilai tegangan *bending* tertinggi.

Berdasarkan uraian diatas tersebut penulis melakukan penelitian terkait beberapa parameter atau studi pengaruh untuk penggunaan *core* 3D *Print* menggunakan filamen ABS dengan metode komposit *sandwich* dan *core* dibuat berlubang dengan tujuan untuk mengurangi massa. Parameter yang diteliti adalah jenis pola, ketebalan *core*, dan *core density* yang bertujuan untuk penggunaan material *fixed wing* UAV.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah pada penelitian yaitu :

1. Bagaimana pengaruh jenis pola terhadap kekuatan *bending* pada *core* yang dicetak menggunakan ABS?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan *core* 3D terhadap kekuatan *bending* pada *core* yang dicetak menggunakan ABS?
3. Bagaimana pengaruh *core density* pola terhadap kekuatan *bending* pada *core* yang dicetak menggunakan ABS?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Spesimen yang digunakan adalah standar ASTM C393.
2. Bahan pembuatan spesimen adalah ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*).
3. Pembuatan spesimen dilakukan dengan tiga variasi bentuk pola (*pattern*) yaitu *honeycomb*, *triangle*, *square* dengan *fill pattern* mengikuti bentuk pola yaitu *hexagon (honeycomb)*, *triangle (triangle)* dan *line (square)*.
4. Pembuatan spesimen dilakukan dengan tiga variasi ketebalan *core* yaitu 10, 15, dan 20 mm dengan *infill* 100%.
5. *Core density* pola di variasikan 23, 19, dan 17 %.
6. Jarak antar pola pada *core* adalah 0,5 mm.
7. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen saja dan pengujian yang dilakukan adalah pengujian *three point bending*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi jenis pola, ketebalan *core*, dan variasi *core density* pola pada *core 3D Printing* yang dicetak menggunakan filamen ABS terhadap kekuatan *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan spesimen menggunakan 3D *Print*.
2. Mengetahui jenis pola, ketebalan *core* serta *core density* pola 3D *Print* terbaik pada spesimen ASTM C393.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang melandasi 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 analisa data, hasil pengujian bending, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam proses mencetak *core 3D print* diperlukan beberapa parameter penting dalam pengerjaannya seperti penggunaan filamen sebagai bahan utama. Penelitian terkait filamen pada proses *3D print* telah dilakukan pada tahun 2020 dimana peneliti bernama Laily Noor Ikhsanto dan Zainuddin meneliti tentang filamen ABS dan PLA dan ditulis dalam jurnal dengan judul “Analisa Kekuatan *Bending* Filamen ABS dan PLA Pada Hasil *3D Printer* Dengan Variasi Suhu *Nozzle*” dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan dan pengaruh suhu dari jenis filamen ABS dan PLA dari hasil proses *3D Printing* terhadap kekuatan *bending*. Penelitian ini menunjukkan bahwa filamen ABS lebih kuat menahan beban yang lebih berat dibandingkan PLA (Ikhsanto, Noor & Zainuddin, 2020).

Selanjutnya setelah mengetahui bahwa filamen ABS lebih baik saat digunakan pada *3D print*, parameter berikutnya adalah terkait penggunaan jenis pola pada *3D Print*. Finali et al (2021) meneliti tentang “Analisis Variasi *Pattern 3D Printing* terhadap Kekuatan Tarik”. *Pattern* yang diaplikasikan terhadap produk *3D Printing* adalah *rectilinear*, *grid*, *triangular*, *wiggle* dan *honeycomb*. Setelah dilakukan pengujian untuk hasilnya adalah produk dengan *pattern triangular* merupakan *pattern* dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 29,01 N/mm². Spesimen yang digunakan adalah standar ASTM D638.

Hal lain yang penting saat melakukan pembuatan *core* adalah persentase *infill* dimana persentase *infill* juga diperlukan sebagai parameter *3D Print* yang fungsinya untuk mengisi struktur dalam dari jenis pola *core* agar bisa dicetak dengan mesin pencetak. Hal ini dibuktikan oleh Prasetyaning Utomo et al (2021) dengan meneliti terkait presentase *infill* dengan jurnal berjudul “Pengaruh Presentase *Infill* pada Proses *3D Printing FDM* terhadap Sifat Mekanik”. Presentase *infill* yang digunakan pada penelitian ini adalah 60%, 80% dan 100% dengan spesimen menggunakan standar ASTM D638. Setelah dilakukan

pengujian tarik, kemudian didapatkan hasil terbaik dengan presentase *infill* 100% dengan nilai kekuatan sebesar 27,89 N/mm².

Kemudian setelah mendapatkan material terbaik, *pattern* terbaik dan persentase *infill* maka parameter yang dibahas adalah terkait ketebalan dari *core*. Fungsi dari ketebalan *core* adalah untuk mengetahui apakah ukuran tebal *core* berpengaruh terhadap kekuatan *core*. Penelitian ini telah dilakukan oleh Ashfan (2022) dimana meneliti “Pengaruh Ketebalan *Core* (3D Print) dengan Bahan PLA (*Polyactic-Acid*) terhadap Uji *Bending* Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*”. Ketebalan *core* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 mm, 10 mm, dan 15 mm dan didapatkan untuk ketebalan *core* spesimen terbaik adalah ukuran 15 mm dengan nilai kekakuan *bending* 5,7 Gpa.

Perbedaan pada penelitian ini adalah dilakukan studi pengaruh jenis pola, ketebalan *core* serta *core density* terhadap kekuatan *bending* yang dicetak menggunakan filamen ABS. Jenis pola yang digunakan adalah *square*, *triangle* dan *honeycomb* dengan *infill* 100%. Ketebalan *core* yang digunakan adalah 10, 15, dan 20 mm dengan *core density* yaitu 23, 19, dan 17 %. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah standar ASTM C393 dengan ukuran 100 x 37,5 mm dan spesimen dibuat berlubang dengan tujuan untuk mengurangi massa secara signifikan.

2.2 Dasar Teori

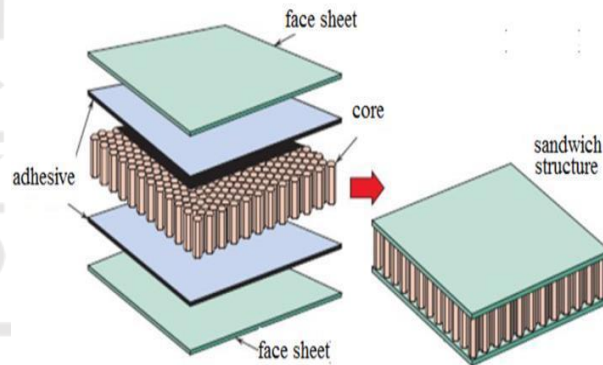
2.2.1 Komposit *Sandwich*

Komposit adalah suatu bahan material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih komponen dengan campuran yang tidak homogen dimana masing – masing komponen memiliki sifat mekanik yang berbeda. Komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur yaitu serat sebagai bahan pengisi dan serat matriks sebagai pengikat. Campuran ini menghasilkan material komposit dengan sifat mekanik dan sifat yang berbeda dari bahan cetak (Muhajir et al., 2016). Di dalam perkembangannya, serat yang digunakan pada komposit tidak hanya serat

sintesis (*fiberglass*) saja tetapi juga banyak digunakan serat dari bahan alami (*natural fiber*).

Saat ini komposit tidak hanya berfokus pada pengembangan variasi penguat atau variasi serat saja tetapi sedang dikembangkan material komposit jenis baru yaitu material komposit *sandwich*. Komposit *sandwich* adalah jenis komposit yang terbuat dari lapisan yang terdiri dari dua *face* (lapisan terluar), *adhesive* (pengikat), dan *core* (inti). Komposit ini memiliki beberapa keunggulan seperti mampu menjadi bentuk yang sangat baik, biaya rendah, gaya normal yang meningkat secara signifikan dan ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan komposit.

Face dalam struktur komposit *sandwich* terbuat dari bahan komposit jadi dan berfungsi sebagai penopang untuk beban aksial dan *bending*. Untuk *core* (inti) memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban aksial ke beban geser pada seluruh luasan yang disebabkan oleh beban luar. Sedangkan *adhesive* berfungsi untuk merekatkan antara *face* dan *core*. Susunan struktur komposit *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Struktur komposit *sandwich*

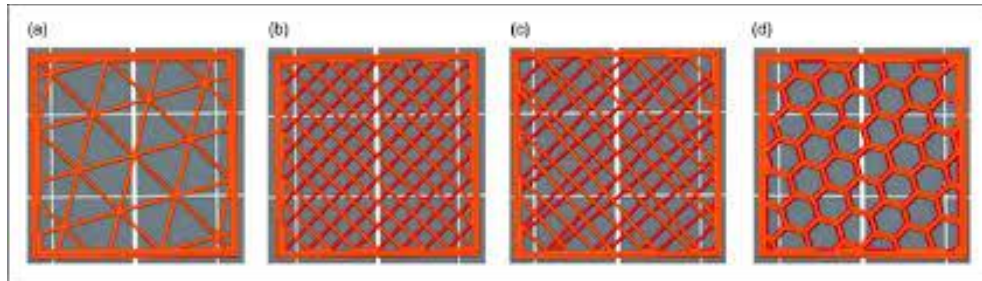
Sumber : (Dinur, 2019)

2.2.2 Core

Salah satu bagian penting dari komposit *sandwich* adalah *core* (inti) yang harus cukup kaku untuk menjaga jarak antar permukaan. Karena kekakuannya, *core* harus mampu menahan gaya geser dan mencegah slide antar permukaan. Bahan dengan kekakuan rendah tidak cocok untuk *core* karena mengurangi atau

menghilangkan kekuatan lapisan *sandwich*. Selain densitas rendah *core* biasanya memiliki persyaratan lain antara lain kadar air, *buckling*, umur panjang, dan sebagainya (Hidayat et al., 2016).

Beberapa jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich* di antara lain jenis *honeycomb*, *triangular* dan lainnya. Beberapa jenis *core* dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Jenis *core*

Sumber : (Ma et al., 2021)

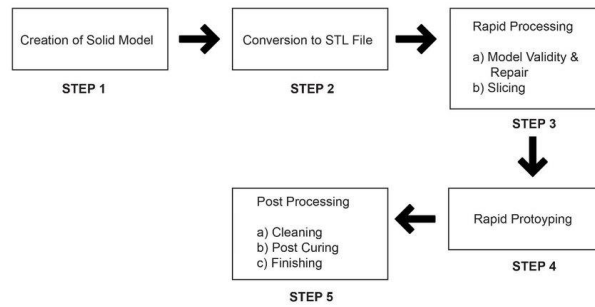
2.2.3 *Rapid Prototyping*

Rapid Prototyping adalah suatu metode atau teknik membuat produk berupa desain dengan CAD (*Computer Aided Design*) dan hasilnya kemudian dicetak menggunakan mesin dengan sistem *rapid prototyping* yaitu *3D Printing* dan CNC sehingga menghasilkan model yang nyata sesuai dengan desain (Rinanto & Sutopo, 2017).

Dengan adanya *rapid prototyping* seorang desainer dapat menganalisa kesalahan seperti memperbaikinya dan menganalisa ketidaksesuaian pada desain untuk menyempurnakan produk yang ingin di produksi. *Rapid prototyping* memiliki beberapa metode yang sudah berkembang hingga saat ini antara lain :

1. *Stereolithography* (SLA)
2. *Selective Laser Sintering* (SLS)
3. *Laminated Object Manufacturing* (LOM)
4. *Fused Deposition Modelling* (FDM)
5. *Solid Ground Curing* (SGC)

Pada *rapid prototyping* memiliki beberapa proses saat pembuatannya dimana dimulai dengan membuat model dan diakhiri dengan beberapa proses *finishing*. Proses *rapid prototyping* dapat ditunjukkan pada Gambar 2-3.

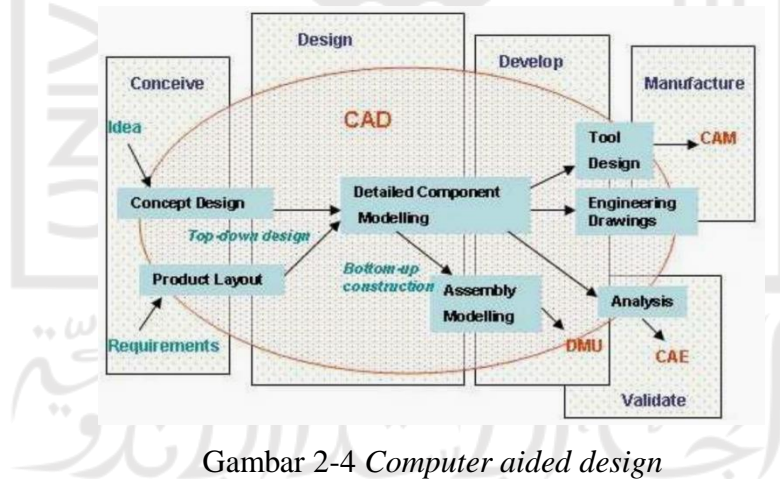


Gambar 2-3 Proses *rapid prototyping*

Sumber : (AHM Haidiezul et al., 2018)

2.2.4 Computer Aided Design (CAD)

Computer aided design (CAD) adalah adalah suatu perangkat yang fungsinya adalah membantu para *designer* atau perancang untuk memperbaiki gambar, perhitungan program - program *computer* dan elemen-elemen berhubungan dengan perancangan yang menggunakan efek grafik khusus. CAD tidak hanya meliputi selalu menggambar otomatis biasanya juga meliputi pemodelan 3 dimensi dan model operasi simulasi komputer (Ningsih, 2005). Untuk skema *computer aided design* dapat ditunjukkan pada gambar 2-4.



Gambar 2-4 *Computer aided design*

Sumber : (Ningsih, 2005)

2.2.5 3D Printing

Teknologi *3D Printing* adalah bagian dari metode manufaktur baru yang disebut metode *additive manufacturing* dimana metode ini merupakan metode kerja yang menumpuk material untuk membuat objek tiga dimensi. Metode ini

juga sering disebut dengan *rapid prototyping* karena teknologi pencetakan 3D memungkinkan objek dicetak dengan cepat selama tahap desain *prototype* (Andriyansyah et al., 2021). 3D *printing* juga adalah salah satu teknologi yang perkembangannya sedang pesat dimana produk-produk buata nnya dapat diproduksi dengan cepat, mudah dan detail. Untuk hasilnya biasanya menjadi lebih optimal. Perkembangan 3D *Print* sendiri tidak terlepas dari banyaknya software desain yang berbeda yang dimana produk 3D dapat dicetak dan di produksi menggunakan 3D *Printing*. Software yang biasa digunakan dalam proses desain 3D sendiri adalah *CAD Inventor*, *Solidwork* atau biasa *SketchUp*.

3D *Printing* memiliki suatu potensi yang sangat besar dalam dunia industri atau manufaktur sekarang dikarenakan dari segi fungsinya yaitu dapat membuat suatu produk – produk yang *flexible* (Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, 2019). Untuk material yang biasa digunakan dalam proses 3D printing pada umumnya berbahan plastik seperti *ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)* , *PLA (Polylactid Acid)*, *Nylon* dan yang lainnya.

Berdasarkan jenisnya atau metode mencetak nya dapat dibagi menjadi beberapa antara lain *Stereolithography (SLA)*, *Selective Laser Sintering (SLS)* dan *FDM (Fused Deposition Modeling)* (Rusianto & Huda, 2019).

3D *printing* mempunyai sistem kerja dimana berawal dari pembuatan 3D model menggunakan *software* desain dan terakhir adalah hasil 3D model menjadi 3D *object*. Proses 3D *Printing* dapat ditunjukkan pada Gambar 2-5.

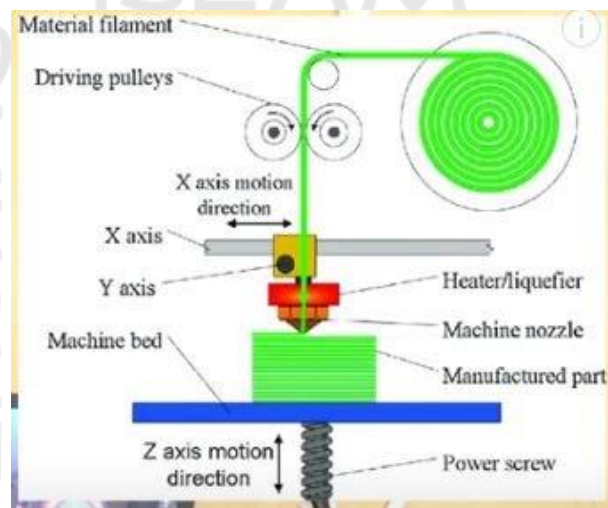


Gambar 2-5 Proses 3D *printing*

Sumber : (Abdurahman Aydin,. 2019)

2.2.6 Fused Deposition Modelling (FDM)

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah suatu teknologi dengan metodenya melunakkan dan meleburkan suatu material (*filament*) pada suhu yang sesuai dan dikeluarkan melalui mekanisme ekstruder (*nozzle*) (Carneiro et al., 2015). Untuk pembuatan suatu objeknya melalui proses lapis demi lapis dengan keterisian *filament* dengan prinsip *bottom up*. Material yang paling umum digunakan adalah ABS dan PLA. Ilustrasi skema print FDM dapat ditunjukkan pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 Ilustrasi skema print FDM

Sumber : (<https://electroloom.com/fdm-3d-printing-and-printer-guide/>)

2.2.7 Flashforge Creator Pro

Flashforge Creator Pro merupakan mesin pencetak 3D produksi dari *Flashforge* dengan tipe FDM (*Fused Deposition Modelling*). Mesin ini juga memiliki beberapa fitur didalamnya yaitu 2 kepala *ekstruder*, *bed* dengan bahan aluminium dan memiliki layar LCD berfungsi untuk menampilkan progress dari produk yang kita sedang cetak dimana progresnya berupa skala dari 0-100 %. Untuk material yang biasa digunakan pada mesin ini adalah PLA, TPU 95A, ABS, dan PETG. Mesin *flashforge creator pro* dapat ditunjukkan pada Gambar 2-7.



Gambar 2-7 *Flashforge creator pro*

Sumber : (www.flashforge.com/product-detail/flashforge-creator-pro-3d-printer)

Mesin ini memiliki spesifikasi yaitu kepala dari *ekstruder* dengan diameter *ekstruder* 0,4 mm, suhu *ekstruder* bisa mencapai 240°C dan kecepatan cetak (*print speed*) 10-100 mm/s. Untuk *bed* dari mesin ini mempunyai tebal 6,5 mm dengan suhu *bed* maksimal 120°C dan untuk ukuran kapasitas dimensi ukuran cetak suatu benda yaitu 227 mm x 148 mm x 150 mm. Untuk spesifikasi mesin dan kapasitas dimensi cetak dapat dilihat pada Gambar 2-8 a) dan b).



Gambar 2-8 a) Spesifikasi mesin *flashforge creator pro* b) Spesifikasi kapasitas dimensi cetak

Sumber : (www.flashforge.com)

2.2.8 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) merupakan bahan *thermoplastic* berisi 3 monomer pembentuk yaitu *Akrlonitril*, *Butadiene* dan *Stirena*. *Akrlonitril* bersifat stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimia. *Butadiene* bersifat ketahanan pukul dan mempunyai sifat yang liat (*toughness*). *Stirena* bersifat menjamin kekakuan (*rigidity*) dan gampang untuk di proses (Mujiarto, 2005).

ABS dapat diproses dengan berbagai teknik seperti teknik cetak injeksi, *thermoforming*, cetak tiup, roto *moulding* dan cetak kompresi. Untuk sifat ABS adalah *higroskopis* yaitu cara penggunaannya harus dikeringkan dahulu sebelum proses pelehan. Untuk spesifikasi dari ABS dan filamen ABS dapat dilihat pada dan 2-9 a) dan b)

eSUN 3D PRINTING FILAMENT (Φ : 1.75mm / 3.00mm)

FILAMENT	Print Temp(°C)	Bed Temp(°C)	Density (g/cm ³)	Distortion Temp (°C,0.45MPa)	Melt Flow Index (g/10min)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Bending Strength (MPa)	Bending Strength (MPa)	IZOD Impact Strength (kJ/m ²)
PLA	190-210	No Heat/(60-80)	1.24	56	5(190°C/2.16kg)	65	8	97	3600	4
PLA-	205-225	No Heat/(60-80)	1.24	52	2(190°C/2.16kg)	60	29	87	3642	7
ABS	220-260	110	1.04	78	12(220°C/10kg)	43	22	66	2348	19
ABS+	220-260	110	1.06	73	15(220°C/10kg)	40	30	68	2443	42
HIPS	220-260	110	1.05	80	3(200°C/5kg)	27	55	39	2280	11
PETG	230-250	No Heat/80	1.23	64	20(250°C/2.16kg)	49	228	66	2027	8

a)



b)

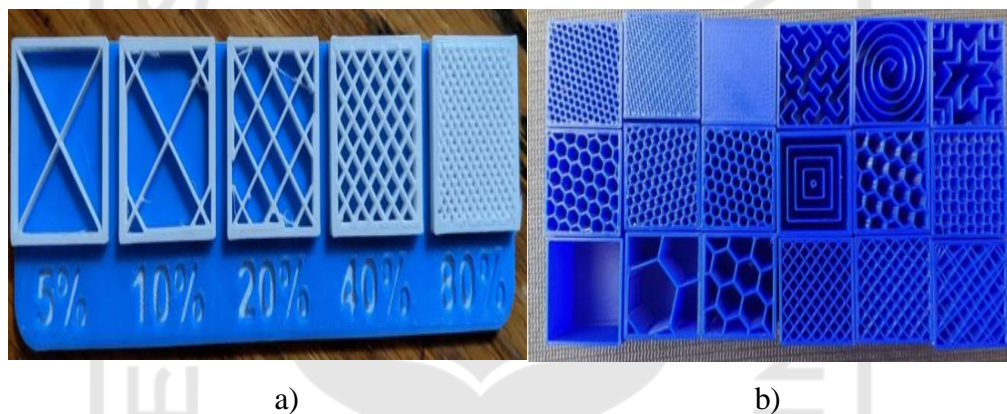
Gambar 2-9 a) Data sheet ABS dan b) *Acrylonitrile butadiene styrene*

Sumber : (<https://www.colido.com/colido-abs-filament/>)

2.2.9 Infill

Infill adalah sebuah motif yang berada di dalam objek benda 3D *Print* yang fungsinya sebagai struktur dalam agar bisa dicetak dengan mesin pencetak. Semakin banyak *infill* yang ada pada objek, maka semakin padat juga objek tersebut. Tetapi semakin padat juga *infill* yang berada didalam objek maka semakin lama juga waktu yang dibutuhkan untuk membuat objek tersebut dengan mesin pencetak.

Ilustrasi banyaknya *infill* atau padatan dapat dilihat pada Gambar 2-10 a) dan b)



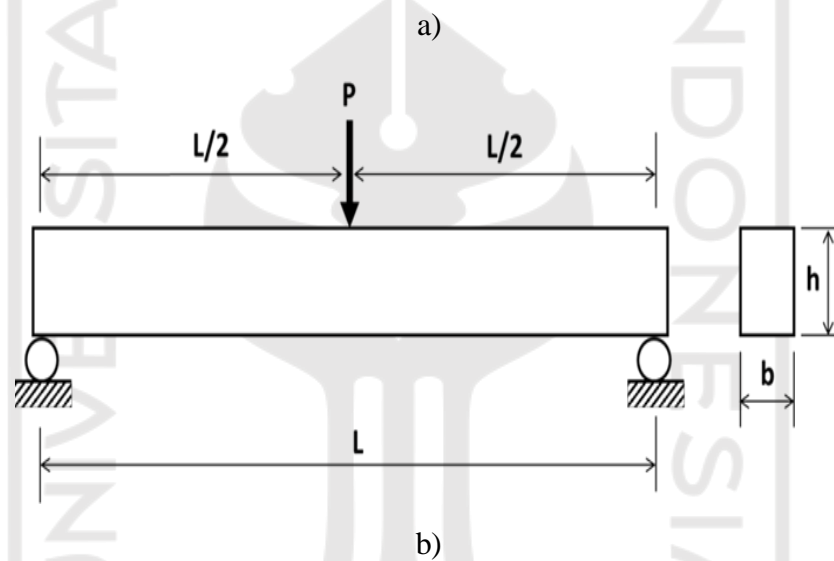
Gambar 2-10 a Ilustrasi padatan *infill* b Tipe Infill

Sumber : (www.all3dp.com)

2.2.10 Kekuatan *Bending*

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material dapat dilakukan dengan pengujian *bending*. Kekuatan *bending* adalah tegangan lentur maksimum yang dapat diterima oleh beban luar tanpa mengalami deformasi atau kegagalan yang besar. Besarnya kekuatan *bending* tergantung pada jenis material dan beban. Sebagai hasil pengujian *bending* bagian atas material mengalami tekanan dan bagian bawah mengalami tegangan tarik (Belieu et al., 2016).

Pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian yang pada umumnya digunakan yaitu *four point bending* dan *three point bending*. Untuk penelitian ini menggunakan mesin *three point bending* yang ditunjukkan pada Gambar 2-11 a) dan ilustrasi *three point bending* ditunjukkan pada Gambar 2-11 b).



Gambar 2-11 a) *Three point bending*, b) *Pembebanan lentur bending*

Rumus - rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* menggunakan metode *three point bending* adalah sebagai berikut:

A. *Tegangan Bending*

$$\sigma b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

B. *Momen Inersia*

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

C. *Modulus Elastisitas*

$$E = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

D. Kekakuan *Bending*

$$D = E \times I$$

E. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$D \text{ Spesifik} = D / W$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan *Bending* (MPa)

E = Modulus Elastisitas *Bending* (N/mm²)

P = Beban yang di berikan (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)

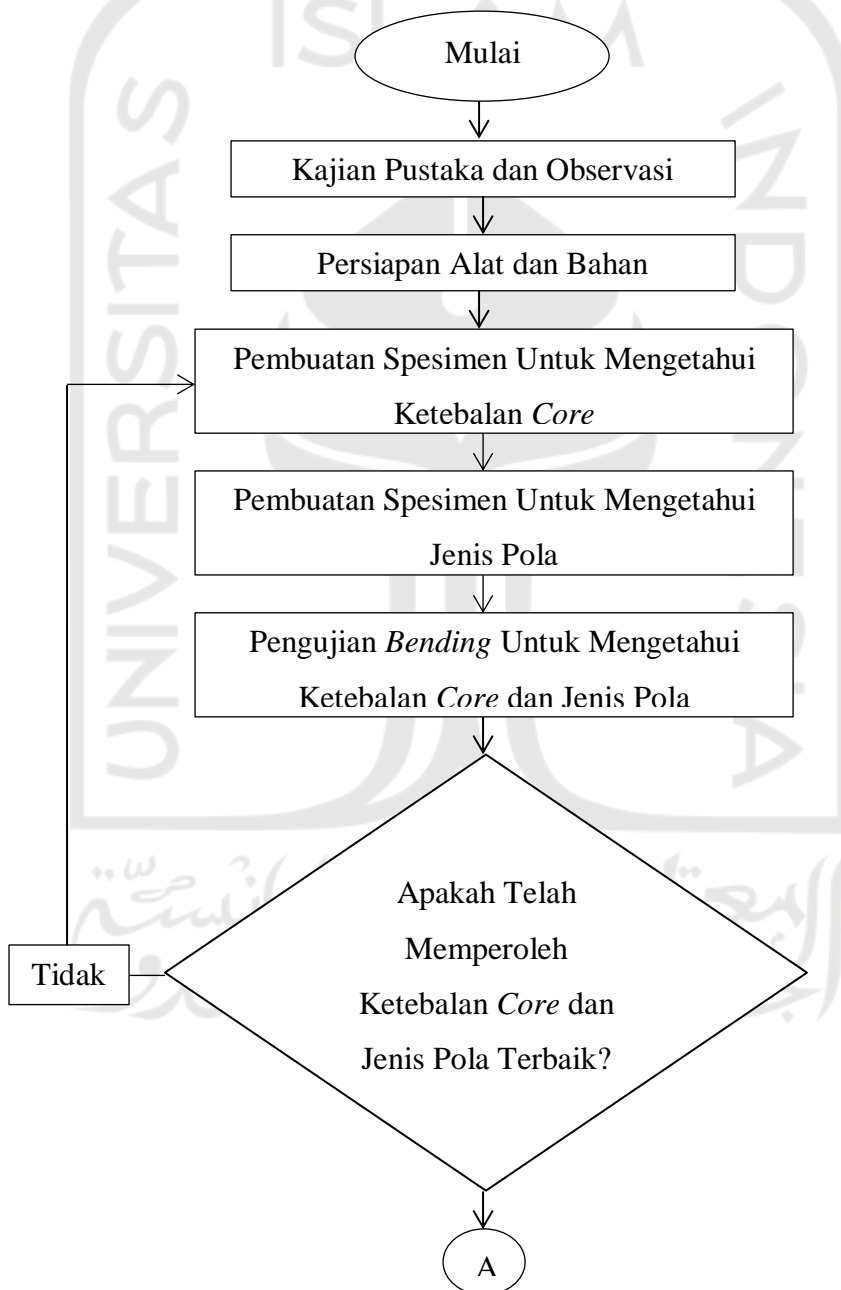
W = Berat Spesimen (gram)

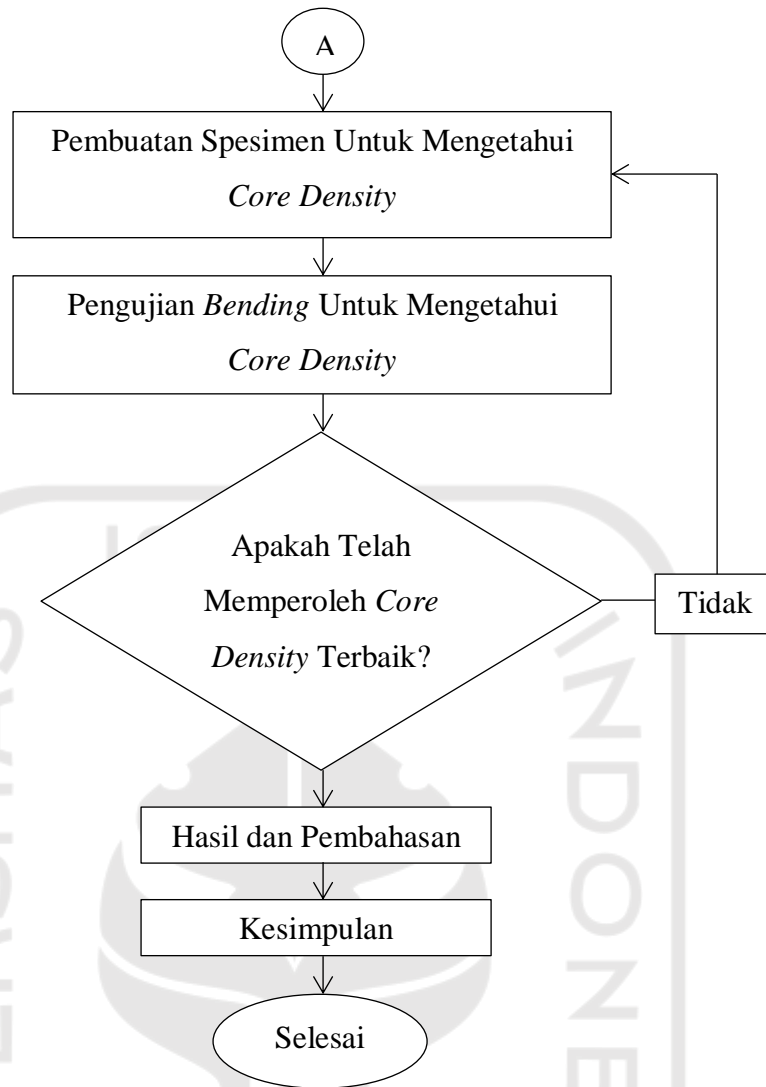
D spe = Kekakuan Spesifik (Nmm²/gram)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan alur penelitian yang telah ditentukan. Alur penelitian tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3-1 berikut :





Gambar 3-1 Diagram alur penelitian

3.2 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter penelitian tetap dan variasi.

3.2.1 Parameter Jenis Pola

Parameter tetap dan variasi pada jenis pola dapat dilihat pada Tabel 3-1

Tabel 3-1 Parameter jenis pola

No	Parameter Tetap					Parameter Variasi
	Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Infill Density (%)	Print Speed (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)	Jenis Pola
1	0,18	105	100	30	240	<i>Square</i>
2	0,18	105	100	30	240	<i>Honeycomb</i>
3	0,18	105	100	30	240	<i>Triangle</i>

3.2.2 Parameter Ketebalan Core

Parameter tetap dan variasi pada ketebalan *core* dapat dilihat pada Tabel

3-2

Tabel 3-2 Parameter ketebalan *core*

No	Parameter Tetap					Parameter Variasi
	Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Infill Density (%)	Print Speed (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)	Ketebalan Core
1	0,18	105	100	30	240	20 mm
2	0,18	105	100	30	240	15 mm
3	0,18	105	100	30	240	10 mm

3.2.3 Parameter Core Density

Parameter tetap dan variasi *core density* dapat dilihat pada Tabel 3-3

Tabel 3-3 Parameter *core density*

No	Parameter Tetap					Parameter Variasi
	Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Infill Density (%)	Print Speed (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)	
1	0,18	105	100	30	240	23 %
2	0,18	105	100	30	240	19 %
3	0,18	105	100	30	240	17 %

3.3 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan untuk menunjang berlangsungnya penelitian. Peralatan dan bahan tersebut adalah sebagai berikut :

3.3.1 Peralatan

1. Laptop

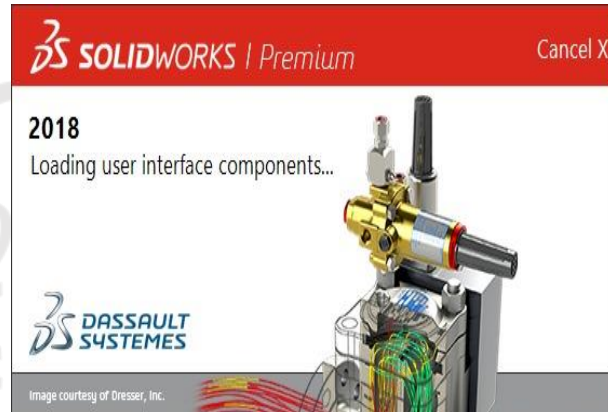
Laptop disini fungsinya adalah untuk membuat desain dari spesimen uji yang akan di gunakan dalam penelitian ini. Laptop yang digunakan adalah Lenovo Legion 5 seperti pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Laptop lenovo legion 5

2. *Software Design 3D*

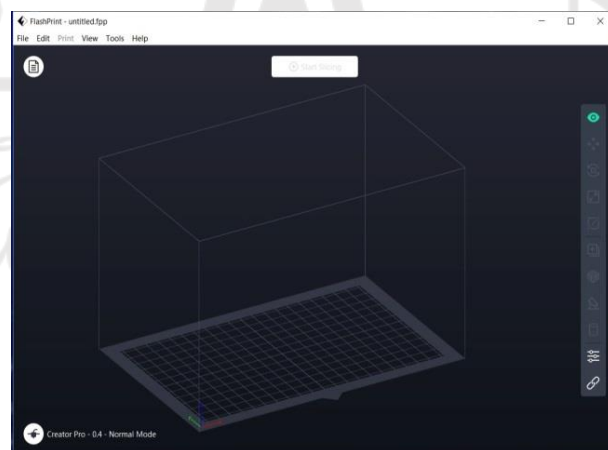
Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah *solidwork* 2018. *Software* ini fungsinya adalah untuk mendesain bentuk 3D dari spesimen uji yang digunakan. *Software solidwork* dapat ditunjukkan pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 *Software solidwork* 2018

3. *Software pencetakan 3D*

Software pencetakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flashprint*. *Software* ini berfungsi untuk memberikan program cetak pada mesin 3D printer yang hasilnya berupa *G-code*. Didalam *software* ini dilakukan beberapa pengaturan *setting* parameter *print* seperti tipe *infill*, suhu *nozzle*, *bed*, dan peletakan posisi objek model sesuai kebutuhan dan yang lainnya. *Software flashprint* dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 *Software flashprint*

4. Mesin 3D *Printing*

Mesin 3D *printing* yang digunakan adalah jenis *Flashforge Creator Pro*. Mesin ini memiliki spesifikasi yaitu kepala dari *ekstruder* yang memiliki diameter *ekstruder* 0,4 mm, suhu *ekstruder* bisa mencapai 240°C, dan kecepatan cetak (*print speed*) 10-100 mm/s. Untuk *bed* dari mesin ini mempunyai tebal 6,5 mm dengan suhu *bed* maksimal 120°C dan untuk ukuran kapasitas dimensi ukuran cetak suatu benda yaitu 227 mm x 148 mm x 150 mm. Mesin *flashforge creator pro* dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Mesin *flashforge creator pro*

5. Mesin Uji *Bending*

Mesin uji *bending* yang digunakan dalam penelitian ini adalah JTM-UTC 220 Serial 6604. Mesin ini bekerja dengan cara menekan suatu material untuk mendapatkan nilai atau hasil yang berupa data tentang kekuatan lengkung material yang sudah di uji. Mesin uji *bending* JTM-UTC 220 Serial 6604 dapat dilihat pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6 Mesin uji *bending* JTM-UTC 220 serial 660

6. Timbangan Digital

Timbangan disini fungsinya untuk mengukur berat dari tiap spesimen uji. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk Camry dengan ketelitian 0.01 gr. Timbangan dapat dilihat pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Timbangan digital

7. Jangka Sorong Digital

Jangka sorong yang digunakan adalah jangka sorong digital dengan merk Mitutoyo dengan ketelitian 0,02mm. Fungsi dari jangka sorong ini adalah untuk menghitung panjang, lebar dan tebal spesimen uji yang telah dibuat. Jangka sorong dapat dilihat pada Gambar 3-8.



Gambar 3-8 Jangka sorong digital 0,02 mm

3.3.2 Bahan

1. *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

Dalam penelitian ini yang digunakan adalah filamen ABS sebagai bahan utama dalam pembuatan spesimen. Filamen ABS dapat dilihat pada Gambar 3-9.



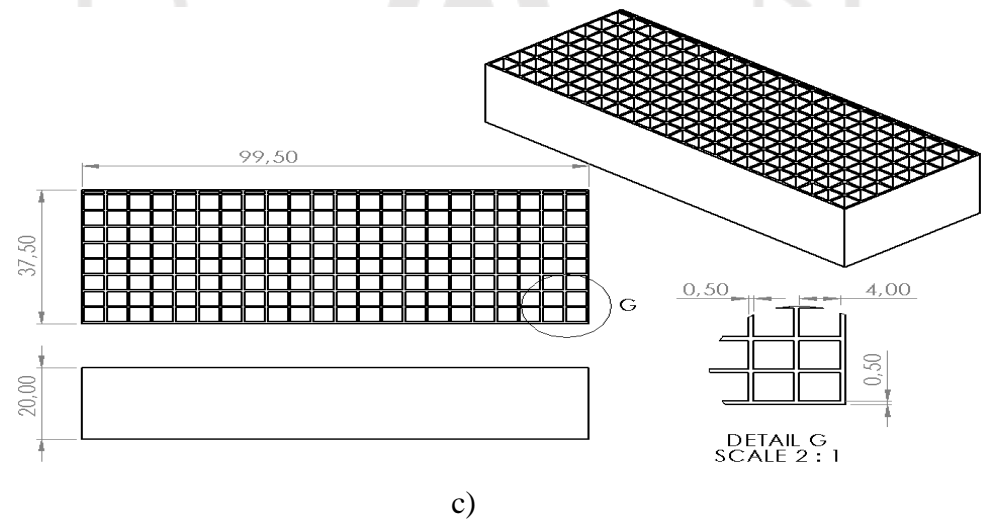
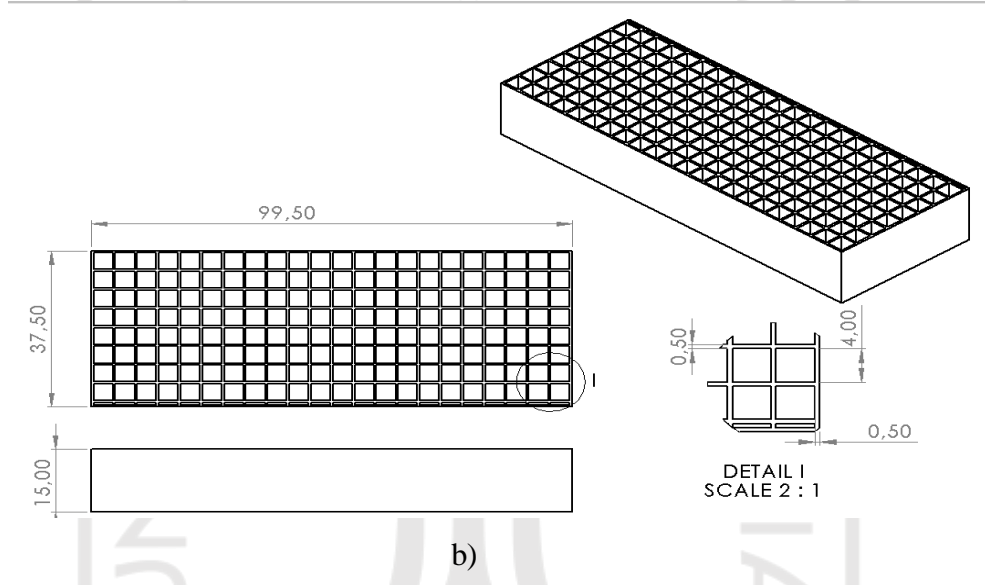
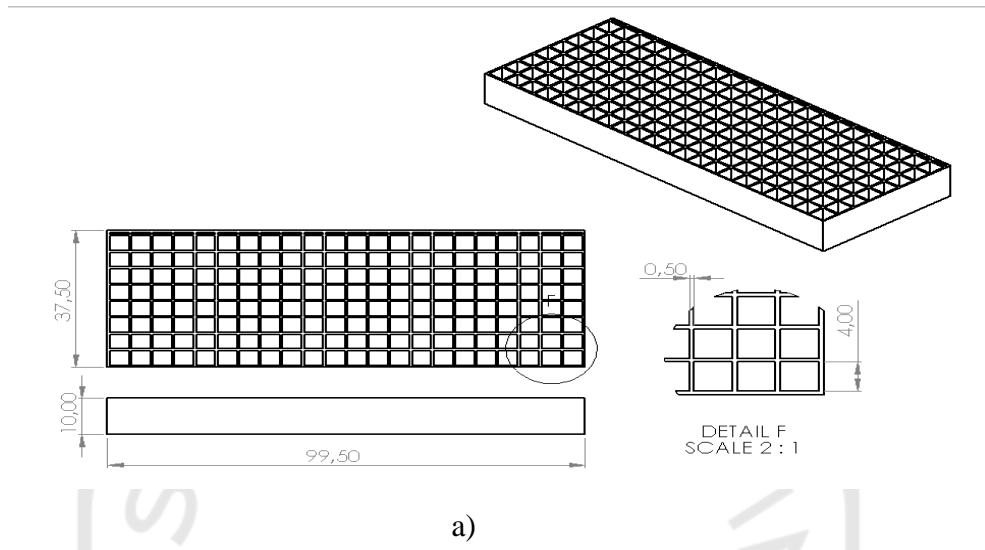
Gambar 3-9 Filamen ABS

3.4 Dimensi Core

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm x 37,5 mm dengan *infill* 100%. Jenis pola yang digunakan adalah *triangle*, *square* dan *honeycomb* dengan ketebalan *core* 10, 15, 20 mm serta *core density* pola 23, 19, dan 17 %.

3.4.1 Pola Square

Dimensi pada spesimen pola *square* dengan *core density* pola 23% dapat dilihat pada Gambar 3-10.

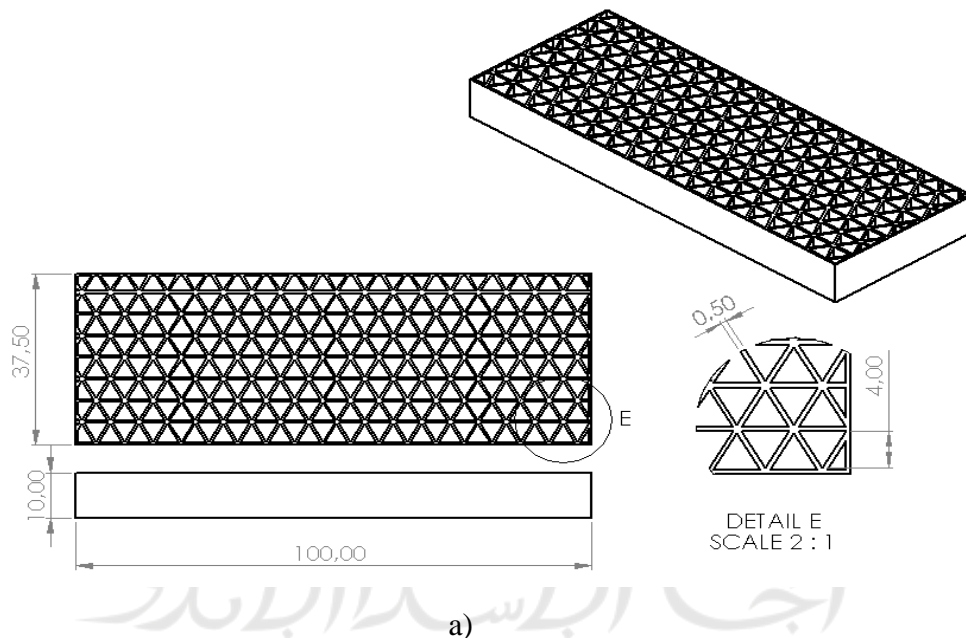


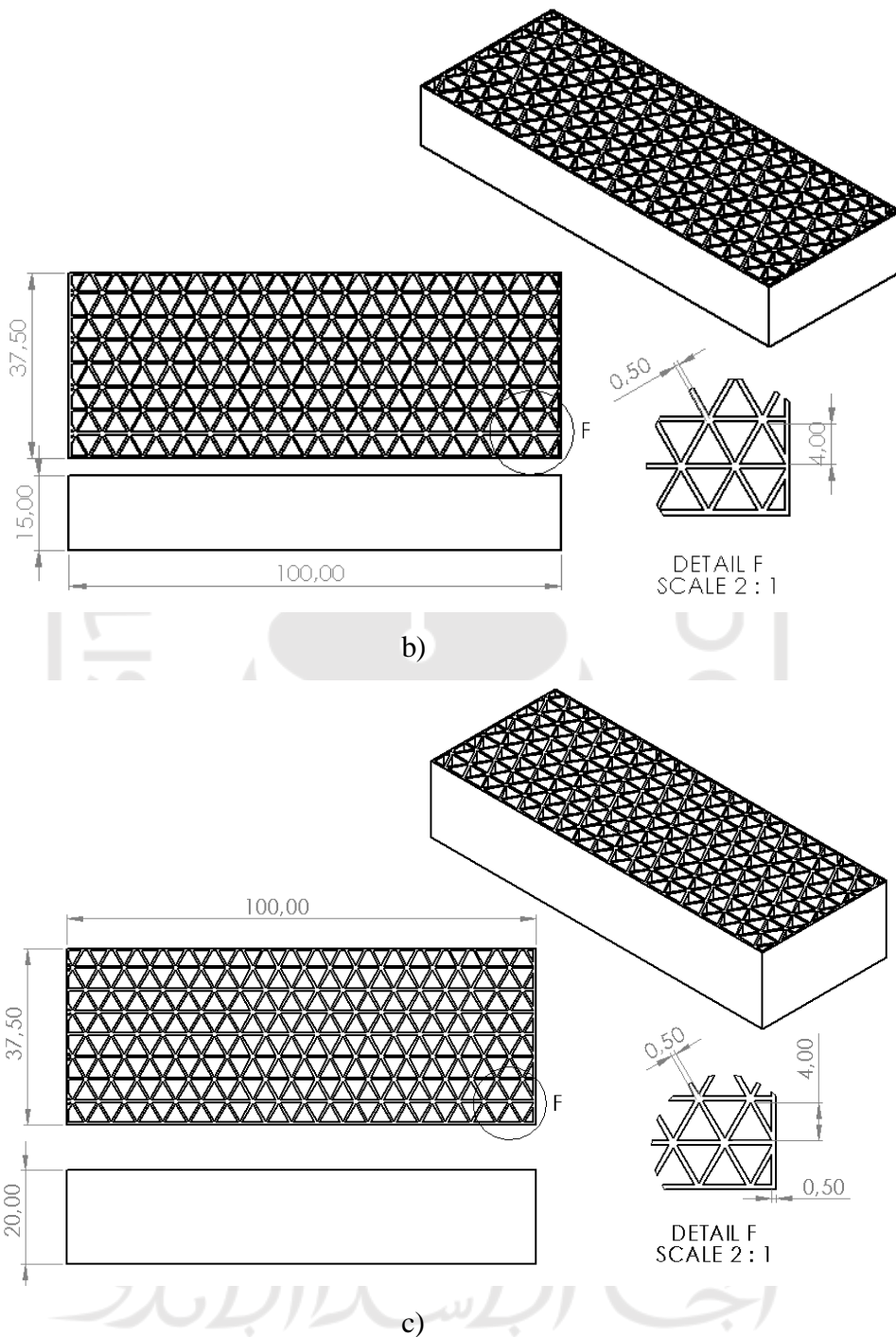
Gambar 3-10 a) Pola *square* ketebalan *core* 10 mm b) Pola *square* ketebalan *core* 15 mm c) Pola *square* ketebalan *core* 20 mm

Pada Gambar 3-10 a) menunjukkan dimensi spesimen pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Kemudian pada Gambar 3-10 b) menunjukkan dimensi spesimen pola *square* dengan ketebalan *core* 15 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Terakhir pada Gambar 3-10 c) menunjukkan dimensi spesimen pola *square* dengan ketebalan *core* 20 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm.

3.4.2 Pola *Triangle*

Dimensi pada spesimen pola *triangle* dengan *core density* pola 23 % dapat dilihat pada Gambar 3-11.





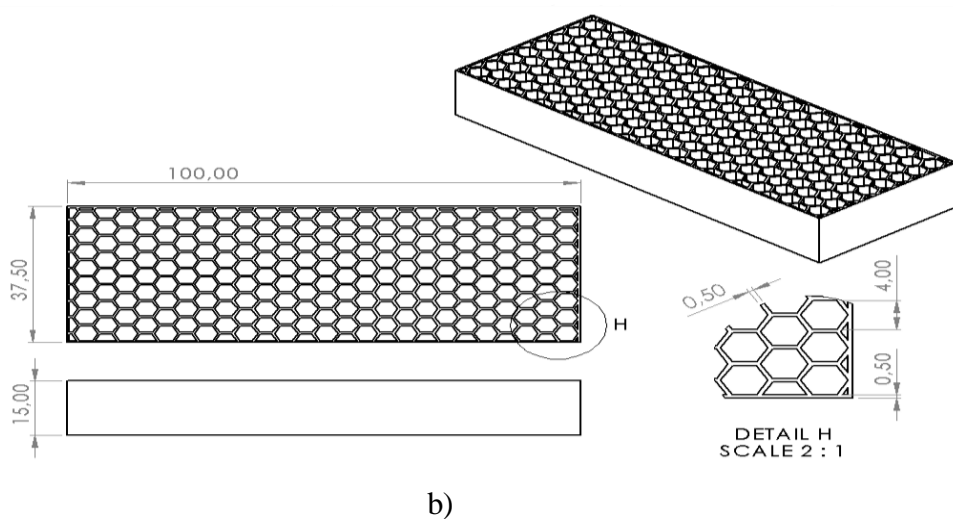
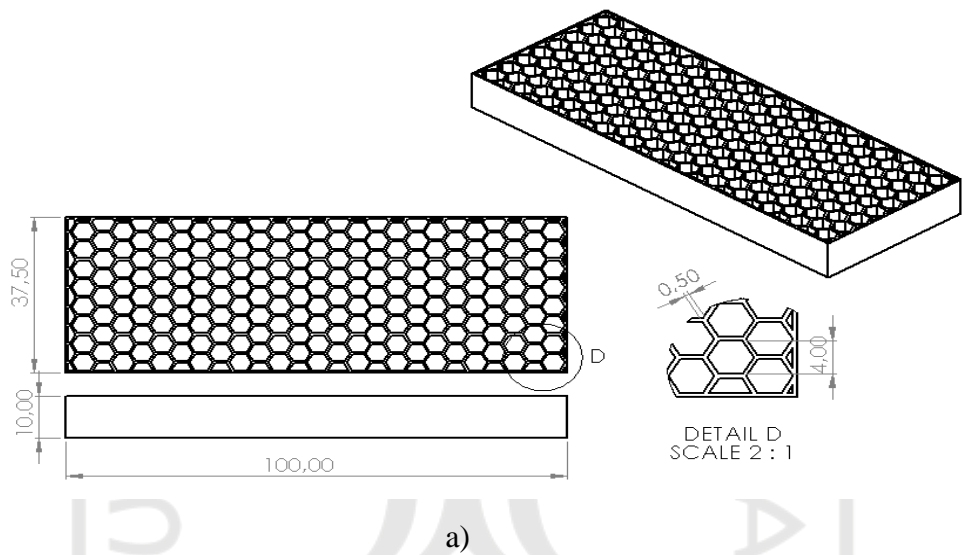
Gambar 3-11 a) Pola *triangle* ketebalan *core* 10 mm, b) Pola *triangle* ketebalan *core* 15 mm, c) Pola *triangle* ketebalan *core* 20 mm

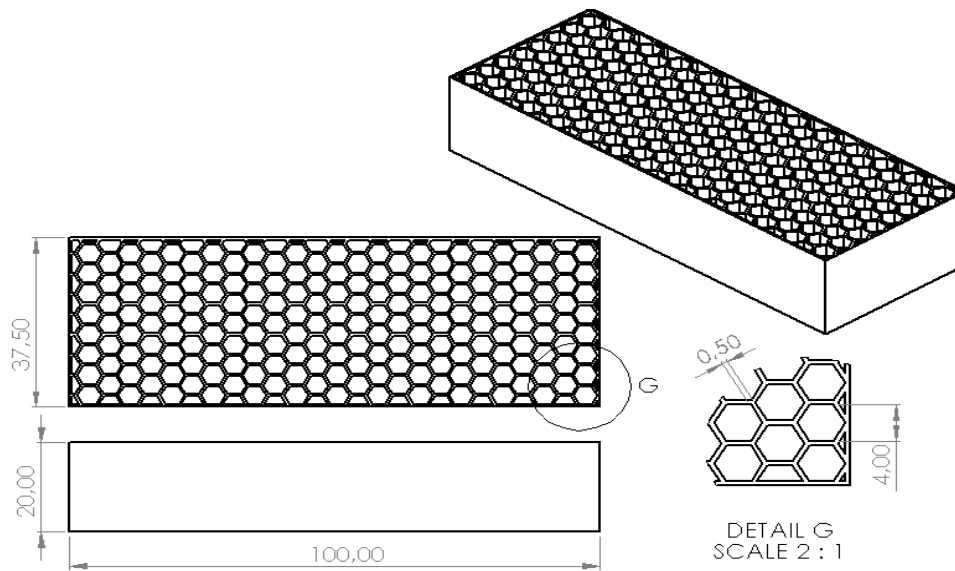
Pada Gambar 3-11 a) menunjukkan dimensi spesimen pola *triangle* dengan ketebalan *core* 10 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak

tiap pola adalah 0,5 mm. Kemudian pada Gambar 3-11 b) menunjukkan dimensi spesimen pola *triangle* dengan ketebalan *core* 15 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Terakhir pada Gambar 3-11 c) menunjukkan dimensi spesimen pola *triangle* dengan ketebalan *core* 20 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm.

3.4.3 Pola *Honeycomb*

Dimensi pada spesimen *honeycomb* dengan *core density* pola 23 % dapat dilihat pada Gambar 3-12.





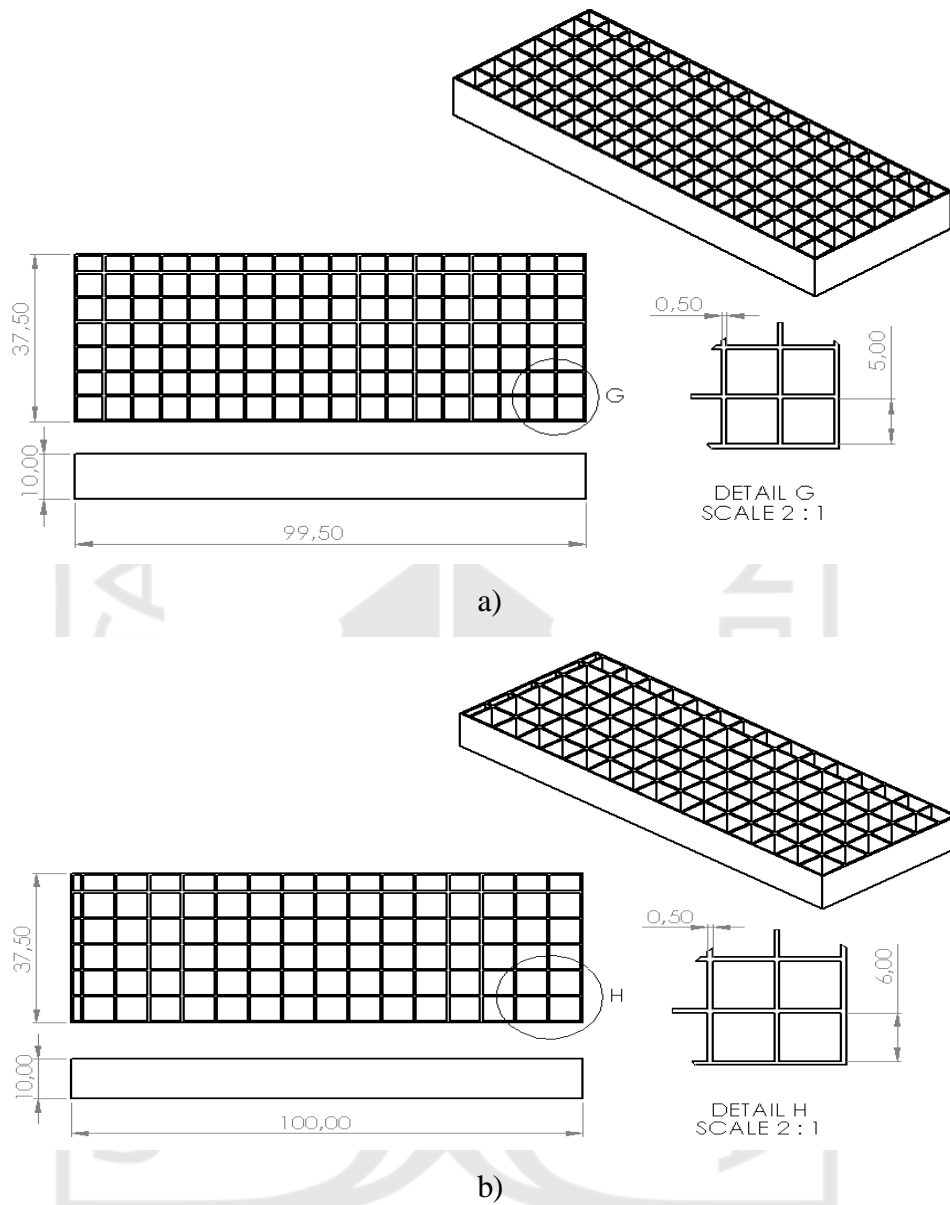
c)

Gambar 3-12 a) Pola *honeycomb* ketebalan *core* 10 mm, b) Pola *honeycomb* ketebalan *core* 15 mm, c) Pola *honeycomb* ketebalan *core* 20 mm

Pada Gambar 3-12 a) menunjukkan dimensi spesimen pola *honeycomb* dengan ketebalan *core* 10 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Kemudian pada Gambar 3-12 b) menunjukkan dimensi spesimen pola *honeycomb* dengan ketebalan *core* 15 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Terakhir pada Gambar 3-12 c) menunjukkan dimensi spesimen pola *honeycomb* dengan ketebalan *core* 20 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 23 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm.

3.4.4 Pola *Square Core Density* 19 % dan 17 %

Dimensi pada spesimen pola *square* dengan *core density* pola 19 dan 17 % dapat dilihat pada Gambar 3-13.



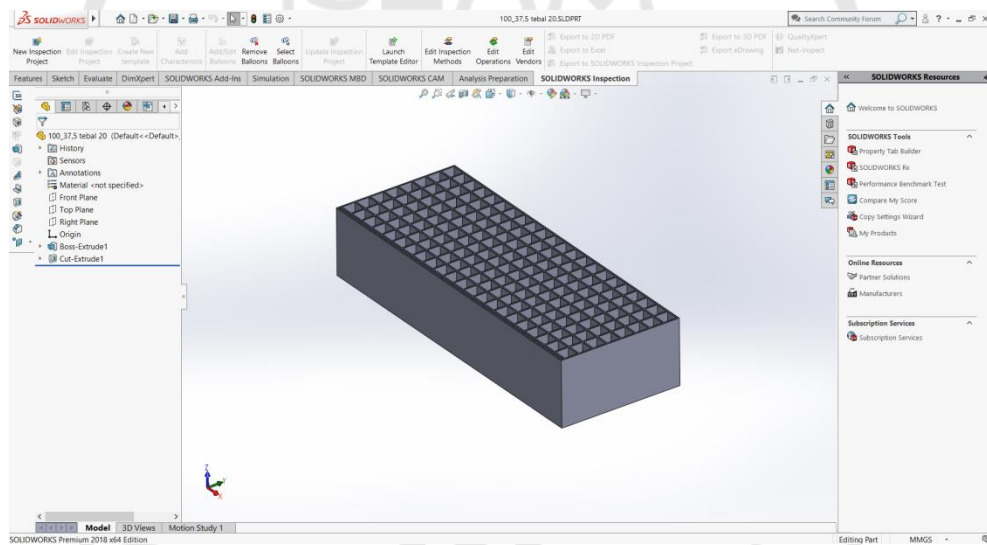
Gambar 3-13 a) Pola *square core density* 19%, b) Pola *square core density* 17%

Pada Gambar 3-13 a) menunjukkan dimensi spesimen pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 19 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm. Kemudian pada Gambar 3-13 b) menunjukkan dimensi spesimen pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm menggunakan standar ASTM C393 ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dan *core density* pola adalah 17 % dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm.

3.5 Proses Pembuatan *Core*

3.5.1 Pembuatan Desain Menggunakan *Software Solidwork 2018*

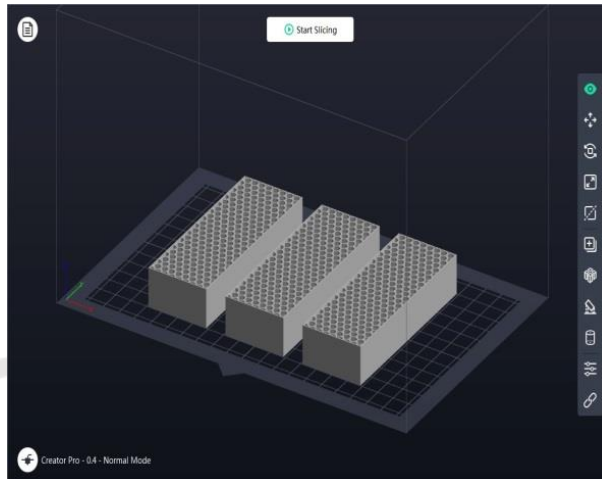
Spesimen yang digunakan mengacu pada standar ASTM C393 dengan panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tinggi 10,15,20 mm dengan pola *core* yaitu *square*, *triangle* dan *honeycomb* serta *core density* pola 23, 19, dan 17 %. Pada Gambar 3-14 menunjukkan proses pembuatan spesimen uji menggunakan *software Solidwork 2018*.



Gambar 3-14 Proses desain menggunakan *solidwork 2018*

3.5.2 Memosisikan Objek 3D ke *Software 3D Printing (Flashprint)*

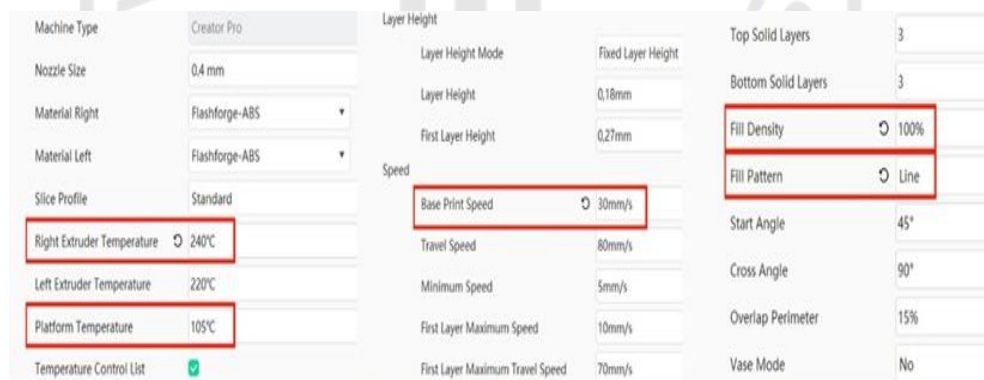
Pada Gambar 3-15 menunjukkan posisi objek 3D di dalam *software flashprint* dan memosisikannya menyesuaikan dengan ukuran bed dari mesin *flashprint*.



Gambar 3-15 Posisi objek 3D di *flashprint*

3.5.3 Pemilihan Parameter pada *Software Flashprint*

Pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter saat menggunakan flashprint diantaranya ukuran *nozzle*, jenis filamen, suhu *nozzle*, suhu *bed*, *print speed* dan yang lainnya sesuai kebutuhan dalam penelitian ini. Ukuran *nozzle* yang digunakan adalah 0,4 mm dengan filamen ABS, suhu *nozzle* 240°C, suhu *bed* 105°C, *print speed* 30% dan *fill density* 100%. Pemilihan parameter dapat ditunjukkan pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 Parameter *flashprint*

3.5.4 Pemilihan Jenis *Support*

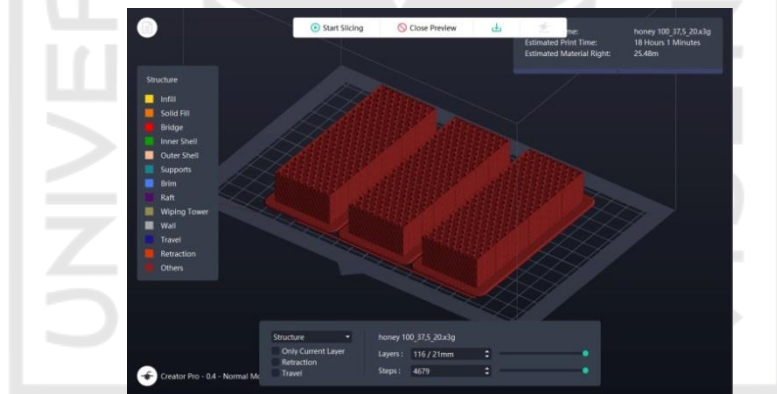
Pada Gambar 3-17 menunjukkan untuk penggunaan *support* yang dipilih adalah jenis *raft* dengan fungsi untuk mempermudah dalam hal melepas *support* tersebut dari objek 3D *Print*.

Printer	Select Extruder	Automatch	Printer	General
General	Supports Type	Linear	General	Enable Raft
Shells	Speed	100%	Shells	Select Extruder
Infill	Space to Model (X/Y)	0,35mm	Infill	Margin
Supports	Space to Model (Z)	0,20mm	Supports	Space to Model (Z)
Raft	Space to Raft (Z)	0,15mm	Raft	Above Raft Extrusion Ratio
Additions	Path Shape	Polyline	Additions	Above Raft Maximum Speed
Cooling	Path Space	2,0mm	Cooling	Bottom Layer
Advanced	Support Thickness	65%	Advanced	Layer Height
Others	Top Solid Layers	0	Others	Path Width
	Path Angle	45°		Fill Density
	Top Solid Density	100%		Speed
	Horizontal Expansion	0,0mm		Middle Layers
				Layer Height

Gambar 3-17 *Support* dan *raft*

3.5.5 Simulasi

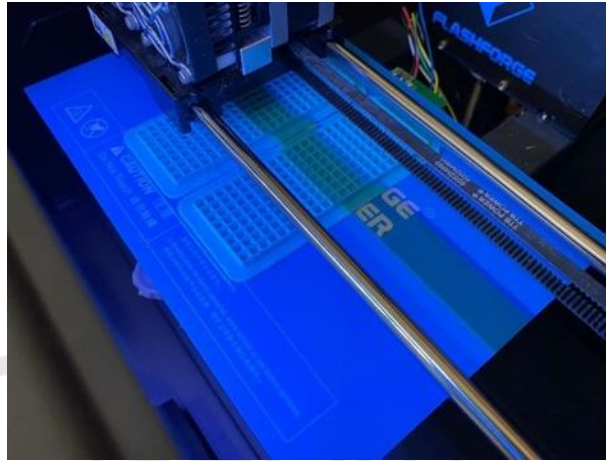
Pada Gambar 3-18 menunjukkan hasil simulasi pada software *flashprint* pada mesin *flashforge creator pro* dan juga ditunjukkan waktu pengerjaan dan total filamen yang digunakan. Untuk hasilnya disimpan file dalam bentuk *G-code*.



Gambar 3-18 Simulasi *flashprint*

3.6 Proses Pencetakan Core 3D

Setelah dilakukan proses simulasi pencetakan 3D *Print* pada software *flashprint* *GCode* yang dihasilkan pada software *flashprint* dimasukkan ke mesin pencetak 3D *Flashforge Creator Pro* menggunakan *SD Card*. Sebelum melakukan proses pencetakan material ABS dipasang terlebih dahulu ke mesin pencetak 3D *Print Flashforge Creator Pro*. Pada Gambar 3-19 menunjukkan proses pencetakan 3D menggunakan mesin *Flashforge Creator Pro*.



Gambar 3-19 Proses pencetakan 3D

3.7 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* pada penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai kekuatan *bending* maksimal dari suatu objek atau produk. Dalam penelitian ini pengujian *bending* yang dilakukan adalah pengujian *three point bending*. Jenis mesin uji *bending* yang digunakan adalah JTM-UTC 220 serial 660 dan standar ASTM.

Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Politeknik Sanatha Dharma dan melakukan pengujian sebanyak 36 spesimen uji. Mesin pengujian *three point bending* dapat ditunjukkan pada Gambar 3-20.



Gambar 3-20 *Three point bending*

Untuk langkah – langkah yang dilakukan untuk pengujian *three point bending* adalah sebagai berikut :

1. Pastikan semua spesimen sudah sesuai dengan standar ASTM C393.

2. Berikan tanda atau kode untuk masing – masing spesimen uji agar mempermudah proses pengujian.
3. Letakkan spesimen pada alat uji *bending* sesuai ketentuan dengan jarak titik tumpuan sesuai dengan standar ASTM C393 yaitu 75 mm.
4. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal pada spesimen secara perlahan hingga spesimen melengkung atau patah.
5. Hasil pengujian akan tercatat otomatis pada komputer mesin uji *bending*.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan Core Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan *Bending* , dan Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada sub bab ini membahas beberapa dari pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik. Setelah melakukan pengujian *three point bending* terhadap spesimen ASTM C393 didapat hasil sebagai berikut.

4.1.1 Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan Core Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-1

Tabel 4-1 Data variabel tegangan *bending* jenis pola dan ketebalan *core*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
SQ10	145,53	75	37,35	9,91
TG10	64,40	75	37,30	9,96
HC10	43,02	75	37,39	9,97

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal jenis pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : P = 145,53 N b = 37,35 mm
 L = 75 mm h = 9,91 mm

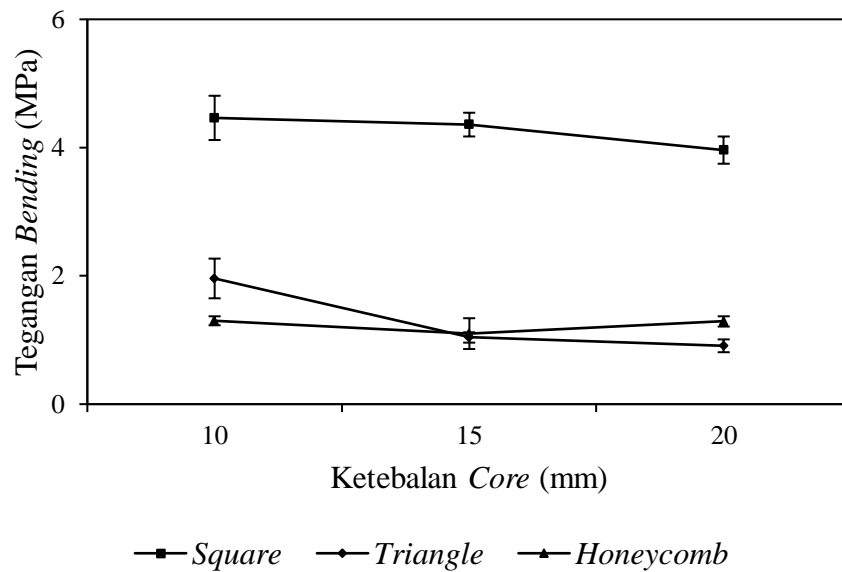
1. Tegangan *Bending*

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 145,33 \times 75}{2 \times 37,35 (9,91)^2}$$

$$\sigma_b = 4,46 \text{ MPa}$$

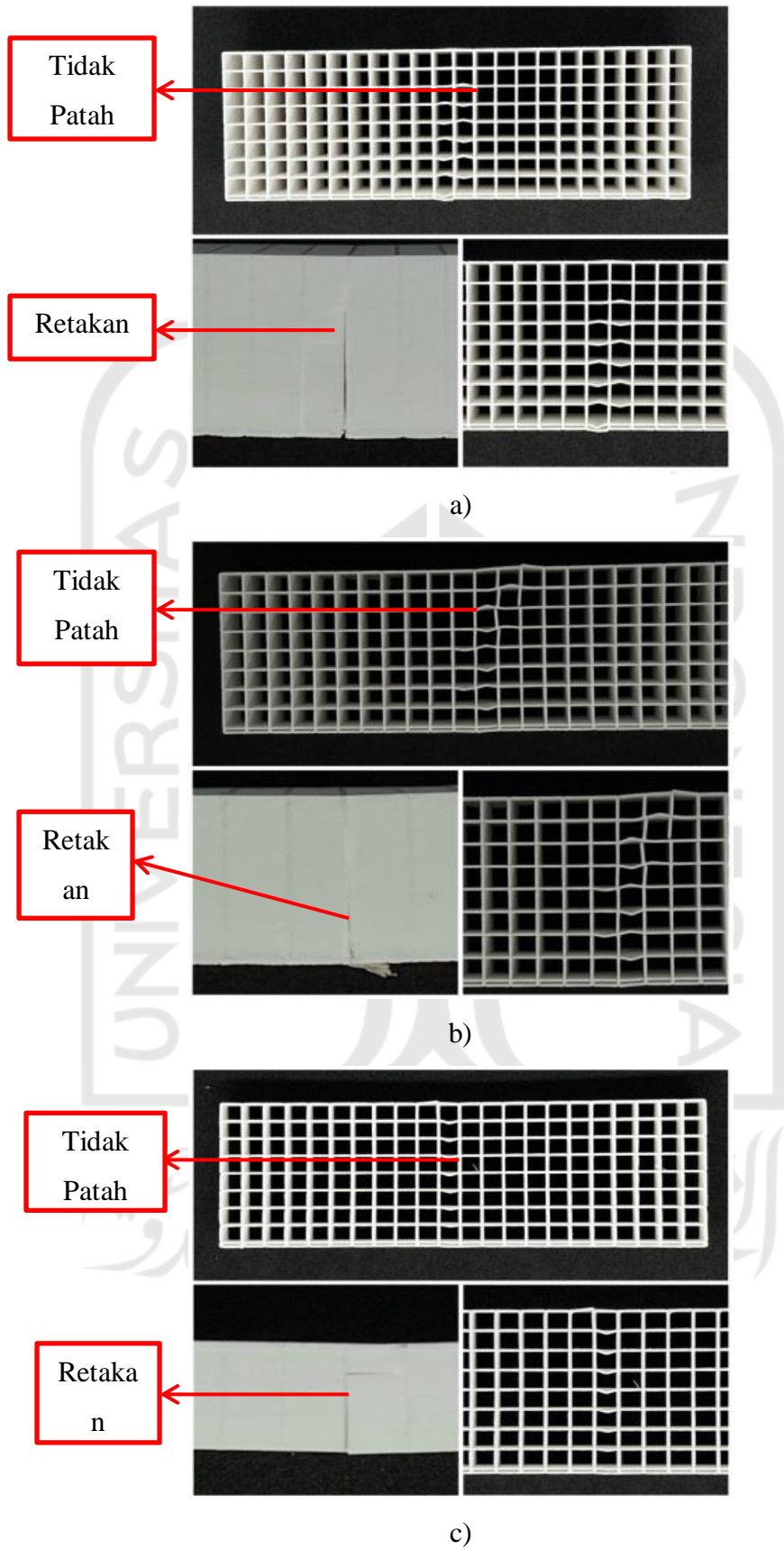
Pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1 Pengaruh jenis pola dan tebal *core* terhadap tegangan *bending*

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1 adalah pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap tegangan *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai tegangan *bending* maksimal menggunakan spesimen dengan *core density* pola 23 % dan ketebalan *core* 10,15, dan 20 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai tegangan *bending* maksimum rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square* (*square* ketebalan *core* 10 mm) yaitu 4,46 MPa dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *triangle* ketebalan *core* 20 mm yaitu 0,91 MPa.

Hasil tersebut juga berkaitan dengan modulus kegagalan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-2.

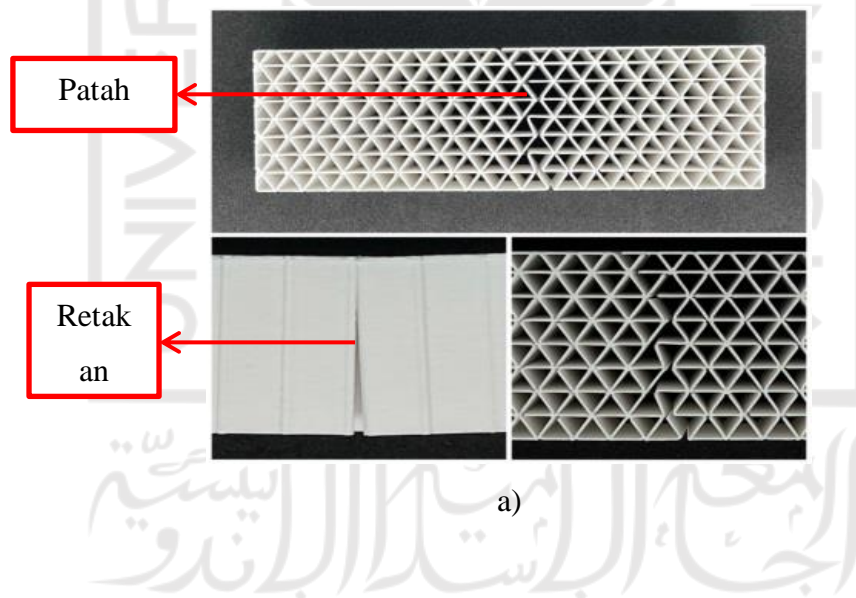


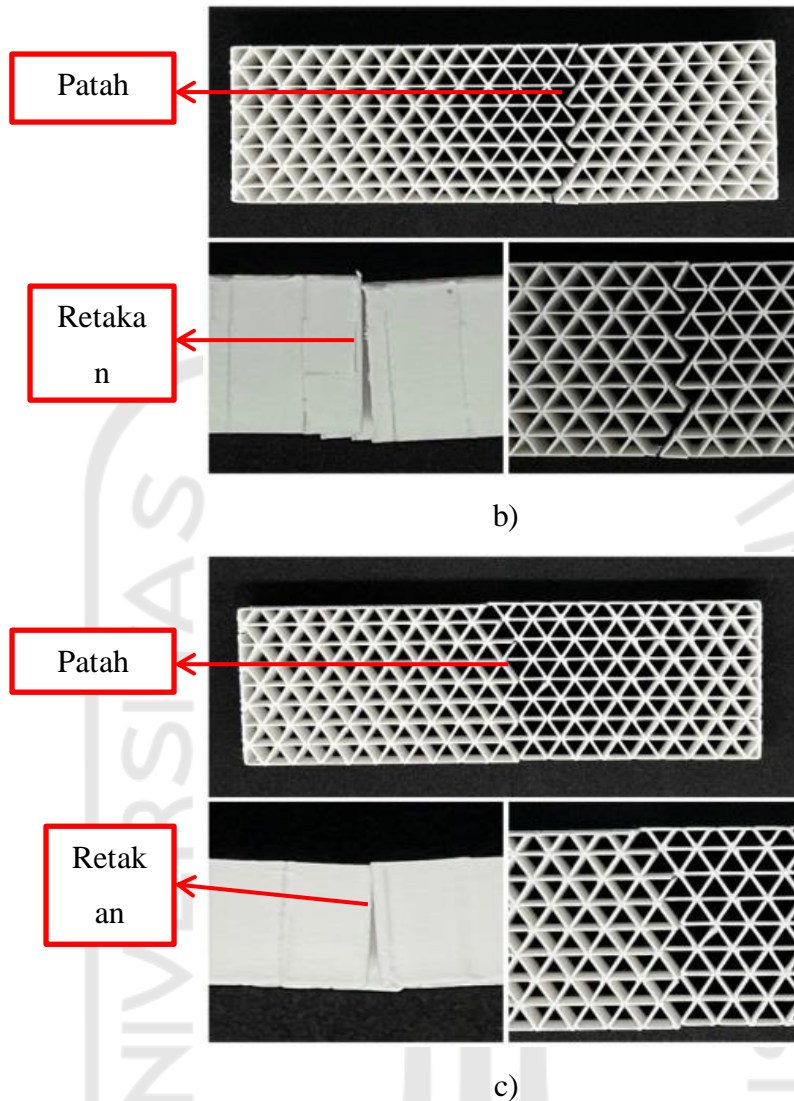
Gambar 4-2 a) Pola *square* 20 mm, b) Pola *square* 15 mm c) Pola *square* 10 mm

Pada gambar 4-2 menunjukkan kegagalan akibat tegangan *bending* pada spesimen jenis pola *square*. Pada semua spesimen pola *square* mengalami retakan yang diakibatkan oleh *core* karena tidak mampu menahan tegangan maksimal yang diberikan sehingga *core* mengalami retakan tetapi tidak sampai patah dan bagian pola dari *square* tidak mengalami patah karena spesimen bentuk pola *square* memiliki ikatan antar siku pola yang sambungannya saling terhubung baik secara horizontal dan vertikal yang membuat pola dari *square* dapat menahan tegangan *bending* maksimum.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan salah satunya adalah Ardiansyah (2022) bahwa hasilnya juga menyatakan jenis pola *zig-zag (line)* memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi karena ikatan antar pola terhubung dengan baik secara vertikal dan horizontal.

Selanjutnya adalah modus kegagalan pada spesimen *triangle* setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-3.



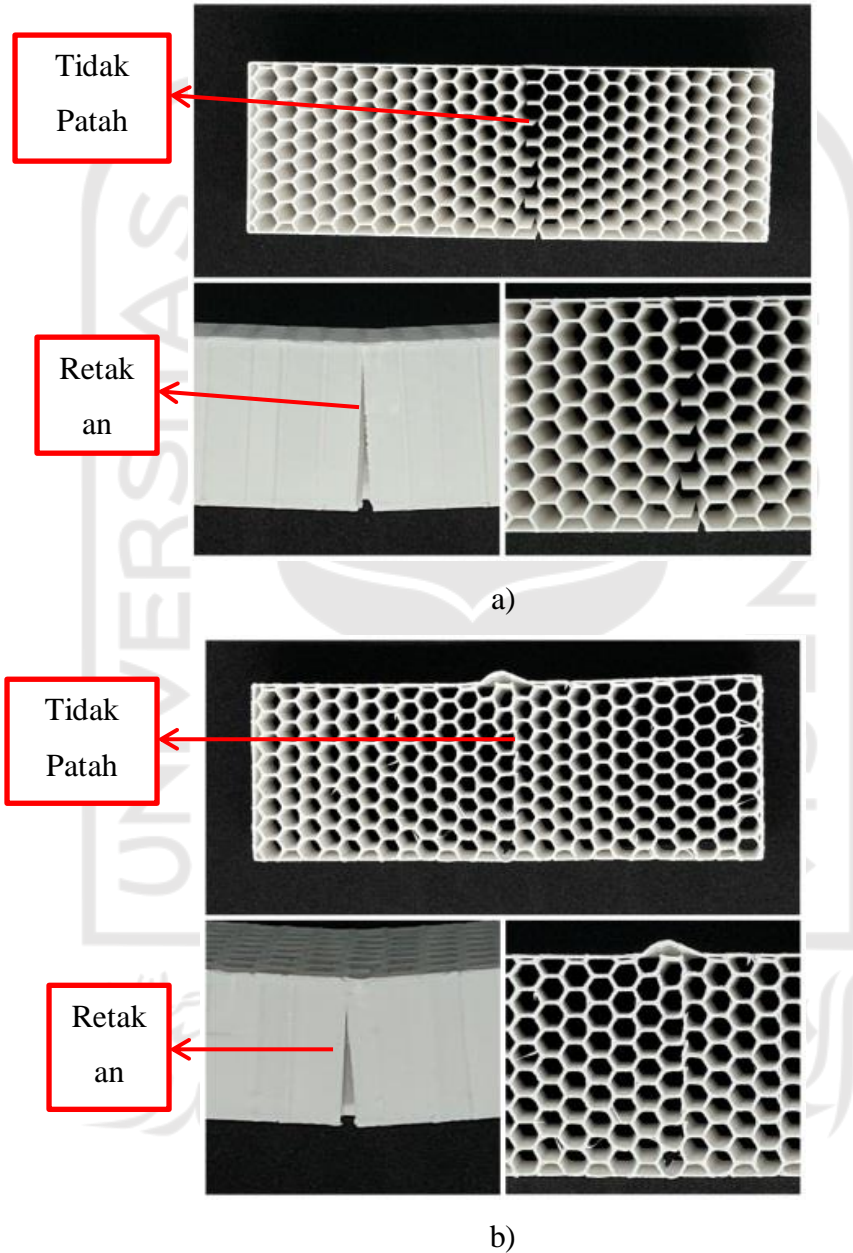


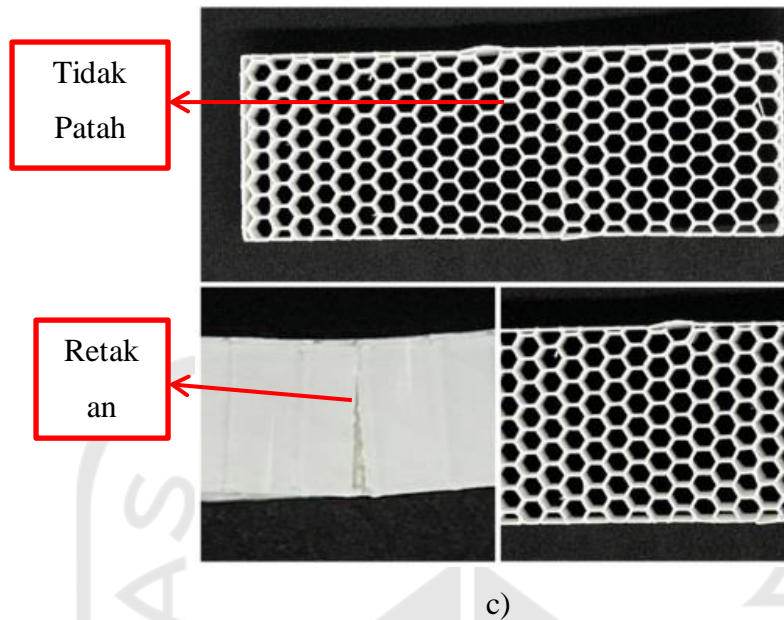
Gambar 4-3 a) Pola *triangle* 20 mm, b) Pola *triangle* 15 mm, c) Pola *triangle* 10 mm

Pada gambar 4-3 menunjukkan kegagalan akibat tegangan *bending* pada spesimen jenis pola *triangle*. Pada semua spesimen pola *triangle* mengalami retakan yang diakibatkan oleh *core* karena tidak mampu menahan tegangan maksimal yang diberikan sehingga *core* mengalami retakan tetapi tidak sampai patah dan bagian pola dari *triangle* mengalami patah karena spesimen bentuk pola *triangle* memiliki ikatan antar siku pola yang membentuk siku yang runcing dimana saat mendapatkan tegangan *bending* maksimum membuat bentuk polanya patah atau terputus satu sama lain.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan salah satunya adalah Ardiansyah (2022) yang menyatakan jenis pola *triangle* memiliki ikatan antar pola yang tidak terhubung secara baik dan membentuk siku runcing.

Terakhir modus kegagalan pada spesimen *honeycomb* setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-4.



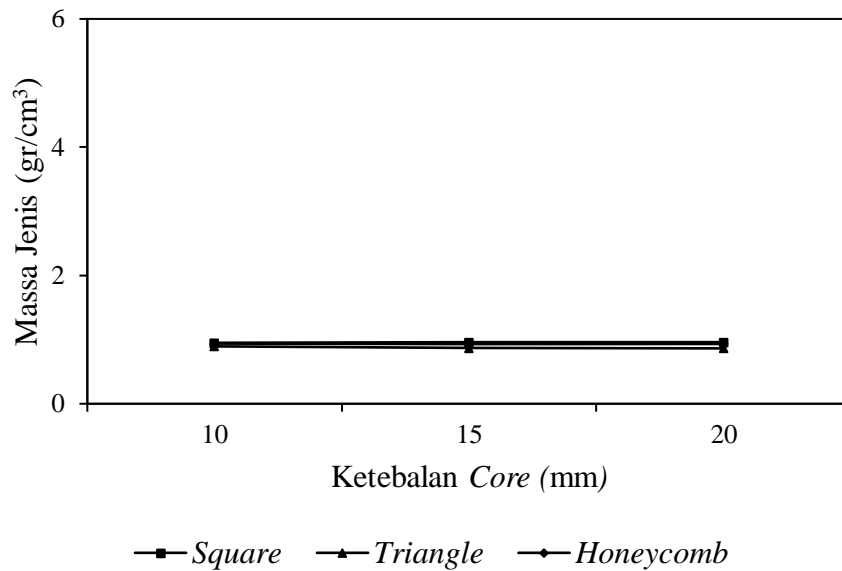


Gambar 4-4 a) Pola *honeycomb* 20 mm, b) Pola *honeycomb* 15 mm c) Pola *honeycomb* 10 mm

Pada gambar 4-4 menunjukkan kegagalan akibat tegangan *bending* pada spesimen jenis pola *honeycomb*. Pada semua spesimen pola *honeycomb* mengalami retakan yang diakibatkan oleh *core* karena tidak mampu menahan tegangan maksimal yang diberikan sehingga *core* mengalami retakan tetapi tidak sampai patah dan bagian pola dari *honeycomb* tidak mengalami patah karena spesimen bentuk pola *honeycomb* memiliki ikatan antar siku pola yang sambungannya saling terhubung baik yang membuat pola dari *honeycomb* dapat menahan tegangan *bending* maksimum.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan salah satunya adalah Ardiansyah (2022) yang juga menyatakan jenis pola tri *hexagon* (*honeycomb*) memiliki nilai kekuatan tarik yang baik karena ikatan antar pola yang terhubung dengan baik .

Nilai tegangan ini juga berkaitan dengan perbandingan setiap *density* (massa jenis) pada masing - masing spesimen dengan variasi jenis pola dan ketebalan *core*. Data perbandingan *density* dapat dilihat pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5 Perbandingan massa jenis (*density*) jenis pola dan tebal *core*

Pada Gambar 4-5 menunjukkan data *density* (massa jenis) pada spesimen dengan variasi jenis pola dan ketebalan *core*. Berdasarkan data yang ada dapat ditunjukkan bahwa nilai massa jenis rata-rata tertinggi adalah spesimen jenis pola *square* yaitu $0,96 \text{ g/cm}^3$ dan nilai rata-rata terendah adalah spesimen jenis pola *triangle* yaitu $0,88 \text{ g/cm}^3$. Terkait data yang ada ini membuktikan bahwa nilai dari massa jenis mempengaruhi nilai tegangan *bending*.

Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan salah satunya adalah Sitindaon & Harahap (2015) yang juga menyatakan bahwa nilai massa jenis yang semakin rendah juga linear dengan penurunan nilai tekanan atau tegangan benda dan membuat spesimen mengalami perubahan bentuk yang signifikan.

4.1.2 Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan Core Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4-2

Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas jenis pola dan ketebalan *core*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	I (mm ⁴)	δ (mm)
SQ10	145,53	75	3032,91	0,93
TG10	64,40	75	3067,94	1,08
HC10	43,02	75	3085,07	2,30

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas jenis pola *square* ketebalan *core* 10 mm, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $\delta = 0,93 \text{ mm}$

$P = 145,53 \text{ N}$

$L = 75 \text{ mm}$

$I = 3032,91 \text{ mm}^4$

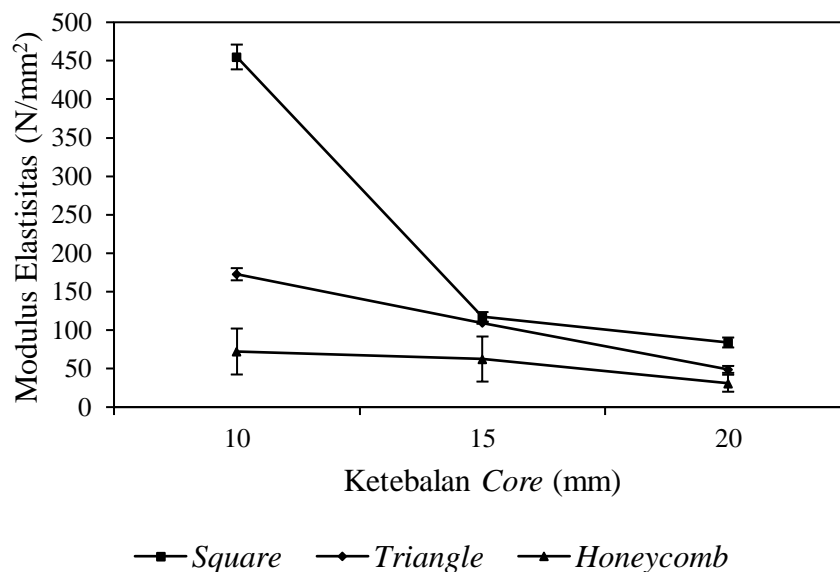
1. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

$$E = \frac{(145,53 \times 75^3)}{48 \times 3032,91 \times 0,93}$$

$$E = 454,93 \text{ N/mm}^2$$

Pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Pengaruh jenis pola dan tebal *core* terhadap modulus elastisitas

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-6 adalah pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap modulus elastisitas *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai modulus elastisitas *bending* maksimal menggunakan spesimen dengan *core density* pola 23 % dan ketebalan *core* 10,15, dan 20 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai modulus elastisitas rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square* (*square* ketebalan *core* 10 mm) yaitu 454,93 N/mm² dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *honeycomb* (ketebalan *core* 20 mm) yaitu 31,02 N/mm². Terkait data yang ada bahwa ketebalan dari benda mempengaruhi nilai modulus elastisitas.

Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan salah satunya adalah Cahyati (2016) bahwa hasilnya juga menunjukkan karakteristik yang sama bahwa nilai kapasitas modulus elastisitas akan semakin rendah seiring bertambahnya nilai ketebalan dari suatu benda.

4.1.3 Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan *Core* Terhadap Kekakuan *Bending*

Berikut data variabel terkait kekakuan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-3

Tabel 4-3 Data variabel kekakuan *bending* jenis pola dan ketebalan *core*

Kode Spesimen	E (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)	I (mm ⁴)
SQ10	454,93	37,35	9,91	3032,91
TG10	172,65	37,30	9,96	3067,94
HC10	72,22	37,39	9,97	3085,07

Berikut hasil perhitungan kekakuan jenis pola *square* ketebalan *core* 10 mm, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E = 454,93 \text{ N/mm}^2$

$b = 37,35 \text{ mm}$

$h = 9,91 \text{ mm}$

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37.35 \times (9,91)^3$$

$$I = 3032,91 \text{ mm}^4$$

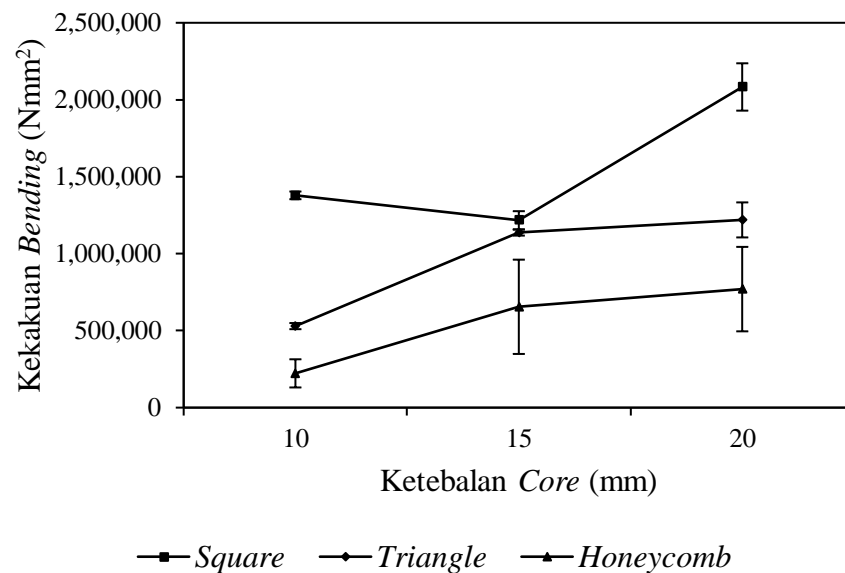
2. Kekakuan *Bending*

$$D = E \times I$$

$$D = 454,93 \times 3032,91$$

$$D = 1,378,867.21 \text{ Nmm}^2$$

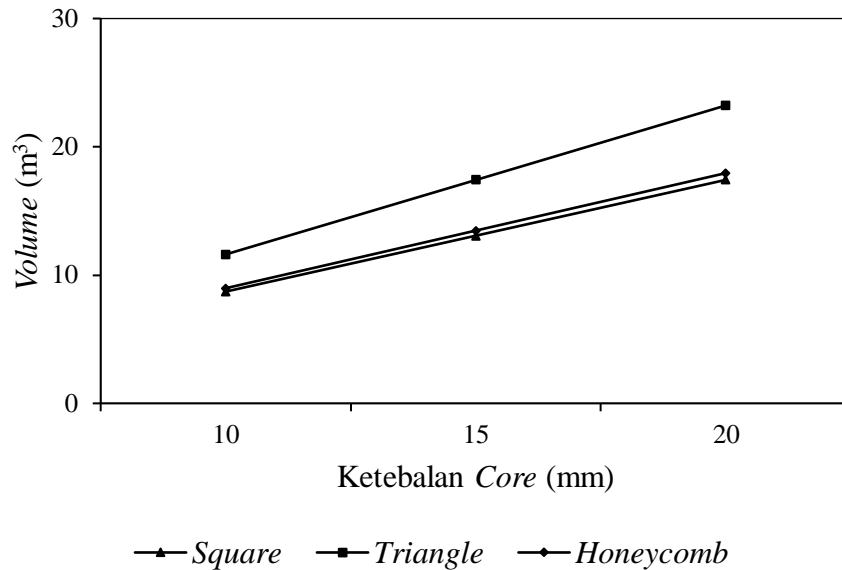
Pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap kekakuan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Pengaruh jenis pola dan tebal *core* terhadap kekakuan *bending*

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-7 adalah pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap kekakuan *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai kekakuan *bending* maksimal menggunakan spesimen dengan *core density* pola 23 % dan ketebalan *core* 10,15, dan 20 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai kekakuan rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square* (*square* ketebalan *core* 20 mm) yaitu 2,082,949.80 Nmm² dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *honeycomb* ketebalan *core* 10 mm yaitu 222,425.81 Nmm².

Data kekakuan ini juga berkaitan dengan perbandingan setiap *volume* pada masing - masing spesimen dengan variasi jenis pola dan ketebalan *core*. Data perbandingan *volume* dapat dilihat pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8 Perbandingan *volume* jenis pola dan tebal *core*

Pada Gambar 4-8 menunjukkan data *volume* pada spesimen dengan variasi jenis pola dan ketebalan *core*. Berdasarkan data yang ada dapat ditunjukkan bahwa nilai *volume* rata-rata tertinggi adalah spesimen jenis pola *triangle* dengan ketebalan *core* 20 mm yaitu 23,23 m³ dan nilai rata-rata terendah adalah spesimen jenis pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm yaitu 8,71 m³. Terkait data yang ada bahwa *volume* dan ketebalan dari benda berpengaruh terhadap nilai kekakuan benda.

Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan salah satunya adalah Cahyati (2016) bahwa hasilnya juga menunjukkan karakteristik yang sama bahwa nilai kapasitas kekakuan benda akan semakin tinggi seiring bertambahnya nilai ketebalan dan berat (*volume*) dari suatu benda.

4.1.4 Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan Core Terhadap Kekakuan Bending Spesifik

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan berat spesimen. Spesimen dengan pola *square*, *triangle*, *honeycomb* dengan ketebalan *core*

10,15,20 mm memiliki ketebalan yang berbeda. Oleh karena itu kekakuan dapat dibagi dengan massa pada tiap spesimen. Berikut data variabel terkait kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada tabel 4-4.

Tabel 4-4 Data variabel kekakuan *bending* spesifik jenis pola dan ketebalan *core*

Kode Spesimen	D (Nmm ²)	W (gr)
SQ10	1,378,867.21	8,31
TG10	529,473.26	10,39
HC10	222,425.81	8,43

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik jenis pola *square* ketebalan *core* 10 mm, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $D = Nmm^2$

$W = 8,31$ gram

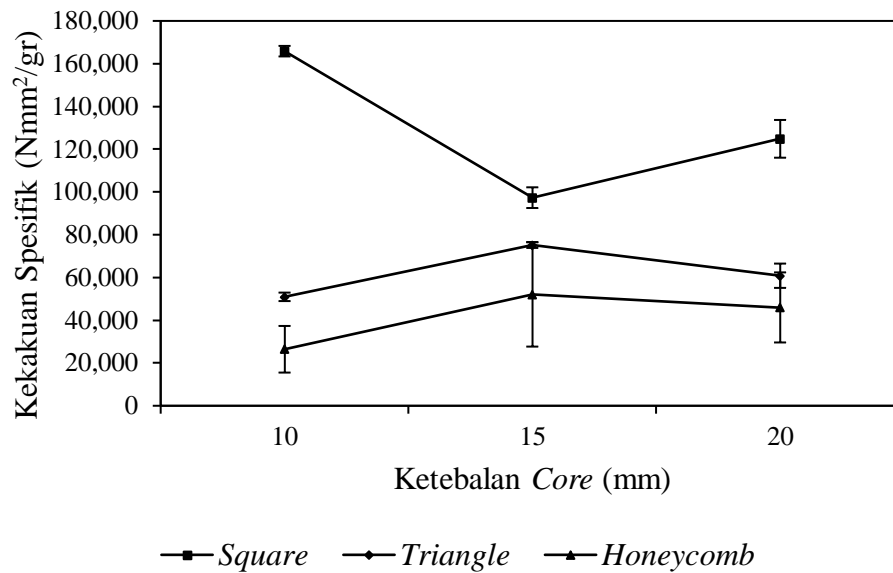
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{1,378,867.21}{8,31}$$

$$D \text{ spesifik} = 165,855.26 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap kekakuan *bending* spesifik dapat dilihat pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9 Pengaruh jenis pola dan tebal *core* terhadap kekakuan spesifik

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-9 adalah pengaruh jenis pola dan ketebalan *core* terhadap kekakuan *bending* spesifik yang menunjukkan hasil perhitungan nilai kekakuan *bending* spesifik maksimal menggunakan spesimen dengan *core density* pola 23 % dan ketebalan *core* 10,15, dan 20 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai kekakuan spesifik rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square* (*square* ketebalan *core* 10 mm) yaitu 165,855.26 Nmm²/gr dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *honeycomb* ketebalan *core* 10 mm yaitu 26,425.82 Nmm²/gr..

4.2 Pengaruh Variasi *Core Density* Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan *Bending*, dan Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada sub bab ini membahas beberapa dari pengaruh variasi *core density* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik. Setelah melakukan pengujian *three point bending* terhadap spesimen ASTM C393 didapat hasil sebagai berikut.

4.2.1 Pengaruh Variasi *Core Density* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-5

Tabel 4-5 Data variabel tegangan bending *core density*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
<i>Square</i> 23 %	145,53	75	37,35	9,91
<i>Square</i> 19 %	84,96	75	37,23	9,87
<i>Square</i> 17 %	65,15	75	37,23	9,92

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal *core density square* 23 %, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : P = 145,53 N b = 37,35 mm
 L = 75 mm h = 9,91 mm

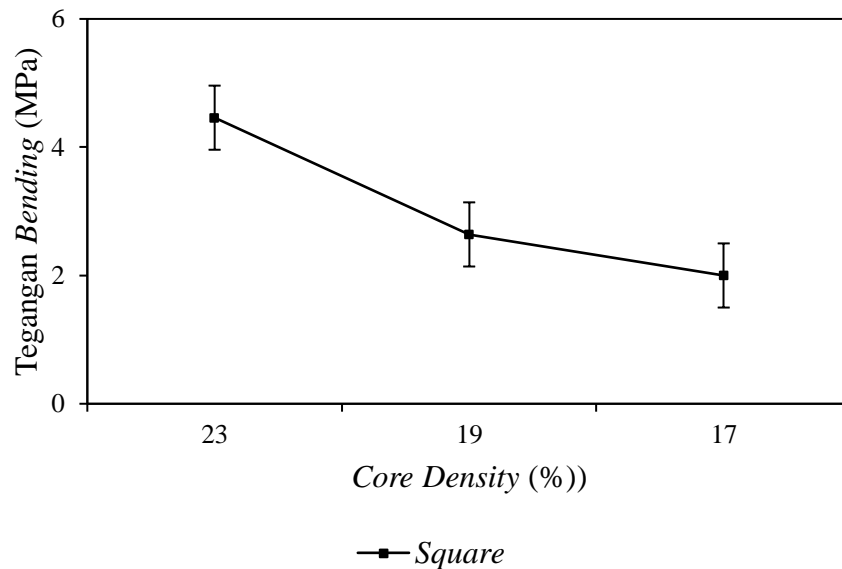
1. Tegangan *Bending*

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 145,33 \times 75}{2 \times 37,35 \times (9,91)^2}$$

$$\sigma_b = 4,46 \text{ MPa}$$

Pengaruh variasi *core density* terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-10.

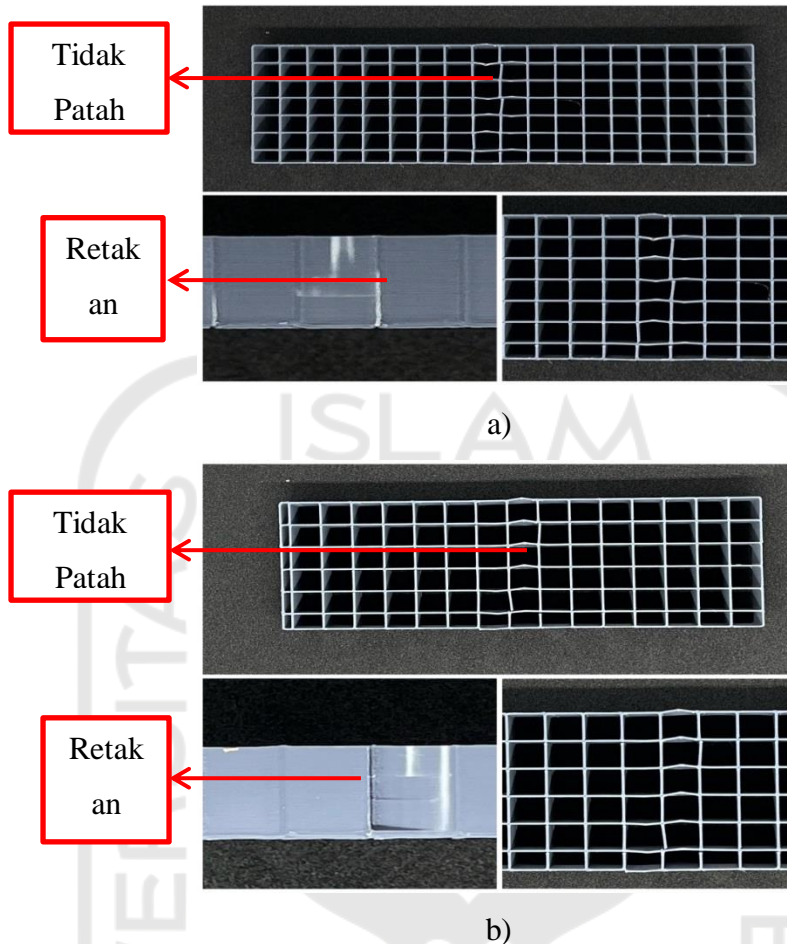


Gambar 4-10 Pengaruh *core density* pola terhadap tegangan *bending*

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-10 adalah pengaruh variasi *density* pola terhadap tegangan *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai tegangan *bending* maksimal menggunakan spesimen jenis pola *square* dengan *core density* pola 23,19,17 % dan ketebalan *core* 10 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai tegangan *bending* maksimum rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square core density* pola 23 % yaitu 4,46 MPa dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *square core density* pola 17 % yaitu 2,00 MPa. Terkait data yang ada ini membuktikan bahwa *core density* pola mempengaruhi nilai tegangan *bending* benda.

Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan salah satunya adalah Fajar Pratama et al (2016) bahwa hasilnya juga menunjukkan karakteristik yang sama bahwa nilai kapasitas tegangan benda akan semakin rendah seiring semakin besar ukuran (*core density*) lubang atau pola dari suatu benda.

Hasil tersebut juga berkaitan dengan modus kegagalan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-11.



Gambar 4-11 a) *Square core density* pola 19 %, b) *Square core density* pola 17 %

Pada gambar 4-11 menunjukkan kegagalan akibat tegangan *bending* pada spesimen jenis pola *square core density* pola 19 dan 17 %. Pada semua spesimen *square* mengalami retakan yang diakibatkan oleh *core* karena tidak mampu menahan tegangan maksimal yang diberikan sehingga *core* mengalami retakan tetapi tidak sampai patah dan bagian pola dari *square* tidak mengalami patah karena spesimen bentuk pola *square* memiliki ikatan antar siku pola yang sambungannya saling terhubung baik secara horizontal dan vertikal yang membuat pola dari *square* dapat menahan tegangan *bending* maksimum.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan salah satunya adalah Ardiansyah (2022) bahwa hasilnya juga menyatakan jenis pola *zig-zag (line)* memiliki nilai ketahanan terhadap kekuatan tarik tinggi karena ikatan antar pola terhubung dengan baik secara vertikal dan horizontal.

4.2.2 Pengaruh Variasi *Core Density* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4-6

Tabel 4-6 Data variabel modulus elastisitas *core density*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	I (mm ⁴)	δ (mm)
<i>Square</i> 23 %	145,53	75	3032,91	0,93
<i>Square</i> 19 %	84,96	75	2982,85	1,08
<i>Square</i> 17 %	65,15	75	3025,36	2,30

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas *core density square* 23 %, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,35 \text{ mm}$ $h = 9,91 \text{ mm}$ $\delta = 0,93 \text{ mm}$
 $P = 145,53 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

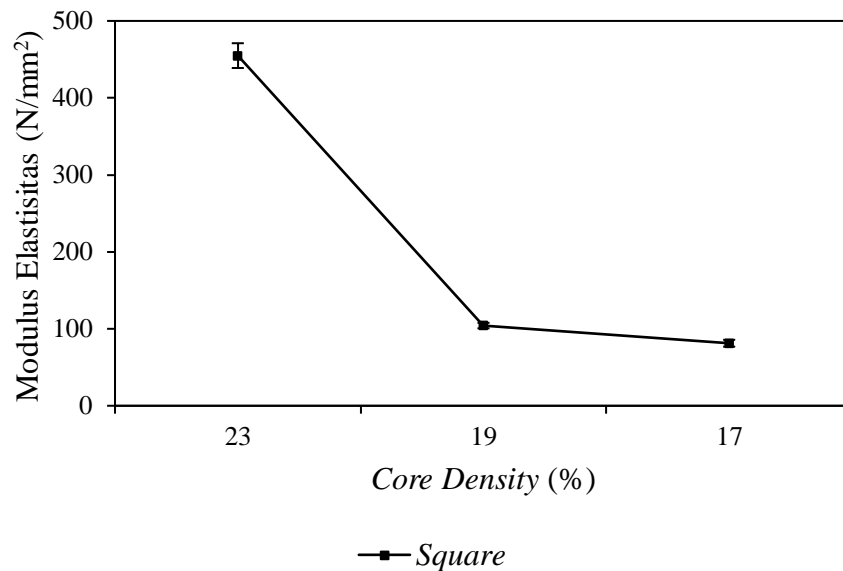
1. Modulus elastisitas

$$E = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

$$E = \frac{(145,53 \times 75^3)}{48 \times 3032,91 \times 0,93}$$

$$E = 454,93 \text{ N/mm}^2$$

Pengaruh variasi *core density* terhadap modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Pengaruh *core density* pola terhadap modulus elastisitas

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-12 adalah pengaruh variasi *density* pola terhadap modulus elastisitas *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai modulus elastisitas *bending* maksimal menggunakan spesimen jenis pola *square* dengan *core density* pola 23,19,17 % dan ketebalan *core* 10 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai modulus elastisitas rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square core density* pola 23 % yaitu 454,93 N/mm² dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *square core density* pola 17 % yaitu 81,22 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *core density* dari pola maka nilai modulus elastisitas nya semakin tinggi.

4.2.3 Pengaruh Variasi *Core Density* Terhadap Kekakuan *Bending*

Berikut data variabel terkait kekakuan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-7

Tabel 4-7 Data variabel kekakuan *bending core density*

Kode Spesimen	E (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)	I (mm ⁴)
<i>Square</i> 23 %	454,93	37,35	9,91	3032,91
<i>Square</i> 19 %	104,16	37,23	9,87	2982,85
<i>Square</i> 17 %	81,22	37,23	9,92	3025,36

Berikut hasil perhitungan kekakuan *core density square* 23 %, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E = 454,93 \text{ N/mm}^2$

$b = 37,35 \text{ mm}$

$h = 9,91 \text{ mm}$

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37,35 \times (9,91)^3$$

$$I = 3032,91 \text{ mm}^4$$

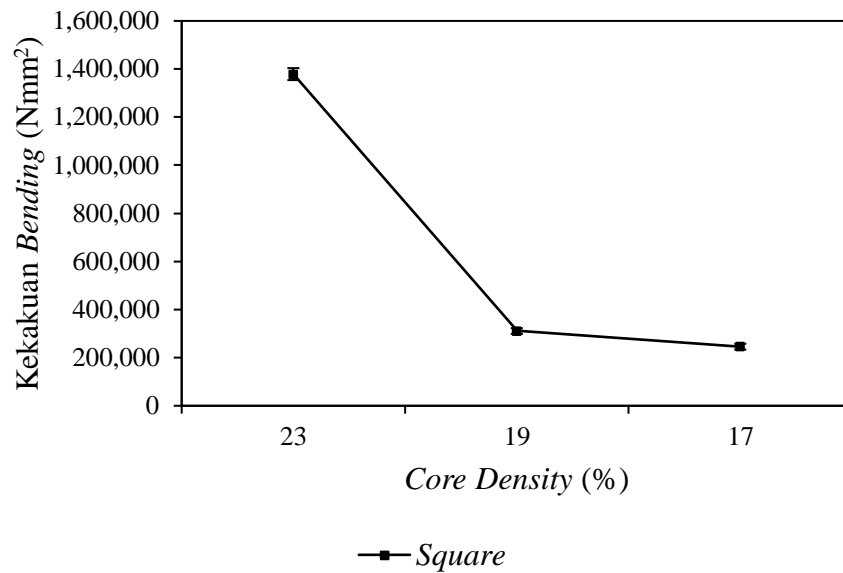
2. Kekakuan *Bending*

$$D = E \times I$$

$$D = 454,93 \times 3032,91$$

$$D = 1,378,867.21 \text{ Nmm}^2$$

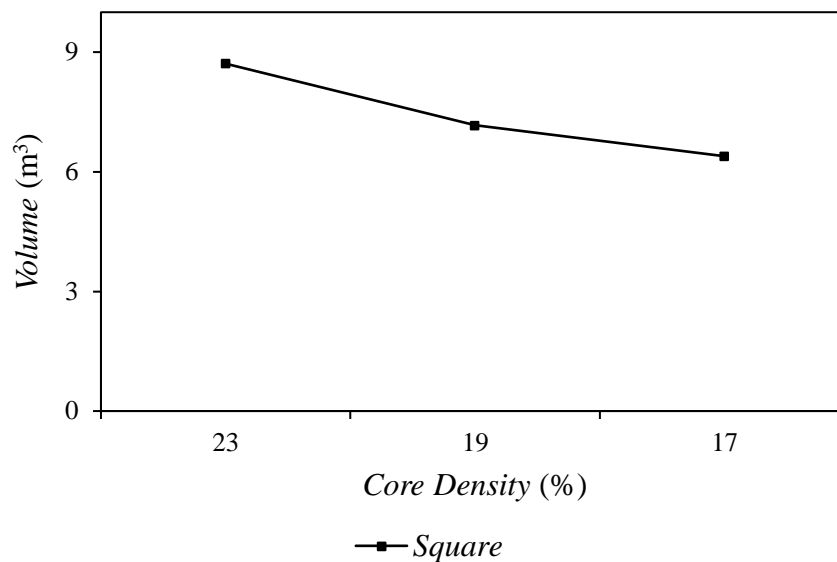
Pengaruh variasi *core density* pola terhadap kekakuan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Pengaruh *core density* pola terhadap kekakuan *bending*

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-13 adalah pengaruh variasi *density* pola terhadap kekakuan *bending* yang menunjukkan hasil perhitungan nilai kekakuan *bending* maksimal menggunakan spesimen jenis pola *square* dengan *core density* pola 23,19,17 % dan ketebalan *core* 10 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai kekakuan rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square core density* pola 23 % yaitu 1,378,867.21 Nmm² dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *square core density* pola 17 % yaitu 245,660.37 Nmm².

Data kekakuan ini juga berkaitan dengan perbandingan setiap *volume* pada masing - masing spesimen dengan variasi *core density*. Data perbandingan *volume* dapat dilihat pada Gambar 4-14.



Gambar 4-14 Perbandingan *volume core density*

Pada Gambar 4-14 menunjukkan data *volume* pada spesimen dengan variasi jenis pola *square* dengan ketebalan *core* 10 mm dan variasi *core density* 23, 19, dan 17 %. Berdasarkan data yang ada dapat ditunjukkan bahwa nilai *volume* rata-rata tertinggi adalah spesimen *core density* pola 23 % yaitu 8.71 m^3 dan nilai rata-rata terendah adalah spesimen *core density* pola 17 % yaitu 6.39 m^3 . Terkait data yang ada bahwa nilai *volume* dan *core density* pola mempengaruhi nilai kekakuan benda.

Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan salah satunya adalah Fajar Pratama et al (2016) bahwa hasilnya juga menunjukkan karakteristik yang sama bahwa kapasitas nilai kekakuan benda akan semakin rendah seiring semakin besar ukuran lubang (*core density*) dan semakin rendah *volume* dari suatu benda.

4.2.4 Pengaruh Variasi *Core Density* Terhadap Kekakuan *Bending Spesifik*

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan berat spesimen. Spesimen dengan pola *square*, *triangle*, *honeycomb* dengan ketebalan *core* 10,15,20 mm memiliki ketebalan yang berbeda. Oleh karena itu kekakuan dapat

dibagi dengan berat pada tiap spesimen. Berikut data variabel terkait kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada tabel 4-8.

Tabel 4-8 Data variabel kekakuan *bending* spesifik *core density*

Kode Spesimen	D (Nmm ² /gr)	W (gr)
<i>Square</i> 23 %	1,378,867.21	8,31
<i>Square</i> 19 %	310,714.81	6,18
<i>Square</i> 17 %	245,660.37	5,48

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik *core density square* 23 %, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : D = 1,378,867.21 Nmm²/gr

W = 8,31 gram

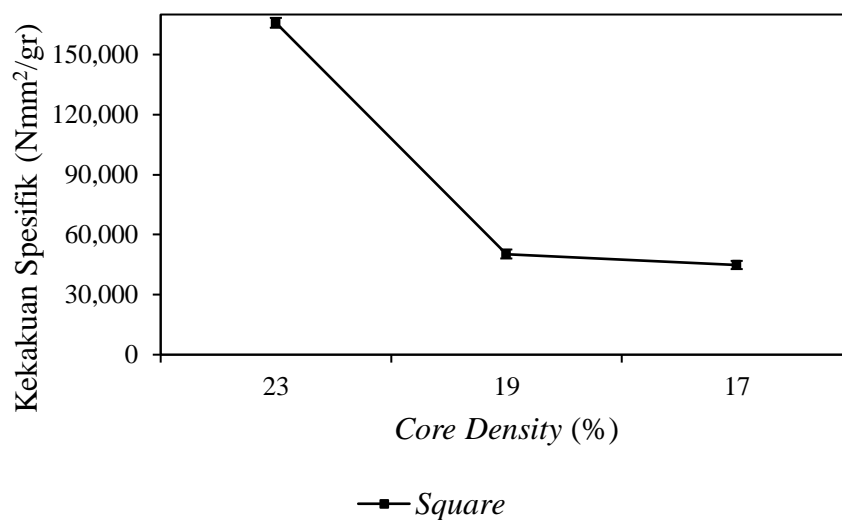
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ Spe} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ Spe} = \frac{1,378,867.21}{8,31}$$

$$D \text{ Spe} = 165,855.26 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pengaruh variasi *core density* pola terhadap kekakuan *bending* spesifik dapat dilihat pada Gambar 4-15.



Gambar 4-15 Pengaruh *core density* pola terhadap kekakuan *bending* spesifik

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-15 adalah pengaruh variasi *density* pola terhadap kekakuan *bending* spesifik yang menunjukkan hasil perhitungan nilai kekakuan *bending* spesifik maksimal menggunakan spesimen jenis pola *square* dengan *core density* pola 23,19,17 % dan ketebalan *core* 10 mm. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan nilai kekakuan spesifik rata-rata tertinggi berada pada spesimen dengan kategori *square core density* pola 23 % yaitu 165,855.26 Nmm²/gr dan nilai rata-rata terendah terdapat pada spesimen *square core density* pola 17 % yaitu 44,822.86 Nmm²/gr.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan seperti yang ada dibawah ini :

1. Jenis pola pada *core* berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* maksimal. Nilai rata-rata tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, kekakuan *bending* spesifik maksimal tertinggi ada pada spesimen jenis pola *square* dengan nilai tegangan *bending* 4,26 MPa, modulus elastisitas 218,73 N/mm², kekakuan *bending* 1,559,697.87 Nmm² dan kekakuan *bending* spesifik 129,346.65 Nmm²/gram. Hal ini disebabkan karena bentuk dari pola yang memiliki ikatan antar pola yang terhubung baik secara horizontal dan vertikal.
2. Ketebalan pada *core* berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* maksimal. Nilai tegangan *bending*, modulus elastisitas maksimal tertinggi ada pada spesimen jenis pola *square* ketebalan *core* 10 mm dengan nilai tegangan *bending* 4,46 MPa dan modulus elastisitas 454,93 N/mm². Nilai kekakuan *bending* tertinggi ada pada spesimen jenis pola *square* ketebalan *core* 20 mm dengan nilai kekakuan *bending* 2,082,949.80 Nmm². Untuk kekakuan *bending* spesifik tertinggi ada pada spesimen jenis pola *square* ketebalan *core* 10 mm dengan nilai 165,855.26 Nmm²/gram. Dimana hal ini membuktikan bahwa semakin tebal ukuran *core* spesimen maka semakin rendah nilai tegangan *bending* maksimal, modulus elastisitas dan semakin tebal ukuran dari *core* maka nilai kekakuannya semakin tinggi.
3. *Core density* pola dari spesimen berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* maksimal. Nilai rata-rata tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, kekakuan *bending* spesifik maksimal tertinggi ada pada spesimen jenis pola *square* *core density* 23 % dengan nilai tegangan *bending* 4,46 MPa, modulus elastisitas 454,93 N/mm², kekakuan *bending*

1,378,867.21 Nmm² dan kekakuan *bending* spesifik 165,855.26 Nmm²/gram. Dimana hal ini membuktikan bahwa nilai kekuatan *bending* benda akan semakin rendah seiring semakin besar ukuran lubang (*core density*) atau pola dari suatu benda.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlunya dilakukan penelitian selanjutnya terkait jenis atau pola *infill* seperti *square diagonal*, *zig – zag*, *cross*, *concentric* dan lainnya agar mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan *bending* maksimal.
2. Sebelum melakukan proses 3D *Print* pada mesin, perlunya memperhatikan dahulu kondisi mesin seperti kalibrasi pada *platform* agar tidak menyebabkan hasil *print* gagal.
3. Gunakan fitur *support* atau *raft* pada saat proses pencetakan agar menghindari objek *print* gagal saat pelepasan objek dari *bed* mesin 3D *print*.
4. Lebih berhati hati saat pelepasan objek dari *bed* agar *bed* tersebut tidak robek atau tidak terlepas dari *platform*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyansyah, D., Jamaldi, A., Studi, P., Mesin, T., Tinggi, S., & Warga, T. (2021). *Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever DESIGN AND ASSEMBLY CANTILEVER 3D PRINTER MACHINE. 1(2)*, 108–114.
- Ardiansyah, R. (2022). *PENGARUH KEKUATAN TARIK FILAMEN POLYLACTIC ACID (PLA) TERHADAP ORIENTASI SUDUT PENCETAKAN VERTIKAL SEBESAR 90 °*.
- Ashfan. (2022). *Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion*.
- Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - polyester. *Lontar*, 03(02), 11–20.
- Bimawan, Y. W. (2007). *Pengaruh Variasi Adhesive Terhadap Karakteristik Kekuatan Mekanik Komposit Cantula 3D_UPRs Dengan Core Honeycomb Kardus Tipe C-FLUTE. 1*.
- Cahyati, M. D. (2016). Pengaruh Variasi Tebal Terhadap Kekuatan Lentur Pada Balok Komposit Menggunakan Response 2000. *Jurnal Ilmiah Semesta TEknika*, 19(2), 157–164.
<https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/2371>
- Carneiro, O. S., Silva, A. F., & Gomes, R. (2015). Fused deposition modeling with polypropylene. *Materials and Design*, 83, 768–776.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.053>
- Dinur, R. (2019). *Proses Pembuatan Produk Komposit Sandwich Vacuum Infusion*.
- Fajar Pratama, R., P.Budio, S., & Narto Wijaya, M. (2016). *Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok. 19*, 1–11.
- Finali, A., Hanafi, A. F., & P.U., R. E. (2021). Analisis Variasi Pattern 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik. *J-Proteksion*, 5(1), 16–19.
<https://doi.org/10.32528/jp.v5i1.4320>

- 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.
- Ikhsanto, Noor, L., & Zainuddin. (2020). *Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA pada hasil 3D Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle*. 21(1), 1–9. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>
- Ma, Q., Rejab, M. R. M., Kumar, A. P., Fu, H., Kumar, N. M., & Tang, J. (2021). Effect of infill pattern, density and material type of 3D printed cubic structure under quasi-static loading. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235(19), 4254–4272. <https://doi.org/10.1177/0954406220971667>
- Muhajir, M., Mizar, M. A., & Dwi Agus, S. (2016). Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2), 1–8.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3(2), 65–74.
- Ningsih, D. H. U. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD / CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, X(3), 143–149.
- Prasetyaning Utomo, R. E., Hanafi, A. F., & Finali, A. (2021). Pengaruh Prosentase Infill pada Proses 3D Printing FDM terhadap Sifat Mekanik. *J-Proteksion*, 6(1), 1–4. <https://doi.org/10.32528/jp.v6i1.4337>
- Pratama, A. H. (2022). *Pengaruh Ketebalan Dan Jenis 3D Printed Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich Skin Serat Karbon*.
- Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto. (2019). Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 0–7. <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan*

Teknologi Informasi 2018, 1–6.

Rinanto, A., & Sutopo, W. (2017). *Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping : Study Literatur*. 18, 105–112.

Rusianto, T., & Huda, S. (2019). A riview : jenis dan pencetakan 3d (3d printing) untuk pembuatan prototipe. *Jurnal Teknologi*, Volume 12(28), 14–21.

Saputra, D. R. H., & Pramujati, B. (2013). Rancang Bangun Prototype Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Tiga Rotor. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 47–52.

Sitindaon, D., & Harahap, M. H. (2015). Pengaruh Penambahan Styrofoam Pada Pembuatan Beton Ringan Menggunakan Pasir Merah Labuhan Batu Selatan. *Bioilmi Edisi Agustus*, 1(1), 72–82.
http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0263034606000267%0Ahttp://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2452/2063%0Ahttps://jurnalfarmasimalahayati.sch.id/index.php/jfm/article/download/7/3/

Suzanna. (2013). *PERANAN KOMPOSIT UNTUK PESAWAT TERBANG Ir. SUZANNA H., M.Si.* 61–63.

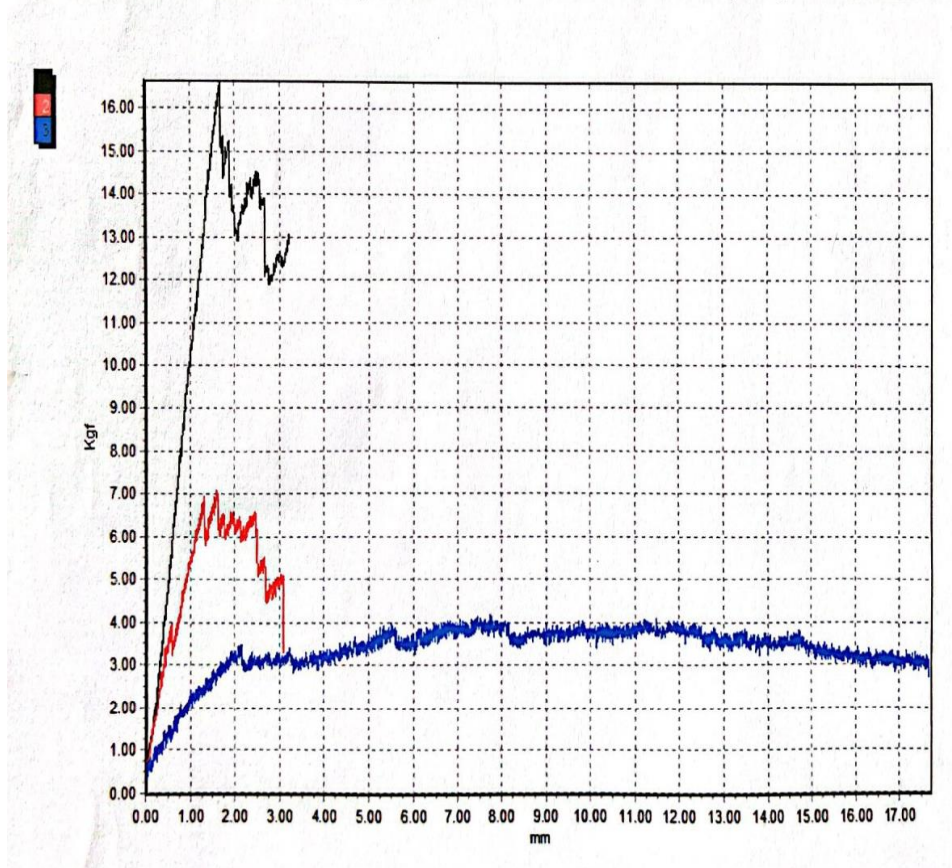
Lampiran 1

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh Jenis Pola dan Ketebalan

Core Terhadap Maximum Force

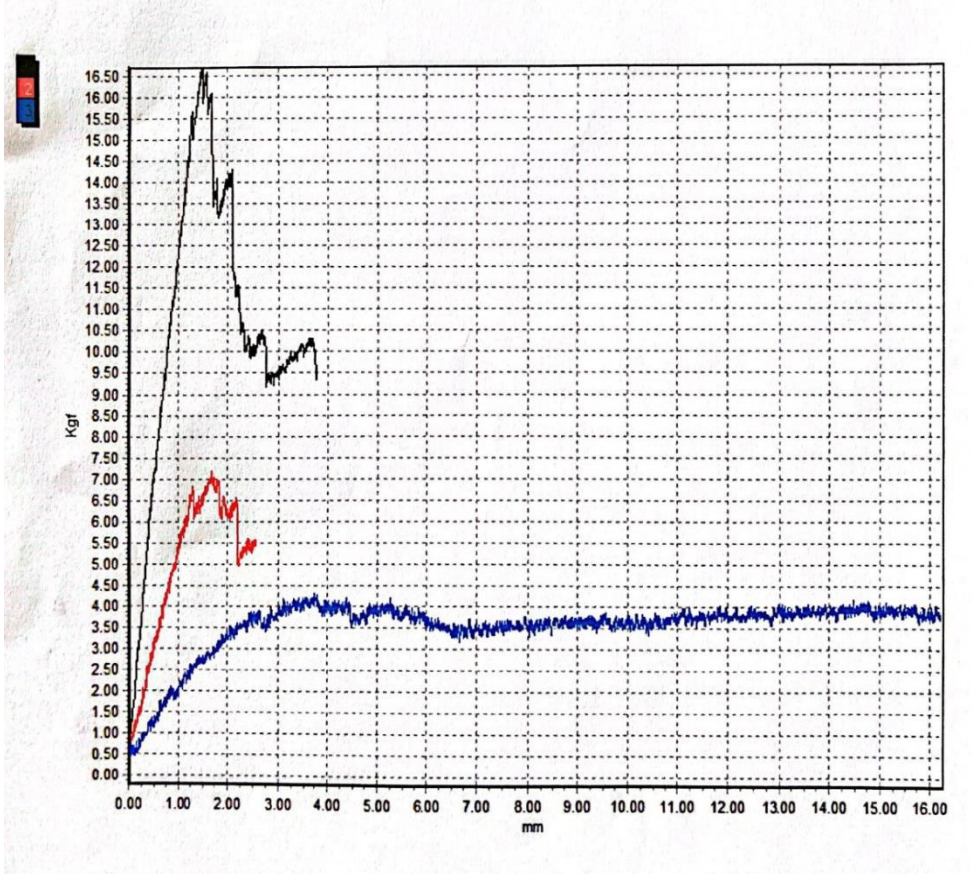
A. Jenis Pola *Honeycomb* A1 Ketebalan *Core* 20,15,10 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	16.62	0.14
2	7.07	0.11
3	4.17	0.14
4	5.49	0.05
5	8.27	0.3
6	5.15	0.18



B. Jenis Pola *Honeycomb* A2 Ketebalan Core 20,15,10 mm

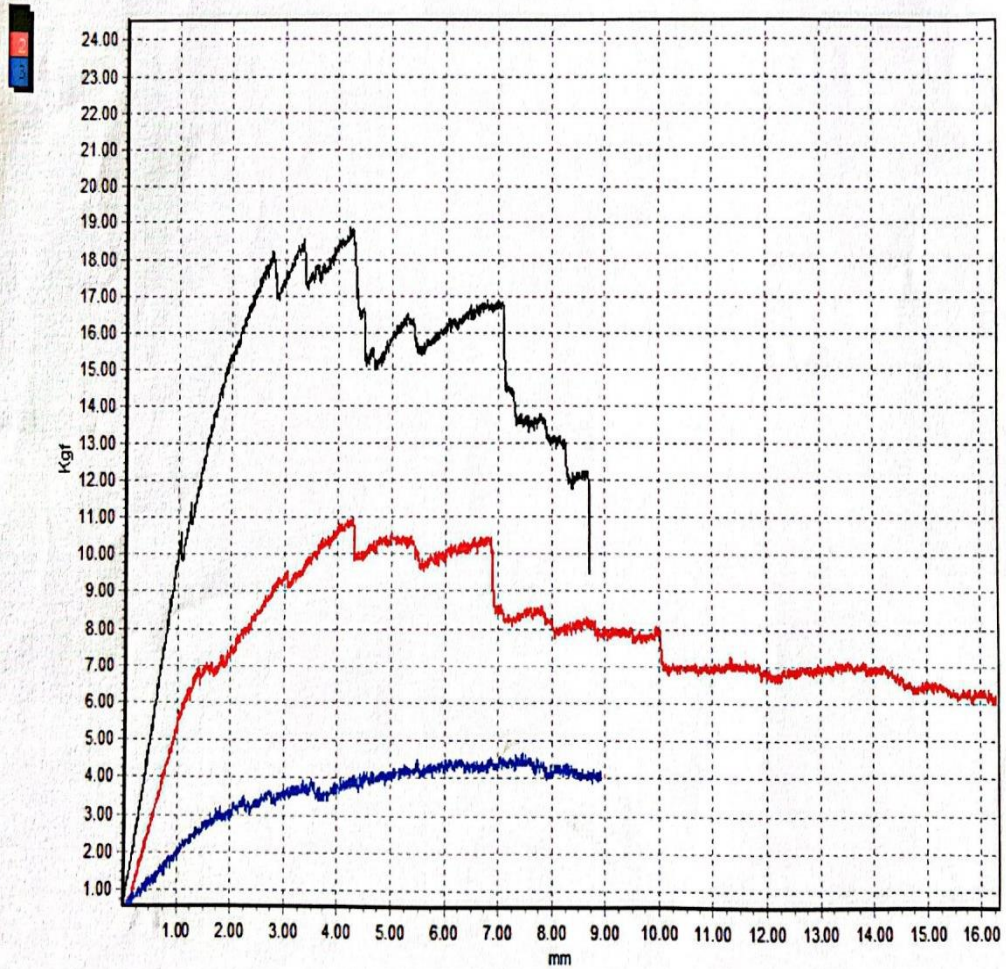
	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	16.70	0.14
2	7.18	0.11
3	4.29	0.15



الجمهورية العربية السورية
الجامعة اللبنانية
الكلية الهندسية

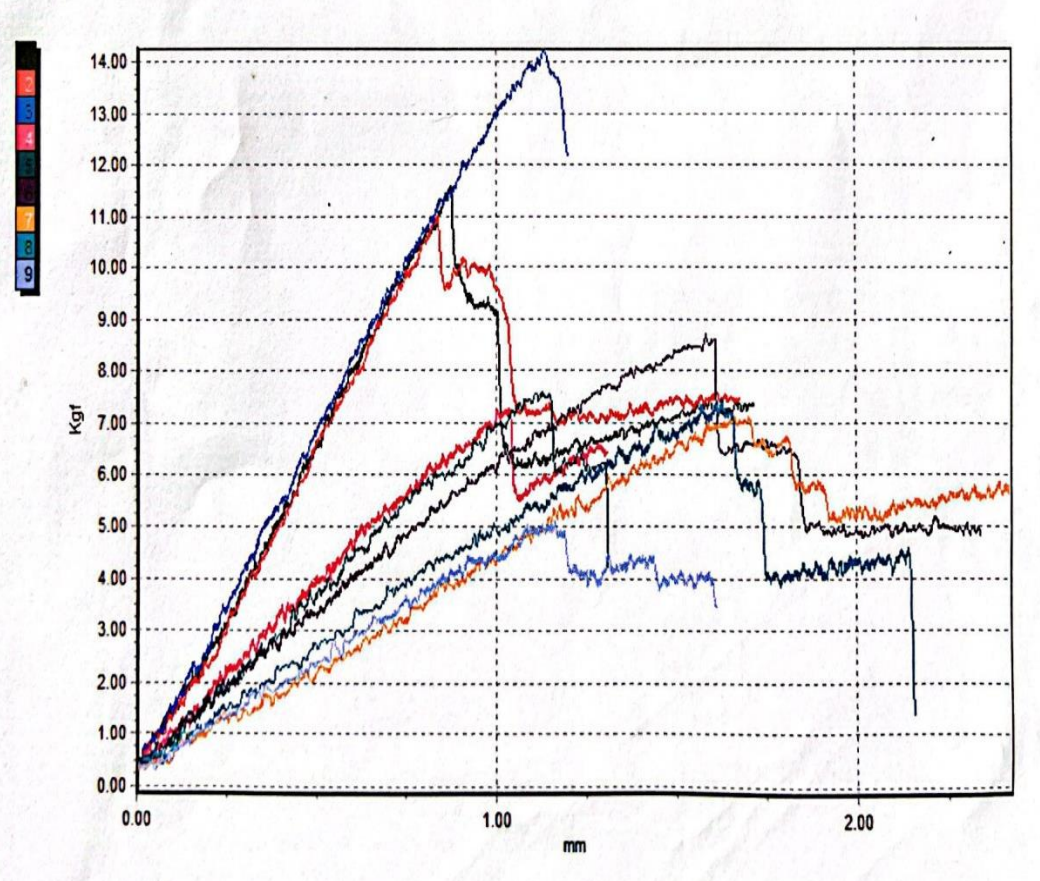
C. Jenis Pola *Honeycomb* A3 Ketebalan Core 20,15,10 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	18.88	0.16
2	10.94	0.17
3	4.70	0.16



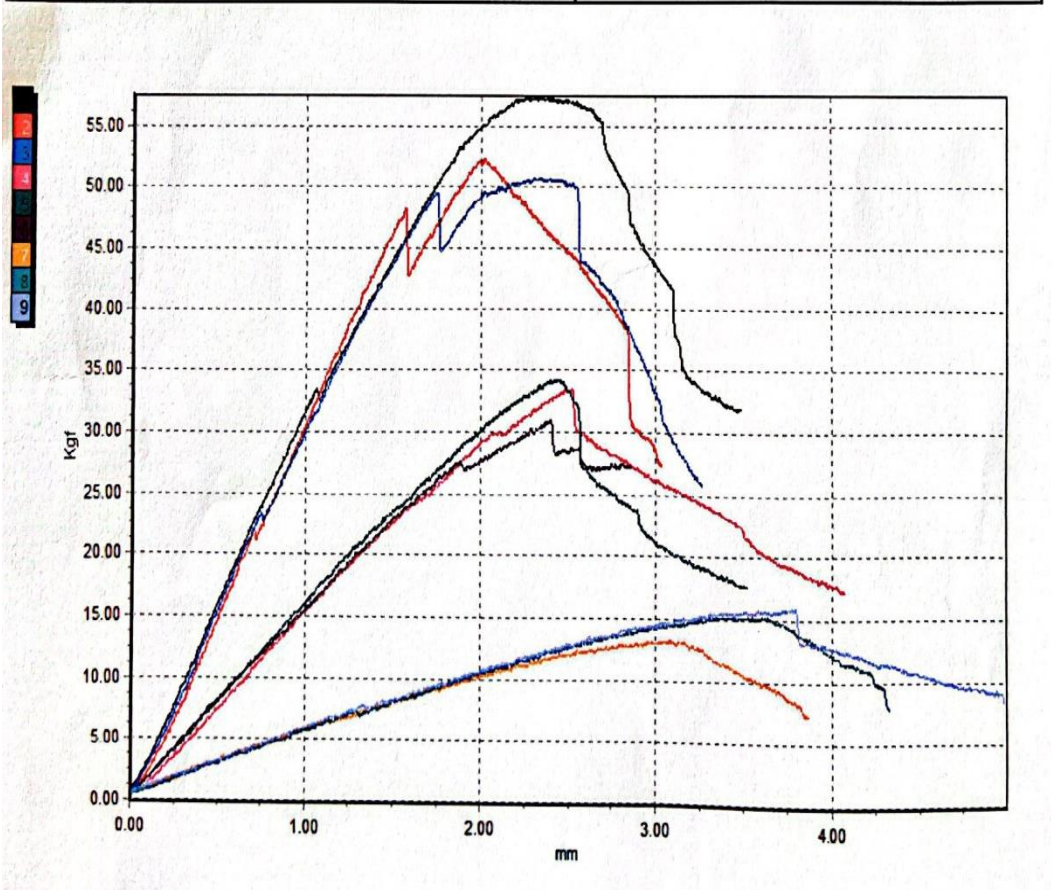
D. Jenis Pola *Triangle* Ketebalan Core 20,15,10 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	11.58	0.10
2	11.02	0.09
3	14.25	0.12
4	7.30	0.11
5	7.60	0.11
6	8.72	0.13
7	7.14	0.24
8	7.45	0.25
9	5.11	0.17



E. Jenis Pola *Square* Ketebalan Core 20,15,10 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	57.50	0.49
2	52.31	0.44
3	50.80	0.43
4	33.51	0.51
5	34.26	0.52
6	30.99	0.47
7	13.27	0.45
8	15.27	0.52
9	15.98	0.54

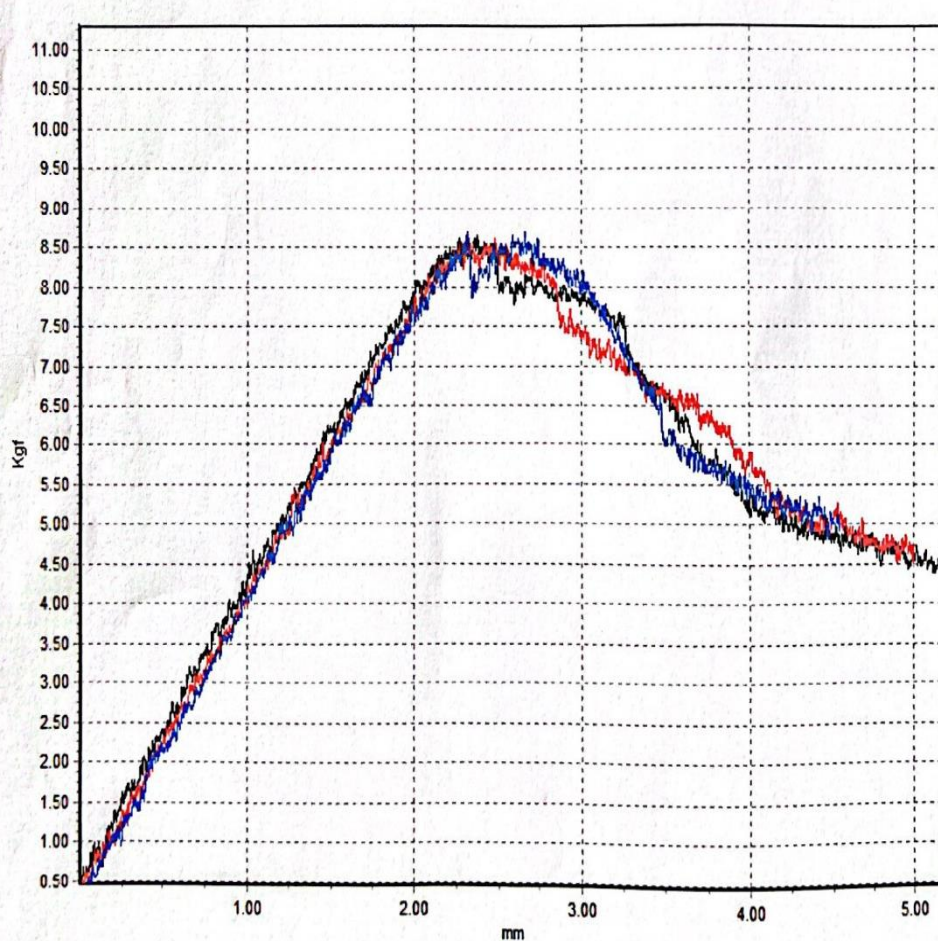


Lampiran 2

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh *Core Density* Terhadap *Maximum Force*

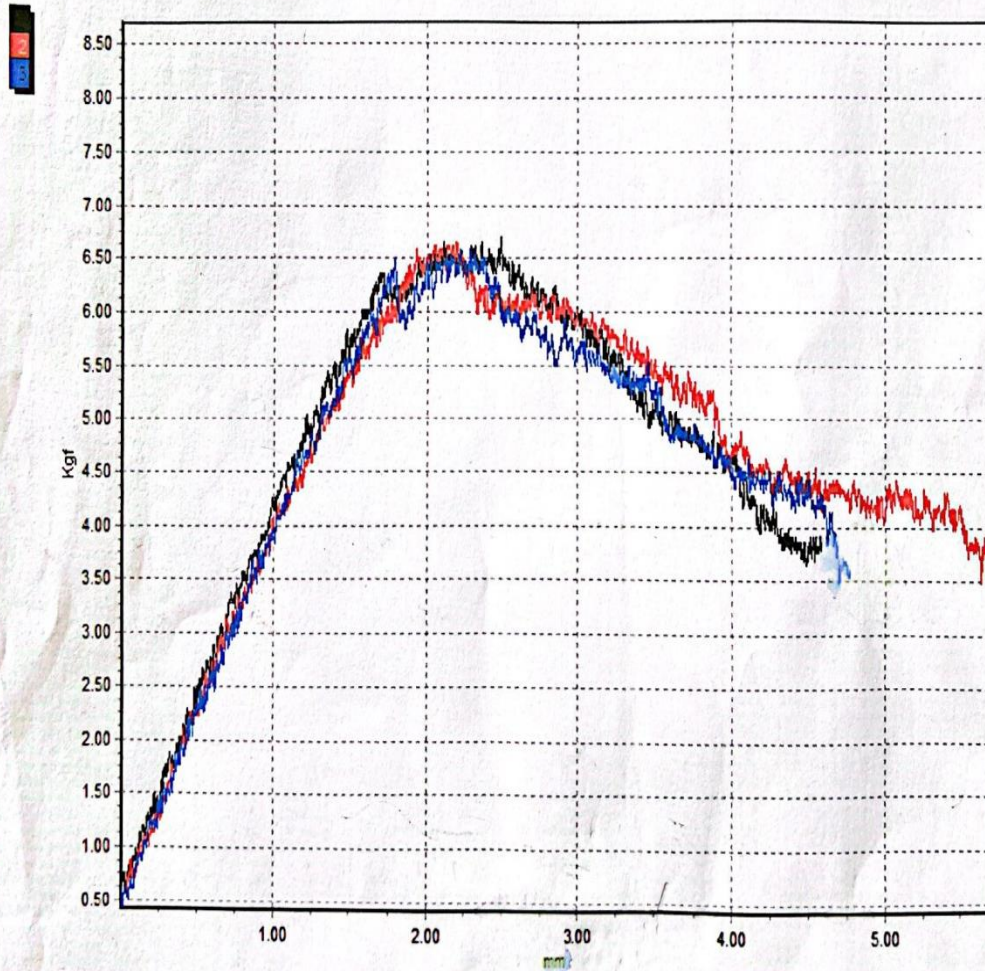
A. *Core Density* 19 % (Square Ketebalan Core 10 mm)

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	8.65	0.29
2	8.65	0.29
3	8.69	0.30



B. Core Density 17 % (Square Ketebalan Core 10 mm)

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	6.69	0.23
2	6.66	0.23
3	6.58	0.22

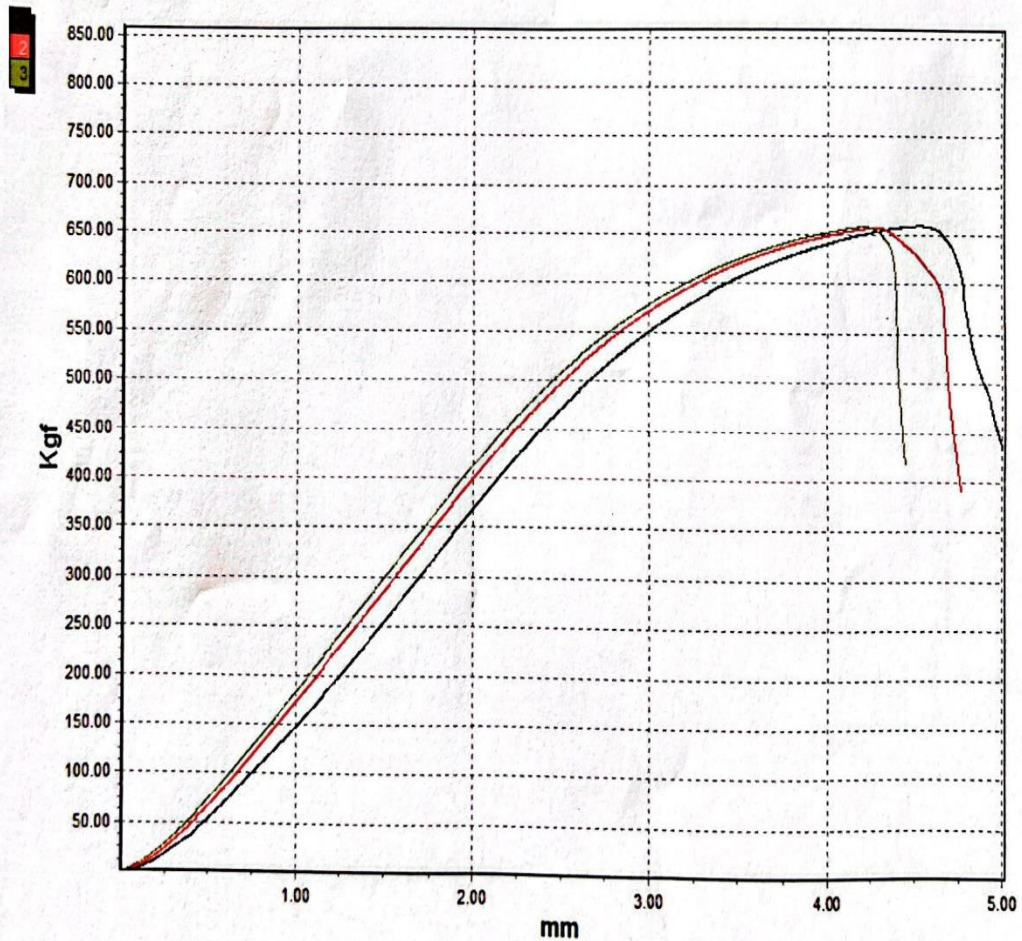


Lampiran 3

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh *Square* Pola Tertutup Terhadap *Maximum Force*

A. Jenis Pola *Square* Pola Tertutup (Ketebalan *Core* 20 mm)

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	659.81	5.61
2	657.36	5.59
3	658.38	5.60



Lampiran 4

Hasil Olah Data Pengaruh Jenis Pola, Ketebalan *Core* dan *Core Density* Terhadap Tegangan *Bending*

TABEL TEGANGAN *BENDING* JENIS POLA DAN KETEBALAN *CORE*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (gram)	P (N)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
SQ20_1	99.18	37.38	19.98	16.72	563.88	2.31	4.25
SQ20_2	99.12	37.38	19.94	16.72	512.99	2.02	3.87
SQ20_3	99.08	37.42	19.99	16.60	498.18	2.34	3.76
SQ15_1	99.18	37.36	14.97	12.52	328.62	2.52	4.44
SQ15_2	99.14	37.31	14.94	12.52	335.98	2.43	4.54
SQ15_3	99.22	37.32	14.92	12.48	303.91	2.07	4.10
SQ10_1	99.30	37.36	10.00	8.26	130.13	0.85	3.99
SQ10_2	99.24	37.30	9.86	8.36	149.75	0.95	4.59
SQ10_3	99.13	37.40	9.88	8.32	156.71	0.98	4.81
TG20_1	99.76	37.42	19.98	19.94	113.56	0.87	0.85
TG20_2	99.53	37.42	19.98	20.16	108.07	0.84	0.81
TG20_3	99.72	37.44	20.00	20.06	139.74	0.89	1.05
TG15_1	99.57	37.22	14.98	15.18	71.59	0.55	0.97
TG15_2	99.56	37.20	14.92	15.12	74.53	0.59	1.01
TG15_3	99.60	37.22	14.99	15.06	85.51	0.65	1.16
TG10_1	99.56	37.32	10.00	10.36	70.02	1.19	2.13
TG10_2	99.58	37.28	9.95	10.44	73.06	1.25	2.22
TG10_3	99.60	37.29	9.92	10.38	50.11	0.79	1.52
HC20_1	99.76	37.50	19.92	16.76	162.99	1.48	1.23
HC20_2	99.88	37.42	20.00	16.72	163.77	1.50	1.24
HC20_3	99.84	37.38	19.96	16.74	185.15	4.26	1.40
HC15_1	99.86	37.44	15.00	12.56	69.33	0.69	0.93
HC15_2	99.94	37.38	14.96	12.58	70.41	0.72	0.94
HC15_3	99.84	37.49	15.00	12.62	107.28	4.25	1.43

HC10_1	99.52	37.40	9.96	8.40	40.89	1.26	1.24
HC10_2	99.46	37.32	9.96	8.42	42.07	1.28	1.27
HC10_3	99.78	37.46	9.98	8.46	46.09	4.35	1.40

Keterangan :

SQ = *Square*

TG = *Triangle*

HC = *Honeycomb*

20 = Ketebalan Core 20 mm

15 = Ketebalan Core 15 mm

10 = Ketebalan Core 10 mm

TABEL DENSITY CORE TEGANGAN BENDING

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (gram)	P (N)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)
SQ10_23%_1	99.30	37.36	10.00	8.26	130.13	0.85	3.99
SQ10_23%_2	99.24	37.30	9.86	8.36	149.75	0.95	4.59
SQ10_23%_3	99.13	37.40	9.88	8.32	156.71	0.98	4.81
SQ10_19%_1	99.38	37.22	9.85	6.17	84.83	2.37	2.63
SQ10_19%_2	99.53	37.21	9.86	6.23	84.83	2.53	2.63
SQ10_19%_3	99.40	37.25	9.90	6.13	85.22	2.32	2.64
SQ10_17%_1	99.46	37.28	9.92	5.48	65.61	2.49	2.01
SQ10_17%_2	99.44	37.18	9.89	5.52	65.31	2.20	2.01
SQ10_17%_3	99.54	37.22	9.94	5.44	64.53	2.32	1.98

Keterangan :

23 % = *Core Density* Pola 23 %

19 % = *Core Density* Pola 19 %

17 % = *Core Density* Pola 17%

TABEL *SQUARE* POLA TERTUTUP TEGANGAN *BENDING*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (gram)	P (N)	Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)
<i>Square</i> 20_1 Pola Tertutup	99.73	37.36	19.99	73.30	6470.53	48.76
<i>Square</i> 20_2 Pola Tertutup	99.74	37.20	19.97	73.38	6446.50	48.89
<i>Square</i> 20_3 Pola Tertutup	99.72	37.29	19.93	73.58	6456.50	49.04



Lampiran 5

Hasil Olah Data Pengaruh Jenis Pola, Ketebalan *Core*, dan *Core Density* Terhadap Kekuatan *Bending*

TABEL KEKUATAN *BENDING* JENIS POLA DAN KETEBALAN *CORE*

Kategori	Beban Maks (N)	I (mm^4)	Teg <i>Bending</i> (Mpa)	E (N/mm^2)	D (Nmm^2)	D Spesifik (Nmm^2/gr)
<i>Square</i> 20	525.02	24816.99	3.96	83.95	2,082,949.80	124,848.01
<i>Square</i> 15	322.83	10380.60	4.36	117.29	1,217,276.61	97,336.68
<i>Square</i> 10	145.53	3032.91	4.46	454.93	1,378,867.21	165,855.26
<i>Triangle</i> 20	120.46	24901.27	0.91	48.96	1,219,380.59	60,808.19
<i>Triangle</i> 15	77.21	10389.83	1.04	109.42	1,136,888.00	75,192.88
<i>Triangle</i> 10	64.40	3067.94	1.96	172.65	529,473.26	50,946.24
<i>Honeycomb</i> 20	170.64	24806.21	1.29	31.02	769,858.73	45,989.03
<i>Honeycomb</i> 15	82.34	10501.10	1.10	62.44	654,867.69	52,074.89
<i>Honeycomb</i> 10	43.02	3085.07	1.30	72.22	222,425.81	26,425.82

TABEL KEKUATAN *BENDING CORE DENSITY*

Kategori	Beban Maks (N)	I (mm^4)	Teg <i>Bending</i> (Mpa)	E (N/mm^2)	D (Nmm^2)	D Spesifik (Nmm^2/gr)
<i>Square</i> 23 %	145.53	3032.91	4.46	454.93	1,378,867.21	165855.26
<i>Square</i> 19 %	84.96	2982.85	2.64	104.16	310,714.81	50319.45
<i>Square</i> 17 %	75.06	3025.36	2.00	81.22	245,660.37	44822.86

Lampiran 6

Hasil Olah Data *Volume* Jenis Pola, Ketebalan *Core*, dan *Core Density*

TABEL *VOLUME* JENIS POLA DAN KETEBALAN *CORE*

Kategori	<i>Volume</i> (m ³)
<i>Square</i> 20	17,43
<i>Square</i> 15	13,07
<i>Square</i> 10	8,71
<i>Triangle</i> 20	23,23
<i>Triangle</i> 15	17,42
<i>Triangle</i> 10	11,61
<i>Honeycomb</i> 20	17,95
<i>Honeycomb</i> 15	13,47
<i>Honeycomb</i> 10	8,98

TABEL *VOLUME CORE DENSITY*

Kategori	<i>Volume</i> (m ³)
<i>Square</i> 23 %	8.71
<i>Square</i> 19 %	7.16
<i>Square</i> 17 %	6.39

Lampiran 7

Hasil Olah Data Massa Jenis Jenis Pola, Ketebalan *Core* , dan *Core Density*

TABEL MASSA JENIS JENIS POLA DAN KETEBALAN *CORE*

Kategori	Massa Jenis (gr/cm ³)
<i>Square</i> 20	0,96
<i>Square</i> 15	0,96
<i>Square</i> 10	0,95
<i>Triangle</i> 20	0,86
<i>Triangle</i> 15	0,87
<i>Triangle</i> 10	0,89
<i>Honeycomb</i> 20	0,93
<i>Honeycomb</i> 15	0,93
<i>Honeycomb</i> 10	0,94

TABEL MASSA JENIS *CORE DENSITY*

Kategori	Massa Jenis (gr/cm ³)
<i>Square</i> 23 %	0.95
<i>Square</i> 19 %	0.86
<i>Square</i> 17 %	0.86