

**STUDI PENGARUH ORIENTASI, JENIS, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE*
DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Rafki Azhari

No. Mahasiswa : 17525084

NIRM : 2017023625

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

STUDI PENGARUH ORIENTASI, JENIS, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE*
DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

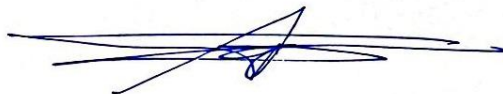
Nama : Rafki Azhari

No. Mahasiswa : 17525084

NIRM : 2017023625

Yogyakarta, 19 November 2022

Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

STUDI PENGARUH ORIENTASI, JENIS, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* DICETAK MENGGUNAKAN FILAMEN ABS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rafki Azhari
No. Mahasiswa : 17525084
NIRM : 2017023625

Tim Penguji

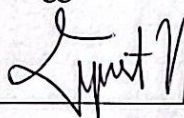
Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

Ketua

Tanggal : 5 Des 2022

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

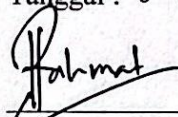
Anggota I



Tanggal : 8 Des 2022

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Anggota II



Tanggal : 5/12/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rafki Azhari

NIM : 17525084

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : STUDI PENGARUH ORIENTASI, JENIS, DAN *CORE DENSITY* TERHADAP KEKUATAN *BENDING CORE* DICETAK MENGGUANAKN 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 bertanggungjawabkan 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



Rafki Azhari

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan Tugas Akhir ini kepada kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan materi dan moril serta doa sehingga saya berhasil menyelesaikan kuliah ini dan menjadi seorang sarjana. Terima kasih telah memberikan kesempatan untuk menimba ilmu dijenjang kuliah ini. Serta orang-orang yang ada disekitar saya saat kondisi apapun. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.

Rafki Azhari



HALAMAN MOTTO

“Tak ada penyakit yang tak bisa disembuhkan kecuali kemalasan. Tak ada obat yang tak berguna selain kurangnya pengetahuan.”

(Ibnu Sina)

“The biggest wall you have to climb is the one you build in your mind. Never let your mind talk you out of your dreams, trick you into giving up. Never let your mind become the greatest obstacle to success. Get your mind on the right track, the rest will follow.”

(Anonymous)

“Discipline is doing things you hate as if you love them.”

(Mike Tyson)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP, selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Abdul Gafar dan Fitriya Novy selaku orang tua serta Hafla Hadissa dan Fadel Alhafiz sebagai adik saya yang telah memberi doa, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang tulus.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2017, dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman bimbingan Ari Asyahid "Mang Ari", Dimas Faruk "Om", Hendra Gunawan "Gentolet", Johan Pahlevi "Investor Mumer", dan Rifki Surya "Kisur" yang sudah saling membantu selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Dan seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu dalam kontribusinya membantu serangkaian proses Tugas Akhir ini.

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

Wassalamu'alaikum wr. Wb.

Yogyakarta, 19 November , 2022

Rafki Azhari



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh orientasi pola, jenis pola, dan *core density* terhadap kekuatan *bending core* komposit *sandwich*. Spesimen uji dicetak sesuai dengan standar ASTM C393 menggunakan filamen ABS. Spesimen uji divariasikan terhadap orientasi pola yaitu horisontal dan vertikal, jenis pola divariasikan yaitu tipe *honeycomb*, *triangle*, dan *square*, untuk *core density* divariasikan pada 30%, 26%, dan 23%. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *three-point bending*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa tegangan *bending* terbesar pada orientasi horisontal adalah pola *square* sebesar 4,46 MPa dan pada orientasi vertikal adalah pola *honeycomb* sebesar 3,27 MPa. Modulus elastisitas sebesar 228,46 MPa, Kekakuan sebesar 747933,10 Nmm^2 , dan Kekakuan spesifik sebesar 846054,25 Nmm^2/gr diperoleh pada orientasi vertikal dengan jenis pola *triangle*. Untuk ukuran pola menggunakan jenis pola *honeycomb*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik tertinggi diperoleh pada *core density* 30%.

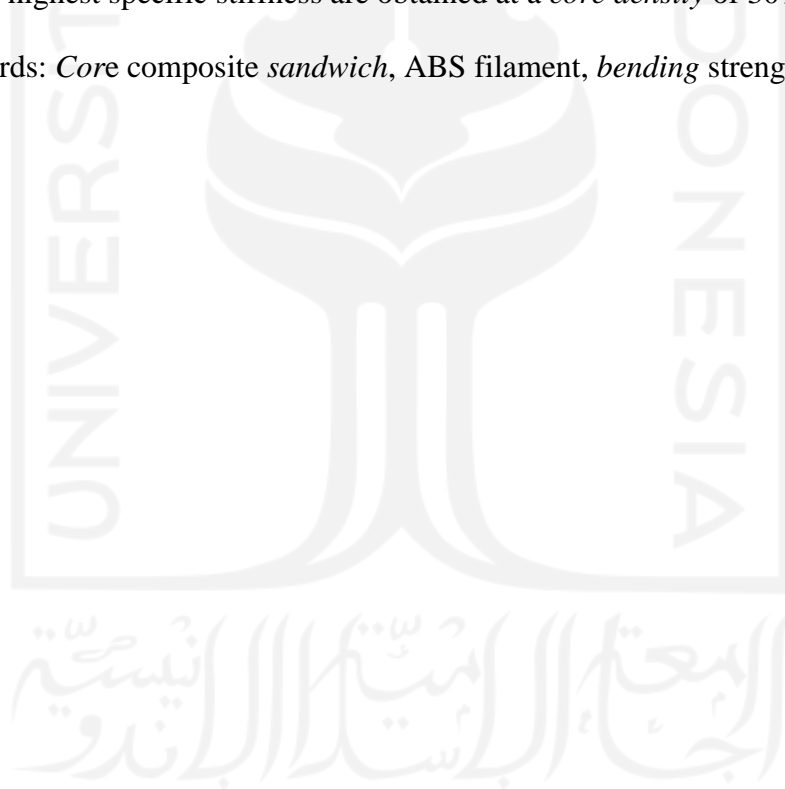
Kata kunci: *Core* komposit *sandwich*, filamen ABS, kekuatan *bending*



ABSTRACT

This study aims to determine the influence of pattern orientation, pattern type, and *core density* on the *bending* strength of sandwich composite *cores*. The test specimen is printed according to ASTM C393 standard using ABS filaments. The test specimens were varied against the pattern orientation which was horizontal and vertical, the pattern types were varied namely *honeycomb*, *triangle*, and *square* types, for *core densities* varied at 30%, 26%, and 23%. Bending testing is carried out using *the three-point bending method*. Based on the results of tests that have been carried out, data were obtained that the largest *bending* voltage in horizontal orientation is a *square* pattern of 4.46 MPa and in a vertical orientation is a *honeycomb* pattern of 3.27 MPa. The modulus of elasticity of 228.46 MPa, Stiffness of 747933.10Nmm^2 , and Specific stiffness of $846054.25\text{Nmm}^2/\text{gr}$ were obtained in vertical orientation with the type of *triangle pattern*. For pattern size using *honeycomb* pattern type, *bending* stress, elasticity modulus, stiffness, and the highest specific stiffness are obtained at a *core density* of 30%.

Keywords: *Core composite sandwich*, ABS filament, *bending* strength



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi.....	xvi
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.2.2 <i>Core</i>	7
2.2.3 Rapid Prototyping (RP).....	8
2.2.4 Fused Deposition Modelling (FDM).....	8
2.2.5 Computer Aided Design (CAD).....	9
2.2.6 3D Printing	10
2.2.7 Infill Pattern.....	10
2.2.8 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS).....	11

2.2.9	Flashforge Creator Pro	11
2.2.10	Pengujian <i>Bending</i>	12
Bab 3	Metode Penelitian	15
3.1	Alur Penelitian	15
3.2	Parameter Penelitian	17
3.2.1	Parameter Orientasi Pola	17
3.2.2	Parameter Jenis Pola	17
3.2.3	Parameter <i>Core Density</i>	18
3.3	Peralatan dan Bahan	18
3.3.1	Peralatan	18
3.3.2	Bahan	22
3.4	Dimensi Spesimen Uji <i>Bending</i>	23
3.5	Proses Pembuatan <i>Core</i>	24
3.5.1	Pembuatan Desain Spesimen Menggunakan Solidwork 2018	24
3.5.2	Mengatur Posisi Spesimen Pada Flashprint	25
3.5.3	Pemilihan Parameter Pada <i>Software</i> Flashprint	25
3.5.4	Pemilihan <i>Support</i> Dan <i>Raft</i>	26
3.5.5	Simulasi	26
3.6	Proses <i>3D Print</i>	26
3.7	Pengujian <i>Bending</i>	27
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	29
4.1	Pengaruh Orientasi Pola <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	29
4.2	Pengaruh Jenis Pola <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik	32
4.2.1	Pengaruh Jenis Pola <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	32
4.2.2	Pengaruh Jenis Pola <i>Core</i> Terhadap Modulus Elastisitas	36
4.2.3	Pengaruh Jenis Pola <i>Core</i> Terhadap Kekakuan	38
4.2.4	Pengaruh Jenis Pola <i>Core</i> Terhadap Kekakuan Spesifik	39
4.3	Pengaruh <i>Core Density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik	42
4.3.1	Pengaruh <i>Core Density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	42
4.3.2	Pengaruh <i>Core Density</i> Terhadap Modulus Elastisitas	45

4.3.3	Pengaruh <i>Core Density</i> Terhadap Kekakuan.....	46
4.3.4	Pengaruh <i>Core Density</i> Terhadap Kekakuan Spesifik	48
Bab 5 Penutup.....		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	50
Daftar Pustaka		52
LAMPIRAN 1		55
LAMPIRAN 2		64
LAMPIRAN 3		69
LAMPIRAN 4		71



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter Orientasi Pola.....	17
Tabel 3-2 Parameter Jenis Pola	17
Tabel 3-3 Parameter <i>Core Density</i>	18
Tabel 4-1 Data variabel tegangan <i>bending</i> orientasi pola	29
Tabel 4-2 Data variabel tegangan <i>bending</i> jenis pola.....	32
Tabel 4-3 Data variabel modulus elastisitas jenis pola.....	36
Tabel 4-4 Data variabel kekakuan jenis pola.....	38
Tabel 4-5 Data variabel kekakuan spesifik jenis pola	40
Tabel 4- 6 Data variabel tegangan <i>bending core density</i>	42
Tabel 4-7 Data variabel modulus elastisitas <i>core density</i>	45
Tabel 4- 8 Data variabel kekakuan <i>core density</i>	46
Tabel 4- 9 Data variabel kekakuan spesifik <i>core density</i>	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur komposit <i>sandwich</i>	7
Gambar 2-2 Macam-macam <i>core</i>	7
Gambar 2-3 Proses <i>rapid prototyping</i>	8
Gambar 2-4 Skematik <i>Fused deposition modelling</i>	9
Gambar 2-5 <i>Computer aided design</i>	9
Gambar 2-6 Mesin 3D <i>print</i>	10
Gambar 2-7 Macam-macam pola <i>infill</i>	10
Gambar 2-8 eSUN ABS <i>datasheet</i>	11
Gambar 2-9 <i>Flashforge creator pro</i>	11
Gambar 2-10 Spesifikasi <i>flashforge creator pro</i>	12
Gambar 2-11 Alat uji <i>bending</i> JTM-UTC220.....	13
Gambar 2-12 Pembebanan lentur <i>three point bending</i>	14
Gambar 3-1 Diagram alur penelitian	16
Gambar 3-2 Laptop lenovo legion 5.....	18
Gambar 3-3 <i>Software</i> solidwork 2018.....	19
Gambar 3-4 Flashforge creator pro	19
Gambar 3-5 <i>Software</i> flashprint	20
Gambar 3-6 Jangka sorong <i>digital</i> 0,02 mm	20
Gambar 3-7 Timbangan <i>digital</i>	21
Gambar 3-8 Mesin uji <i>bending</i> JTM-UTC220.....	21
Gambar 3-9 Filamen ABS	22
Gambar 3-10 Dimensi <i>infill honeycomb</i> , <i>triangle</i> , dan <i>square</i> ukuran 4 mm	23
Gambar 3-11 Dimensi <i>infill honeycomb</i> ukuran pola 5 dan 6 mm.....	24
Gambar 3-12 Proses desain spesimen ASTM C393.....	25
Gambar 3-13 Proses peletakan spesimen di flashprint.....	25
Gambar 3-14 Parameter <i>print</i> pada flashprint	25
Gambar 3-15 <i>Support</i> dan <i>raft</i>	26
Gambar 3-16 Simulasi flashprint.....	26
Gambar 3-17 Proses 3d <i>print</i>	27
Gambar 3-18 Proses pengukuran jarak antar tumpuan.....	27

Gambar 3-19 Proses pengujian <i>bending</i>	28
Gambar 4-1 Grafik pengaruh orientasi pola <i>core</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	30
Gambar 4-2 Ilustrasi orientasi <i>horizontal</i> dan <i>vertical</i> saat <i>diprint</i>	31
Gambar 4-3 Grafik pengaruh jenis pola <i>core</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	33
Gambar 4-4 Spesimen <i>core</i> pola <i>honeycomb</i>	34
Gambar 4-5 Stabilitas struktur rangka pola <i>honeycomb</i> , <i>triangle</i> , dan <i>square</i>	34
Gambar 4-6 Kegagalan proses 3d print pola <i>triangle</i>	35
Gambar 4-7 Spesimen <i>core</i> pola <i>triangle</i>	35
Gambar 4-8 Spesimen <i>core</i> pola <i>square</i>	36
Gambar 4-9 Grafik pengaruh jenis pola <i>core</i> terhadap modulus elastisitas	37
Gambar 4-10 Grafik pengaruh jenis pola <i>core</i> terhadap kekakuan	39
Gambar 4-11 Grafik pengaruh jenis pola <i>core</i> terhadap kekakuan spesifik.....	41
Gambar 4-12 Grafik pengaruh <i>core density</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	43
Gambar 4-13 Spesimen <i>core density</i> 26% <i>honeycomb</i>	44
Gambar 4-14 Spesimen <i>core density</i> 23% <i>honeycomb</i>	44
Gambar 4-15 Grafik pengaruh <i>core density</i> terhadap modulus elastisitas	46
Gambar 4-16 Grafik pengaruh <i>core density</i> terhadap kekakuan	47
Gambar 4-17 Grafik pengaruh <i>core density</i> terhadap kekakuan spesifik.....	49

DAFTAR NOTASI

σ_b	= Tegangan <i>Bending</i> (N/mm ²)
E_b	= Modulus Elastisitas <i>Bending</i> (N/mm ²)
P	= Beban yang diberikan (N)
P _{ys}	= P saat terjadi <i>Yield Strength</i> (N)
L	= Jarak antara titik tumpuan (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
h	= Tebal spesimen (mm)
δ	= Defleksi (mm)
ρ	= Masa jenis (gr/cm ³)
D	= Kekakuan <i>bending</i> (GPa)
D _{spe}	= Kekakuan spesifik (GPa/gr)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman terutama dibidang manufaktur melahirkan banyak inovasi baru terkait material yang mampu melampaui karakteristik material pada umumnya yang membuat berkembangnya industri manufaktur semakin luas dan semakin tinggi. Salah satu contohnya adalah industri komposit. Hadi (2000) didalam bukunya menyampaikan bahwa komposit merupakan proses penggabungan dua material atau lebih, dengan sifat karakteristik berbeda yang bertujuan menghasilkan material yang memiliki sifat dan karakteristik lebih baik dari material sebelumnya. Dari pemahaman tersebut dapat disimpulkan bahwa komposit memiliki keunggulan dibandingkan dengan material pada umumnya seperti kekuatan, kekakuan, dan ringan.

Berdasarkan strukturnya, komposit dibagi menjadi dua tipe, yaitu *laminat* dan tipe *sandwich*. Struktur *laminat* adalah gabungan dari dua atau lebih bahan berbentuk lembaran dengan arah serat tertentu. Sedangkan struktur *sandwich* adalah gabungan dari dua atau lebih bahan komposit yang terdiri dari *skin dan core* serta *adhesive* yang berfungsi sebagai perekat dari kedua material tersebut.. *Skin* adalah bahan komposit berupa serat yang berperan penting dalam menahan beban. Kekuatan *skin* bergantung pada besar kecilnya serat yang membentuknya. Sehingga semakin kecil diameter serat maka semakin mengikat dan semakin kuat serat *skin* tersebut. Sedangkan *core* adalah bahan komposit yang terletak diantara *skin* yang berfungsi untuk meneruskan atau menyalurkan beban akibat pembebanan dari luar (Diharjo & Triyono, 2003). *Core* sangat penting karena struktur *sandwich* dipengaruhi oleh ikatan antara *skin* dan *core*. *Skin* harus bisa melekat dengan baik dengan *core* agar komposit *sandwich* bekerja dengan baik.

Berdasarkan uraian diatas, dibutuhkan penelitian lebih lanjut terkait bahan komposit untuk *core* pada struktur komposit *sandwich*. Pada umumnya material yang biasa digunakan adalah polimer (plastik) yang bersifat tahan panas yang tinggi. Salah satu jenis material yang memiliki sifat tahan panas yang baik adalah

ABS. *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) adalah salah satu jenis plastik yang direkayasa dengan komposisi *butadiene* yang terdistribusi secara merata diatas matriks *acrylonitrile-styrene*. ABS ini memiliki kekuatan, kekakuan, stabilitas dimensi yang baik, memiliki sifat tahan panas yang baik, dan ketahanan terhadap bahan kimia (Olivera et al., 2016). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini menggunakan material filamen ABS untuk pembuatan spesimen *core*.

Filamen ABS merupakan salah satu jenis material yang dipakai untuk membuat suatu produk menggunakan mesin *3D printing*. *3D printing* adalah teknologi yang mampu membuat suatu produk secara tiga dimensi dan pada prosesnya dibuat secara lapis demi lapis. Pada umumnya teknologi *3D Printing* digunakan untuk membuat suatu purwarupa untuk memudahkan proses pengembangan suatu produk (Gebhardt, 2003). Material yang digunakan sangat beragam mulai dari PLA, ABS, PETG, dan masih banyak lainnya. Akan tetapi, teknologi *3D printing* memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanis dari bahan yang dicetak seperti orientasi, pola *infill*, ukuran pola *infill*, dan sebagainya.

Orientasi objek pada proses *3D printing* adalah posisi objek ketika akan dicetak. Lubis et al., (2016) didalam jurnalnya mengatakan orientasi objek mempengaruhi kualitas permukaan, waktu cetak, dan kekuatan suatu benda. Hal ini terjadi karena proses *3D printing* mencetak material secara lapis demi lapis berdasarkan arah posisi yang didesain. Selain itu, pola *infill* dan ukuran pola *infill* juga dapat mempengaruhi kekuatan material yang dihasilkan. *Infill* adalah pola penyusun yang membentuk suatu struktur pada bagian dalam suatu produk yang dicetak menggunakan alat *3D print* (Wijayanto et al., 2022). Lubombo & Huneault (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa jenis pola *infill* dan ukuran pola mempengaruhi nilai kekuatan suatu material.

Dari latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian terkait *3D Print* dengan material ABS untuk mendapatkan parameter terbaik sebagai alternatif material plastik. Parameter yang akan diteliti adalah orientasi pola *infill*, jenis pola *infill*, dan ukuran pola *infill*. Adapun spesimen yang akan dipakai untuk pengujian *bending* adalah standar ASTM C393 dengan dimensi 100 mm x 37,5 mm x 10 mm. Pola *infill* yang akan diteliti adalah pola *honeycomb*, *triangle*, dan *square*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Apa pengaruh orientasi pola *infill* pada *core* yang dicetak menggunakan ABS terhadap kekuatan uji *bending*?
2. Apa pengaruh pola *infill* pada *core* yang dicetak menggunakan ABS terhadap terhadap kekuatan uji *bending*?
3. Apa pengaruh ukuran pola *infill* yang dicetak menggunakan ABS terhadap kekuatan uji *bending*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian pengaruh orientasi dan jenis pola pada *core* terhadap uji *bending* spesimen komposit *sandwich* ini yaitu.

1. Spesimen yang diuji menggunakan standar ASTM C393.
2. Material yang digunakan *filament* ABS merk eSUN.
3. Pola *infill* yang divariasikan adalah *honeycomb*, *triangle*, and *square*.
4. Ukuran pola *infill* yang divariasikan dengan ukuran 4, 5, dan 6 mm.
5. Tebal *core* yang digunakan yaitu 10 mm dengan *infill* 100%.
6. Jarak antar pola pada *core* 0,5 mm.
7. Pengujian yang digunakan adalah metode *three point bending*.
8. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen uji dan pengujian *bending*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh orientasi pada pola, jenis pola, dan ukuran pola pada *core* 3D *printing* yang dicetak menggunakan filamen ABS terhadap kekuatan *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini yaitu:

1. Mengetahui bagaimana pembuatan spesimen menggunakan alat *3D Print*.
2. Mengetahui orientasi pola, jenis pola, dan ukuran pola *core* terbaik pada spesimen ASTM C393.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dan disetiap bab memiliki beberapa subbab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang meliputi dasar teori yang melandaskan pembuatan skripsi tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan pengujian spesimen.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil data pengujian yang meliputi analisa data, hasil pengujian bending, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada penelitian mengenai ABS dan PLA yang berjudul “Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA Pada Hasil *3D Printer* Dengan Variasi Suhu *Nozzle*” Ikhsanto & Zainuddin (2020) menyatakan bahwa filamen ABS memiliki sifat kekuatan, kekakuan serta ketahanan termal lebih tinggi daripada PLA. Ketahanan termal dibutuhkan saat proses pencampuran resin dan katalis pada komposit *sandwich* nanti.

Masih berhubungan dengan *3D Print*, Lubombo & Huneault (2018) melakukan sebuah penelitian mengenai pengaruh jenis pola *infill* dan densitas *infill* terhadap kinerja mekanik pada komponen *3D Print* PLA selular. Pola *infill* yang diteliti adalah *hexagonal*, *triangular*, *square*, *square-diagonal*, dan *reinforced square-diagonal*. Setelah melakukan uji tarik dan uji bending, didapatkan hasil bahwa pola *infill hexagonal* memiliki nilai yang lebih baik pada kinerja mekanik. Semakin padat suatu *infill* maka semakin kuat kekuatannya. Dari penelitian tersebut menjadi pertimbangan untuk parameter jenis dan ukuran *infill* yang akan diteliti.

Selanjutnya, pada penelitian Prasetyaning Utomo et al. (2021) mereka meneliti pengaruh persentase *infill* pada proses *3D Printing* FDM terhadap sifat mekanik. Dengan perbandingan persentase *infill*, yaitu 60%, 80%, dan 100%. Spesimen yang digunakan adalah standar ASTM D638. Setelah pengujian tarik, didapat hasil nilai tertinggi pada spesimen yang memiliki persentase *infill* 100% dengan kekuatan sebesar $27,89 \text{ N/mm}^2$.

Lalu Ashfan (2022) melakukan penelitian terkait pengaruh ketebalan core *3D Print* dengan bahan PLA terhadap uji *bending* spesimen komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*. Dari variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm pada *core* untuk spesimen komposit *sandwich* didapatkan hasil bahwa spesimen dengan ketebalan *core* 15mm memiliki nilai kekakuan *bending* tertinggi dengan nilai 5,7 GPa.

Lalu pada penelitian lain telah dilakukan studi pengaruh jenis pola *infill*, ketebalan *core*, dan ukuran pola *infill* terhadap kekuatan *bending*. Penelitian tersebut menggunakan spesimen standar ASTM C393 dan pola dicetak pada orientasi atas (*horizontal*). Dari penelitian tersebut didapat hasil terbaik pada tegangan *bending* adalah spesimen dengan ketebalan 10 mm, pola *infill square*, dan ukuran pola 4 mm.

Perbedaan pada penelitian ini adalah dilakukan studi pengaruh terkait orientasi pola, jenis pola *infill*, dan ukuran pola terhadap kekuatan *bending*. Spesimen dicetak pada posisi orientasi samping (*vertical*). Jenis pola yang dicetak adalah *honeycomb*, *triangle*, dan *square* dengan *infill* 100%. Ukuran pola yang dicetak adalah 4 mm, 5 mm, dan 6 mm. Spesimen yang digunakan untuk penelitian ini adalah standar ASTM C393.

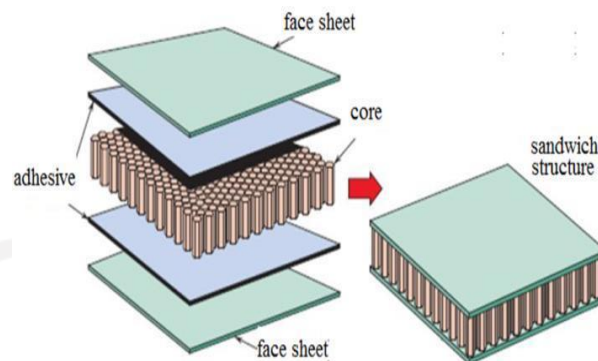
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit *Sandwich*

Komposit merupakan suatu material yang berasal dari proses penggabungan dua material atau lebih, dengan sifat karakteristik berbeda yang bertujuan menghasilkan material yang memiliki sifat dan karakteristik lebih baik dari material sebelumnya (Hadi, 2000). Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis struktur komposit yang terdiri dari gabungan dari dua atau lebih bahan komposit yang terdiri dari *skin* dan *core*. Karakteristik komposit *sandwich* adalah memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekuatan dan kekakuan yang tinggi, ringan, biaya relatif murah, mampu meredam kebisingan tinggi, dan mudah dibuat (S. X. Wang et al., 2010).

Struktur dari komposit *sandwich* terdiri dari *skin* dan *core* serta *adhesive* yang berfungsi sebagai perekat dari kedua material tersebut. *Skin* atau *face* adalah bahan komposit berupa serat yang berperan penting dalam menahan beban. Kekuatan *skin* bergantung pada besar kecilnya serat yang membentuknya. Sehingga semakin kecil diameter serat maka semakin mengikat dan semakin kuat serat *skin* tersebut. Sedangkan *core* adalah bahan komposit yang terletak diantara *skin* yang berfungsi untuk meneruskan atau menyalurkan beban akibat

pembebanan dari luar (Diharjo & Triyono, 2003). Struktur komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar 2-1.



Gambar 2-1 Struktur komposit *sandwich*

Sumber: (Rajkumar et al., 2018)

2.2.2 Core

Metode komposit *sandwich* dibuat untuk mengurangi beban berlebih tetapi memiliki kekuatan dan kekakuan yang optimal dibandingkan material biasa. Untuk itu, dibutuhkan *core* yang memiliki sifat ringan tapi memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi untuk menyalurkan beban aksial menjadi beban geser yang terjadi saat pembebanan dari luar. *Core* sangat penting karena kekuatan struktur *sandwich* dipengaruhi oleh ikatan antara *skin* dan *core*. *Skin* harus bisa menyatu dengan baik dengan *core* yang berarti tidak ada kendala yang mengganggu agar proses komposit *sandwich* bekerja dengan baik (Hadi, 2000). Ilustrasi *core* dapat dilihat pada gambar 2-2.



Gambar 2-2 Macam-macam *core*

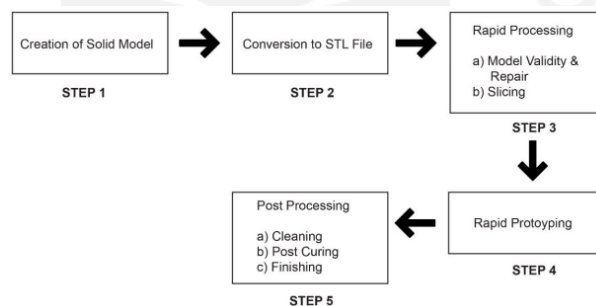
Sumber: Azom.com

2.2.3 Rapid Prototyping (RP)

Rapid Prototyping (RP) merupakan suatu metode untuk menciptakan suatu produk dengan akurat dan singkat dengan menggunakan data *Computer Aided Design* (CAD) yang mana digunakan sebagai contoh produk untuk melakukan pengembangan didalamnya sebelum dibuat secara massal sebagai tahap akhir (Pham & Gault, 1998). *Rapid Prototyping* sendiri terbukti mampu memotong biaya berlebih pada bagian produksi sebesar 70% dan bagian pemasaran sebesar 90% (Waterman & Dickens, 1994). Dalam perjalanannya, *Rapid Prototyping* memiliki beberapa metode yaitu,

1. *Stereolithography* (SLA)
2. *Selective Laser Sintering* (SLS)
3. *Laminated Object Modelling* (LOM), dan
4. *Fused Deposition Modelling* (FDM).

Untuk proses *rapid prototyping* dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2-3.



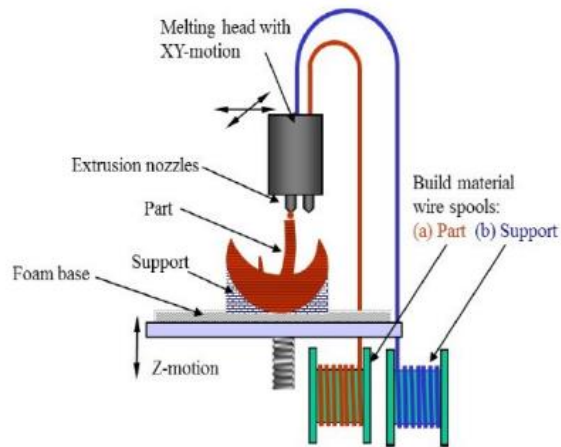
Gambar 2-3 Proses *rapid prototyping*

Sumber: (Haidiezul et al., 2018)

2.2.4 Fused Deposition Modelling (FDM)

Fused Deposition Modelling (FDM) merupakan salah satu metode *Rapid Prototyping* yang pada prosesnya melelehkan suatu material, dimana material tersebut diendapkan lapis demi lapis sesuai data model 3D hingga objek terbentuk secara keseluruhan. Proses FDM ini umumnya menggunakan filamen berukuran 1,75 mm atau 3 mm lalu filamen tersebut dimasukkan ke dalam printer melalui mekanisme roda penggerak (Rahim et al., 2019). Teknologi FDM saat ini telah meningkat dengan kecepatan yang sangat signifikan. Hal ini sangat wajar mengingat hal-hal yang ditawarkan seperti proses pembuatan yang lebih hemat

tetapi mampu membuat geometri dan rongga yang kompleks dengan akurasi dimensi yang wajar membuat teknologi ini banyak digunakan di dunia *Rapid Prototyping*. Skematik *Fused Deposition Modelling* dapat ditunjukkan pada gambar dibawah.

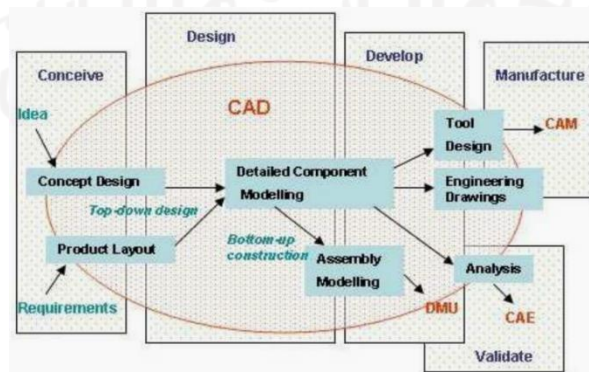


Gambar 2-4 Skematik *Fused deposition modelling*

Sumber: (Haidiezul et al., 2018)

2.2.5 Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design (CAD) merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk merancang atau mendesain suatu objek 2 atau 3 dimensi. Perangkat ini mampu memvisualisasikan dimensi suatu bentuk hingga ke material dan warna hingga menyerupai keadaan aslinya. Perangkat ini juga dapat menghitung atau menganalisa karakter dari suatu material dalam sebuah simulasi program yang ada (Ningsih, 2005). Untuk alur proses CAD dapat dilihat pada gambar 2-5.

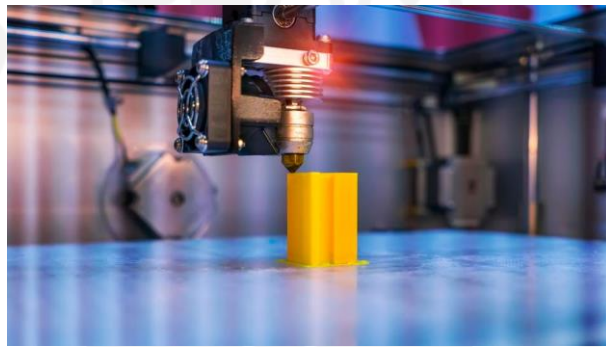


Gambar 2-5 *Computer aided design*

Sumber: (Ningsih, 2005)

2.2.6 3D Printing

Pencetakan 3D adalah salah satu proses manufaktur tambahan "*additive manufacturing*" dimana sebuah objek tiga dimensi dibangun dengan menambah lapisan demi lapisan dari bahan tertentu yang dikendalikan oleh program komputer. Hal ini berbeda dengan metode biasa yang mengukir atau mengurangi bahan sebuah objek dari bahan baku atau metode *moulding* yang mana menyuntikkan bahan cair ke dalam cetakan padat (Rayna & Striukova, 2016). Proses 3D *printing* dapat dilihat pada gambar 2-6.

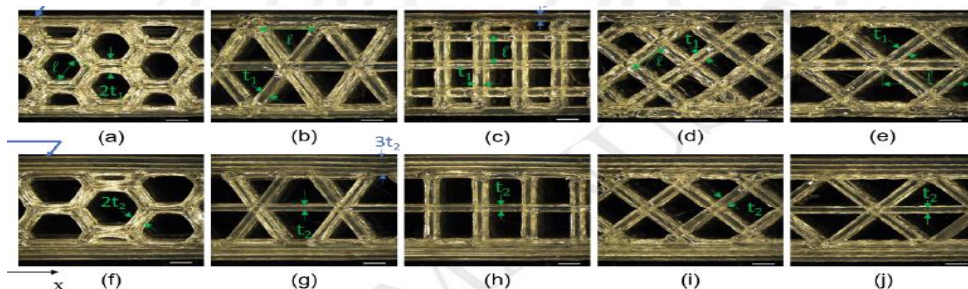


Gambar 2-6 Mesin 3D *print*

Sumber: www.forbes.com

2.2.7 Infill Pattern

Infill Pattern adalah suatu pola yang memiliki bentuk geometris beragam yang berfungsi sebagai pengisi suatu material atau struktur. Dari pola garis sederhana hingga membentuk geometri yang kompleks seperti *gyroid*. Pola *infill* dapat mempengaruhi kekuatan, fleksibilitas, berat, hingga waktu cetak (Suzen et al., 2020). *Infill* yang akan diteliti, yaitu pola *honeycomb*, *triangular*, dan *square*. Dengan *fill density* sebesar 100%. Pola *infill* dapat dilihat pada gambar 2-7.



Gambar 2-7 Macam-macam pola *infill*

Sumber: (Lubombo & Huneault, 2018)

2.2.8 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) adalah salah satu jenis plastik yang direkayasa dengan komposisi *butadiene* yang terdistribusi secara merata diatas matriks *acrylonitrile-styrene*. ABS ini memiliki ketangguhan, kekakuan, dan stabilitas dimensi yang baik serta memiliki stabilitas termal yang baik dan ketahanan terhadap bahan kimia (Olivera et al., 2016). Dari data pada gambar 2-8 peneliti menggunakan filamen ABS merk eSUN karena stabilitas termal yang baik yang dibutuhkan saat proses komposit *sandwich*.

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	68	2027	8

Gambar 2-8 eSUN ABS datasheet

Sember: esun3d.com

2.2.9 Flashforge Creator Pro

Flashforge Creator Pro adalah salah satu mesin 3D Print bertipe FDM (*Fused Deposition Modelling*). Mesin ini memiliki dua ekstruder yang memungkinkan untuk mencetak filamen ganda serta panel LCD untuk mengatur pencetakan sebuah desain. Mesin ini dapat dilihat pada gambar 2-9.



Gambar 2-9 Flashforge creator pro

Sumber: www.flashforge.com

Mesin ini memiliki *Bed Platform* yang berdimensi yaitu, 227 mm x 148 mm x 150 mm. Dengan ketebalan 6,5 mm *platform* ini dapat dipanaskan hingga 120°C. Dengan kapasitas suhu maksimal 240°C dan diameter *nozzle* 0,4 mm mesin ini mampu mencetak filamen dengan bahan PLA, ABS, PVA, dan PETG. Format cetak menggunakan .x3g dan media transfer menggunakan *SD card*. Spesifikasi mesin dapat dilihat pada gambar 2-10.



Gambar 2-10 Spesifikasi *flashforge creator pro*

Sumber: www.flashforge.com

2.2.10 Pengujian *Bending*

Pengujian *Bending* adalah pengujian material yang bertujuan mengetahui nilai kekuatan lengkung (*bending*) suatu material. Cara kerja mesin uji *bending* ini adalah dengan menekan pada bagian tengah material benda uji yang bertumpu pada dua tumpuan pada mesin uji *bending*. Pengujian *bending* memiliki dua macam jenis pengujian yaitu, *three point bending* dan *four point bending* (Makhrus, 2018). Pengujian *bending* dilakukan bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur dan modulus lentur, karena benda uji mengalami gaya tekan, gaya tarik, dan gaya geser. Dengan kombinasi gaya yang kompleks ini, uji *bending* berguna untuk mengevaluasi reaksi material terhadap pembebanan realistik. Spesimen yang digunakan adalah standar ASTM C393 karena metode pengujian ini mencakup penentuan sifat-sifat konstruksi sandwich datar yang mengalami lenturan datar sedemikian rupa sehingga momen yang diterapkan menghasilkan kelengkungan bidang permukaan sandwich. Mesin uji *bending* dapat dilihat pada gambar 2-11.



Gambar 2-11 Alat uji *bending* JTM-UTC220

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* sebagai berikut:

- A. Besar Tegangan maksimal

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

- B. Momen Inersia

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

- C. Modulus Elastisitas

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

- D. Kekakuan *Bending*

$$D = Eb \times I$$

- E. Kekakuan Spesifik

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

Keterangan :

σ_b = Tegangan *Bending* (N/mm^2)

Eb = Modulus Elastisitas *Bending* (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

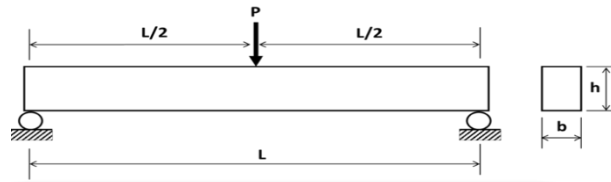
h = Tebal spesimen (mm)

D = Kekakuan *bending* (Nmm^2)

δ = Defleksi (mm)

ρ = Masa jenis (gr/cm³)

D spe = Kekakuan spesifik (GPa/gr)



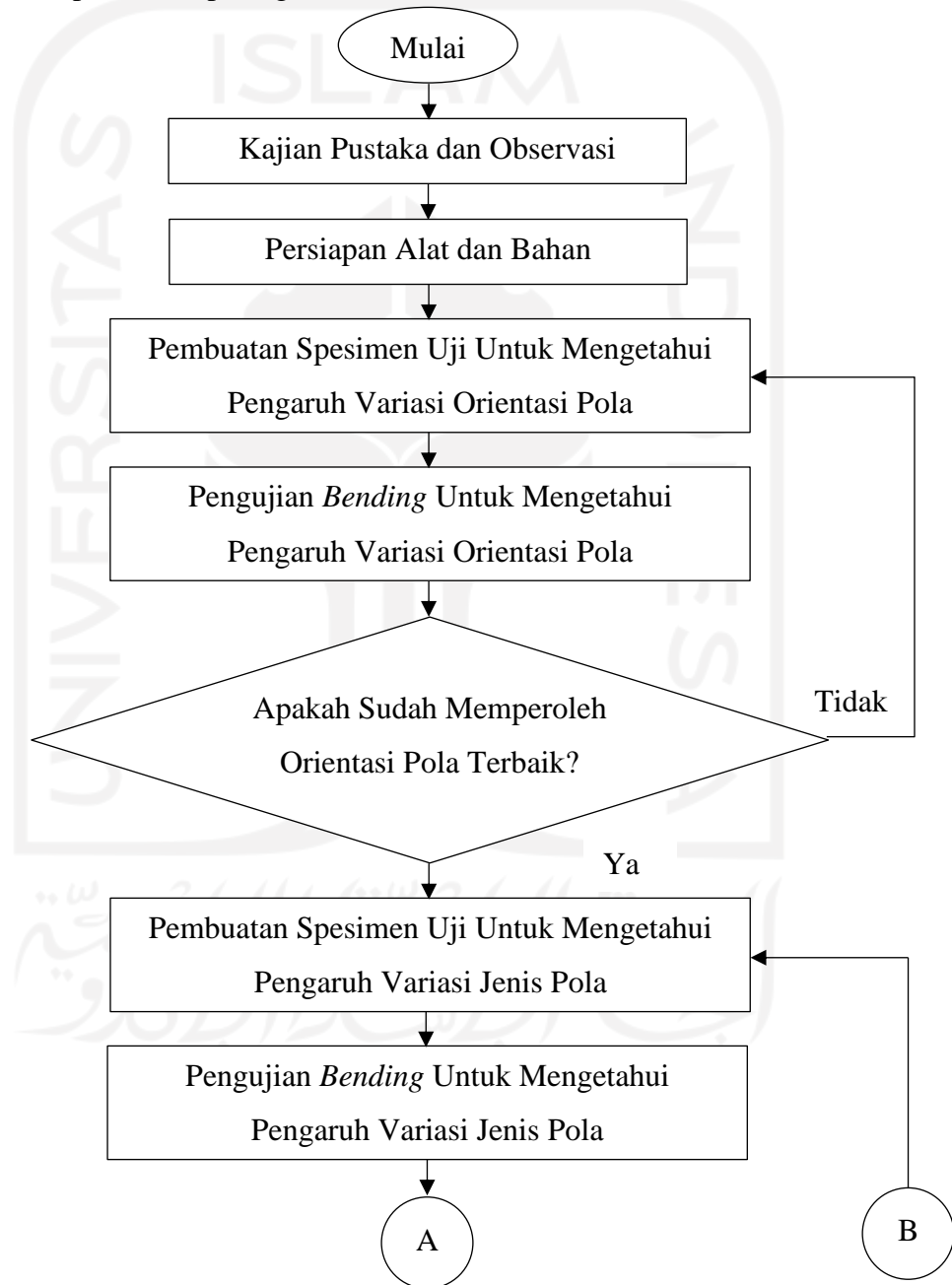
Gambar 2-12 Pembebanan lentur *three point bending*

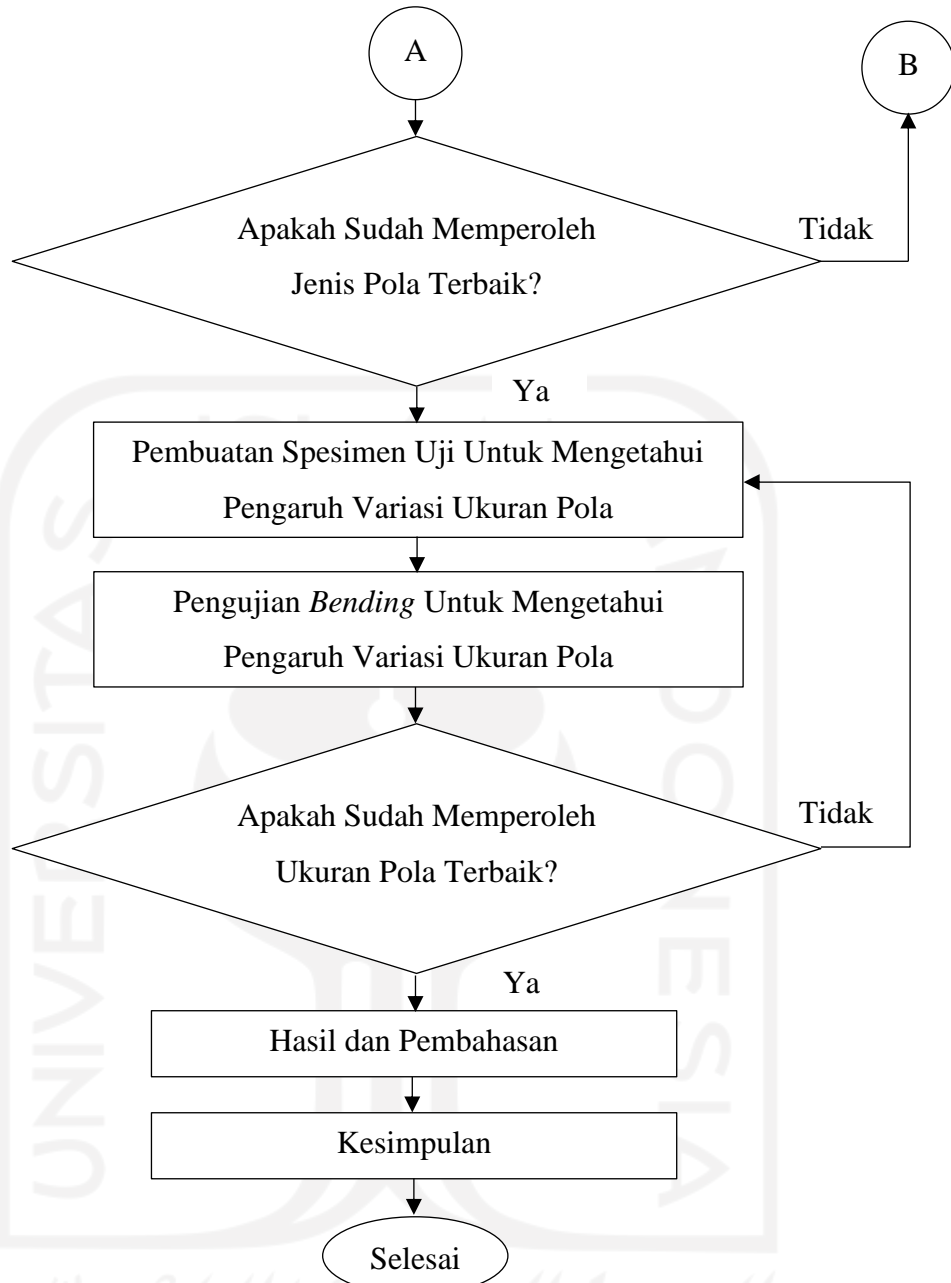


BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan alur penelitian yang telah dibuat. Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3-1.





Gambar 3-1 Diagram alur penelitian

3.2 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter penelitian tetap dan variasi.

3.2.1 Parameter Orientasi Pola

Parameter tetap dan variasi pada orientasi pola dapat dilihat pada tabel 3-1.

Tabel 3-1 Parameter Orientasi Pola

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

3.2.2 Parameter Jenis Pola

Parameter tetap dan variasi pada jenis pola dapat dilihat pada tabel 3-2.

Tabel 3-2 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>

3.2.3 Parameter *Core Density*

Parameter tetap dan variasi pada ukuran pola 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)	Core Density
1	0,18	105	100	30	240	4 mm
2	0,18	105	100	30	240	5 mm
3	0,18	105	100	30	240	6 mm

3.3 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Peralatan

1. Laptop

Laptop merupakan alat yang digunakan untuk menjalankan *software* CAD serta mendesain spesimen yang akan dicetak. Laptop yang digunakan adalah Lenovo Legion 5 seperti yang ditampilkan pada gambar 3- 2.



Gambar 3-2 Laptop lenovo legion 5

2. Software Design 3D

Software CAD yang digunakan untuk melakukan pemodelan desain adalah *Solidwork 2018*. Software *Solidwork 2018* dapat dilihat pada gambar 3- 3.



Gambar 3-3 Software solidwork 2018

3. Mesin 3D Printing

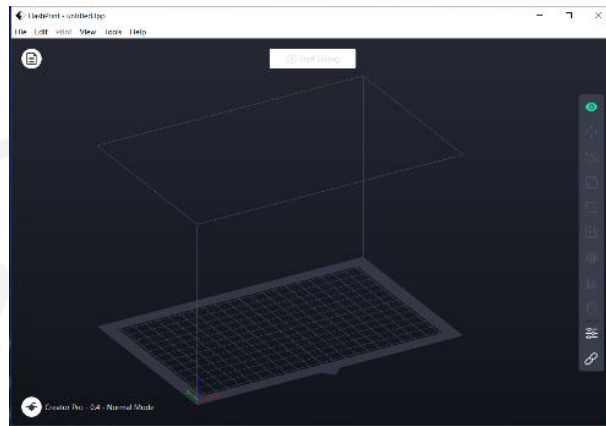
Flashforge Creator Pro merupakan mesin 3D *printing* yang digunakan pada pencetakan spesimen. Dilengkapi dengan dua ekstruder, mesin ini memiliki kapasitas dimensi 227 mm x 148 mm x 150 mm. Mesin Flashforge Creator Pro dapat dilihat pada gambar 3- 4.



Gambar 3-4 Flashforge creator pro

4. *Software* Pencetakan

Software pencetakan berfungsi sebagai pengatur parameter *print* seperti *print speed*, *fill density*, *fill*, *support* dsb. *Software* yang digunakan adalah Flashprint. Flashprint dapat ditunjukkan pada gambar 3- 5.



Gambar 3-5 *Software* flashprint

5. Jangka Sorong *Digital*

Jangka sorong digunakan untuk mengukur toleransi dimensi spesimen yang telah dicetak mesin 3D *print*. Jangka sorong yang digunakan merk Mitutoyo dengan ketelitian 0,02 mm. Jangka sorong yang digunakan dapat ditunjukkan pada gambar 3- 6.



Gambar 3-6 Jangka sorong *digital* 0,02 mm

6. Timbangan *Digital*

Timbangan *digital* digunakan untuk mengukur berat dari tiap spesimen yang akan diuji. Timbangan yang digunakan adalah merk Camry dengan ketelitian 0,01 gr. Timbangan dapat ditunjukkan pada gambar 3- 7.



Gambar 3-7 Timbangan *digital*

7. Mesin Uji *Bending*

Mesin uji *bending* berfungsi untuk mengetahui sifat kekuatan dari material spesimen yang akan diuji. Mesin yang digunakan adalah JTM-UTC220. Mesin ini dapat dilihat pada gambar 3- 8.



Gambar 3-8 Mesin uji *bending* JTM-UTC220

3.3.2 Bahan

1. *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

Filamen yang digunakan pada penelitian kali ini adalah ABS merk eSUN.

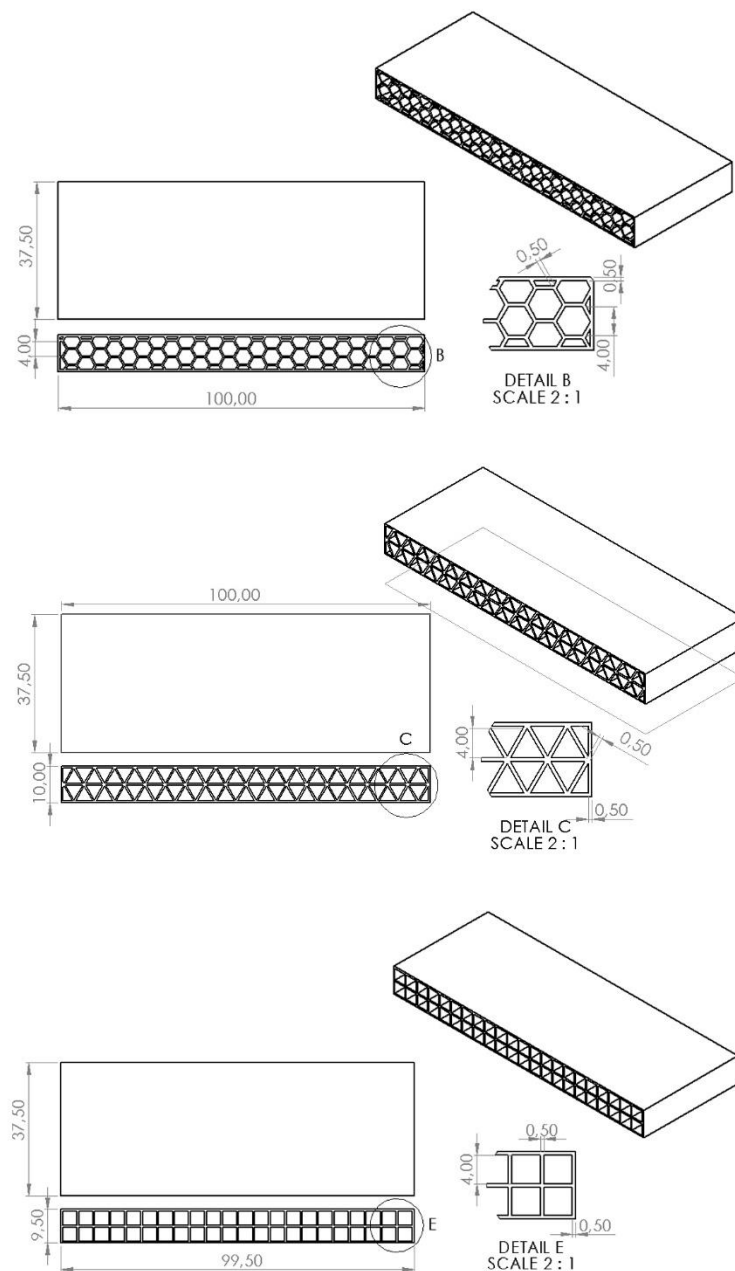
Filamen ABS dapat dilihat pada gambar 3-9.



Gambar 3-9 Filamen ABS

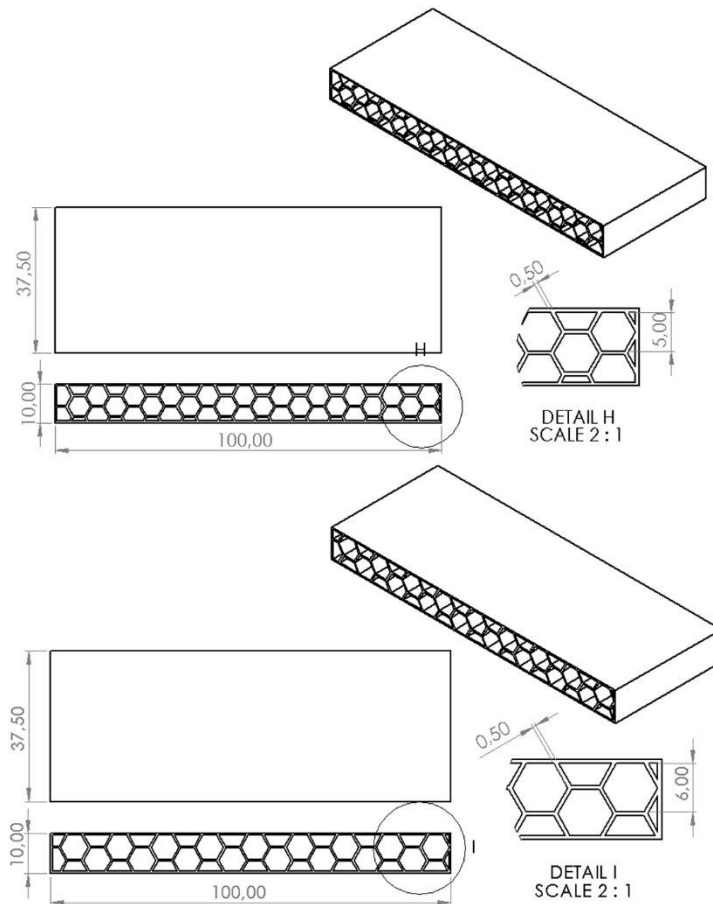
3.4 Dimensi Spesimen Uji *Bending*

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 dengan *infill* 100%. Jenis pola yang digunakan adalah *honeycomb*, *triangle*, dan *square* dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dengan diskala 1:2 dari ukuran asli standar ASTM C393 dengan ketebalan *core* 10 mm, jarak tiap pola 0,5 mm. Dimensi spesimen dapat dilihat pada Gambar 3- 10 sampai Gambar 3- 11.



Gambar 3-10 Dimensi *infill* honeycomb, triangle, dan square ukuran 4 mm

Selanjutnya dimensi spesimen *honeycomb* standar ASTM C393 dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 37,5 mm, dengan diskala 1:2 dari ukuran asli standar ASTM C393 dan tebal 10 mm. Untuk variasi *core density* adalah 30%, 26%, dan 23%. Untuk struktur *core* 30% memiliki ukuran pola 4 mm, *core* 26% memiliki ukuran pola 5 mm, dan *core* 23% memiliki ukuran pola 6 mm dengan jarak tiap pola adalah 0,5 mm.

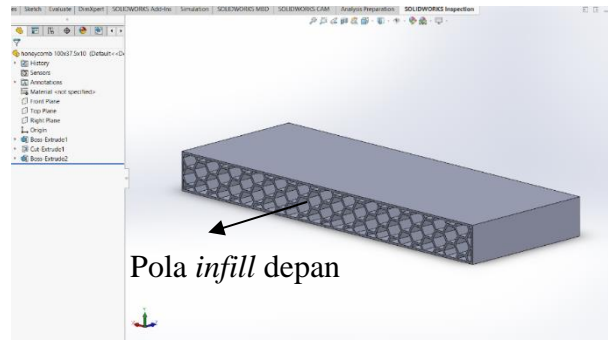


Gambar 3-11 Dimensi *infill honeycomb* ukuran pola 5 dan 6 mm

3.5 Proses Pembuatan *Core*

3.5.1 Pembuatan Desain Spesimen Menggunakan Solidwork 2018

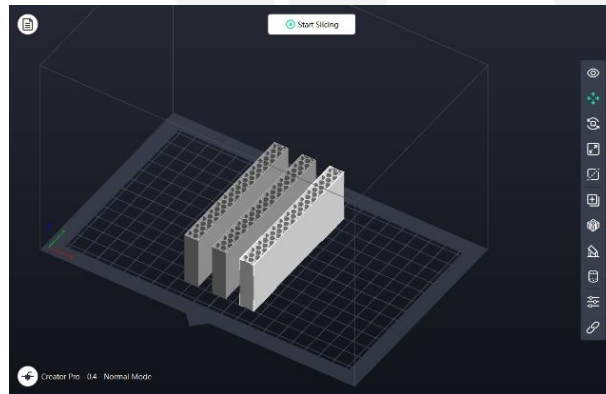
Desain pola *infill* yang akan didesain menggunakan standar ASTM C393 dengan dimensi Panjang dan lebar 100 mm x 37,5 mm dengan tebal yang ditetapkan 10 mm. Untuk pola *infill* berada disisi depan (*horizontal*). Proses desain dapat dilihat pada gambar 3-12.



Gambar 3-12 Proses desain spesimen ASTM C393

3.5.2 Mengatur Posisi Spesimen Pada Flashprint

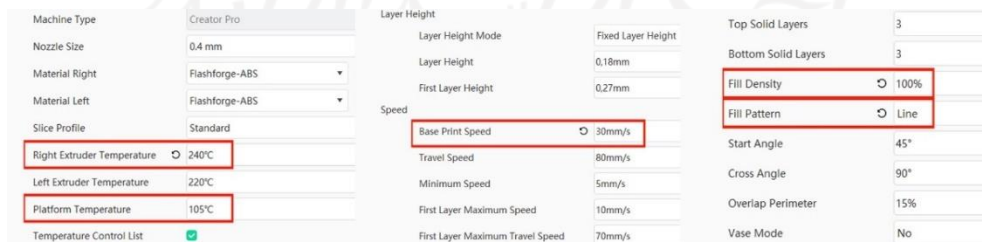
Pada gambar 3-13 dibawah ditunjukkan spesimen disusun sedemikian rupa pada *software* flashprint sebelum melakukan proses pencetakan *3D Print*.



Gambar 3-13 Proses peletakan spesimen di flashprint

3.5.3 Pemilihan Parameter Pada Software Flashprint

Pada gambar 3-14 dibawah ditunjukkan beberapa parameter yang akan digunakan yaitu, suhu *nozzle*, suhu *platform*, *base print speed*, *fill density*, dan *fill pattern*.



Gambar 3-14 Parameter *print* pada flashprint

3.5.4 Pemilihan *Support* Dan *Raft*

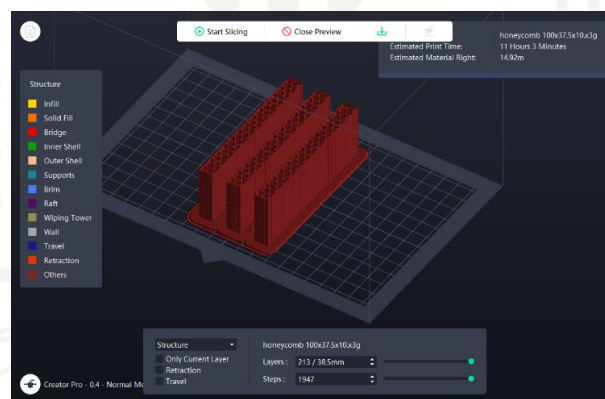
Pada gambar 3-15 dibawah ditunjukkan penggunaan *support* dan *raft* untuk memudahkan saat melepaskan spesimen dari *platform*. Pengaturan yang digunakan mengikuti standar dari *software* flashprint.

Printer	Select Extruder	Automatch	Printer	General	
General	Supports Type	Linear	General	Enable Raft	<input checked="" type="radio"/> Yes
Shells	Speed	100%	Shells	Select Extruder	Automatch
Infill	Space to Model (X/Y)	0,35mm	Infill	Margin	5,0mm
Supports	Space to Model (Z)	0,20mm	Supports	Space to Model (Z)	0,25mm
Raft	Space to Raft (Z)	0,15mm	Raft	Above Raft Extrusion Ratio	60%
Additions	Path Shape	Polyline	Additions	Above Raft Maximum Speed	15mm/s
Cooling	Path Space	2,0mm	Cooling	Bottom Layer	
Advanced	Support Thickness	65%	Advanced	Layer Height	0,40mm
Others	Top Solid Layers	0	Others	Path Width	2,0mm
	Path Angle	45°		Fill Density	50%
	Top Solid Density	100%		Speed	10mm/s
	Horizontal Expansion	0,0mm		Middle Layers	
				Layer Height	0,20mm

Gambar 3-15 *Support* dan *raft*

3.5.5 Simulasi

Pada gambar 3-16 dibawah ditunjukkan hasil simulasi dari spesimen yang akan dicetak pada *software* flashprint. Dari simulasi tersebut diketahui estimasi waktu *print* dan filamen yang dibutuhkan. File disimpan dalam format *G-code*.

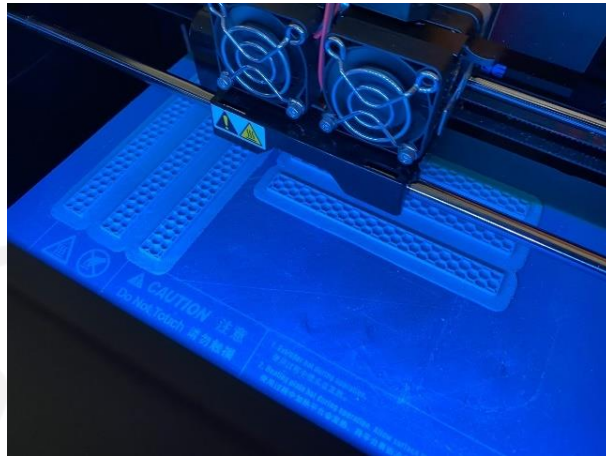


Gambar 3-16 Simulasi flashprint

3.6 Proses *3D Print*

Setelah simulasi, dilanjutkan proses pencetakan dengan mesin *Flashforge Creator Pro*. File *G-Code* yang telah dibuat dimasukkan ke mesin melalui *SD Card*. Filamen ABS dipasang terlebih dahulu ke mesin *flashforge Creator Pro*

sebelum dilakukan pencetakan. Gambar 3-17 dibawah menunjukkan proses pencetakan yang sedang berlangsung.



Gambar 3-17 Proses 3d print

3.7 Pengujian Bending

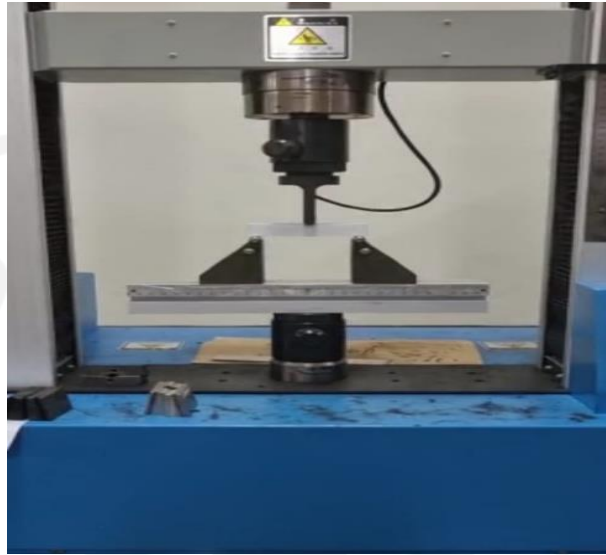
Setelah semua spesimen dicetak, dilakukan pengujian bending untuk mengetahui nilai kekuatan bending maksimal dari spesimen yang ada. Metode yang digunakan adalah *three point bending* dengan standar ASTM C393. Berikut langkah – langkah pengujian bending adalah sebagai berikut:

1. Siapkan semua spesimen sebelum melakukan pengujian.
2. Berikan tanda pada tiap spesimen untuk memudahkan proses penelitian.
3. Mengatur jarak antar tumpuan sejauh 75 mm sesuai standar ASTM C393. Proses pengukuran dapat dilihat pada gambar 3-18.



Gambar 3-18 Proses pengukuran jarak antar tumpuan

4. Letakkan spesimen tepat ditengah alat uji *bending*.
5. Mulai melakukan pengujian, mesin uji akan memberikan beban maksimal pada spesimen secara perlahan hingga spesimen melengkung atau patah. Proses pengujian dapat dilihat pada gambar 3-19.



Gambar 3-19 Proses pengujian *bending*

6. Hasil pengujian akan terbaca berupa grafik pada komputer mesin uji *bending*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Orientasi Pola Core Terhadap Tegangan Bending

Pada sub bab ini akan membahas pengaruh orientasi pola *core* terhadap tegangan *bending*. Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-1.

Tabel 4-1 Data variabel tegangan *bending* orientasi pola

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
HCP4_H	43,02	75	37,39	9,97
TGP4_H	64,40	75	37,30	9,96
SQP4_H	145,53	75	37,35	9,91
HCP4_V	110,85	75	37,59	10,08
TGP4_V	109,77	75	37,55	10,16
SQP4_V	77,67	75	37,51	9,55

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal pola *honeycomb* orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,59 \text{ mm}$ $h = 10,08 \text{ mm}$
 $P = 110,85 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

1. Tegangan Bending

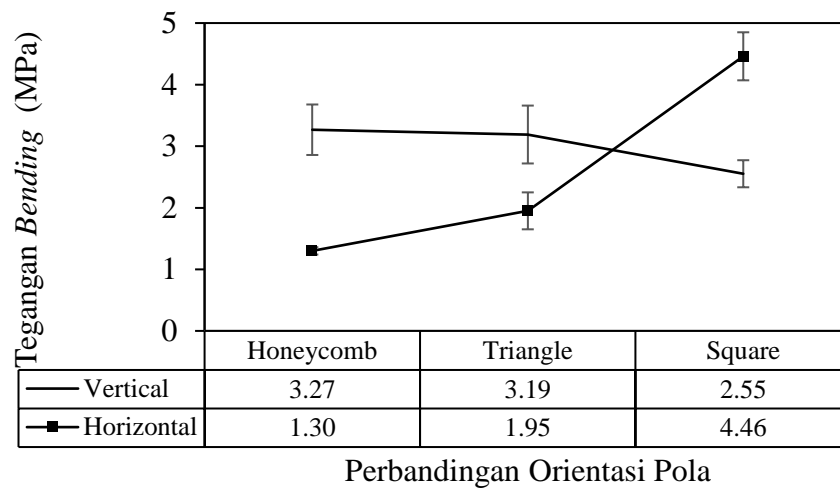
$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 110,85 \times 75}{2 \times 37,59 \times (10,08)^2}$$

$$\sigma_b = 3,27 \text{ MPa}$$

Pada penelitian lain telah dilakukan penelitian terhadap pola *core* dengan orientasi *horizontal* atau pola berada disisi atas. Pola dengan nilai tegangan *bending* tertinggi adalah pola *square* dengan nilai 4,46 MPa. Urutan kedua terdapat pada pola *triangle* dengan nilai 1,95 MPa dan yang terendah pada pola *honeycomb*

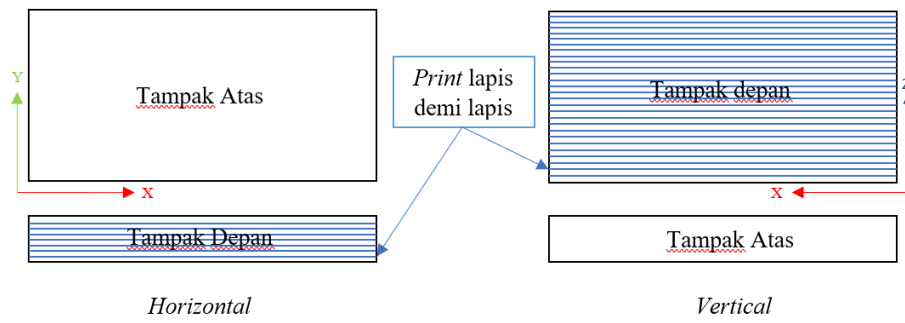
dengan nilai 1,30 MPa. Pada gambar 4-1 ditunjukkan perbandingan antara pola dengan orientasi *vertical* dan *horizontal*.



Gambar 4-1 Grafik pengaruh orientasi pola *core* terhadap tegangan *bending*

Dari grafik pada gambar 4-16 dapat disimpulkan bahwa orientasi *core* mempengaruhi besar tegangan *bending*. Untuk orientasi *core vertical* nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada pola *honeycomb*, sedangkan pada orientasi *core horizontal* nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada pola *square*.

Hal ini bisa terjadi karena orientasi *horizontal* spesimen dicetak pada posisi atas sehingga layer terbentuk hingga berlapis-lapis yang mengakibatkan saat pengujian *bending* spesimen tersebut dapat menahan beban lebih besar karena posisi *layer* yang bertumpuk searah dengan indentor. Sedangkan pada orientasi *vertical* spesimen dicetak pada posisi samping sehingga layer yang terbentuk hanya memiliki satu lapisan yang mengakibatkan saat pengujian *bending* spesimen tersebut tidak dapat menahan beban sebesar spesimen orientasi *horizontal*. Hal ini dapat dilihat pada ilustrasi gambar 4-2 dibawah.



Gambar 4-2 Ilustrasi orientasi *horizontal* dan *vertical* saat *diprint*

Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Rankouhi et al. (2016) yang menjelaskan bahwa spesimen orientasi 0° memiliki tegangan tarik lebih besar dibandingkan orientasi 90° , hal ini disebabkan karena orientasi 0° *layer* tersusun searah dengan uji tarik sehingga ikatan fusi antar *layer* memiliki pengaruh kecil terhadap kekuatan mekanik. Berbeda dengan orientasi 90° *layer* tersusun tegak lurus terhadap arah uji tarik sehingga ikatan fusi antar *layer* memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan mekanik yang mengakibatkan kegagalan fusi antar *layer*.

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

Pada sub bab ini akan membahas pengaruh jenis pola *core* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik. Variasi jenis pola yang diuji adalah *honeycomb*, *triangle*, dan *square*. Setelah melakukan pengujian *three point bending* terhadap spesimen ASTM C393 didapat hasil sebagai berikut.

4.2.1 Pengaruh Jenis Pola *Core* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-2.

Tabel 4-2 Data variabel tegangan *bending* jenis pola

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
HCP4_V	110,85	75	37,59	10,08
TGP4_V	109,77	75	37,55	10,16
SQP4_V	77,67	75	37,51	9,55

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal pola *triangle* orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,55 \text{ mm}$ $h = 10,16 \text{ mm}$
 $P = 109,77 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

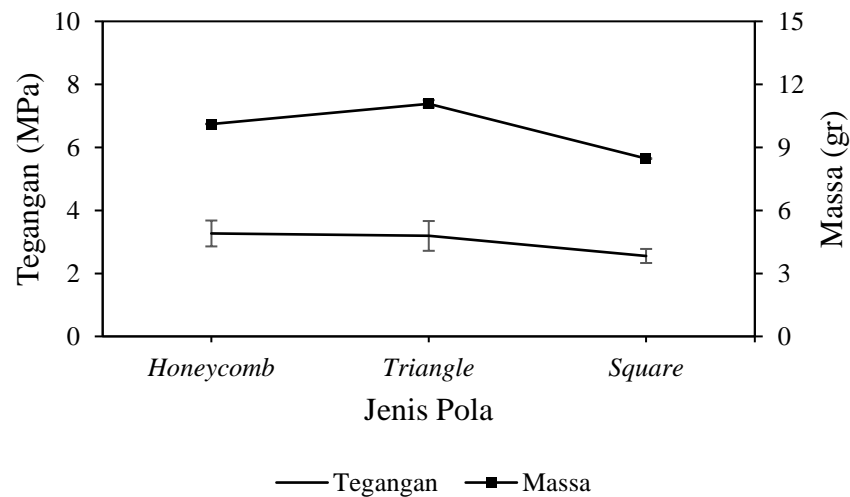
1. Tegangan *Bending*

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 109,77 \times 75}{2 \times 37,55 (10,16)^2}$$

$$\sigma_b = 3,19 \text{ MPa}$$

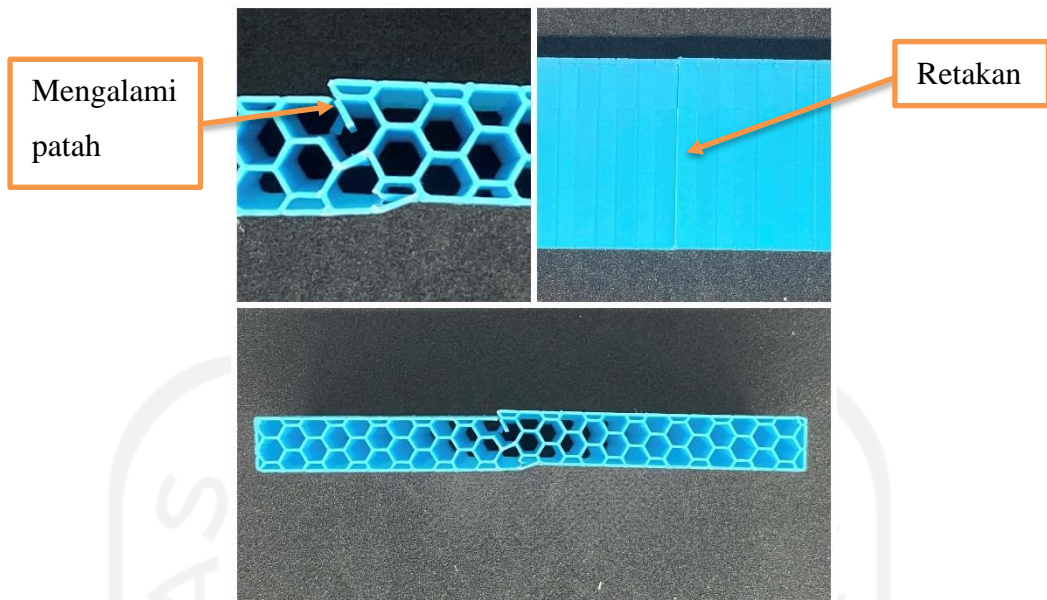
Pada gambar 4-3 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap tegangan *bending*.



Gambar 4-3 Grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap tegangan *bending*

Berdasarkan grafik pada gambar 4-3 diatas nilai tegangan *bending* maksimal tertinggi terdapat pada pola *honeycomb* dengan nilai 3,27 MPa, diurutan kedua terdapat pada pola *triangle* dengan nilai 3,19 MPa, dan yang terendah terdapat pada pola *square* dengan nilai 2,55 MPa. Selain tegangan *bending*, pada grafik terdapat nilai massa tertinggi terdapat pada pola *triangle* dengan nilai 11,07 gram. Sedangkan terendah terdapat pada pola *square* dengan nilai 8,47 gram. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis pola mempengaruhi besar tegangan *bending* dan besar suatu massa berbanding lurus dengan besar tegangan *bending*.

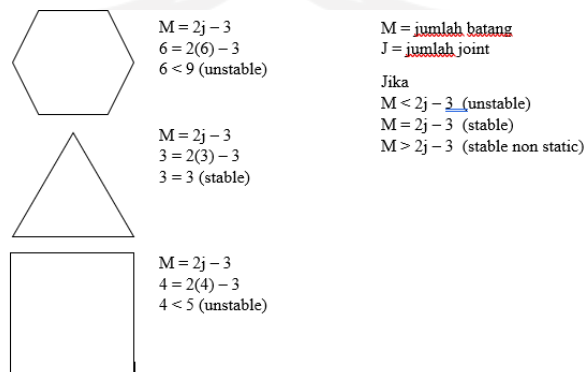
Seperti pada gambar 4-3 bahwa jenis pola *core* mempengaruhi nilai tegangan *bending*. Hal tersebut berkaitan dengan modus kegagalan pada spesimen setelah pengujian *bending* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-4.



Gambar 4-4 Spesimen *core* pola *honeycomb*

Pada gambar 4-4 menunjukkan kegagalan saat pengujian *bending* akibat tidak mampu menahan beban yang diberikan. Pada pola *honeycomb* terjadi patahan pada pola dan retakan pada bagian luar. Hal ini sama terjadi pada pola *triangle* dan *square*.

Pada gambar 4-3 dapat dilihat nilai tegangan *bending* pada pola *honeycomb* dan *triangle* memiliki selisih nilai yang tidak jauh berbeda, yaitu sebesar 0,08 MPa. Berdasarkan teori struktur statis tertentu, bahwa rangka segitiga memiliki bentuk rangka yang stabil sehingga memiliki nilai tegangan *bending* yang lebih tinggi daripada pola lainnya. Penjelasan ini dapat dilihat pada gambar 4-5.

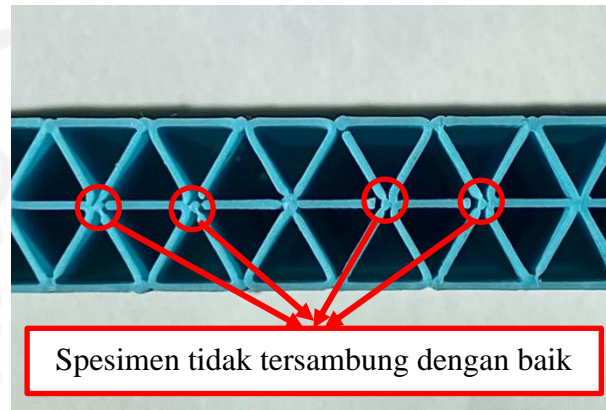


Gambar 4-5 Stabilitas struktur rangka pola *honeycomb*, *triangle*, dan *square*

Hal ini didukung oleh C.-K. Wang & Sumitro, (1994) dalam bukunya menjelaskan bahwa sebuah rangka-batang bersifat statis tertentu jika mempunyai

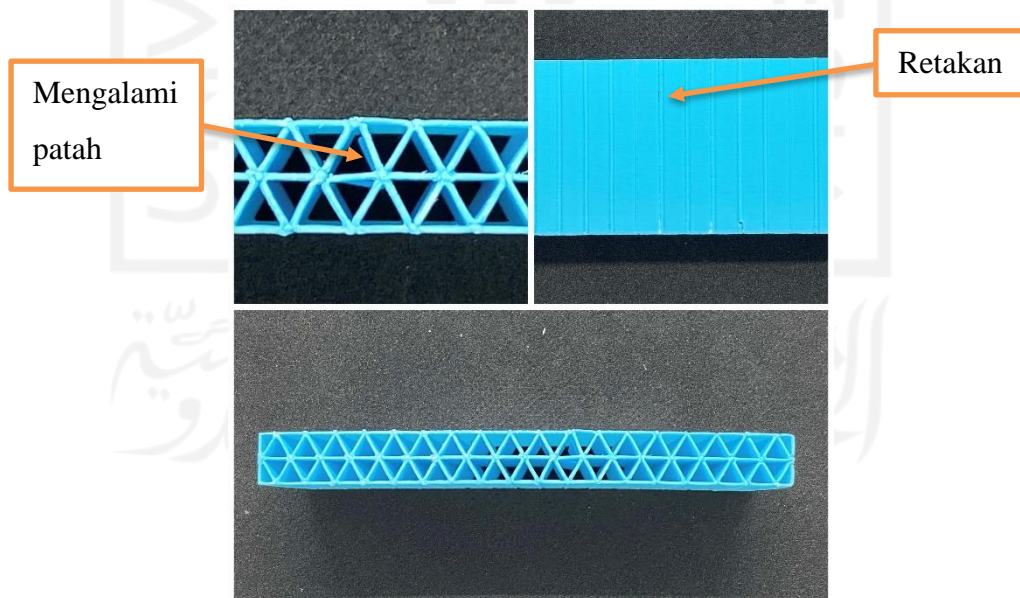
tidak lebih dari tiga reaksi luar dan tidak lebih dari $(2j-3)$ batang, dimana j adalah banyaknya sambungan.

Hal ini bisa terjadi karena spesimen pola *triangle* memiliki kendala saat proses 3d *print*. Ada beberapa sisi *triangle* yang tidak tersambung dengan baik saat proses 3d *print* sehingga tegangan *bending* yang dihasilkan tidak maksimal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4-6.



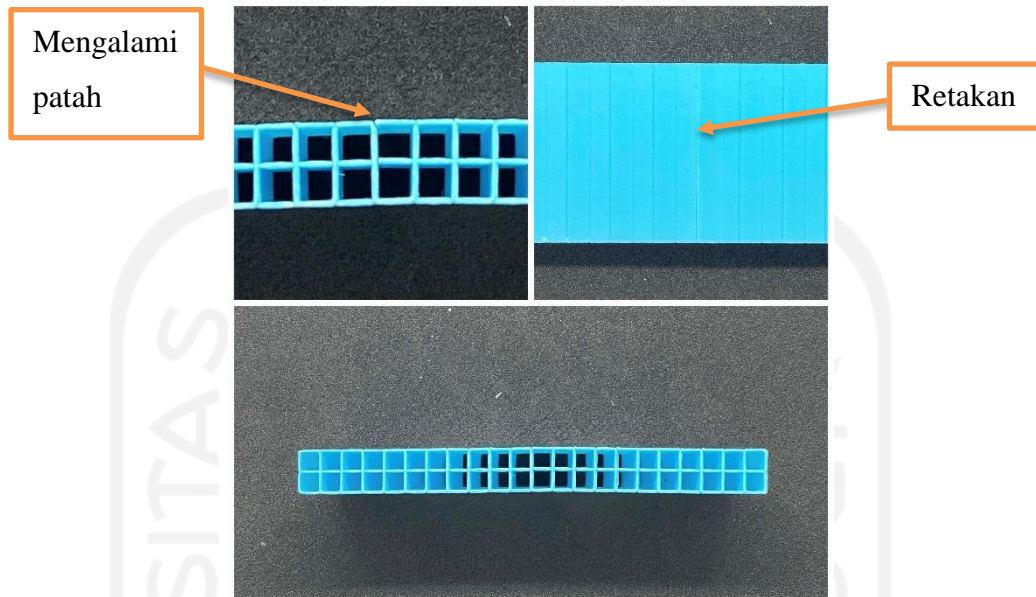
Gambar 4-6 Kegagalan proses 3d print pola triangle

Selanjutnya spesimen *core* pola *triangle* setelah pengujian *bending* dapat dilihat pada gambar 4-7.



Gambar 4-7 Spesimen *core* pola *triangle*

Pada gambar 4-7 menunjukkan spesimen *core* pola *triangle*. Pada pola *triangle* terjadi patahan pada pola dan retakan yang hampir membelah dua spesimen.



Gambar 4-8 Spesimen *core* pola *square*

Selanjutnya pada gambar 4-8 menunjukkan spesimen *core* pola *square*. Pada pola *square* terjadi patahan dan retakan yang sama seperti spesimen pola *honeycomb* dan *triangle*. Tidak banyak perbedaan dari modulus kegagalan yang terjadi karena spesimen memiliki ukuran pola yang sama.

4.2.2 Pengaruh Jenis Pola *Core* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4-3.

Tabel 4-3 Data variabel modulus elastisitas jenis pola

Kode Spesimen	Pys (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
HCP4_V	109,77	75	37,59	10,08	2,35
TGP4_V	99,31	75	37,55	10,16	1,15
SQP4_V	77,67	75	37,51	9,55	4,48

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas pola *triangle* orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \quad b &= 37,55 \text{ mm} & h &= 10,16 \text{ mm} & \delta &= 1,15 \text{ mm} \\ P_{ys} &= 99,31 \text{ N} & L &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

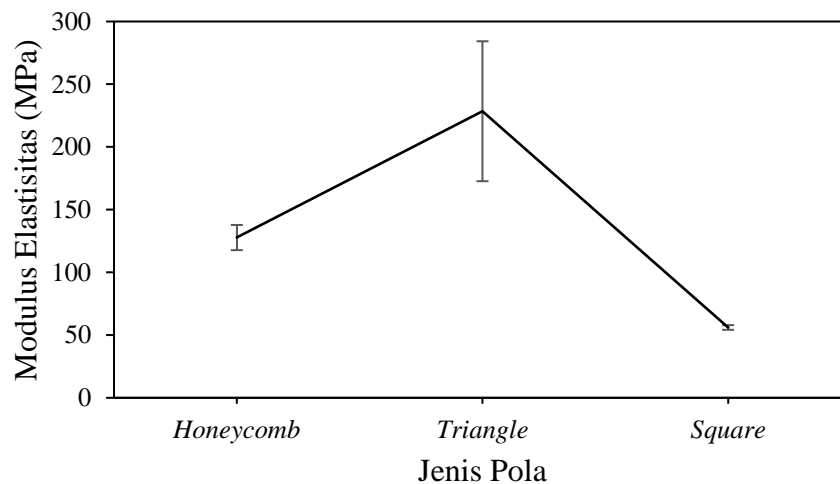
1. Modulus Elastisitas

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

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{37,55 \times 10,16^3} \times \frac{99,31}{1,15}$$

$$Eb = 228,46 \text{ MPa}$$

Pada gambar 4-9 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap modulus elastisitas. Untuk parameter jenis pola, *triangle* memiliki modulus elastisitas terbaik sebesar 228,46 MPa, diurutan kedua pola *honeycomb* dengan nilai 127,76 MPa, dan yang terendah terdapat pada pola *square* dengan nilai 56,07 MPa.



Gambar 4-9 Grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap modulus elastisitas

Hal ini bisa terjadi karena struktur pola *triangle* memiliki struktur yang stabil, yaitu jumlah batang = 2 (joint) – 3. Sedangkan pola *honeycomb* dan *square* memiliki struktur yang tidak stabil, yaitu jumlah batang < 2 (joint) – 3. Hal ini didukung dengan nilai defleksi yang rendah pada pola *triangle*, yaitu 1,15. Defleksi pada *honeycomb* sebesar 2,35 dan defleksi pada *square* sebesar 4,48. Semakin

tinggi nilai defleksi yang terjadi maka semakin rendah nilai modulus elastisitasnya yang mengindikasikan bahwa pola tersebut memiliki kekakuan yang rendah.

Hal ini didukung oleh Pinem (2010) dalam bukunya yang berjudul “Mekanika Kekuatan Material Lanjut : Dilengkapi dengan Soal dan Pembahasan” menjelaskan bahwa kekakuan adalah kemampuan suatu benda untuk menerima beban tanpa terjadinya sebuah perubahan bentuk atau defleksi. Semakin kaku suatu benda maka defleksi yang terjadi pada benda tersebut semakin kecil.

4.2.3 Pengaruh Jenis Pola *Core* Terhadap Kekakuan

Berikut data variabel terkait kekakuan yang dapat dilihat pada tabel 4-4.

Tabel 4-4 Data variabel kekakuan jenis pola

Kode Spesimen	E_b (N/mm^2)	b (mm)	h (mm)
HCP4_V	127,76	37,59	10,08
TGP4_V	228,46	37,55	10,16
SQP4_V	56,07	37,51	9,55

Berikut hasil perhitungan kekakuan pola *triangle* orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E_b = 228,46 N/mm^2$

$b = 37,55$ mm

$h = 10,16$ mm

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37,55 \times (10,16)^3$$

$$I = 3282,24 \text{ mm}^4$$

2. Kekakuan

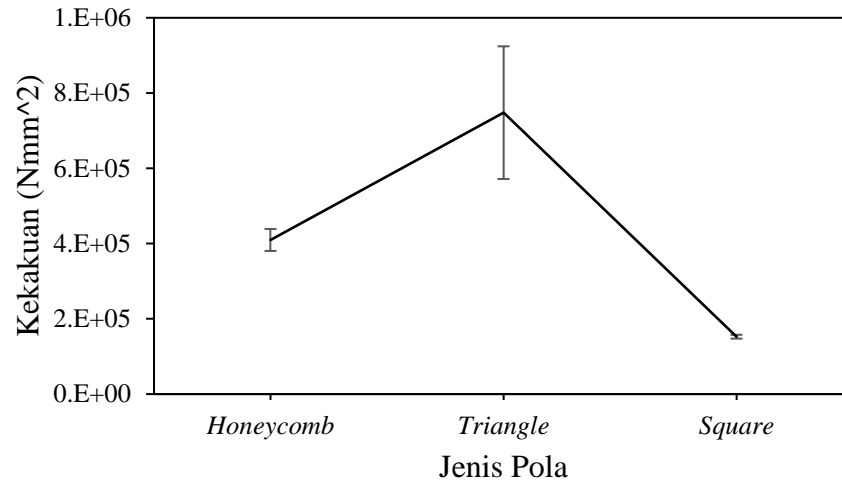
$$D = E_b \times I$$

$$D = 228,46 \times 3282,24$$

$$D = 747933,10 \text{ Nmm}^2$$

Pada gambar 4-10 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap kekakuan. Untuk parameter jenis pola, *triangle* memiliki nilai kekakuan

terbaik sebesar 747933,10 Nmm^2 , diurutan kedua pola *honeycomb* dengan nilai 409609,39 Nmm^2 , dan yang terendah terdapat pada pola *square* dengan nilai 152486,81 Nmm^2 .



Gambar 4-10 Grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap kekakuan

Hal ini bisa terjadi karena nilai modulus elastisitas pola *triangle* yang tinggi. Kekakuan memiliki persamaan, yaitu modulus elastisitas dikali momen inersia, ketika momen inersia yang dimiliki pada tiap pola tidak berbeda jauh maka besar modulus elastisitas berbanding lurus dengan nilai kekakuan. Kekakuan adalah kemampuan suatu benda untuk menerima beban tanpa mengalami perubahan bentuk atau defleksi. Hal ini sejalan dengan data yang ada bahwa defleksi pada pola *triangle* lebih kecil dibandingkan defleksi pada pola *honeycomb* dan *square*.

4.2.4 Pengaruh Jenis Pola *Core* Terhadap Kekakuan Spesifik

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan massa jenis. Spesimen dengan pola *honeycomb*, *triangle*, dan *square* memiliki luas penampang yang berbeda. Oleh karena itu kekakuan dapat dibagi dengan massa jenis atau *density* pada tiap spesimen. Berikut data variabel terkait kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada tabel 4-5.

Tabel 4-5 Data variabel kekakuan spesifik jenis pola

Kode Spesimen	D (Nmm^2)	m (gr)	V (cm^3)
HCP4_V	409609,39	10,11	11,15
TGP4_V	747933,10	11,07	12,48
SQP4_V	152486,81	8,47	9,05

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik pola *triangle* orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $D = 747933,10 \text{ Nmm}^2$
 $m = 11,07 \text{ gram}$
 $V = 12,48 \text{ cm}^3 = 12,48 \times 10^3 \text{ mm}^3$

1. Massa Jenis

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{11,07}{12,48}$$

$$\rho = 0,887 \times 10^3 \text{ gr/mm}^3$$

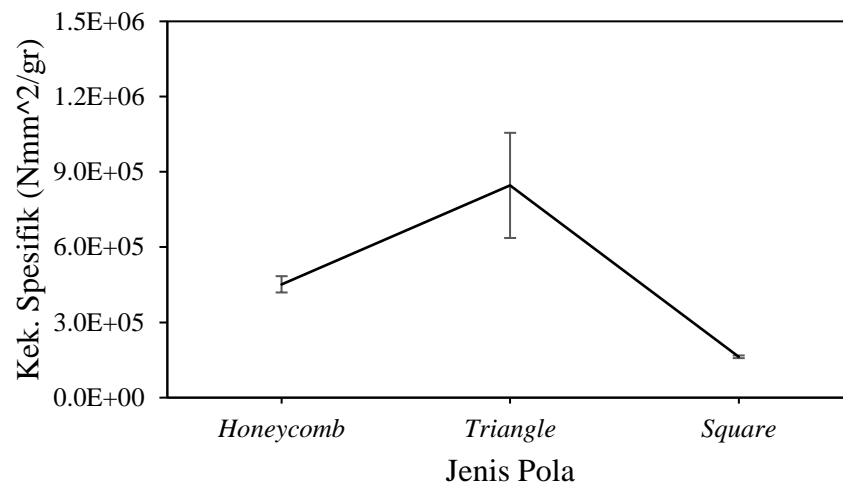
2. Kekakuan Spesifik

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

$$D \text{ spesifik} = \frac{747933,10}{0,887 \times 10^3}$$

$$D \text{ spesifik} = 846054,25 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pada gambar 4-11 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap kekakuan spesifik.



Gambar 4-11 Grafik pengaruh jenis pola *core* terhadap kekakuan spesifik

Pada gambar 4-11 untuk parameter jenis pola, *triangle* memiliki nilai kekakuan spesifik tertinggi sebesar $846054,25 Nmm^2/gr$ setelah dibagi dengan massa jenis, diurutan kedua pola *honeycomb* dengan nilai $451738 Nmm^2/gr$, dan yang terendah terdapat pada pola *square* dengan nilai $162916,07 Nmm^2/gr$. Pola *triangle* memiliki nilai kekakuan spesifik tertinggi dibandingkan dengan jenis pola lainnya. Hal ini bisa terjadi karena massa jenis pola *triangle* lebih rendah daripada jenis pola lainnya. Perbedaan massa jenis pada tiap pola terbilang kecil, ini membuktikan bahwa pola *triangle* dapat menahan beban tekan lebih baik daripada jenis pola *honeycomb* dan *square*.

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

Pada sub bab ini akan membahas pengaruh *core density* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik. Variasi *core density* yang diuji adalah *core density* 30%, 26%, dan 23% menggunakan pola *honeycomb*.

4.3.1 Pengaruh *Core Density* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-6.

Tabel 4- 6 Data variabel tegangan *bending core density*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
HCP4_V	110,85	75	37,59	10,08
HCP5_V	62,30	75	37,42	9,97
HCP6_V	53,58	75	37,43	9,98

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal pola *honeycomb* ukuran 6 mm orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,43 \text{ mm}$ $h = 9,98 \text{ mm}$
 $P = 53,58 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

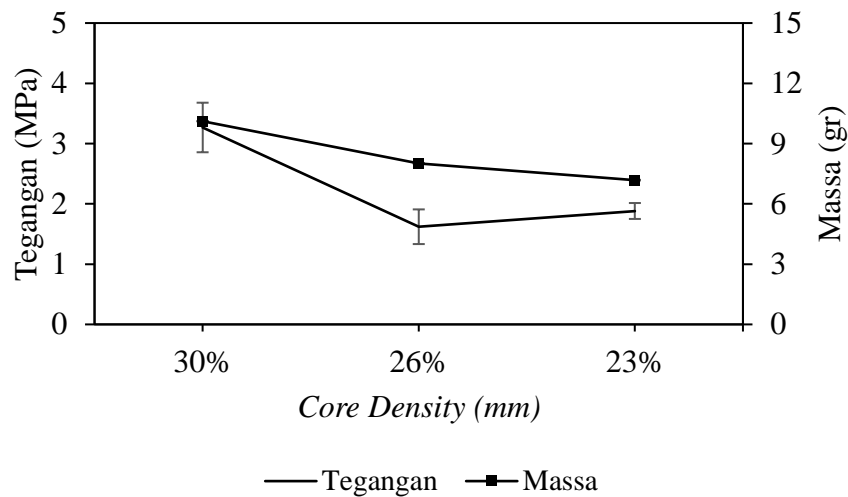
1. Tegangan *Bending*

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 53,58 \times 75}{2 \times 37,43 (9,98)^2}$$

$$\sigma_b = 1,61 \text{ MPa}$$

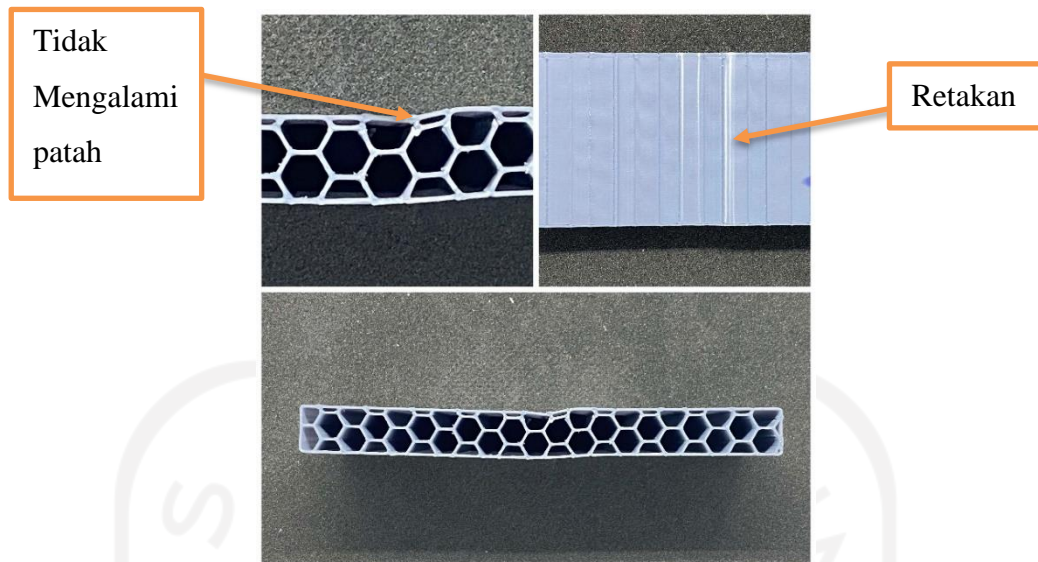
Pada gambar 4-12 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh *core density* terhadap tegangan *bending*.



Gambar 4-12 Grafik pengaruh *core density* terhadap tegangan *bending*

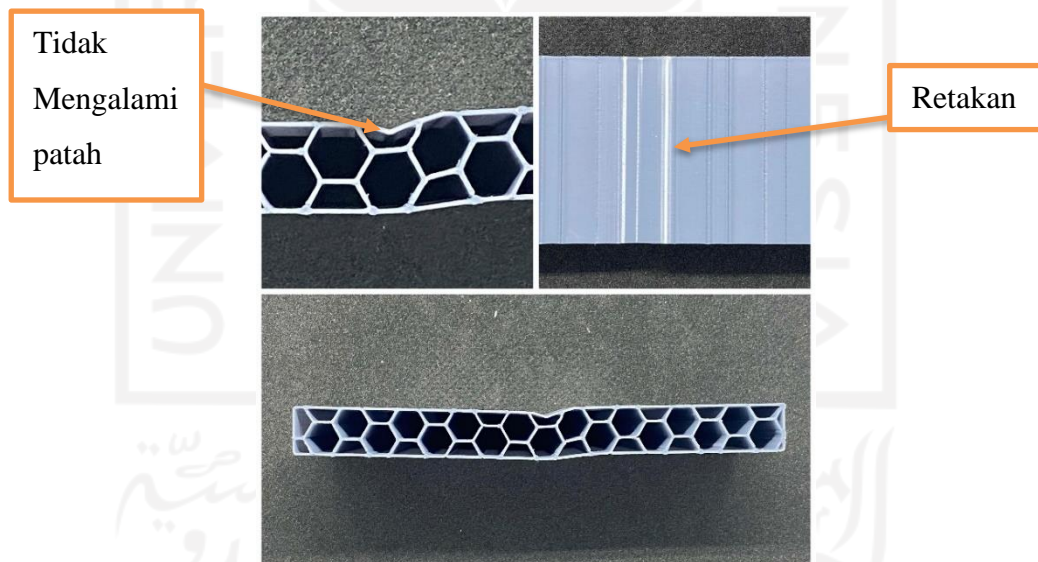
Berdasarkan grafik pada gambar 4-12 diatas nilai tegangan *bending* maksimal tertinggi terdapat pada pola *honeycomb* dengan *core density* 30% dengan nilai 3,27 MPa dan yang terendah terdapat pada *core density* 23% dengan nilai 1,62 MPa. Selain tegangan *bending*, pada grafik terdapat nilai massa tertinggi terdapat pada *core density* 30% dengan nilai 10,11 gram. Sedangkan terendah terdapat pada *core density* 23% dengan nilai 7,18 gram. Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin rapat suatu pola maka semakin besar nilai kekuatan *bending*nya, karena semakin besar ukuran pola semakin sedikit struktur pola yang tercipta jika memiliki batas luas permukaan tertentu. Hal ini didukung dengan grafik massa yang berbanding terbalik dengan ukuran pola, yaitu semakin rapat atau kecil ukuran pola maka material yang dibutuhkan semakin banyak sehingga massa menjadi besar.

Seperti pada gambar 4-12 bahwa *core density* mempengaruhi nilai tegangan *bending*. Hal tersebut berkaitan dengan modus kegagalan pada spesimen setelah pengujian *bending* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-13 dan 4-14.



Gambar 4-13 Spesimen *core density 26% honeycomb*

Pada gambar 4-13 menunjukkan kegagalan saat pengujian *bending* akibat tidak mampu menahan beban yang diberikan. Pada pola *honeycomb* dengan *core density 26%* tidak terjadi patahan dan mengalami beberapa retakan.



Gambar 4-14 Spesimen *core density 23% honeycomb*

Pada gambar 4-14 menunjukkan kegagalan saat pengujian *bending* akibat tidak mampu menahan beban yang diberikan. Pada pola *honeycomb* dengan *core density 23%* juga tidak terjadi patahan dan mengalami beberapa retakan.

Spesimen *core density 26%* dan *23%* terlihat berbeda dengan modulus kegagalan pada spesimen *core density 30%*. Hal ini terjadi karena perbedaan *core*

density. Pada *core density* 26% dan 23% terjadi lendutan yang cukup besar seiring bertambahnya ukuran pola sehingga menyebabkan spesimen *core density* 26% dan 23% mengalami perubahan bentuk. Hal ini didukung dengan modulus kegagalan pada *core* yang tidak mengalami patah yang dapat dilihat pada gambar 4-13 dan 4-14.

4.3.2 Pengaruh *Core Density* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4-7.

Tabel 4-7 Data variabel modulus elastisitas *core density*

Kode Spesimen	Pys (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
HCP4_V	109,77	75	37,59	10,08	2,35
HCP5_V	51,29	75	37,42	9,97	2,25
HCP6_V	61,62	75	37,43	9,98	4,61

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas pola *honeycomb* ukuran 6 mm orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,43 \text{ mm}$ $h = 9,98 \text{ mm}$ $\delta = 4,611 \text{ mm}$
 $P = 61,62 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

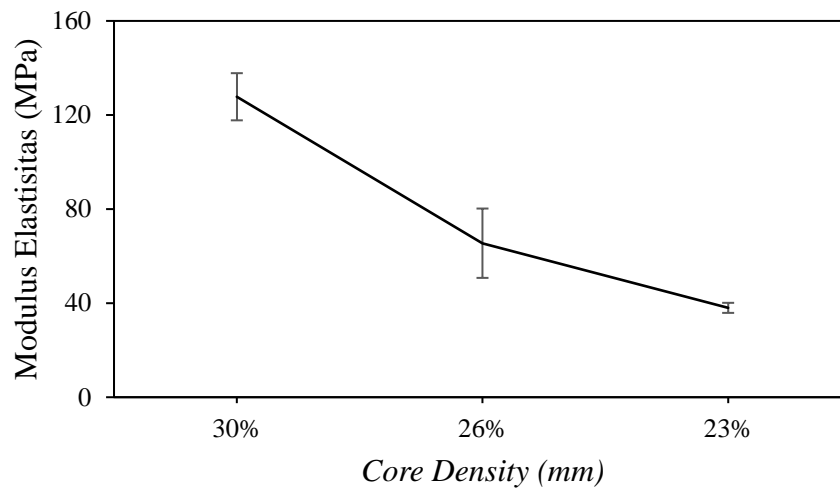
1. Modulus Elastisitas

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

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{37,43 \times 9,98^3} \times \frac{61,62}{4,61}$$

$Eb = 38 \text{ MPa}$

Pada gambar 4-15 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh *core density honeycomb* terhadap modulus elastisitas. Untuk parameter *core density* 30% memiliki modulus elastisitas terbaik sebesar 127,76 MPa, diurutan kedua *core density* 26% dengan nilai 65,49 MPa, dan yang terendah terdapat pada *core density* 23% dengan nilai 38 MPa.



Gambar 4-15 Grafik pengaruh *core density* terhadap modulus elastisitas

Core density 23% memiliki modulus elastisitas terendah karena memiliki nilai defleksi yang tinggi dengan rata-rata 4,61 mm, sangat berbeda jauh dengan *core density* 30% yang memiliki rata-rata defleksi 2,35 mm. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4-14 spesimen mengalami perubahan bentuk akibat beban kompresi terhadap pengujian *bending*.

4.3.3 Pengaruh *Core Density* Terhadap Kekakuan

Berikut data variabel terkait kekakuan yang dapat dilihat pada tabel 4-8.

Tabel 4- 8 Data variabel kekakuan *core density*

Kode Spesimen	E_b (N/mm^2)	b (mm)	h (mm)
HCP4_V	127,76	37,59	10,08
HCP5_V	65,49	37,42	9,97
HCP6_V	38	37,43	9,98

Berikut hasil perhitungan kekakuan pola *honeycomb* dengan *core density* 23% orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E_b = 38$ MPa

$b = 37,43$ mm

$h = 9,98$ mm

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37.43 \times (9,98)^3$$

$$I = 3100,53 \text{ mm}^4$$

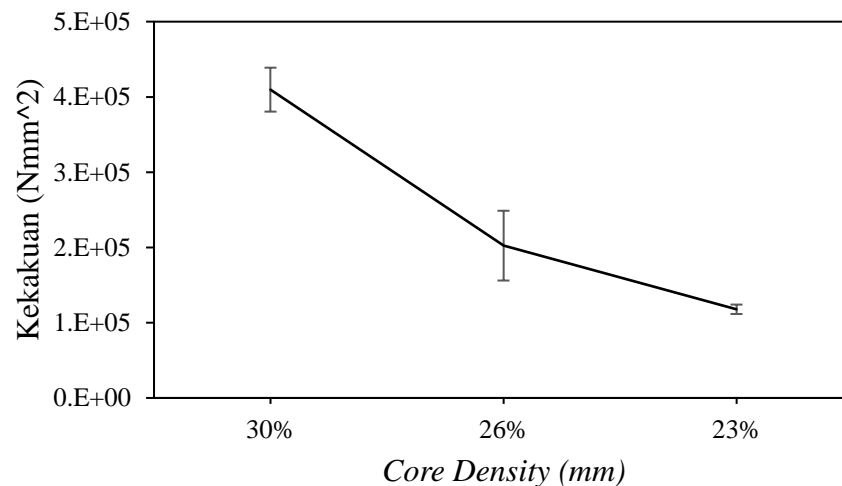
2. Kekakuan

$$D = Eb \times I$$

$$D = 38 \times 3100,53$$

$$D = 117795,35 \text{ Nmm}^2$$

Pada gambar 4-16 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh *core density* terhadap kekakuan.



Gambar 4-16 Grafik pengaruh *core density* terhadap kekakuan

Untuk parameter *core density*, *core density* 30% memiliki nilai kekakuan terbaik sebesar $409609,39 \text{ Nmm}^2$, diurutan kedua *core density* 26% dengan nilai $202356,59 \text{ Nmm}^2$, dan yang terendah terdapat pada *core density* 23% dengan nilai $117795,35 \text{ Nmm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa *core density* 30% tingkat kekakuan yang tinggi didukung dengan modulus elastisitas yang tinggi dengan nilai $127,76 \text{ MPa}$. Semakin besar nilai modulus elastisitas menandakan benda tersebut memiliki kekakuan yang tinggi.

4.3.4 Pengaruh *Core Density* Terhadap Kekakuan Spesifik

Berikut data variabel terkait kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada tabel 4-9.

Tabel 4- 9 Data variabel kekakuan spesifik *core density*

Kode Spesimen	D (Nmm^2)	m (gr)	V (cm^3)
HCP4_V	409609,39	10,11	11,15
HCP5_V	202356,59	8,01	9,71
HCP6_V	117795,35	7,18	8,66

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik pola *honeycomb* dengan *core density* 23% orientasi *vertical*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $D = 117795,35 Nmm^2$

$m = 7,18$ gram

$V = 8,66 cm^3 = 8,66 \times 10^3 mm^3$

1. Massa Jenis

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{7,18}{8,66}$$

$$\rho = 0,829 \times 10^3 gr/mm^3$$

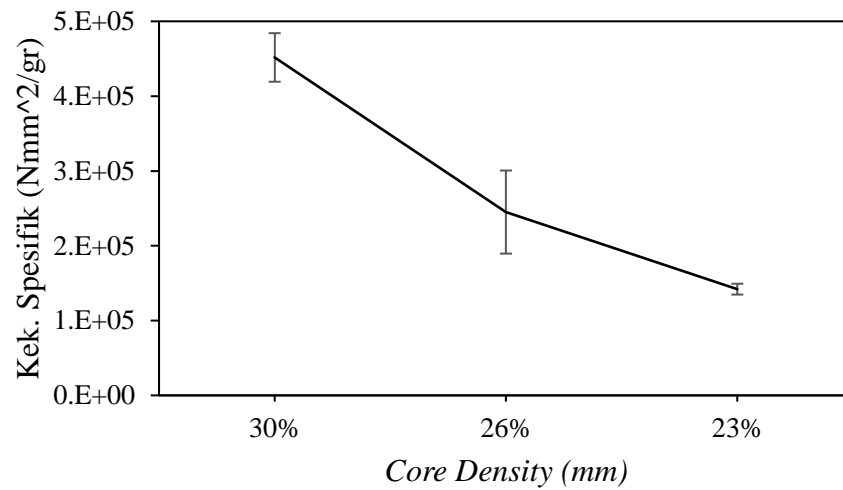
2. Kekakuan Spesifik

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

$$D \text{ spesifik} = \frac{117795,35}{0,829 \times 10^3}$$

$$D \text{ spesifik} = 141995,06 Nmm^2/gr$$

Pada gambar 4-17 ditunjukkan sebuah grafik pengaruh *core density* terhadap kekakuan spesifik.



Gambar 4-17 Grafik pengaruh *core density* terhadap kekakuan spesifik

Pada gambar 4-17 untuk *core density* 30% memiliki nilai kekakuan spesifik tertinggi dengan nilai $451738 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$. Diurutan kedua terdapat pada *core density* 26% dengan nilai $245047,25 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$ dan yang terendah terdapat pada *core density* 23% dengan nilai $141995,06 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran pola mempengaruhi nilai kekakuan spesifik suatu benda.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Orientasi pola *infill* arah atas (*horizontal*) dan depan (*vertical*) pada *core* spesimen ASTM C393 berpengaruh terhadap nilai tegangan *bending* maksimal. Nilai rata-rata tegangan *bending* maksimal pada orientasi depan adalah pola *honeycomb*.
2. Nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada *core* yang dicetak menggunakan pola *triangle*. Nilai kekakuan dan kekakuan spesifik tertinggi ada pada pola *triangle*. Hal ini disebabkan karena rangka segitiga memiliki bentuk rangka yang stabil berdasarkan struktur statis tertentu, sehingga memiliki nilai tegangan *bending* yang lebih tinggi daripada pola lainnya.
3. *Core density* berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending*. Nilai rata-rata tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik maksimal tertinggi ada pada spesimen jenis pola *honeycomb* dengan *core density* 30%. Dapat disimpulkan bahwa semakin rapat suatu pola maka semakin besar nilai kekuatan *bending*-nya, karena semakin besar ukuran pola semakin sedikit struktur pola yang tercipta.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk penelitian terkait pola *infill* pada *3D Print* selanjutnya dapat mencoba pola – pola *infill* lain seperti *square diagonal*, *zig zag*, *cross*, *concentric*, dan sebagainya untuk menambah literasi terkait pola *infill*.
2. Sebelum proses *3D Print*, dicek terlebih dahulu kondisi mesin, lakukan kalibrasi pada *platform* jika posisi tidak rata karena akan menyebabkan hasil *print* gagal.

3. Gunakan fitur *support* dan *raft* pada proses pencetakan untuk menghindari objek cacat saat proses pelepasan dari *bed platform 3D Print*.



DAFTAR PUSTAKA

- Ashfan, M. (2022). *Pengaruh Ketebalan Core (3D Printing) Dengan Bahan PLA (Polyatic-Acid) Terhadap Uji Bending spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion*. Universitas Islam Indoensia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37976>
- Diharjo, K., & Triyono, T. (2003). Buku Pegangan Kuliah Material Teknik. In *Universitas Sebelas Maret, Surakarta*.
- Gebhardt, A. (2003). *Rapid Prototyping*.
- Hadi, B. K. (2000). *Mekanika Struktur Komposit*. Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat.
- Haidiezul, A. H. M., Aiman, A. F., & Bakar, B. (2018). Surface Finish Effects Using Coating Method on 3D Printing (FDM) Parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 318(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/318/1/012065>
- Ikhsanto, L. N., & Zainuddin. (2020). Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA Pada Hasil 3D Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle. *Media Mesin*, 21(1), 1–17.
- Lubis, S., Djamil, S., & Yolanda, Y. (2016). Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. *Sinergi*, 20(1), 27. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.1.005>
- Lubombo, C., & Huneault, M. A. (2018). Effect of infill patterns on the mechanical performance of lightweight 3D-printed cellular PLA parts. *Materials Today Communications*, 17, 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.09.017>
- Makhrus. (2018). *Teori Definisi Uji Bending*. 1–24.
- Ningsih, D. H. U. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD / CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, X(3), 143–149.
- Olivera, S., Muralidhara, H. B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K., & Vivek, C. S. (2016). Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. *Journal of Materials Science*, 51(8), 3657–3674.

<https://doi.org/10.1007/s10853-015-9668-7>

- Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(10–11), 1257–1287. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(97\)00137-5](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00137-5)
- Pinem, M. D. (2010). *Mekanika Kekuatan Material Lanjut - Dilengkapi Soal dan Pembahasan* (1st ed.). Rekayasa Sains.
- 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>
- Rahim, T. N. A. T., Abdullah, A. M., & Md Akil, H. (2019). Recent Developments in Fused Deposition Modeling-Based 3D Printing of Polymers and Their Composites. *Polymer Reviews*, 59(4), 589–624. <https://doi.org/10.1080/15583724.2019.1597883>
- Rajkumar, S., Sivaraj, M., Rudrapati, R., Arulmurgan, B., & Muthuraman, S. (2018). Experimental and Finite-Element Analysis of Tee Joint's Stiffness Characteristics of A3003 Honeycomb Core Sandwich Panels. *International Journal of Mechanics and Design*, 4(2), 1–9. www.journalspub.com
- Rankouhi, B., Javadpour, S., Delfanian, F., & Letcher, T. (2016). Failure Analysis and Mechanical Characterization of 3D Printed ABS With Respect to Layer Thickness and Orientation. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 16(3), 467–481. <https://doi.org/10.1007/s11668-016-0113-2>
- Rayna, T., & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>
- Suzen, Z. S., Hasdiansah, & Yuliyanto. (2020). Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(02).
- Wang, C.-K., & Sumitro, H. W. (1994). *Struktur Statis Tak Tentu* (3rd ed.). Erlangga.
- Wang, S. X., Wu, L. Z., & Ma, L. (2010). Indentation study of foam sandwich structures reinforced by fiber columns. *Journal of Sandwich Structures and*

Materials, 12(5), 621–646. <https://doi.org/10.1177/1099636209343386>

Waterman, N. A., & Dickens, P. (1994). Rapid product development in the USA, Europe and Japan. *World Class Design to Manufacture*, 1(3), 27–36. <https://doi.org/10.1108/09642369210056629>

Wijayanto, S. E. Y., Handoko, R., Noel, J. C., Anggawirawan, T. W., & Suteja, T. J. (2022). “Identifikasi Jenis Infill Pettern Pada Proses 3D Printing Yang Menghasilkan Hasil Cetak Dengan Kekuatan Tekan dan Panjang Filamen yang Optimal.” *March*, 531–539.

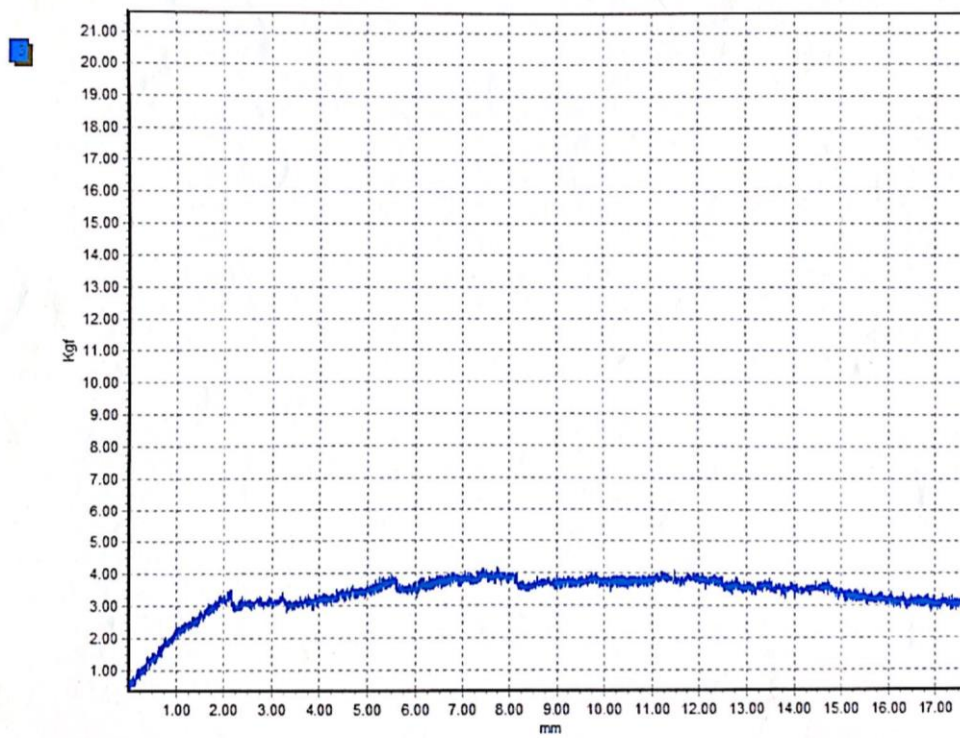


LAMPIRAN 1

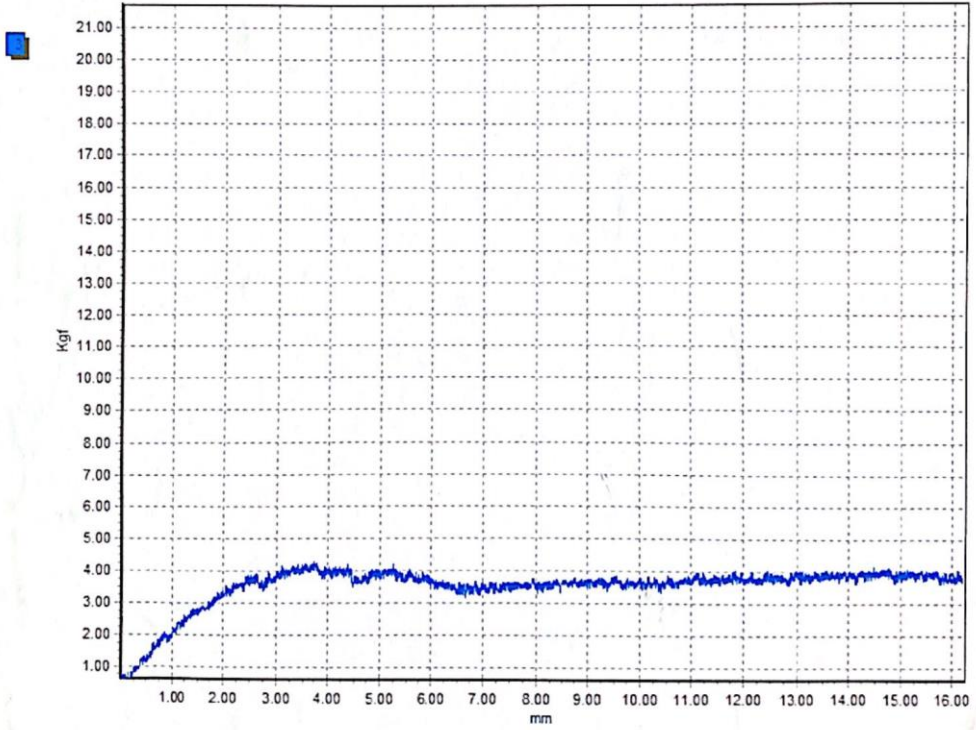
Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh Orientasi Pola Terhadap Tegangan Bending

A. Pola *Honeycomb* Orientasi Atas

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
3	4.17	0.14

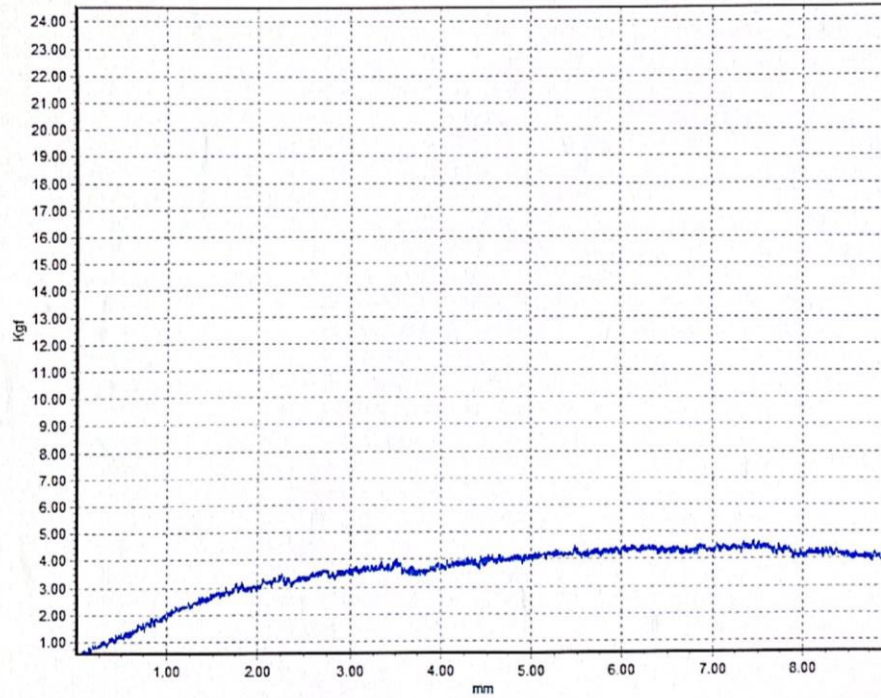


	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	16.70	0.14
2	7.18	0.11
3	4.29	0.15



الجمهورية العربية السورية
الجامعة اللبنانية
الكلية الهندسية
الهندسة المدنية

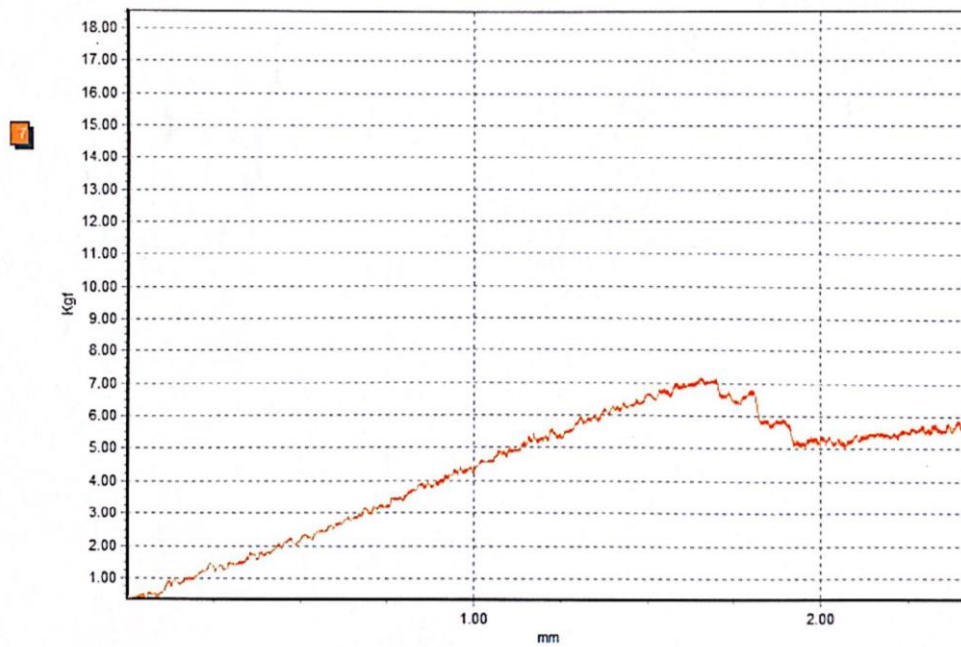
	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	18.88	0.16
2	10.94	0.17
3	4.70	0.16



الجامعة الإسلامية العالمية
 الجامعة الإسلامية العالمية

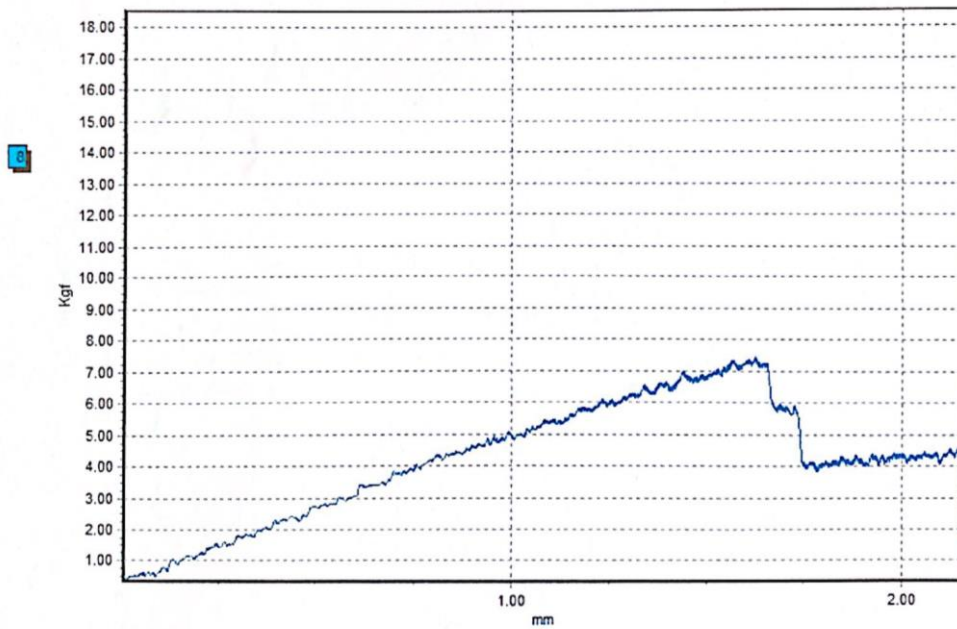
B. Pola *Triangle* Orientasi Atas

	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



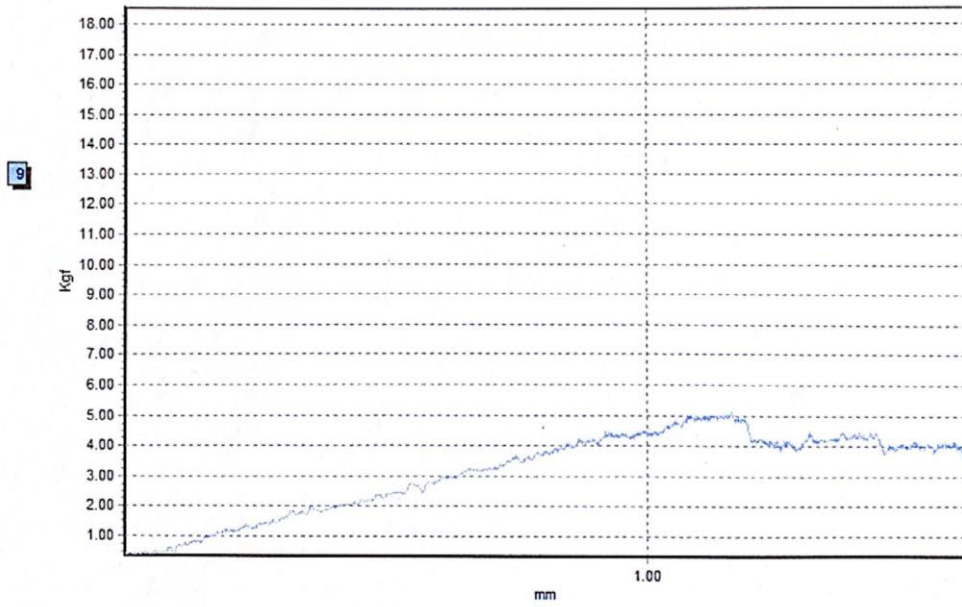
الجامعة الإسلامية

	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



الجمعية العلمية والبيئية
الاستاذ المساعد الدكتور

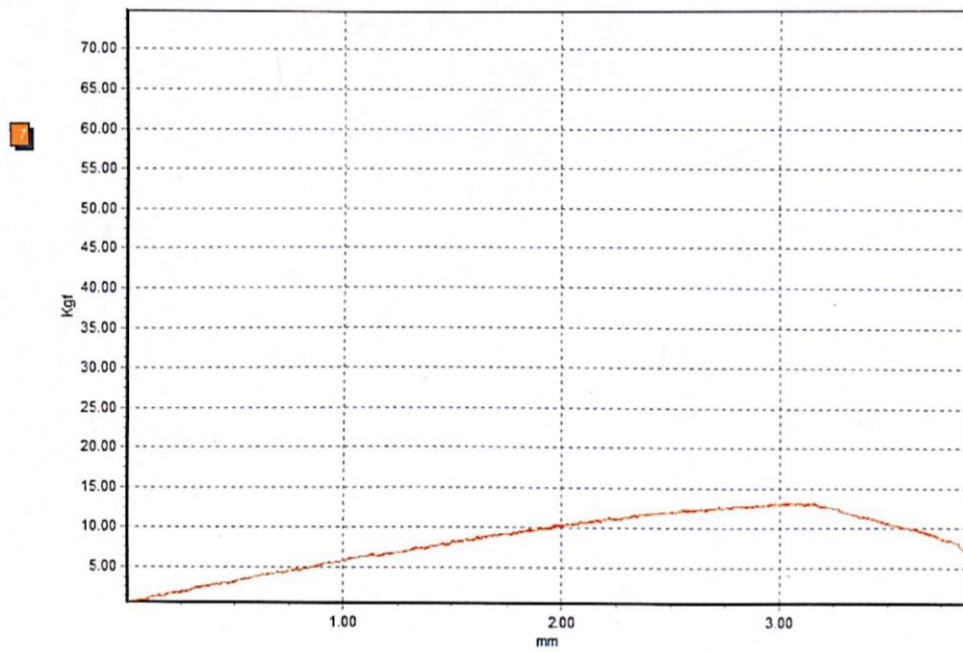
	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	11.58	0.10
2	11.02	0.09
3	14.25	0.12
4	7.30	0.11
5	7.60	0.11
6	8.72	0.13
7	7.14	0.24
8	7.45	0.25
9	5.11	0.17



الجمعية العلمية والبيئية
الاستاذ المساعد الدكتور

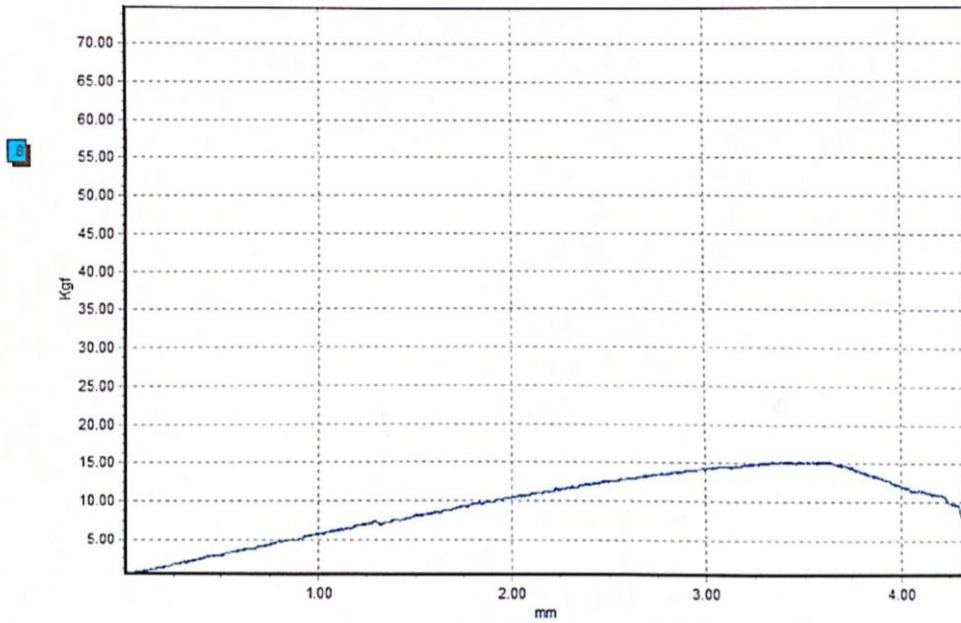
C. Pola Square Orientasi Atas

	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



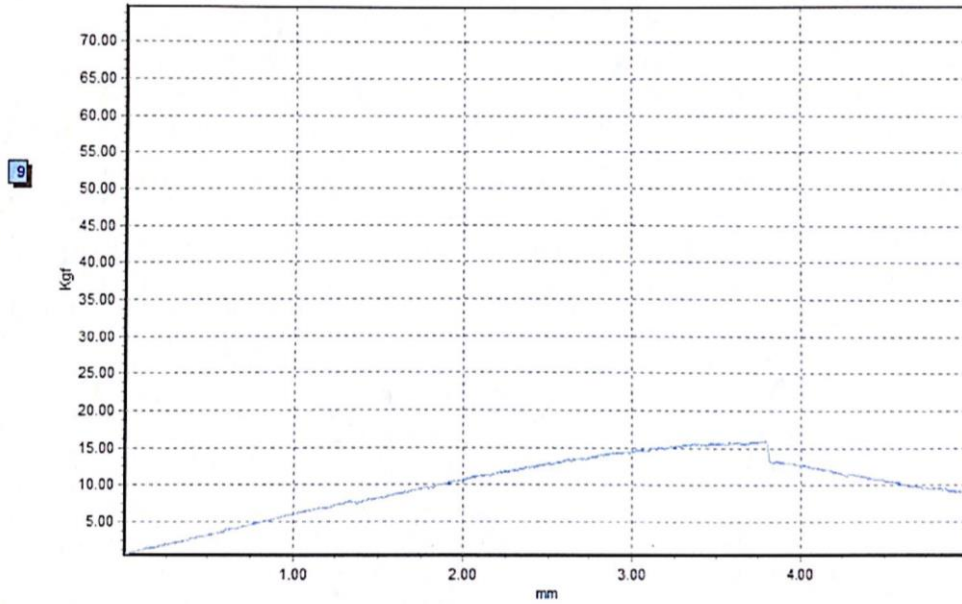
الجامعة الإسلامية

	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



الجمعية الإسلامية العالمية للدراسات والبحوث

	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



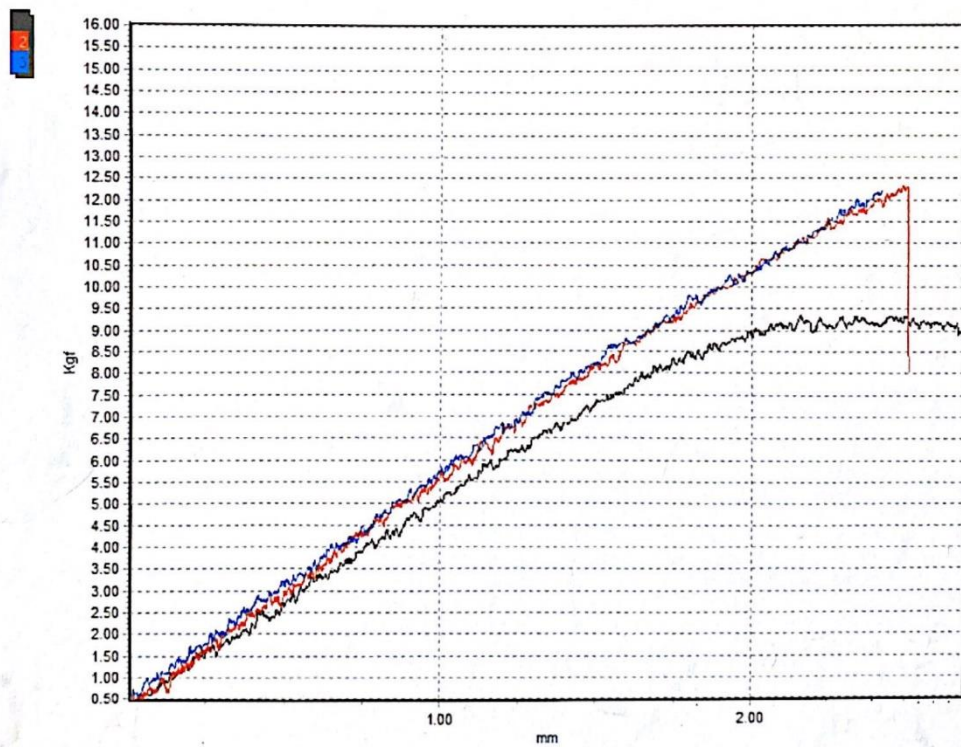
الجمعية الاستاذية الهندسية

LAMPIRAN 2

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh Orientasi dan Jenis Pola Terhadap Tegangan Bending

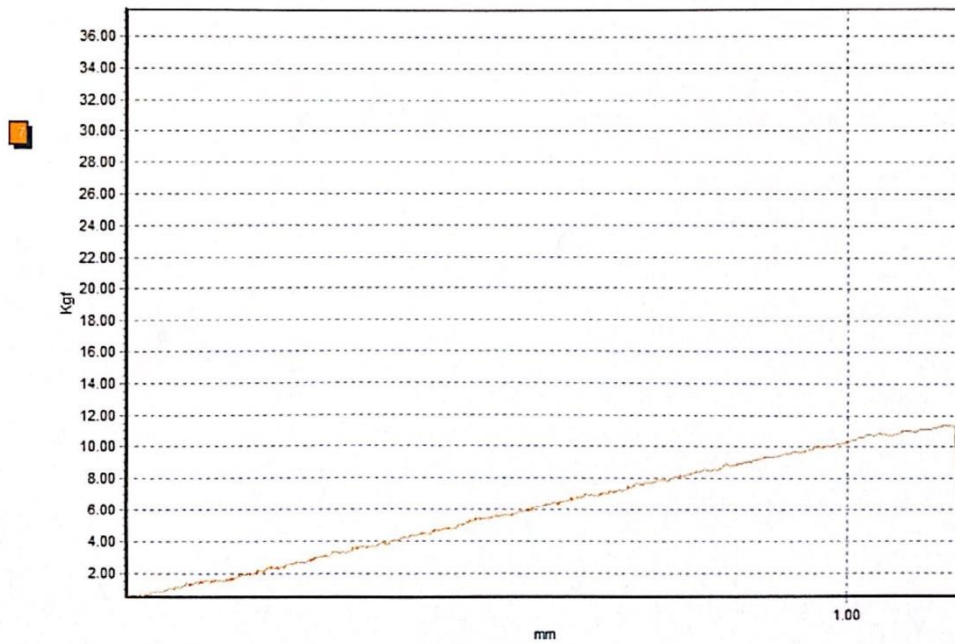
A. Pola *Honeycomb* Orientasi Depan

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	9.36	0.32
2	12.33	0.42
3	12.22	0.42



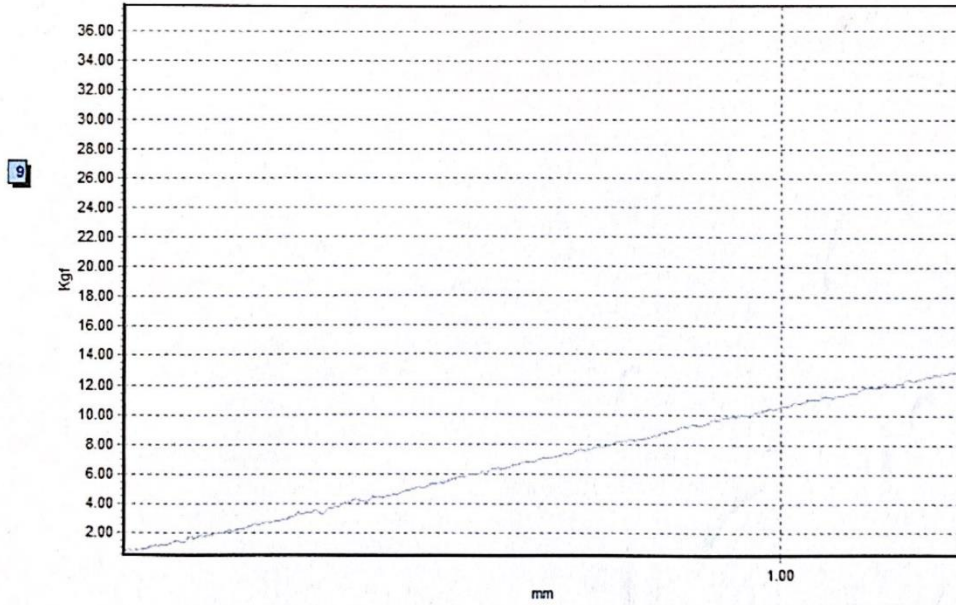
B. Pola *Triangle* Orientasi Depan

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	18.54	0.16
2	4.21	0.04
3	13.58	0.12
4	24.74	0.37
5	28.99	0.44
6	14.40	0.22
7	11.39	0.39



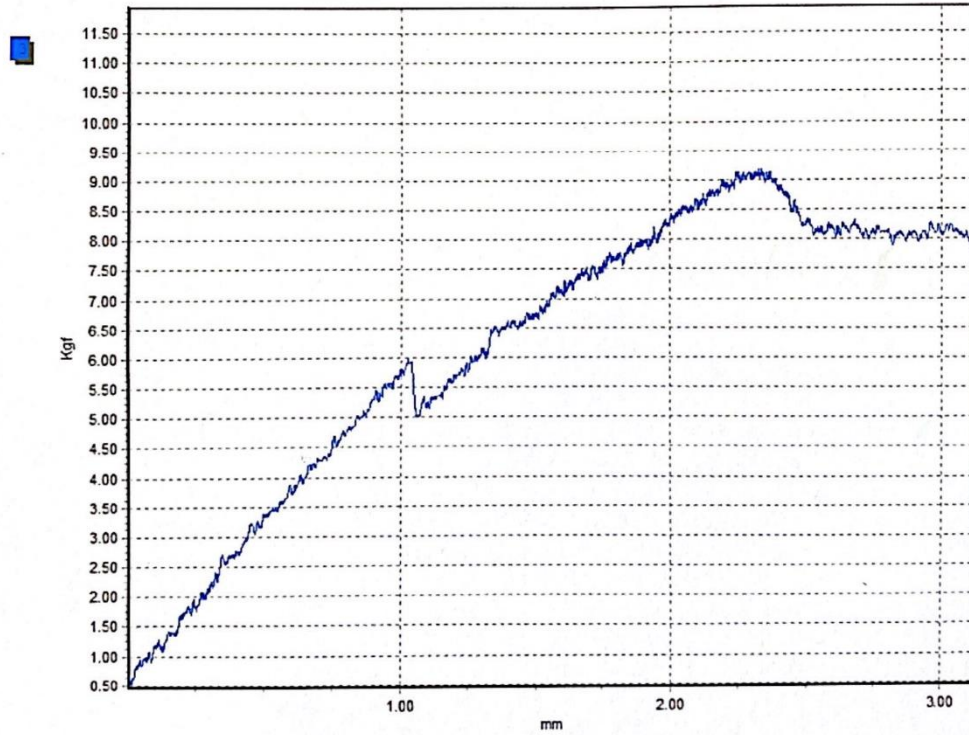
الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	18.54	0.16
2	4.21	0.04
3	13.58	0.12
4	24.74	0.37
5	28.99	0.44
6	14.40	0.22
7	11.39	0.39
8	5.57	0.19
9	13.01	0.44



الجمعية العامة للاستشارات الهندسية

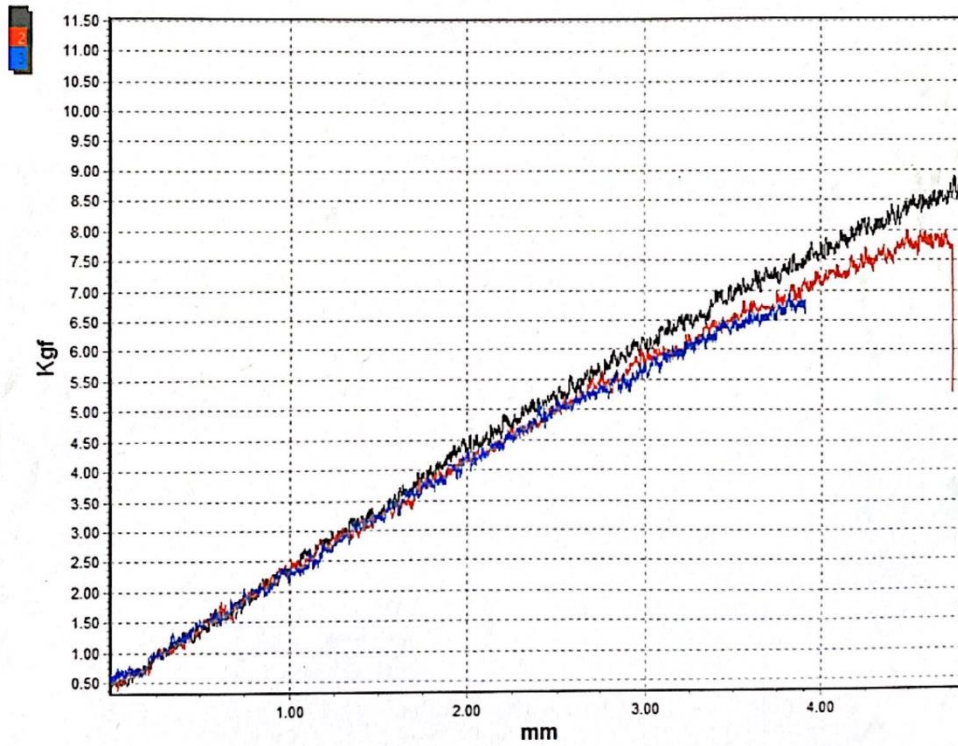
	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	5.23	0.18
2	5.83	0.20
3	9.18	0.31



الجمعية الاستاذية للتدريس

C. Pola *Square* Orientasi Depan

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	8.87	0.30
2	7.97	0.27
3	6.92	0.24



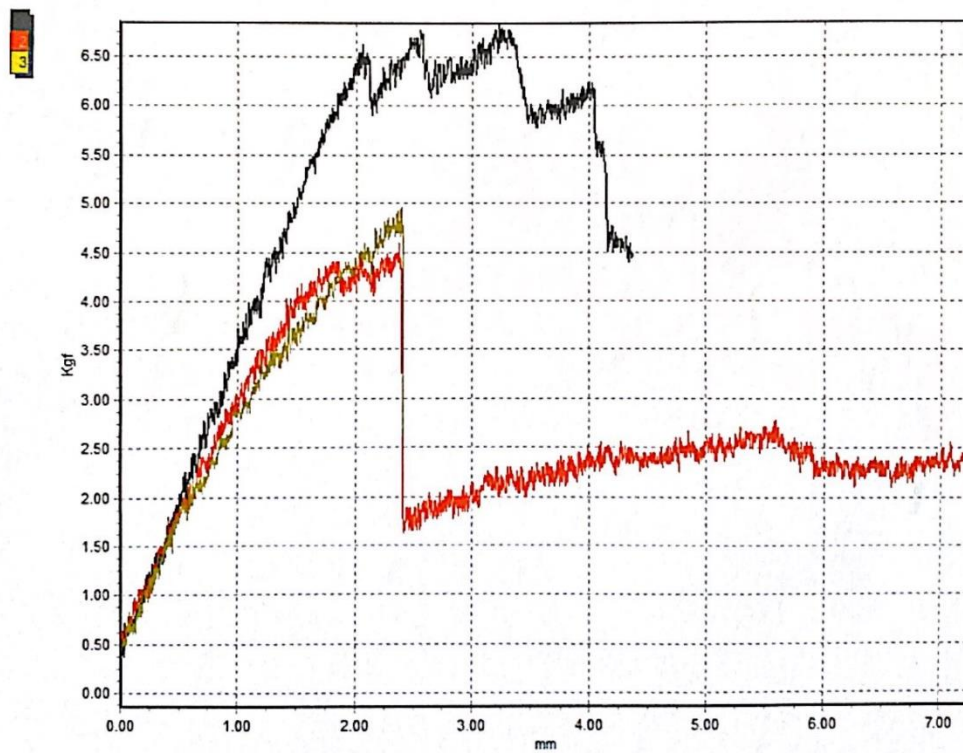
الجامعة الإسلامية
الاستدالاندو

LAMPIRAN 3

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh *Core Density* Terhadap Tegangan Bending

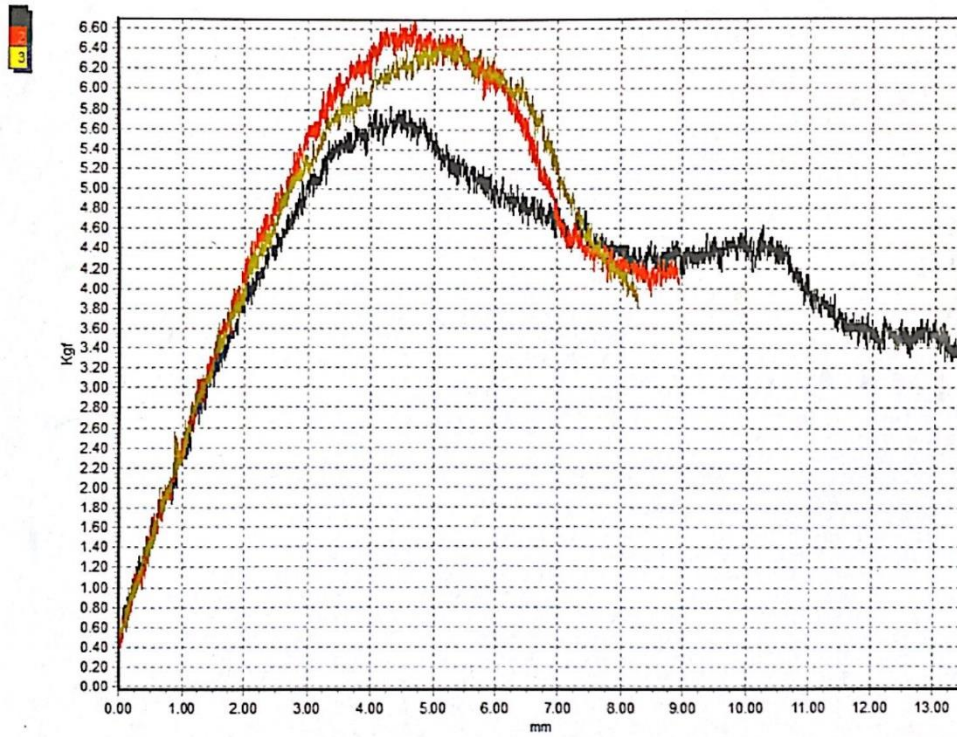
A. *Core density honeycomb* 5 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	6.84	0.23
2	4.59	0.16
3	4.96	0.17



B. Core density honeycomb 6 mm

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	5.83	0.20
2	6.69	0.23
3	6.54	0.22



الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

LAMPIRAN 4

Tabel Data Perhitungan Uji *Bending*

Tabel spesimen *core* ASTM C393 terhadap tegangan *bending*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (gram)	Beban Maks (N)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
HCP4_H1	99,52	37,40	9,96	8,40	40,89	1,24
HCP4_H2	99,46	37,32	9,96	8,42	42,07	1,27
HCP4_H3	99,78	37,46	9,98	8,46	46,09	1,40
TGP4_H1	99,56	37,32	10,00	10,36	70,02	2,13
TGP4_H2	99,58	37,28	9,95	10,44	73,06	2,22
TGP4_H3	99,60	37,29	9,92	10,38	50,11	1,52
SQP4_H1	99,30	37,36	10,00	8,26	130,14	3,99
SQP4_H2	99,24	37,30	9,86	8,36	149,75	4,59
SQP4_H3	99,13	37,40	9,88	8,32	156,72	4,81
HCP4_V1	99,72	37,54	10,12	10,12	91,79	2,69
HCP4_V2	99,6	37,66	10,06	10,12	120,92	3,57
HCP4_V3	99,66	37,56	10,06	10,1	119,84	3,55
TGP4_V1	99,74	37,6	10,16	11,04	111,70	3,24
TGP4_V2	99,76	37,44	10,12	10,88	127,58	3,74
TGP4_V3	99,76	37,62	10,2	11,3	90,03	2,59
SQP4_V1	99,06	37,54	9,62	8,48	86,98	2,82
SQP4_V2	99,14	37,44	9,56	8,46	78,16	2,57
SQP4_V3	99,04	37,56	9,46	8,46	67,86	2,27
HCP4_V1	99,72	37,54	10,12	10,12	91,79	2,69
HCP4_V2	99,6	37,66	10,06	10,12	120,92	3,57
HCP4_V3	99,66	37,56	10,06	10,1	119,84	3,55
HCP5_V1	99,46	37,44	9,98	8,04	67,08	1,99
HCP5_V2	99,62	37,4	9,94	8	45,01	1,38
HCP5_V3	99,64	37,42	9,98	8	48,64	1,47

HCP6_V1	99,56	37,42	10,06	7,18	57,17	1,72
HCP6_V2	99,52	37,42	9,92	7,2	65,61	2,00
HCP6_V3	99,54	37,44	9,96	7,16	64,14	1,94

Keterangan :

HC = *Honeycomb*

TG = *Triangle*

SQ = *Square*

H = Orientasi *Horizontal*

V = Orientasi *Vertical*

P = Ukuran Pola (mm)

Tabel orientasi pola *core* terhadap tegangan *bending*

Kode Spesimen	Beban Maks (N)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
HCP4_H	43,02	1,30
TGP4_H	64,40	1,95
SQP4_H	145,53	4,46
HCP4_V	110,85	3,27
TGP4_V	109,77	3,19
SQP4_V	77,67	2,55

Tabel jenis pola *core* terhadap kekuatan *bending*

Kode Spesimen	Pys (N)	Defleksi (mm)	Inersia (mm^4)	Modulus Elastisitas (N/mm^2)	Kekakuan (Nmm^2)	Kekakuan Spesifik (Nmm^2/gr)
HCP4_V	109,77	2,35	3208,05	127,76	409609,39	451738
TGP4_V	99,31	1,15	3282,24	228,46	747933,10	846054,25
SQP4_V	77,67	4,48	2720,31	56,07	152486,81	162916,07

Tabel *core density* terhadap kekuatan *bending*

Kode Spesimen	Pys (N)	Defleksi (mm)	Inersia (mm^4)	Modulus Elastisitas (N/mm^2)	Kekakuan (Nmm^2)	Kekakuan Spesifik (Nmm^2/gr)
HCP4_V	109,77	2,35	3208,05	127,76	409609,39	451738
HCP5_V	51,29	2,25	3087,29	65,49	202356,59	245047,25
HCP6_V	61,62	4,61	3100,53	38	117795,35	141995,06

