

# TUGAS AKHIR

## PEMBUATAN MATERIAL STRUKTUR PANEL SANDWICH DENGAN VARIASI KONFIGURASI PENAMPANG SEBAGAI APLIKASI PENYERAP ENERGI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**BAMBANG SUTIKNO**  
1307230279



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Bambang Sutikno  
Tempat /Tanggal Lahir : Batang Pane I/24 Agustus 1995  
NPM : 1307230279  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

### **“Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi”**,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

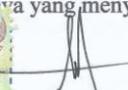
Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau pun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 maret 2019

Saya yang menyatakan,



  
Bambang Sutikno

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Bambang Sutikno  
NPM : 1307230279  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Pembuatan Material Struktur Panel *Sandwich* Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi  
Bidang ilmu : Konstruksi Dan Teknik Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



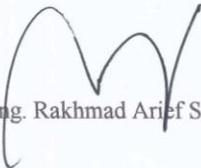
Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar

Dosen Penguji IV



Bekti Suroso, S.T.,M.Eng

Program Studi Teknik Mesin  
Kenua,



Ahmad Marabdi, S.T.,M.T

## ABSTRAK

Pada era globalisasi sekarang perkembangan teknologi pada saat ini berkembang sangat pesat seiring dengan berkembang nya waktu dan pola pikir manusia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan manusia yang terus meningkat akan kemudahan teknologi yang ada, khususnya di bidang manufacturing dan perindustrian. Struktur panel *Sandwich* merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah (*Honeycomb Sandwich*) untuk meminimalisasi jumlah material yang digunakan untuk mencapai bobot yang minimal dan biaya yang relatif murah, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut. Untuk proses pembuatan struktur panel sandwich ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Dimulai dari perencanaan ukuran hingga inspeksi ukuran. Apabila desainnya sudah dibuat bisa langsung print di *3D printer*. Kemudian proses pencetakan pun dimulai, lamanya proses pencetakan ini tergantung dari besar dan ukuran model. Proses printing menggunakan prinsip dasar *Additive Layer* dengan rangkaian proses mesin membaca rancangan 3D dan mulai menyusun lapisan secara berturut-terut untuk membangun model virtual digabungkan secara otomatis untuk membentuk susunan lengkap yg utuh. Hasil spesimen yang sudah dibuat menggunakan mesin 3D printer menuai hasil maksimal, dimana setiap spesimen dicetak menggunakan bahan filament (PLA) dengan waktu yang berbeda-beda, dan menghabiskan bahan material filament yang digunakan juga berbeda jumlahnya, namun untuk suhu dalam peleburan bahan filament tetaplh sama untuk semua spesimen.

**Kata Kunci :** Pembuatan, Panel Sandwich, 3D Printer

## ABSTRACT

*In the era of globalization now the development of technology at this time is developing very rapidly along with the development of time and the human mindset. This is due to human needs that continue to increase in the ease of existing technology, especially in manufacturing and industry. Sandwich panel structure is a natural or man-made (material) structure that has honeycomb geometry to minimize the amount of material used to achieve a minimum weight and relatively low cost, so that a light mass of the construction can be obtained. For the process of making a sandwich panel structure is done in several stages. Starting from size planning to size inspection. If the design has been made it can print directly on the 3D printer. Then the printing process begins, the length of the printing process depends on the size and size of the model. The printing process uses the basic principles of the Additive Layer with a series of 3D reading machine design processes and start arranging layers in succession to build virtual models automatically combined to form a complete complete structure. The results of specimens that have been made using a 3D printer machine reap maximum results where each printed specimen uses fillament material (PLA) with different times, and the amount of fillament material used is also different, but for the temperature in the fusion the fillament material remains the same for all specimens*

**Keywords :** *manufacture, sandwich panel, 3d printer*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pembuatan Material Struktur Panel *Sandwich* Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Bakti Suroso, ST, M,eng selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Khairul Ummurani, ST, MT selaku dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukkan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi, ST, MT sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Suwarjo dan Sukarti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Riki Andrian, Dedi Arianto, Muhammad Reza Andhithia, Mastari Sofi, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 02 Maret 2019

Bambang Sutikno

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Panel Sandwich	4
2.2 3D Printing	7
2.3 Cara Kerja Mesin 3D Printing	8
2.4 Polimer	9
2.4.1 Polimer Thermoplast	10
2.4.2 Polimer Thermoset	11
2.5 Pengujian Statis	11
2.6 Tegangan	12
2.7 Regangan	13
2.8 Split Hopkinson Pressure Bar	14
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>17</b>
3.1 Tempat dan Waktu	17
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Diagram Alir	21
3.4 Prosedur Pembuatan	23
3.5 Proses Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich	26
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>28</b>
4.1 Hasil Rancangan Gambar Spesimen Panel Sandwich	28
4.2 Hasil Pembuatan Material Panel Sandwich	30
4.3 Pembahasan	33
4.4 Biaya Pembuatan	37
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>38</b>
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>39</b>

**LAMPIRAN  
LEMBAR ASISTENSI  
DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Panel Sandwich	4
Gambar 2.2.	Material Komposit Berdasarkan Penguatnya	6
Gambar 2.3.	Pengujian tekan disarankan oleh ASTM	12
Gambar 2.4.	Pelat Tekan Konis Sudut Gesekan	12
Gambar 2.5.	Alat Uji Statis	12
Gambar 2.6.	Bagian Utama Splet Hopkinson Pressure Bar	16
Gambar 2.7.	Skema Splet Hopkinson Pressure Bar	16
Gambar 3.1.	Fillament PLA 3D Printer	18
Gambar 3.2.	Mesin 3D Printer	18
Gambar 3.3.	Aplikasi Catia V5	19
Gambar 3.4.	Aplikasi CURA	19
Gambar 3.5.	Laptop	20
Gambar 3.6.	Diagram Alir Pembuatan	21
Gambar 3.7.	Mesin 3D printer Saat Melakukan Pencetakan	26
Gambar 3.8.	Suhu Lebur Fillament PLA	26
Gambar 3.9.	Tapak Spesimen	27
Gambar 4.1.	Hasil Rancangan Gambar Honeycomb (2mm)	28
Gambar 4.2.	Hasil Rancangan Gambar Honeycomb (4mm)	28
Gambar 4.3.	Hasil Rancangan Gambar Honeycomb (6mm)	28
Gambar 4.4.	Hasil Rancangan Gambar Re-entraince (0,5mm)	29
Gambar 4.5.	Hasil Rancangan Gambar Re-entraince (0,75mm)	29
Gambar 4.6.	Hasil Rancangan Gambar Re-entraince (1mm)	29
Gambar 4.7.	Hasil Rancangan Gambar Inspirasi Batang Pepaya	30
Gambar 4.8.	Hasil Pembuatan Spesimen Honeycomb	31
Gambar 4.9.	Hasil Pembuatan Spesimen Re-entraince	32
Gambar 4.10.	Hasil Pembuatan Spesimen Inspirasi Batang Pepaya	32
Gambar 4.11.	Grafik Waktu Pembuatan Spesimen Honeycomb	34
Gambar 4.12.	Grafik Bahan Spesimen Honeycomb	34
Gambar 4.13.	Grafik Waktu Pembuatan Spesimen Re-entraince	35
Gambar 4.14.	Grafik Bahan Spesimen Re-entraince	35
Gambar 4.15.	Grafik Waktu Pembuatan Spesimen Inspirasi	36
Gambar 4.16.	Grafik Bahan Spesimen Inspirasi	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Modulus Elastitas Bahan	14
Tabel 3.1	Time Line Kegiatan	17
Tabel 4.1	Spesifikasi Spesimen Honeycomb	31
Tabel 4.2	Spesifikasi Spesimen Re-entraince	31
Tabel 4.3	Spesifikasi Spesimen Inspirasi Batang Pepaya	32
Tabel 4.4	Spesifikasi Cetakan Spesimen	33

## DAFTAR NOTASI

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$\epsilon$ eng	Engineering Strain	
$\Delta L$	Perubahan Awal	
$L_0$	Panjang Awal	mm
$L_i$	Panjang Akhir	mm
$\epsilon$	Regangan	$\frac{\Delta L}{L}$
$T$	Tegangan Geser	$\text{kg/cm}^2$
$E$	Modulus Young	$\text{kg/cm}^2$
$R$	Resistansi mula-mula	$\Omega$
$\Delta R$	Perubahan Resistansi	$\Omega$

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi sekarang perkembangan teknologi pada saat ini berkembang sangat pesat seiring dengan berkembangnya waktu dan pola pikir manusia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan manusia yang terus meningkat akan kemudahan teknologi yang ada, khususnya di bidang manufacturing dan perindustrian.

Dalam perkembangan dunia perindustrian, terutama yang berhubungan dengan manufaktur dan penelitian bahan, maka dalam proses produksinya banyak menggunakan alat-alat atau mesin untuk menguji kualitas suatu material, salah satunya kekuatan material dan bahan tersebut.

Pemanfaatan struktur panel *sandwich* dalam industri telah berkembang pesat. Beberapa industri yang membutuhkan konstruksi ringan, kaku dan kuat telah memanfaatkan struktur ini. Industri yang telah memanfaatkan struktur ini diantaranya industri pesawat terbang, perkapalan, otomotif dan bangunan. Keunggulan yang dimiliki oleh struktur ini diperoleh dari *core* ringan yang terletak diantara dua *skin*.

Struktur panel *Sandwich* merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah (*Honeycomb Sandwich*) untuk meminimalisasi jumlah material yang digunakan untuk mencapai bobot yang minimal dan biaya yang relatif murah, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut. Selain ditujukan kepada massa material konstruksi yang ringan, juga didapatkan tingkat fleksibilitas yang cukup besar dari pemilihan material tersebut. Struktur ini umumnya digunakan pada aplikasi kedirgantaraan, transportasi, konstruksi bangunan dan banyak lagi industri-industri yang lainnya.

Dengan latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian spesimen sebagai tugas akhir sarjana dengan judul : “Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah di uraikan, maka terdapat rumusan masalah di dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana memilih bahan material yang akan digunakan untuk membuat spesimen Panel Sandwich?
2. Serta dengan seberapa banyak material yang di perlukan dalam membuat spesimen?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya masalah yang akan terjadi, maka penulis akan membahas masalah berkaitan dengan pembuatan spesimen, yaitu :

- a. Menentukan material spesimen panel sandwich dengan memilih bahan yang sesuai untuk dilakukan pengujian gerak jatuh bebas pada impak vertikal.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengumpulkan data dan memilih proses manufaktur yang sesuai
2. Untuk membangun 3 model rancangan konfigurasi penampang
3. Untuk menguji rancangan 3 model dengan menggunakan perangkat lunak FEA

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh oleh mahasiswa, diantaranya:

1. Menghasilkan informasi ilmiah dalam pengujian tekan dengan alat uji statik
2. Menambah pengetahuan tentang pembuatan panel *sandwich* dengan bahan filament 3D printing.
3. Menambah pengetahuan tentang menggambar 3 dimensi menggunakan aplikasi catiaV5.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

Bab 1 : menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.

Bab 2 : menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisi mengenai teori singkat dari penelitian.

Bab 3 : menjelaskan mengenai metodologi penelitian.

Bab 4 : menjelaskan mengenai hasil.

Bab 5 : menjelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran

DAFTAR PUSTAKA

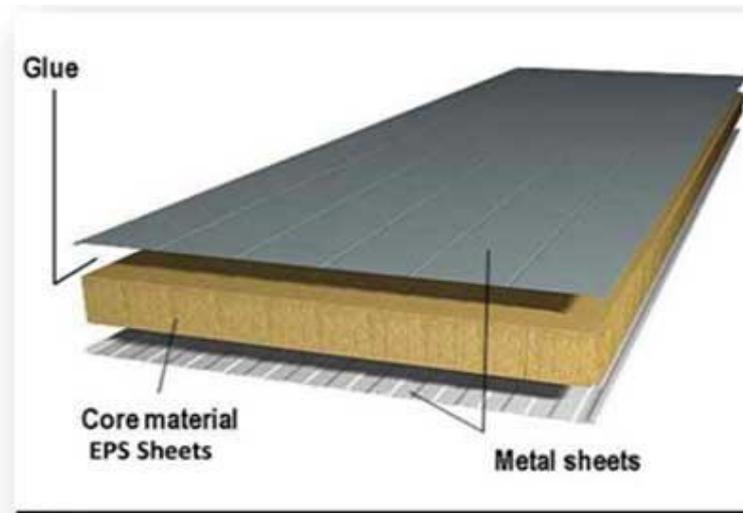
LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Panel Sandwich

Panel sandwich merupakan material yang terbuat dari dua lapisan pelat zinalume yang di rekatkan pada kedua sisi lapisan insulasi, dan sering disebut juga dengan istilah insulated sandwich panel. Seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Panel Sandwich Dengan 3 Lapisan

Sandwich ini merupakan konstruksi berlapis atas lembaran tipis bermodulus tinggi (kulit luar) dan inti ringan. Permukaan menahan beban, ini membatasi permukaan serta memindahkan gaya geser, diantaranya agar efektif seputar sumbu. (<https://www.rumahmaterial.com/2016/05>, diakses tanggal 21 agustus, 2018).

Sandwich telah menjadi kandidat menarik karna dapat di aplikasikan berbagai rekayasa termasuk industri otomotif, kapal laut, pesawat terbang, konstruksi dan lain-lain lagi. Struktur sandwich memiliki tiga lapisan yang terdiri dari flat komposit (*metal sheet*) kulit permukaan (*skin*) dan material inti (*core*). Bagian skin ini biasanya berupa lembaran *metals*, *wood*, atau fiber *composite*. Dan jenis core berupa : *Honeycomb*, *corrugated*, *balsa wood* dan *celluler foams*.

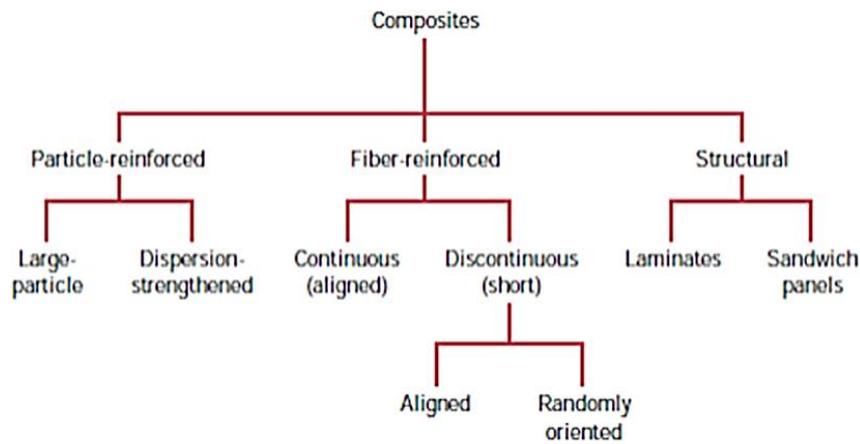
Struktur sandwich rentan terhadap dampak kecepatan rendah dan tidak dampak pada kecepatan tinggi kerusakan pada dampak kecepatan rendah internal dan tak terlihat, secara signifikan mempunyai struktur yang ringan tetapi

mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Maka dari itu komposit sandwich sangat cocok untuk menahan beban lentur, dampak, meredam getaran dan suara. (Dahai Zhang, 2017).

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit juga dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. *Particle reinforced composite*, yaitu komposit yang fasa terdispersi hampir sama pada semua arah (equiaxed). Berdasarkan mekanisme penguatannya dapat dibedakan lagi menjadi 2 jenis, yakni :
  - *Large particle*, yaitu komposit yang tidak dapat di treatment pada tingkat atom/molekul, menggunakan continuum mechanics, contohnya: beton (kombinasi pasir, kerikil dan semen).
  - *Dispersion-strengthened*, yaitu komposit yang dapat ditreatment pada tingkat atom/molekul, menggunakan precipitation hardening, contohnya: *Thori-dispersed nickel (TD nickel)*.
2. *Fiber reinforced composite*, yaitu komposit yang fasa dispersinya mempunyai bentuk geometri serat (mempunyai rasio panjang dan diameter besar). Berdasarkan panjang dapat dibedakan menjadi :
  - *Continuos (aligned)*, yaitu reinforced composite yang dibuat dari serat panjang dan disusun paralel
  - *Discontinuos (short)*, yaitu reinforced composite yang dibuat dengan serat pendek. Berdasarkan orientasi serat dapat disusun menjadi aligned(paralel) dan randomly(acak).
3. *Structural composite*, yaitu material yang dikombinasikan dengan komposit dan homogeneous, sifatnya tergantung material pembentuk dan perancang geometri elemennya. strukturalnya dapat dibedakan menjadi :
  - *Laminates*, yaitu gabungan dua dimensional sheet atau panel yang mempunyai kecenderungan arah *high-strength*

*Sandwich*, yaitu komposit yang terdiri dua lapisan muka (*face*), lapisan material berdensitas rendah (*core*) dan memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah pula. Contohnya konstruksi *honeycomb core sandwich panel*.



Gambar 2.2 Material Komposit Berdasarkan Penguatnya

Sandwich panel struktural yang banyak di gunakan dalam konstruksi ringan terutama di industri kedirgantaraan, karena kekuatan spesifik yang tinggi dan kekakuan. Struktur panel sandwich dengan core sarang lebah yang khas terdiri dari inti ringan dan ditutupi oleh dua lembar skin tipis (kulit). Setiap lembar skin mungkin mnejadi bahan isotropik atau laminasi komposit yang di perkuat serat, sedangkan bahan inti dapat berupa metalikaramid dari struktur sarang lebah *honeycomb*. (Faris Matakah 2017).

Sandwich adalah material komposit yang terdiri dari tiga lapisan susunan yang dimana diantaranya memiliki *skin*, *core* dan *adhesive* yaitu:

- Skin

bagian ini berfungsi untuk menahan tensile dan compressive stress. Skin biasanya mempunyai rigid atau tingkat kekakuan yang rendah. Material-material konvensional seperti aluminium baja juga stainless steel bisa digunakan untuk bagian ini. Material-material berbentuk plastik yang diperkuat dengan serat gelas dan fiber menjadi pilihan yang baik karna memiliki keunggulan seperti mudah digabungkan dan desain dapat dirancang ssesuai kebutuhan serta permukaan yang baik (Shujuan Hou, 2013).

- Core

Salah satu bagian terpenting dari sandwich adalah core, dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak permukaan terjaga. Dengan kekauan core mampu menahan gesseran agar tidak terjadi slide antara permukaan. Bahan dengan tingkat kekauan rendah tidak baik untuk core karna pada dasarnya kekakuan pada sandwich akan berkurang atau hilang. Tidak hanya kuat dan rendah, core juga mempunyai syarat lain, seperti tingkat kadar air, buckling, umur panjang dan lain-lain (Shujuan Hou, 2013).

- Adhesive

Selain untuk menyatukan antara skin dan core, adhesive harus mampu mentransfer gaya geser antara skin dan core agar kekuatan dari sandwich tetap terjaga. Adhesive juga harus mampu menjaga tegangan dan gaya geser. Hal-hal yang harus diperhatikan :

- a) Persiapan permukaan

Core dan skin harus dibersihkan menggunakan mesin

- b) Bahan pelarut

Core material biasanya berbahan sensitif terhadap bahan pelarut tertentu, contohnya polyester foam sensitif terhadap styrene sehingga epoxy dan polyurethanes yang mungkin untuk digunakan.

- c) Adhesive

Sebaiknya adhesive memiliki viscositas yang cukup rendah sehingga memungkinkan mengisi sel permukaan dengan baik dan meminimalisir udara.

## 2.2 3D Printing

*3D printing* atau sering disebut sebagai *additive manufacturing* adalah suatu proses pembuatan suatu obyek *solid 3* dimensi dari suatu model digital. Proses pencetakan 3D dikerjakan dengan proses aditif, dimana obyek dibuat dengan cara meletakkan/ menambahkan material lapis demi lapis. Metode pencetakan 3D sangat berbeda dengan teknik pemesinan tradisional yang lebih dikenal dengan proses subtraktif dimana pembuatan produk dengan cara mengurangi material awal melalui proses penyayatan.

*3D printing* pertama kali dipublikasikan oleh Hideo Kodama dari Nagoya *Municipal Industrial Research Institute* pada 1982. Pertama kali *3D printer* dapat bekerja atas hasil karya Charles W. Hull dari 3D Systems Corp. pada tahun 1984. Hull mematenkan beberapa konsep dari *3D printing*, dimana beberapa diantaranya masih digunakan hingga saat ini, seperti *additive manufacturing processes*. *3D printer* pada awalnya sangat mahal dan kurang layak untuk dipasarkan. Namun seiring berjalannya waktu, pengembangan teknologi ini sangat pesat karena memiliki prospek yang sangat baik dan dapat menjangkau banyak kalangan. Saat

dipasarkan pertama kali *3D printer* dijual pada kisaran \$ 20.000, namun karena biaya produksi semakin turun dengan drastis, maka harga jualnya semakin terjangkau. Bahkan saat ini kita bisa membeli *3D printer* dengan harga dibawah \$1.000. Meskipun harganya semakin murah, namun memiliki kemampuan yang semakin canggih dan semakin presisi. Hal ini karena didukung oleh perkembangan teknologi *digitizers 3D*, sensor 3D dan *scanner 3D*, membuat *3D printer* yang semakin canggih.

Aplikasi teknologi *printing* ini banyak digunakan terutama untuk membuat purwa rupa (*prototype*) pada industri telepon genggam, *jewellery*, penerbangan, otomotif, sepatu, desain industri, arsitektur, konstruksi, dental, industri medis, pendidikan, teknik sipil dan lainnya. Dengan memanfaatkan teknologi ini perancang akan dengan cepat mewujudkan kreasinya menjadi obyek 3D, sehingga segera dapat dianalisa kelayakan suatu produk seperti ergonomi dan lainnya. Meskipun hasilnya belum berfungsi dengan sempurna seperti aslinya, para ahli terus mencoba membuat organ tubuh tiruan dengan teknologi ini.(H.Yazdani Sarvestani, 2018).

### 2.3 Cara Kerja Mesin 3D Printer

Cara kerja mesin 3D printer secara umum terbagi pada tiga tahapan proses, yaitu:

1. Model objek 3D. Dapat dibuat dengan menggunakan software khusus untuk model desain 3D yang printernya mendukung contohnya seperti *solidwork*, *catia*, *delcam* dll.
2. Proses Printing. Apabila desainnya sudah dibuat anda bisa langsung print di *3D printer*. Kemudian proses pencetakan pun dimulai, lamanya proses pencetakkan ini tergantung dari besar dan ukuran model. Proses printing menggunakan prinsip dasar Additive Layer dengan rangkaian proses mesin membaca rancangan 3D dan mulai menyusun lapisan secara berturut-terut untuk membangun model virtual digabungkan secara otomatis untuk membentuk susunan lengkap yg utuh.

Finishing Pada tahap ini dapat menyempurnakan bagian-bagian kompleks yang bisa jadi disebabkan oleh over sized atau ukuran yang berbeda dari yang

diinginkan. Teknik tambahan untuk menyempurnakan proses ini dapat pula menggunakan teknik multiple material atau material berbeda; multiple color atau kombinasi warna.

#### 2.4 Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana. Polimer mempunyai berat molekul di atas 10.000. Bahan dengan berat molekul yang besar ini, mempunyai struktur dan sifat yang rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang lebih besar dibandingkan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang disebut ikatan kovalen, dimana ikatan setiap atom dari pasangan menyumbangkan satu electron untuk membentuk sepasang electron.( Mine Uslu Uysal,2015).

Sifat-sifat khas bahan Polimer pada umumnya yaitu:

a. Kemampuan Cetak Baik

Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi dan seterusnya sehingga ongkos pembuatan relatif rendah dibandingkan dengan material logam dan keramik.

b. Produk ringan dan kuat. Berat jenis polimer rendah dibandingkan dengan logam dan keramik, yaitu sekitar 1,0 – 1,7 gr/cm<sup>3</sup>.

c. Sebagai isolator listrik yang baik. yang memungkinkan membuat barang kuat dan ringan. Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang baik. Polimer mungkin juga dibuat konduktor dengan jalan mencampurnya dengan serbuk logam, butiran karbon dan sebagainya.

d. Tahan terhadap air dan zat kimia.

e. Produk dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Produk-produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya.

f. Umumnya bahan polimer lebih murah harganya.

g. Kurang tahan terhadap panas sehingga perlu cukup diperhatikan pada penggunaannya.

- h. Kekerasan permukaan yang sangat kurang kekerasan bahan polimer masih jauh dibawah bahan logam dan keramik
- i. Kurang tahan terhadap pelarut. Bahan polimer mudah larut dalam zat pelarut tertentu.
- j. Mudah termuati listrik secara elektrostatik. Kecuali beberapa bahan yang khusus dibuat agar menjadi hantaran listrik, kurang higroskopik dan dapat dimuati listrik.
- k. Beberapa bahan tahan abrasi atau mempunyai koefisien gesek yang kecil.

Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu : plastik thermoplast dan plastik thermoset. Plastik thermoplast adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik thermoplast antara lain : PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, Polyacetal (POM), PC dll. Sedangkan plastik thermoset adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bagian polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik thermoset adalah : PU (Poly Urethane), UF (Urea Formaldehyde), MF (Melamine Formaldehyde). ( Mine Uslu Uysal,2015).

#### 2.4.1 Polimer Thermoplast

Polimer thermoplast adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan kembali mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Tidak seperti polimer jenis termosetting, polimer jenis ini tidak memiliki ikatan silang antara rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang.

Polimer thermoplast memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut:

- a. Berat molekul kecil
- b. Tidak tahan terhadap panas
- c. Jika dipanaskan akan melunak
- d. Jika didinginkan akan mengeras
- e. Mudah untuk diregangkan

- f. Fleksibel
- g. Titik leleh rendah
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang)
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai

#### 2.4.2 Polimer Thermoset

Polimer thermoset adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi.

Polimer thermoset memiliki ikatan – ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer.

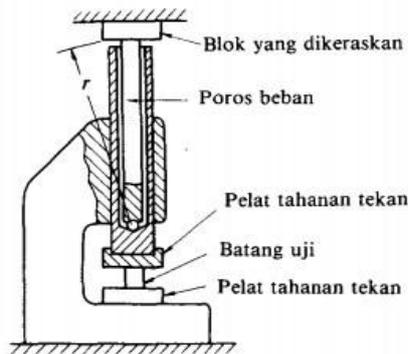
Sifat polimer thermoset sebagai berikut:

- a. Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- b. Jika dipanaskan akan mengeras
- c. Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang)
- d. Tidak dapat larut dalam pelarut apapun
- e. Jika dipanaskan akan meleleh
- f. Tahan terhadap asam basa
- g. Mempunyai ikatan silang antar rantai molekul

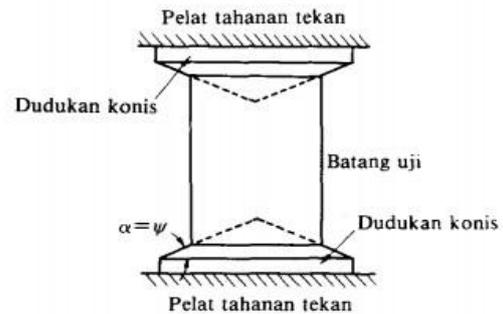
#### 2.5 Pengujian Statis

Pada umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik. Tetapi kalau suatu komponen hanya menerima beban tekan saja dan dirancang berdasarkan kekuatan tarik saja, kadang-kadang perhitungan menghasilkan dimensi yang berlebihan. Jadi dalam hal tersebut pengujian tekan masih diperlukan. Apabila ada eksentrisitas, ia akan bertambah besar ketika deformasi berlangsung, maka perlu suatu cara agar tidak terjadi eksentrisitas. Jadi hanya

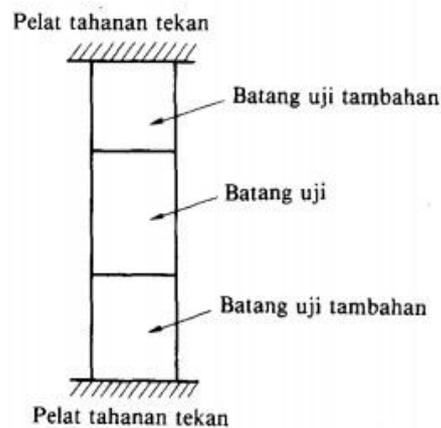
bekerja gaya aksial saja. menyatakan cara pengujian tekan 1 angka disarankan oleh ASTM. Selanjutnya tegangan yang tepat sukar karena batang uji berdeformasi menjadi bentuk tong disebabkan adanya gesekan antara landasan dan batang uji atau terjadi tekukan (buckling), karena itu beberapa percobaan dibuat seperti ditunjukkan dalam baru-baru ini ditemukan bahan yang baik terbuat dari keramik sebagai landasan dari silika, yang memberikan pengaruh. (Prof. Ir. Tata Surdia.1999:21).



Gambar 2.3 pengujian tekan  
disarankan oleh ASTM



Gambar 2.4 pelat tekan  
konis sudut gesekan



Gambar 2.5 Alat Uji Statis

## 2.6 Tegangan

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan SI untuk tegangan normal adalah Newton

per meter kuadrat ( $N/m^2$ ) atau pascal (Pa). Tegangan dihasilkan dari gaya seperti : tarikan, tekanan atau geseran yang mebarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara.

Perubahan bentuk yang terjadi sering sangat kecil dan hanya *testing machine* adalah contoh peralatan yang dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan bentuk yang kecil dari bahan yang dikenai beban. Cara lain untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan dimana gaya tersebut bereaksi. Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

## 2.7 Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin penguji dan beban serta penambahan panjang spesifikasi diamati serempak, maka batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan linier akan berakhir sampai pada titik mulur. hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis. Menurut Marciniak dkk, (2002) regangan dibedakan menjadi dua yaitu : *engineering strain* dan *true strain*. *engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\epsilon_{eng} = \frac{l-l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$$

Dimana :  $\epsilon_{eng}$  = Engineering Strain

$\Delta l$  = Perubahan Panjang

$l_0$  = Panjang Awal

$l$  = Panjang Setelah Diberi Gaya

Tabel 1.1 Modulus Elastisitas Bahan

Bahan	Modulus Young ( Pa)
Aluminium	$7 \times 10^{10}$
Baja	$20 \times 10^{10}$
Besi	$21 \times 10^{10}$
Karet	$0,05 \times 10^{10}$
Kuningan	$9 \times 10^{10}$
Nikel	$21 \times 10^{10}$
Tembaga	$11 \times 10^{10}$
Timah	$1,6 \times 10^{10}$
Beton	$2,3 \times 10^{10}$
Kaca	$5,5 \times 10^{10}$
Wolfram	$41 \times 10^{10}$

## 2.8 Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)

Hopkinson Pressure Bar pertama kali diusulkan oleh Bertram Hopkinson pada tahun 1914 sebagai cara untuk mengukur stres propagasi pulsa di sebuah bar logam. Kemudian, pada tahun 1949 H. Kolsky disempurnakan teknik Hopkinson dengan menggunakan dua batang Hopkinson dalam seri, yang sekarang dikenal sebagai bar slip-Hopkinson, untuk mengukur stres dan ketegangan, yang adanya menggabungkan kemajuan dalam sinar katoda osiloskop dalam hubungan dengan unit kondensator listrik untuk merekam perambatan gelombang tekanan di bar tekanan seperti yang di pelopori oleh RM Davies tahun sebelumnya pada tahun 1948. Modifikasi kemudian telah memungkinkan untuk tarik, kompresi dan pengujian torsi.

### 2.8.1 Teori Split Hopkinson Pressure Bar

Split Hopkinson Pressure Bar merupakan salah satu metode untuk mengetahui nilai tingkat regangan tinggi pada suatu material. Misalnya, peristiwa kecelakaan, ledakan, ataupun laju sebuah peluru terhadap suatu objek, juga dapat mengakibatkan deformasi pada laju regangan tinggi terhadap objek tersebut (Harding J, Wood, E. D., Campbell, J. D, 1960). Tingkat regangan konvensional lebih besar dari  $1s^{-1}$  didefinisikan sebagai pembebanan dinamik meskipun Lindholm menyarankan tingkat regangan  $\dot{\epsilon} = 10s^{-1}$  sebagai batas terendah (Lindholm, U. S., 1971). Metode lain yang dikembangkan untuk menguji tingkat regangan tinggi pada suatu material adalah Split Hopkinson Pressure Bar, Taylor

Impact, dan Plate Impact. Split Hopkinson Pressure Bar merupakan salah satu metode yang sederhana untuk mengetahui tingkat laju regangan tinggi, yaitu  $10^2$  hingga  $10^4 s^{-1}$ . Mekanisme yang mendasar pada metode Split Hopkinson Pressure Bar adalah menggunakan rambatan gelombang sepanjang bar yang panjang saat mengalami tumbukan (*impact*).

### 2.8.2 Perkembangan Split Hopkinson Pressure Bar

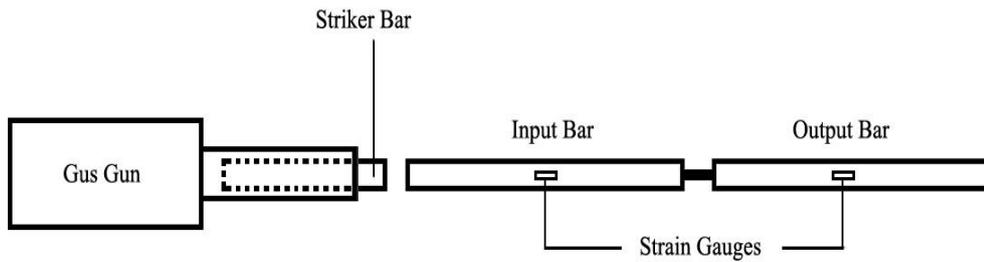
Hauser menambahkan strain gauges yang merupakan alat ukur regangan pada Split Hopkinson Pressure Bar untuk mengukur perpindahan bar saat terjadinya tumbukan (*impact*) dan menggunakan perangkat perekam data gelombang saat terjadinya tumbukan, yang disebut *oscilloscopes* (Hauser, 1966).

Sebagian dari metode merekam data, Kaiser pada tahun 1998, mengembangkan kurva perbandingan antara tekanan dan waktu dengan kurva regangan dan waktu, sebagai kurva perbandingan yang standar digunakan (Kaiser, 1998).

N. Tasneem mempelajari cara untuk membentuk dorongan tekanan yang melaju melalui tekanan bar. Banyak juga peneliti yang menerapkan pengujian Split Hopkinson Pressure Bar ini, untuk menguji elastisitas suatu bahan sebagai penelitian mereka (N. Tasneem, 2002).

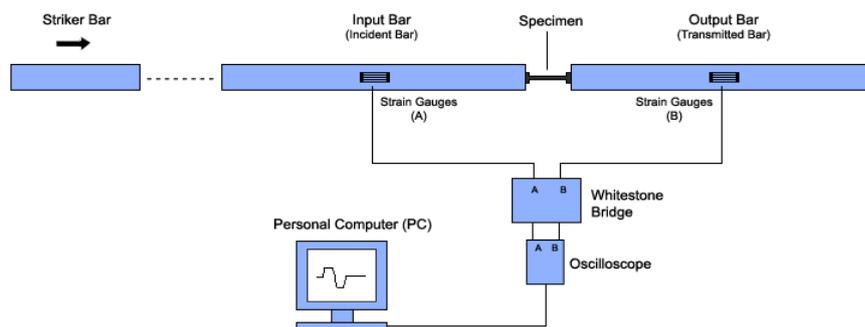
### 2.8.3 Prinsip Kerja Split Hopkinson Pressure Bar

Pada dasarnya Split Hopkinson Pressure Bar, terdiri dari 3 bar, *striker bar*, *input bar*, dan *output bar* dapat dilihat pada (Gambar 2.7) Striker bar meluncur pada input bar pada kecepatan tertentu. Prinsip kerja Split Hopkinson Pressure Bar berdasarkan rambatan gelombang. Bagian - bagian utamanya berupa tembakan gas (*gas gun*), *striker bar*, *input bar (incident bar)*, dan *output bar (transmitted bar)*, dan *strain gauges*.



Gambar 2.6 Bagian utama Split Hopkinson pressure Bar

Untuk mengetahui tegangan, regangan, serta tingkat regangan (*strain rate*) dengan menggunakan metode *Split Hopkinson Pressure Bar* yang menggunakan spesimen dijepit diantara dua bar, input dan output bar dapat dilihat pada (Gambar 2.6) dimana striker bar akan bergerak melalui tembakan angin (*gas gun*) menuju input bar (*incident bar*) dan output bar (*transmitted bar*) yang akan mengalami impact. Pada saat mengalami impact, rambatan gelombang tekan akan meneruskan gelombangnya ke output bar dan kembali memantul menuju input bar dan menghasilkan nilai laju regangan tinggi (*high strain rate*) berupa rambatan gelombang dengan menggunakan strain gauges yang melekat pada input dan output bar. Dan perekam sinyal gelombang dirangkai dalam bentuk *Wheatstone Bridge* yang fungsinya untuk menangkap sinyal tegangan dan regangan.



Gambar 2.8 Skema Split hopkinson Pressure Bar

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

- 1) Tempat pelaksanaan pembuatan spesimen Panel Sandwich dengan menggunakan mesin 3D printer adalah di jalan pasar III gg. Delimuran no.24 Medan Perjuangan.
- 2) Waktu pembuatan dan perancangan dan penyusunan tugas sarjana ini dilaksanakan pada November 2017.

Tabel 3.1: Timeline Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan / (Tahun 2017-2018)													
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengajuan Judul	■													
2.	Studi Literatur		■	■											
3.	Desain Rancangan spesimen			■	■	■									
4.	Penyediaan alat dan bahan							■	■	■					
5.	Pembuatan Spesimen										■	■	■		
6.	Penyelesaian Skripsi														■

### 3.2 Alat dan Bahan Yang Digunakan

#### 3.2.1 Fillament 3D Printer

Filament ini berfungsi sebagai bahan dasar untuk membuat spesimen Panel *Sandwich*



Gambar 3.1 Fillament PLA 3D Printer

#### 3.2.2 Mesin 3D Printer

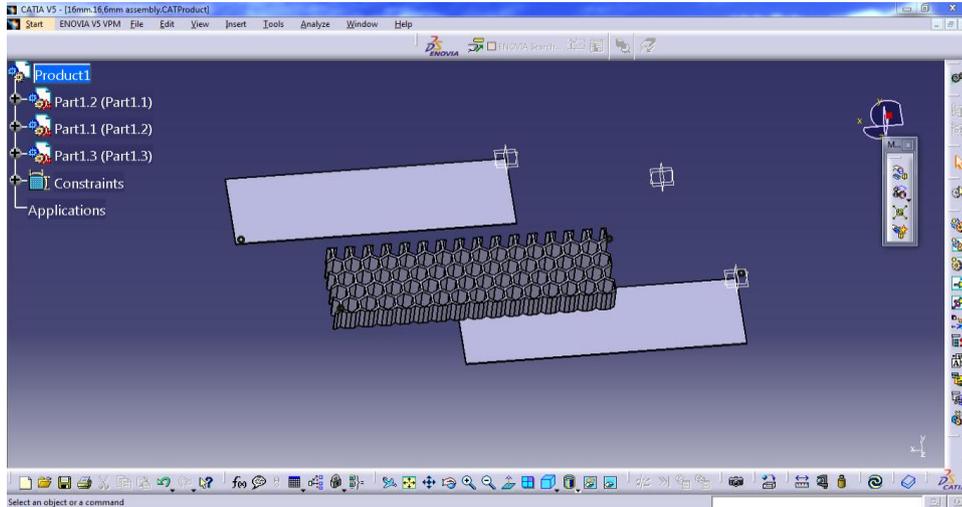
3D printer ini berfungsi untuk mencetak spesimen panel sandwich dengan bahan polimer jenis Fillament PLA



Gambar 3.2 Mesin 3D Printer

### 3.2.3 Aplikasi CatiaV5

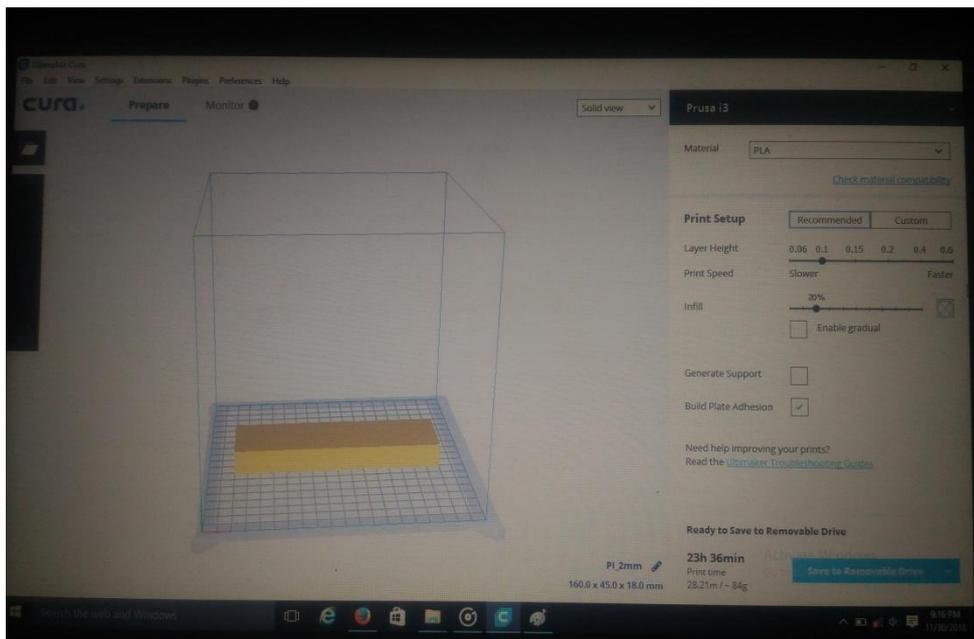
Aplikasi CatiaV5 ini berfungsi untuk mendesign gambar spesimen panel sandwich dalam bentuk tiga dimensi (3D).



Gambar 3.3 Aplikasi CatiaV5

### 3.2.4 Aplikasi CURA

Aplikasi CURA ini berfungsi untuk mengubah format gambar stl menjadi format Gcode agar data gambar 3d terbaca oleh mesin 3d printer.

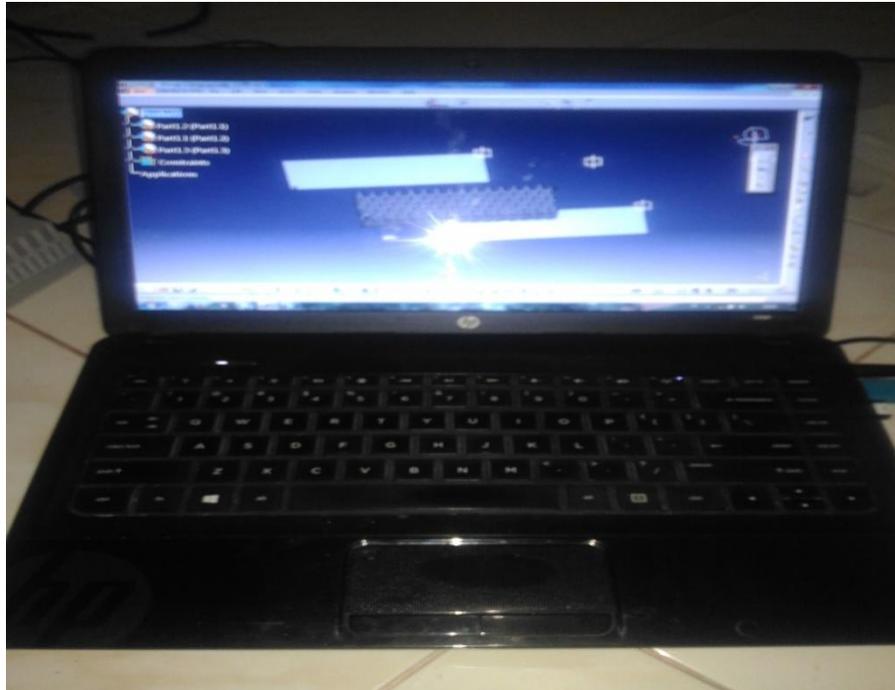


Gambar 3.4 Aplikasi CURA

### 3.2.5 Laptop

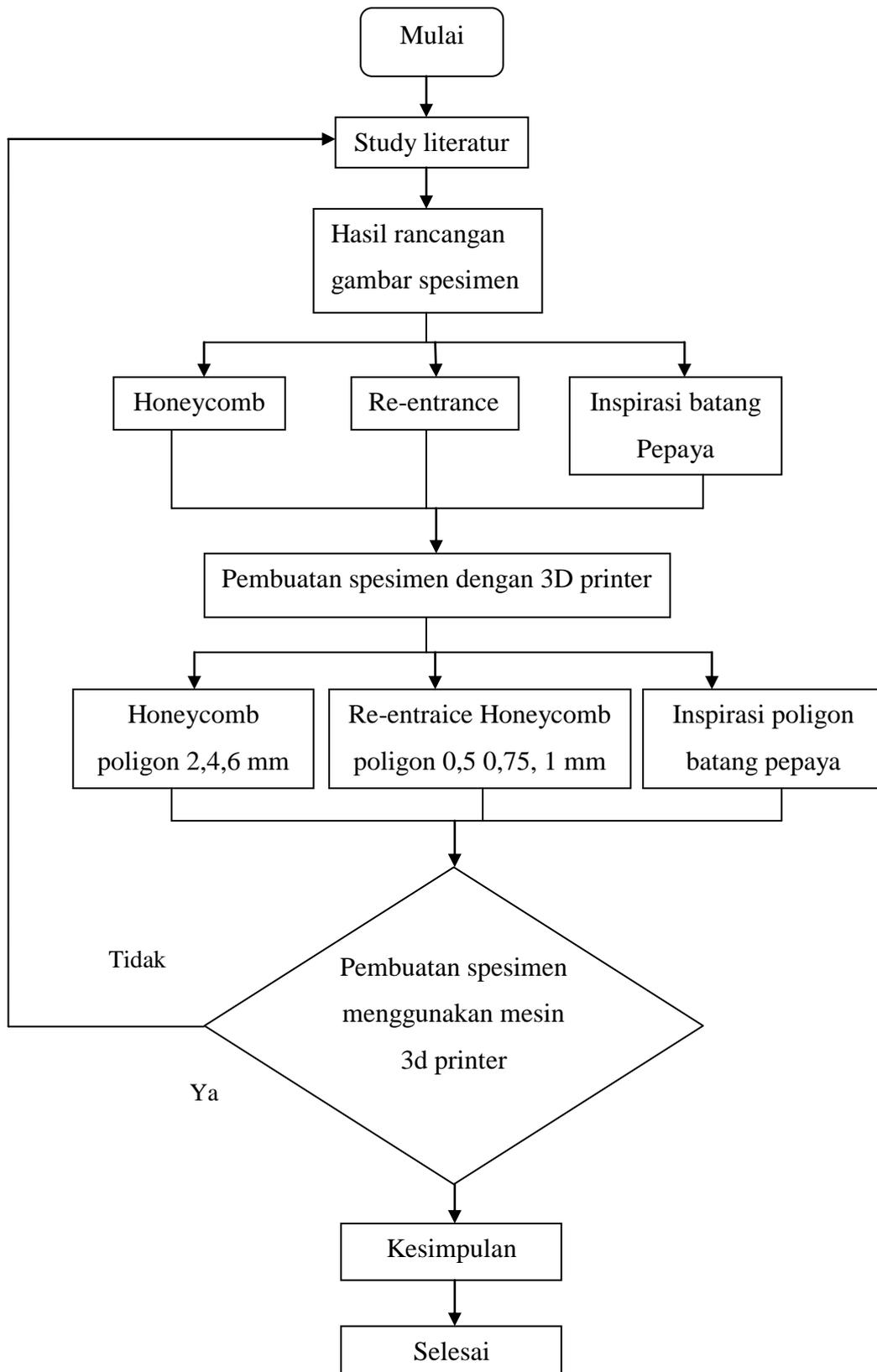
Spesifikasi laptop yang digunakan dalam studi CatiaV5 adalah :

1. Processor : AMD E-1200 APU HD graphics 1.40GHz
2. RAM : 2,00 GB
3. System : 64-bit Operating System



Gambar 3.5 Laptop

### 3.3 Diagram Alir Pembuatan



Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan

### 3.3.1 Penjelasan Diagram Alir

- 1) Study Literatur adalah mencari referensi teori yang relevan sebagai panduan pembuatan, pada tugas sarjana Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi.
- 2) Hasil rancangan gambar 3d dengan 3 model panel sandwich yaitu, 1.honeycomb 2.Re-entrance 3.Inspirasi dari batang pepaya
- 3) Pembuatan struktur 3 model panel sandwich adalah pembuatan sesuai konsep desain yang telah dipilih.
- 4) Proses permesinan adalah proses dimana pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D printer.
- 5) Pembuatan material struktur panel sandwich dengan variasi konfigurasi penampang sebagai aplikasi penyerap energi adalah hasil dari pencetakan melalui 3D printer.
- 6) Kesimpulan adalah dimana pada saat pencetakan spesimen terjadi perbedaan waktu pembuatan spesimen dari 3 model yang telah di cetak dan menghabiskan bahan filament (PLA) yang berbeda.

### 3.4 Prosedur Pembuatan

Untuk proses pembuatan struktur panel sandwich ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Dimulai dari perencanaan ukuran hingga inspeksi ukuran dari hasil pembuatan yang dilakukan. Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan proses pembuatan material struktur panel sandwich dengan variasi konfigurasi penampang sebagai aplikasi penyerap energi :

1. Tahapan persiapan/perencanaan awal

Pekerjaan yang merencanakan seluruh kegiatan baik perencanaan teknik (perancangan bentuk dan ukuran panel sandwich, pemilihan metode pembuatan, perhitungan biaya, dll) maupun perencanaan waktu.

2. Pembuatan pola

Berdasarkan definisi diatas, dapat dibuat sebuah pola dari bentuk yang sudah di setujui, dimana setiap pola akan dibentuk sebuah gambar yang akan di aplikasikan dalam bentuk asli. Adapun dalam proses pengerjaan ini menggunakan mesin 3D Printer.

3. Proses Percetakan

Adapun proses pembuatan panel sandwich menggunakan mesin 3D printer sebagai berikut:

- a. Menyalakan mesin 3D printer dan tunggu beberapa saat agar mencapai suhu peleburan sesuai dengan standart.
- b. Memastikan Filament dalam keadaan cukup agar dalam berjalannya mesin menuai hasil yang di inginkan.
- c. Memasukkan gambar yang akan di cetak melalui kartu memori.
- d. Menentukan format percetakan mulai dari suhu, kecepatan, jenis filament agar sesuai dengan bahan.
- e. Memulai mesin 3D printer dan menunggu hingga spesimen benar-benar tercetak.

4. Jenis spesimen dan ukuran

- a. Honeycomb

Dalam proses percetakan spesimen Honeycomb memakan waktu yang berbeda-beda, tergantung pada kerumitan pola dan ukuran spesimen tersebut. Adapun waktu dalam proses percetakan sebagai berikut:

1. Honeycomb 1

Panjang : 160mm

Lebar : 45mm

Tinggi : 18mm

Ukuran Pola : 2mm

Memakan waktu kurang lebih 23 jam 35 menit dalam proses percetakannya.

2. Honeycomb 2

Panjang : 160mm

Lebar : 45mm

Tinggi : 18mm

Ukuran Pola : 4mm

Memakan waktu kurang lebih 12 jam 50 menit dalam proses percetakannya.

3. Honeycomb 3

Panjang : 160mm

Lebar : 45mm

Tinggi : 18mm

Ukuran Pola : 6mm

Memakan waktu kurang lebih 9 jam dalam proses percetakannya.

b. Re-entraince

Dalam proses percetakan spesimen Re-entraince memakan waktu yang berbeda-beda, tergantung pada kerumitan pola dan ukuran spesimen tersebut. Adapun waktu dalam proses percetakan sebagai berikut :

1. Re-entraince 1

Panjang : 108 mm

Lebar : 25 mm

Tinggi : 10 mm

Ukuran pola : 0,5 mm

Memakan waktu kurang lebih 3 jam 50 menit dalam proses percetakannya.

2. Re-entraince 2

Panjang : 108 mm

Lebar : 25 mm

Tinggi : 10 mm

Ukuran Pola : 0,75 mm

Memakan waktu kurang lebih 4 jam 40 menit dalam proses percetakannya.

3. Re-entraince 3

Panjang : 108 mm

Lebar : 25 mm

Tinggi : 10 mm

Ukuran Pola : 1 mm

Memakan waktu kurang lebih 4 jam 50 menit dalam proses percetakannya.

c. Inspirasi Poligon Batang pepaya

Dalam proses pencetakan spesimen poligon batang pepaya ini, kurang lebih memakan waktu 8 jam, dengan menggunakan mesin 3d printer dan berbahan fillament (PLA). Adapun ukuran dan waktu dalam proses percetakan sebagai berikut :

1. Inapirasi Batang Pepaya

Panjang : 160 mm

Lebar : 20 mm

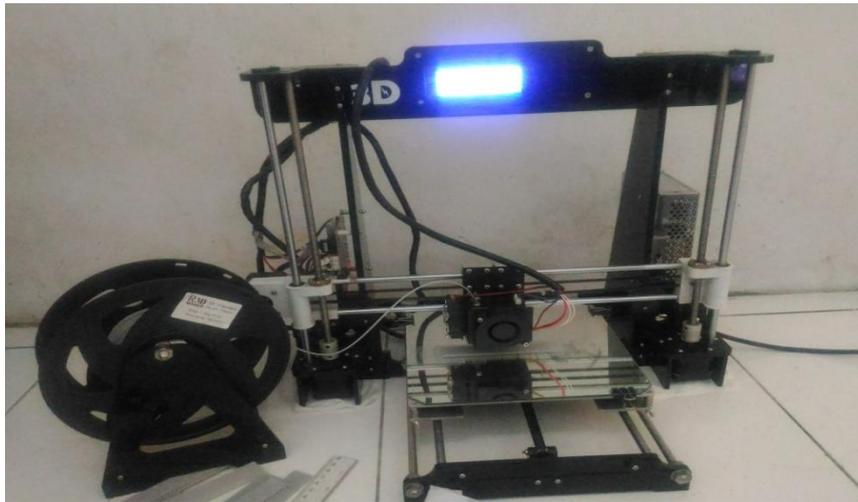
Tinggi : 18 mm

Ukuran Pola : 1 mm

Memakan waktu kurang lebih 8 jam dalam proses percetakannya. Untuk lebih jelas bisa di lihat pada lampiran 1.

### 3.5 Proses Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich

#### 3.5.1 Mesin 3D Printer



Gambar 3.7 Mesin 3D Printer Saat Melakukan Pencetakan

Memasukkan data gambar ke bagian komponen mesin 3D printer yang sudah di setujui. Untuk memulai mencetak, mesin terlebih dahulu di hidupkan dan menunggu hingga suhu mesin sesuai dengan suhu bahan fillament. Setelah mesin dalam kondisi siap maka mesin mulai melakukan pencetakan spesimen.

#### 3.5.2 Suhu Lebur Bahan Fillament (PLA)



Gambar 3.8 Suhu Lebur Fillament (PLA)

Pengaturan suhu peleburan pada bahan fillament (PLA) bisa dilihat pada gambar 3.6, dimana terdapat suhu peleburan bahan: 189,9/200°, mul: 100, flow: 100, buf: 16. Table: °60/60. Pengaturan suhu pencetakan diatas merupakan

standart pada mesin 3D printer model *acrylic prusa i3* dengan bahan fillament (PLA).

### 3.5.3 Cetakan Tapak Spesimen



Gambar 3.9 Tapak Spesimen

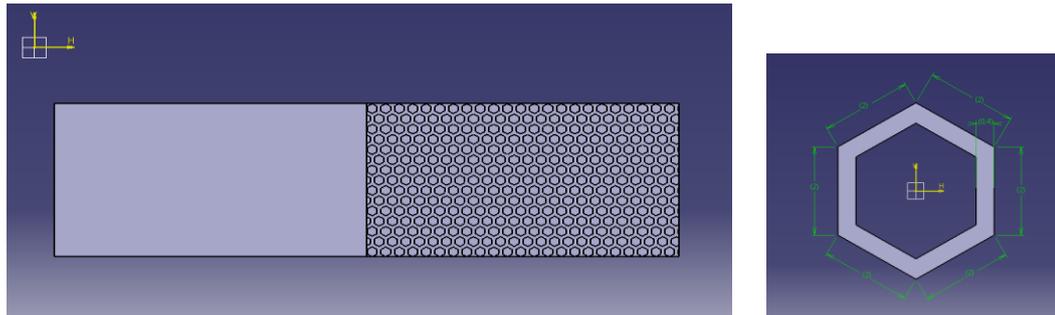
Saat mesin melakukan pencetakan pertama kali terbentuk adalah tapak spesimen, dimana tapak tersebut sebagai dudukan spesimen agar tidak goyang saat mesin mencetak bagian pola pada spesimen. Untuk tapak sendiri waktu pencetakan nya kurang lebih 30 menit pada setiap spesimen, sementara untuk waktu total pembuatan spesimen telah di uraikan sebelumnya dimana setiap spesimen memakan waktu yang berbeda-beda dengan kerumitan pola spesimen.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

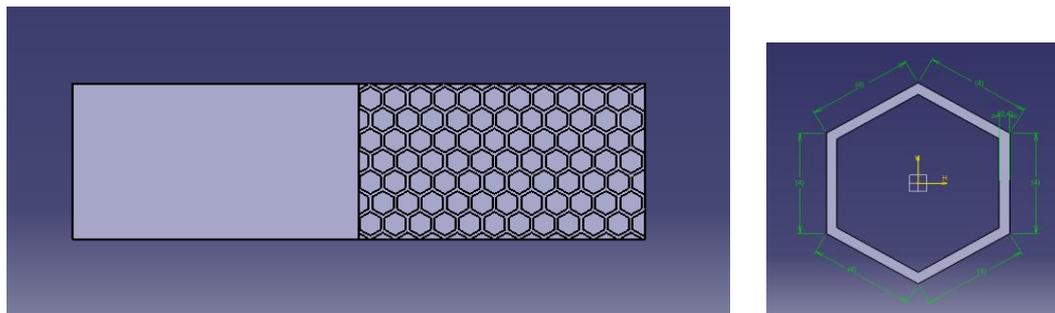
### 4.1 Hasil Rancangan Gambar Spesimen Panel Sandwich

Dimana gambar spesimen yang telah dirancang menggunakan aplikasi CatiaV5 dalam bentuk 3 dimensi, yang mana dari hasil gambar ini akan terbentuk spesimen berbahan fillament (PLA) yang di cetak menggunakan 3d printer.

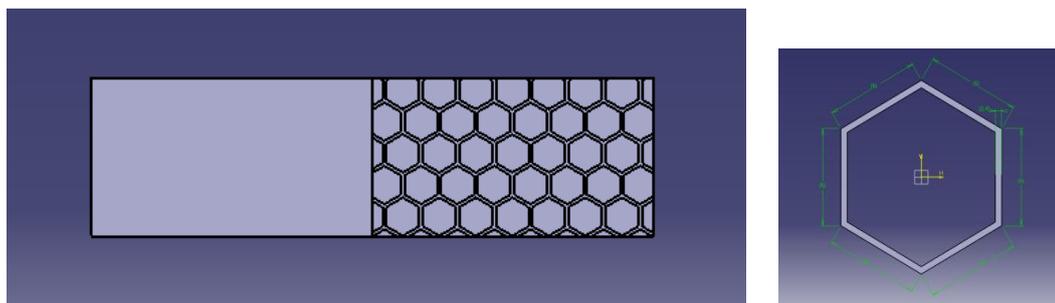
#### 4.1.1 Honeycomb



Gambar 4.1 Hasil gambar honeycomb dengan ukuran poligon 2 (mm)



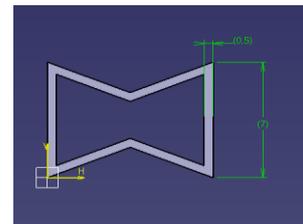
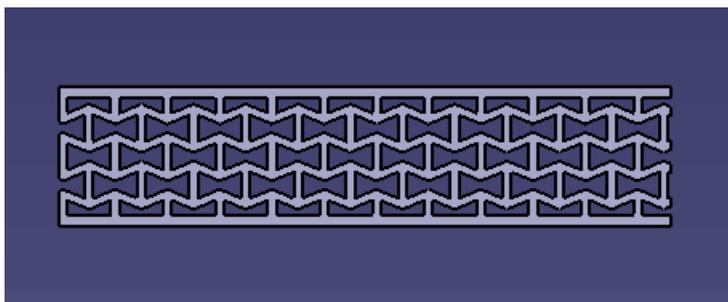
Gambar 4.2 Hasil gambar honeycomb dengan ukuran poligon 4 (mm)



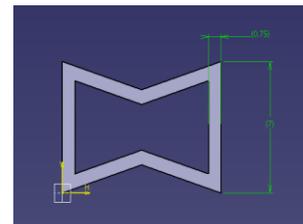
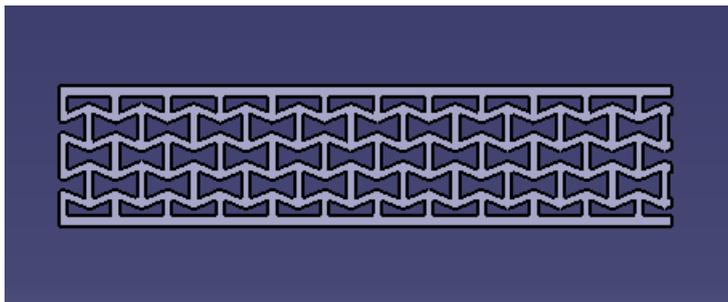
Gambar 4.3 Hasil gambar honeycomb dengan ukuran poligon 6 (mm)

Hasil gambar 3 dimensi jenis honeycomb yang telah dibuat menggunakan media aplikasi catiaV5 dapat dilihat pada halaman sebelumnya, dimana gambar 4.1 terlihat honeycomb dengan panjang 160mm, lebar 45mm dan tinggi 18mm. Untuk poligon dinding spesimen memiliki ukuran 2mm. Pada gambar 4.2 terlihat honeycomb panjang 160mm, lebar 45mm dan tinggi 18mm dengan poligon dinding spesimen 4mm. Sedangkan untuk gambar 4.3 terlihat honeycomb panjang 160mm, lebar 45mm dan tinggi 18mm dengan poligon dinding spesimen 6mm.

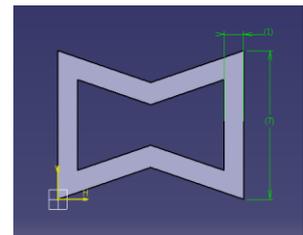
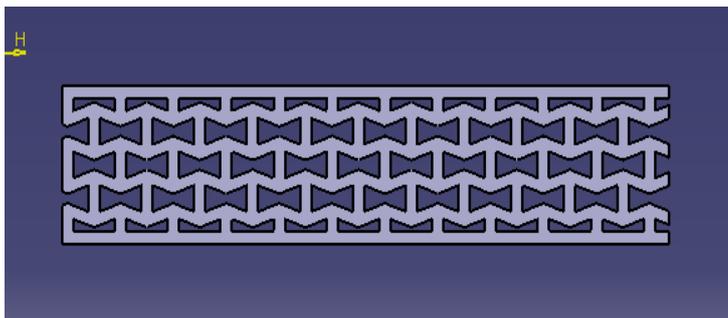
#### 4.1.2 Re-entrance



Gambar 4.4 Hasil gambar spesimen Re-entrance ketebalan poligon 0,5 (mm)



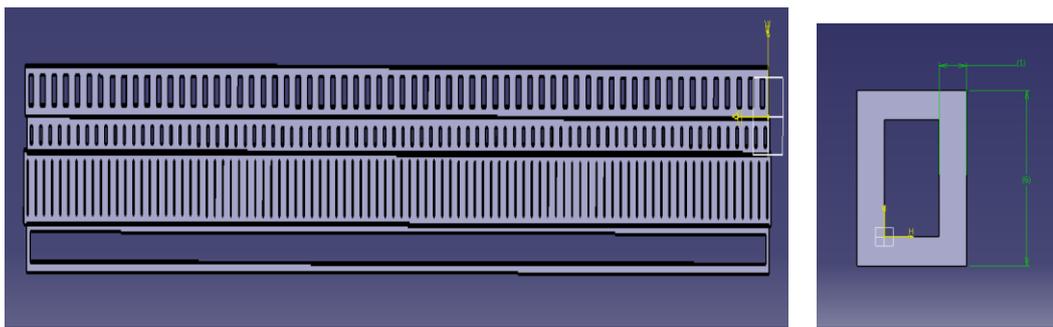
Gambar 4.5 Hasil gambar spesimen Re-entrance ketebalan poligon 0,75 (mm)



Gambar 4.6 Hasil gambar spesimen Re-entrance ketebalan poligon 1 (mm)

Hasil gambar 3 dimensi jenis Re-entraince yang telah dibuat menggunakan media aplikasi catiaV5 dapat dilihat pada halaman sebelumnya, dimana pada gambar 4.4 terlihat gambar Re-entraince panjang 108mm, lebar 25mm dan tinggi 10mm dengan ketebalan pola 0,5mm. Pada gambar 4.5 terlihat Re-entraince panjang 108mm, lebar 25mm dan tinggi 10mm dengan ketebalan pola 0,75mm. Pada gambar 4.6 terlihat Re-entraince panjang 108mm, lebar 25mm dan tinggi 10mm dengan ketebalan pola 1mm.

#### 4.1.3 Inspirasi Batang Pepaya



Gambar 4.7 Hasil gambar spesimen Inspirasi batang pepaya ketebalan pol (1mm)

Hasil gambar dengan model inspirasi dari batang pepaya ini memiliki ukuran panjang 160mm, lebar 20mm, tinggi 18mm dengan ketebalan pola 1mm. Dapat dilihat pada gambar 4.7 dimana, gambar inspirasi batang pepaya tersebut terinspirasi pada bentuk pola-pola kecil pada batang pepaya yang asli, dimana memiliki pola besar pada bagian atas/samping, dan untuk bagian tengah cenderung memiliki pola yang sedikit kecil.

#### 4.2 Hasil Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich

Untuk membuat spesimen material struktur panel sandwich ini memerlukan waktu kurang lebih 3 bulan, dalam proses pembuatan panel sandwich ini menggunakan mesin 3D printer dengan bahan Fillament (PLA). Adapun hasil dari pembuatan material struktur panel sandwich ini dapat di lihat pada gambar dibawah :

#### 4.2.1 Honeycomb

Tabel 4.1 Spesifikasi Spesimen Honeycomb

Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Pola (mm)
1	160	45	18	2
2	160	45	18	4
3	160	45	18	6



Gambar 4.8 Hasil pembuatan spesimen Honeycomb

Terlihat pada tabel 4.1 dimana spesimen yang sudah dicetak menggunakan mesin 3d printer memiliki ukuran panjang, lebar dan tinggi yang sama dari tiap-tiap spesimen, namun untuk ukuran poligon nya berbeda.

#### 4.2.2 Re-entraince

Tabel 4.2 Spesifikasi spesimen Re-entraince

Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	tebal Pola (mm)
1	108	25	10	0,5
2	108	25	10	0,75
3	108	25	10	1



Gambar 4.9 Hasil Pembuatan Spesimen Re-entrance

#### 4.2.3 Inspirasi Batang Pepaya

Tabel 4.3 Spesifikasai spesimen inspirasi batang pepaya

Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	tebal Pola (mm)
1	160	20	18	1



Gambar 4.10 Hasil pembuatan spesimen Inspirasi batang pepaya

Dapat dilihat pada gambar di atas hasil pembuatan spesimen yang di cetak menggunakan mesin 3d printer dengan menggunakan bahan fillament (PLA). Untuk data waktu pembuatan dan bahan yang diperlukan akan di jabarkan pada pembahasan.

### 4.3 Pembahasan

Untuk hasil spesimen yang sudah dibuat menggunakan mesin 3D printer menuai hasil maksimal, dimana setiap spesimen dicetak menggunakan bahan fillament (PLA) dengan waktu yang berbeda-beda, dan menghabiskan bahan material fillament yang digunakan juga berbeda jumlahnya, namun untuk suhu dalam peleburan bahan fillament tetaplah sama untuk semua spesimen. Berikut data dari waktu, bahan dan suhu peleburan tiap – tiap spesimen :

Tabel 4.4 Spesifikasi cetakan spesimen

NO	Spesimen	Waktu	Bahan	Suhu
1	Honeycomb pol 2mm	23j 35	84 g	198-200°
2	Honeycomb pol 4mm	12j 50m	52 g	198-200°
3	Honeycomb pol 6mm	9j	37 g	198-200°
4	Re-entraince tebal pol 0,5mm	3j 50m	15 g	198-200°
5	Re-entraince tebal pol 0,75mm	4j 40	20 g	198-200°
6	Re-entraince tebal pol 1mm	4j 50m	23 g	198-200°
7	Inspirasi Batang Pepaya pol 1mm	8j	34 g	198-200°

Keterangan simbol :

mm : mili meter

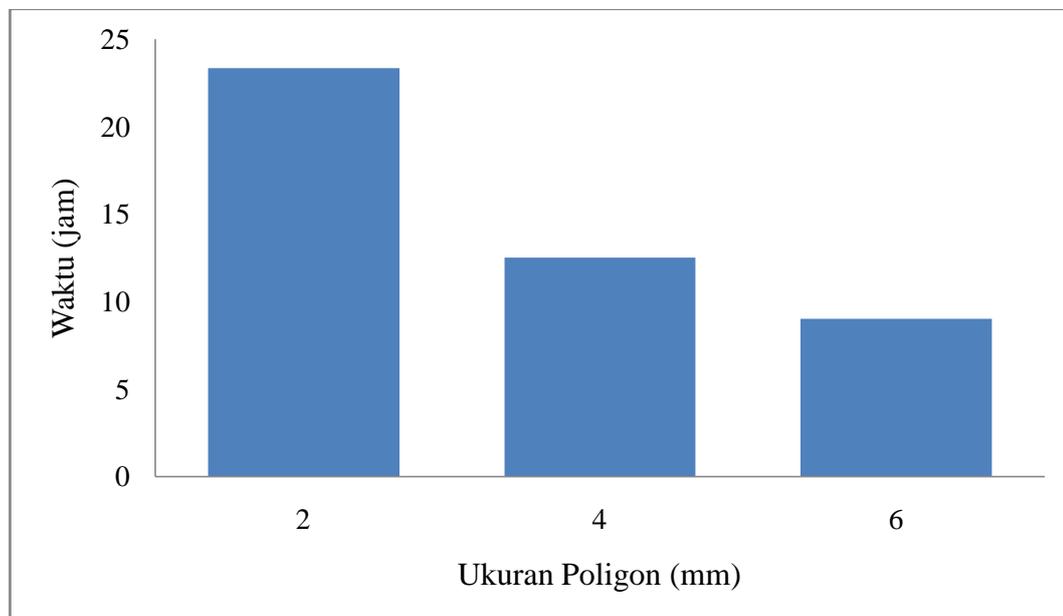
g : gram

j : jam

° : derajat

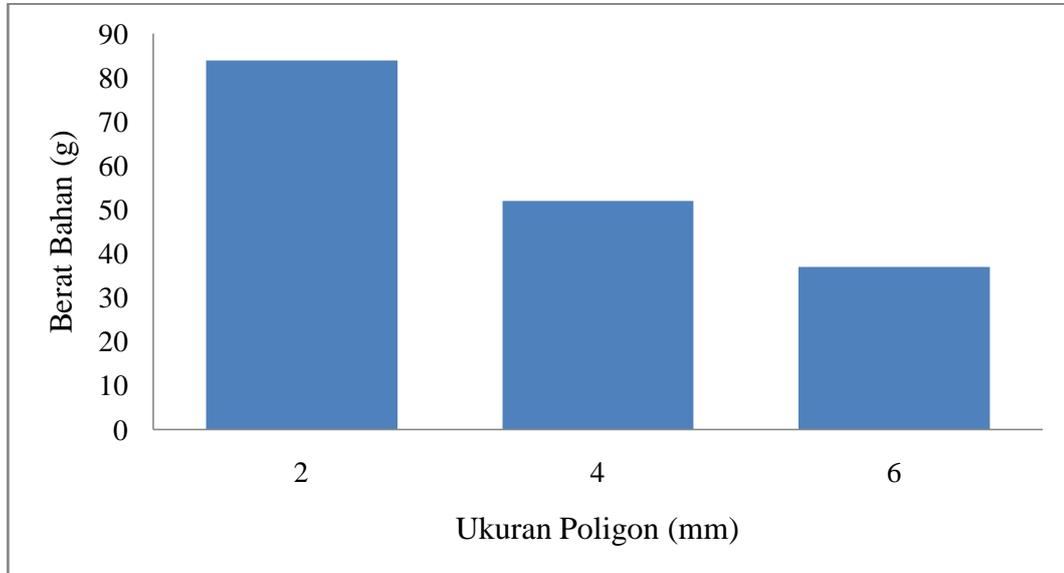
m : menit

#### 4.3.1 Grafik Waktu dan Bahan Pembuatan Spesimen Honeycomb



Gambar 4.11 Grafik waktu pembuatan spesimen honeycomb

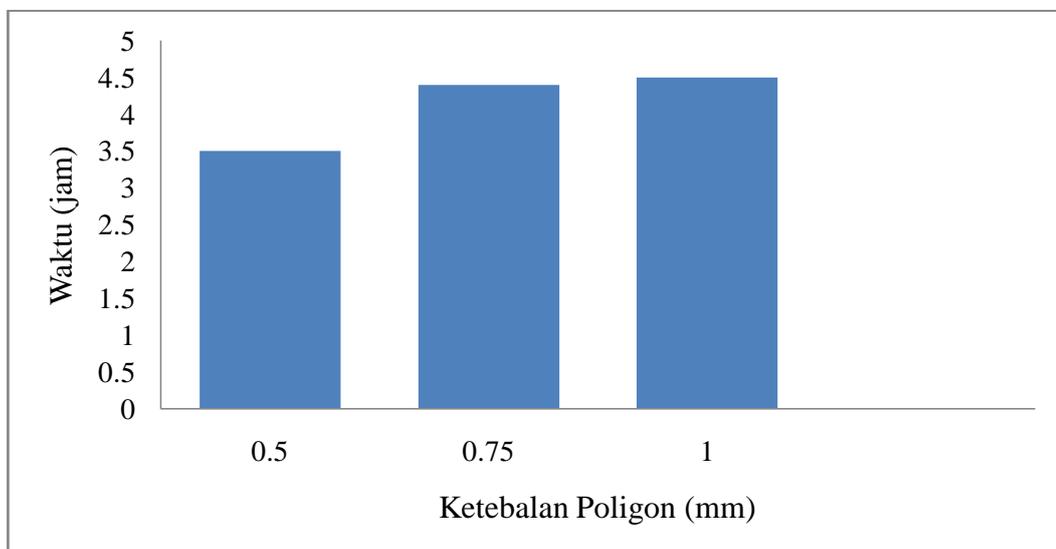
Dapat dilihat pada grafik waktu pembuatan spesimen honeycomb menggunakan mesin 3d printer memakan waktu yang berbeda-beda. Untuk poligon 2 mm memakan waktu 23 jam 35 menit, poligon 4 mm memakan waktu 12 jam 50 menit, dan poligon 6 mm memakan waktu 9 jam pencetakan.



Gambar 4.12 Grafik berat bahan filament pembuatan spesimen honeycomb

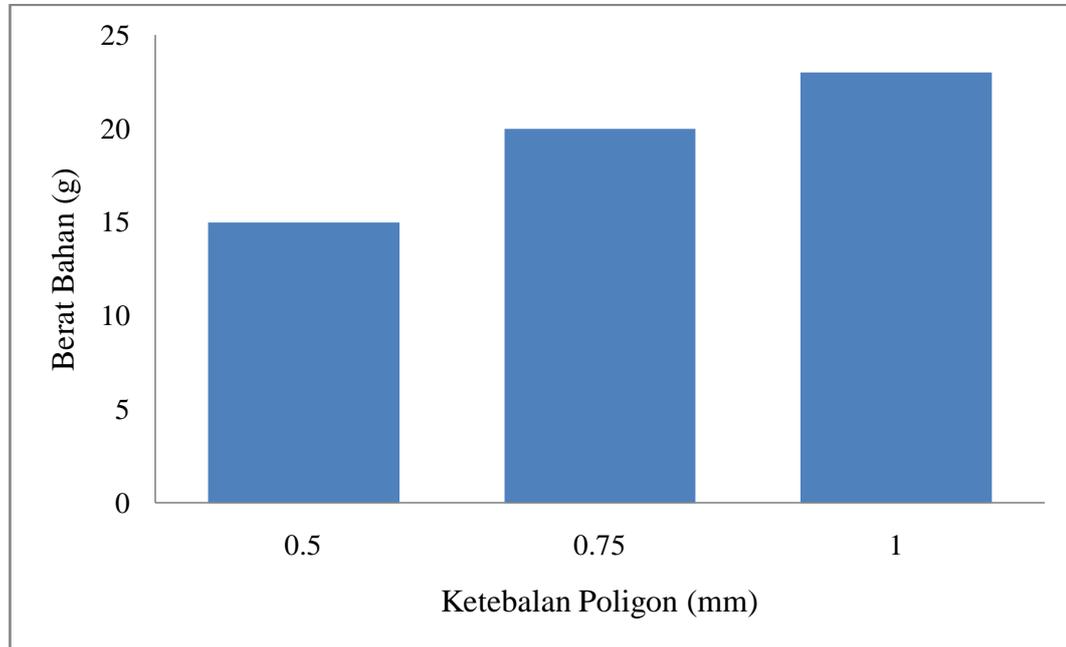
Dapat dilihat pada grafik berat bahan pembuatan spesimen honeycomb menggunakan mesin 3d printer dimana pada poligon 2 mm memerlukan bahan filament 84 gram, poligon 4 mm memerlukan bahan 52 gram, dan poligon 6 mm memerlukan bahan sebanyak 37 gram. Dengan suhu lebur filament 198-200°.

#### 4.3.2 Grafik Waktu dan Bahan Pembuatan Spesimen Re-entrance



Gambar 4.13 Grafik waktu pembuatan spesimen Re-entrance

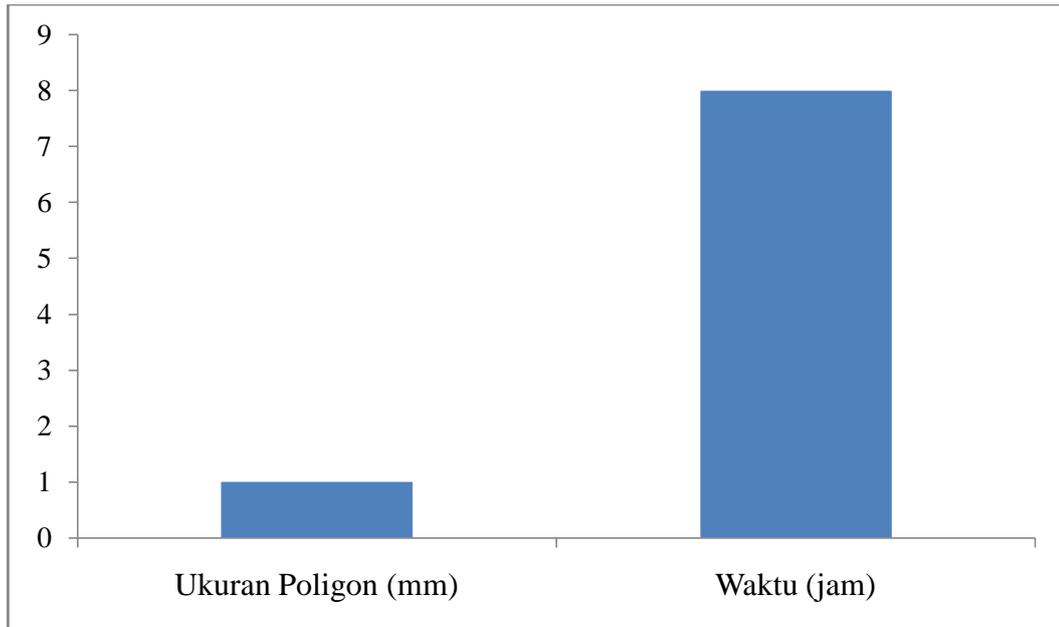
Dapat dilihat grafik waktu pembuatan spesimen Re-entraince menggunakan mesin 3d printer, dimana pada ketebalan poligon 0,5 mm memakan waktu 3 jam 50 menit pencetakan, pada ketebalan poligon 0,75 mm memakan waktu 4 jam 40 menit, dan pada ketebalan poligon 1 mm memakan waktu 4 jam 50 menit pencetakan.



Gambar 4.14 Grafik berat bahan fillament pembuatan spesimen Re-entraince

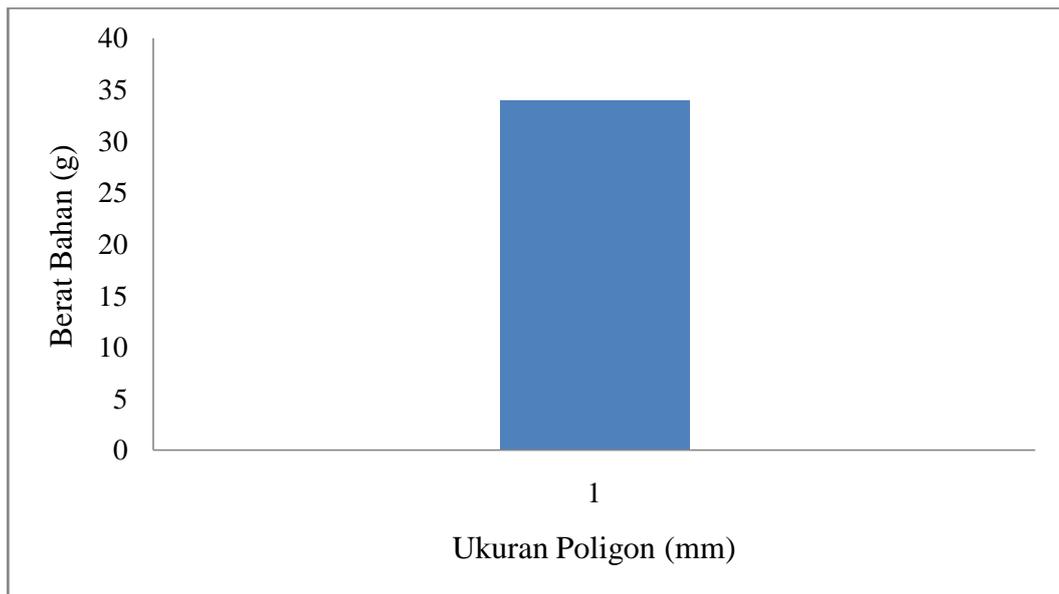
Dapat dilihat pada grafik berat bahan fillament pembuatan spesimen Re-entraince dimana spesimen dengan ketebalan poligon 0,5 memerlukan bahan fillament 15 gram, pada ketebalan poligon 0,75 memerlukan bahan 20 gram, dan pada ketebalan poligon 1 mm memerlukan bahan pencetakan seberat 23 gram. Dengan suhu lebur fillament berkisar 198-200°.

#### 4.3.3 Grafik Waktu dan Bahan Pembuatan Spesimen Batang Pepaya



Gambar 4.15 Grafik waktu pembuatan spesimen inspirasi batang pepaya

Dapat dilihat pada grafik waktu pembuatan spesimen yang terinspirasi dari batang pepaya yang dalam pembuatannya menggunakan mesin 3d printer, untuk spesimen ini memakan waktu pembuatan 8 jam pada ketebalan pola 1 mm.



Gambar 4.16 Grafik berat bahan filament spesimen inspirasi batang pepaya

Dapat dilihat pada grafik berat bahan filament inspirasi dari batang pepaya yang dibuat menggunakan mesin 3d printer dimana pada ketebalan poligon 1 mm memerlukan bahan filament 34 gram dalam pembuatannya. Dengan suhu lebur filament 198-200°.

#### 4.4 Biaya Pembuatan

##### 4.4.1 Biaya Total

NO	Bahan Dan Alat	Biaya
1	Mesin 3D Printer	Rp. 7.500.000
2	Fillament (PLA)	Rp. 350.000
3	Daya Listrik	Rp. 150.000
	Jumlah	Rp. 8.000.000

Dalam proses pembuatan spesimen panel sandwich seperti terlihat di tabel biaya total di atas, namun untuk semua biaya tersebut di bagi dengan teman-teman yang lain, dengan tugas akhir yang menggunakan bahan dan alat mesin 3D printer tersebut. Berikut biaya pembuatan spesimen yang telah di keluarkan oleh penulis.

##### 4.4.2 Biaya Pembuatan Spesimen Panel sandwich

NO	Bahan Dan Alat	Biaya
1	Mesin 3D Printer	Rp. 350.000
2	Fillament (PLA)	Rp. 70.000
3	Daya Listrik	Rp. 30.000
	Jumlah	Rp. 450.000

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Pada pembuatan material struktur panel sandwich dengan variasi konfigurasi penampang sebagai aplikasi penyerap energi ini dapat beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Pembuatan material struktur panel sandwich yang di cetak menggunakan mesin 3D printer bekerja dengan maksimal seperti di ttunjukkan pada hasil pembuatan.
- b. Pada pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D printer model *acrylic prusa i3* memakan waktu yang cukup lama.

#### 5.2.1 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu di sampaikan oleh penulis ialah :

- a. Agar proses pembuatan struktur panel sandwich lebih cepat disarankan menggunakan mesin 3D printer dengan model terbaru agar bekerja optimal.
- b. Pada riset berikutnya penulis menyarankan pembuatan material struktur panel sandwich ini di kembangkan lagi sesuai dengan perkembangan teknologi yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dahai Zang, Qingguo Fei, Peiwei Zhang.(2017). Drop-Weight Impact Behavior of Honeycomb Sandwich Panels Under a Spherical Impactor, *Composite Structures*.
- Faris Matakah, Harsha Bharajwaj, Parvis Shoroushian, Wenda Wu, Areej Amalkawi.(2017). Development of Sandwich composites For Building Construction With Locally Available Materials. *Construction and Building materials*. Vol.147(2017),pp.380-387.
- Harding J, Wood E D, Campbell J D.(1960). Design Of A Split Hopkinson Pressure Bar. *International congress of Mechanical Engineering*, University of Liverpool.
- <https://www.rumahmaterial.com/2016/05/kupas-tuntas-material-sandwich-panel.html>
- H. Yazdani Sarvestani, A.H. Akbarzadeh, H. Niknam, K. Hermenean. (2018). 3D Printed Architected Polymeric Sandwich Panels Energy Absorption and Structural Performance. *Composite Structures*.
- Kaiser M, A. (1998). Advancements in The Split Hopkinson's Bar Test. MS Thesis, *Virginia Polytechnic institute and State University*.
- Mine Uslu Uysal, Ugur Guven. (2015). Buckling of Functional Graded Polymeric Sandwich Panel Under Different Load Cases. *Composite Structures*. Vol.121(2015),pp.182-196.
- Shujuan Hou, Shuyun Zhao, Lili Ren, Xu Han, Qing Li.(2013). Crashworthiness Optimization of Corrugated, Sandwich Panels. *Materials And Design*. Vol.51 (2013),pp.1071-1084.
- Tata Surdiya. (1999). "*Pengetahuan Bahan Teknik*", Cetakan Keempat, Pradnya Paramitha, Jakarta.

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

**Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi**

Nama : Bambang Sutikno  
NPM : 1307230279

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar  
Dosen Pembimbing 2 : Bakti Suroso, S.T., M.eng

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	4/8/18	perultasi bab 2	
	4/9/18	perultasi	
	8/9/18	konsep bab 3	
	21/9/18	perultasi bab 2	
	11/10/18	konsep bab 1	
	15/12/18	perultasi bab 4	
	2/2/19	konsep Pemb II	
	19/02/2019	ACE Seminar	

ACE Seminar

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

Peserta Seminar  
 Nama : Bambang Sutikno  
 NPM : 1307230279  
 Judul Tugas Akhir : Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi Konfigurasi Penampang Sebagai Aplikasi Penyerap Energi.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng	.....
Pembimbing – II : Bektii Suroso.S.T.M.T	.....
Pemanding – I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T	.....
Pemanding – II : Khairul Umurani.S.T.M.T	.....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1307230086	Riki ANDREAN	
2	1307230016	HUSFIZAR RAMADHANI	
3	1907230001	Muhammad Ramadani	
4	1307230279	Bambang Sutikno	
5	1307230016	HUSFIZAR RAMADHANI	
6	1207230007	ALDI RAHMAT HERLANEANG	
7			
8			
9			
10			

Medan, 28 Jum.Akhir 1440 H  
 05 Maret 2019 M

Ketua Prodi. T.Mesin

Aiffan



**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Bambang Sutikno  
NPM : 1307230279  
Judul T.Akhir : Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi –  
Konfigurasi penampang Sebagai Aplikasi penyerap Energi.

Dosen Pembimbing – I : DR.Rakhmad Arief Siregar.M.Eng  
Dosen Pembimbing – II : bekti Suroso.S.T.M.T  
Dosen Pemanding – I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T  
Dosen Pemanding – II : Khairul Umurani.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
  - Di perbaiki format tulisan : .....
  - lihat di Laporan T.A yg sudah di periksa .....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

Medan 28 Jum.Akhir 1440H  
05 Maret 2019 M



Dosen Pemanding- I



Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Bambang Sutikno  
NPM : 1307230279  
Judul T.Akhir : Pembuatan Material Struktur Panel Sandwich Dengan Variasi –  
Konfigurasi penampang Sebagai Aplikasi penyerap Energi.

Dosen Pembimbing – I : DR.Rakhmad Arief Siregar.M.Eng  
Dosen Pembimbing – II : bekti Suroso.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - II : Khairul Umurani.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....

Medan 28 Jum.Akhir 1440H  
05 Maret 2019 M



Dosen Pemanding- II  
*Khairul Umurani*  
Khairul Umurani.S.T.M.T

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Bambang Sutikno  
Npm : 1307230279  
Tempat/Tanggal Lahir : Batang Pane I, 24 Agustus 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
Alamat : Batang Pane I  
Kel/Desa : Batang Pane I  
Kecamatan : Halongonan Timur  
Kabupaten : Padang Lawas Utara  
Provinsi : Sumatera Utara  
Nomor HP : 0823 6873 6176  
Nama Orang Tua :  
Ayah : Suwarjo  
Ibu : Sukarti

### PENDIDIKAN FORMAL

2001-2007 : SD Negeri No. 101360 Batang Pane I  
2007-2010 : SMP Negeri 6 Padang Bolak  
2010-2013 : SMK YAPIM Halongonan  
2013-2019 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas  
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara