

**ANALISIS PENGUJIAN IMPAK METODE *CHARPY*  
MENGUNAKAN MATERIAL PLA+ PADA PROSES  
3D PRINTING TEKNOLOGI *FUSED DEPOSITION  
MODELLING (FDM)***

*Test Analysis Of Impak Charpy Method Using PLA+ Materials On Fused  
Deposition Modeling (FDM) 3D Printing Processes*

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur  
Jurusan Teknik Mesin

**Oleh :**

**Ilham Akbar**

**NIM : 1041742**



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA  
BELITUNG**

**2021**

**ANALISIS PENGUJIAN IMPAK METODE *CHARPY*  
MENGUNAKAN MATERIAL PLA+ PADA PROSES  
3D PRINTING TEKNOLOGI *FUSED DEPOSITION*  
*MODELLING (FDM)***

*Test Analysis Of Impak Charpy Method Using PLA+ Materials On Fused  
Deposition Modeling (FDM) 3D Printing Processes*

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur  
Jurusan Teknik Mesin

**Oleh :**

**Ilham Akbar**

**NIM : 1041742**



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA  
BELITUNG**

**2021**

**ANALISIS PENGUJIAN IMPAK METODE *CHARPY*  
MENGUNAKAN MATERIAL PLA+ PADA PROSES  
3D PRINTING TEKNOLOGI *FUSED DEPOSITION*  
*MODELLING* (FDM)**

**Penulis :**

**Ilham Akbar**

**NPM : 1041743**

**Penguji :**

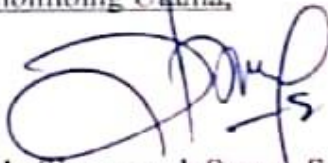
1. Ketua : Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T.,M.T
2. Anggota : Yuliyanto, S.S.T.M.T
3. Anggota : Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.



Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 26 Februari 2021

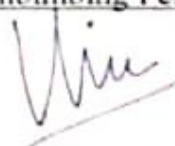
Dan disahkan sesuai dengan ketentuan

Pembimbing Utama,



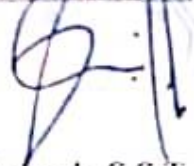
Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T.,M.T  
NIDN : 0226058001

Pembimbing Pendamping,



Idiar, S.S.T.M.T  
NIDN : 0207058301

Ketua Jurusan,



Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.  
NIDN : 0024018802

## ABSTRAK

Dalam era industri perkembangan teknologi pada saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya adalah teknologi 3D *printing* atau juga dikenal sebagai *additive manufacturing*. Salah satu teknologi 3D *printing* yang terkenal adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). Prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi termoplastik melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya produk dibuat lapis per lapis. Teknologi 3D *printing* adalah proses pembuatan benda padat dari sebuah *file* digital. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dilakukan pada mesin 3D *printing* FDM model Prusa area dengan menggunakan *nozzle* 0,4mm. Material yang digunakan adalah filamen PLA+ dengan diameter 1,75mm variasi parameternya *nozzle temperature* (205°C, 215°C, 225°C), *Cooling speed* (100%, 90%, 80%), *infill type* (*grid*, *lines*, *triangles*, *tri-hexagonal*, *cubic*, *cubic subdivision*, *octet*, *quarter cubic*, *concentric*, *zigzag*, *cross*, *cross 3D* dan *gyroid*). Penelitian ini menggunakan 39 sampel dengan tujuan untuk mengetahui hasil uji dampak tertinggi dan terendah dengan pengujian dampak dari parameter yang ditentukan yaitu *orientasi printing* 90°. Hasil dari pengujian dampak tertinggi sebesar 0,00548 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan eksperimen nomor 32 *infill geometry* (*cubic Subdivision*), *cooling speed* 80% dan *nozzle temperature* 225°C. Sedangkan nilai uji dampak terendah sebesar 0,00084 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan eksperimen nomor 14 dan 17 *infill geometry* (*grid*) dan (*tri-hexagon*), *cooling speed* 90%, *nozzle temperature* 215°C dan eksperimen nomor 27 *infill geometry* *grid*, *cooling speed* 80%, *nozzle temperature* 225°C.

**Kata Kunci :** Filamen PLA+, 3D *Printing*, Uji Dampak Charpy.

## **ABSTRACT**

*In the industrial era, technological developments at this time have progressed very rapidly, one of which is 3D printing technology or also known as additive manufacturing. One of the most popular 3D printing technologies is Fused Deposition Modeling (FDM). The working principle of FDM is by extruding thermoplastics through a hot nozzle at the melting temperature, then the product is made into a coating. 3D printing technology is the process of making solid objects from a digital file. This research uses an experimental method, carried out on a 3D printing machine FDM Prusa area model using a 0.4mm nozzle. The material used is a PLA + filament with a diameter of 1.75mm, with variations in the parameters of nozzle temperature (205°C, 215°C, 225°C), Cooling speed (100%, 90%, 80%), infill type (grid, lines, triangles, tri-hexagonal, cubic), cubic subdivision, octet, quarter cubic, concentric, zigzag, cross, cross 3D and gyroid). This study used 39 samples with the aim of knowing the highest and lowest impact test results by testing the impact of the specified parameters, namely the 90o printing orientation. The result of the highest impact test is 0.00548 Joule / mm<sup>2</sup> with experiment number 32 infill geometry (cubic Subdivision), cooling speed 80% and nozzle temperature 225°C. While the lowest impact test value is 0.00084 Joule / mm<sup>2</sup> with experiment number 14 and 17 infill geometry (grid) and (tri-hexagon), cooling speed 90%, nozzle temperature 215°C and experiment number 27 infill geometry grid, cooling speed 80% , nozzle temperature 225°C.*

**Keywords :** *Filament PLA+, 3D Printing, Charpy Impact Test.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahma-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah tugas akhir ini yang berjudul **“ANALISA PENGUJIAN IMPAK METODE *CHARPY* MENGGUNAKAN MATERIAL PLA+ PADA PROSES *3D PRINTING* TEKNOLOGI *FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)*”** dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan makalah ini, penulis sadar bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak sejak awal perkuliahan hingga selesainya makalah tugas akhir ini, seiring selesai nya tugas akhir ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga tercinta, yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama penulis melaksanakan studi Diploma IV di polman Babel.
3. Bpk Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T ,M.T selaku pembimbing utama yang telah menyetujui tugas akhir serta telah banyak memberikan konsep pemikiran dan dukungan tentang tugas akhir ini.
4. Bpk Idiar, S.S.T., M.T., Selaku pembimbing pendamping yang telah banyak memberikan ide-ide dan konsep pemikirannya.
5. Bpk Pristiansyah S,ST,.M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bpk Boy Rollastin, S.Tr.,M.T, selaku KA Prodi Diploma IV Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Teman-teman kos dan teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, semoga tugas akhir ini memberi manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya pada masa yang akan datang.

Sungailiat, Febuari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                           | i    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                      | ii   |
| <b>ABSTRAK</b> .....                                 | iii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                | iv   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                          | v    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                              | vi   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                            | vii  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                           | viii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                       | I-1  |
| 1.1 Latar Belakang .....                             | I-1  |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                             | I-3  |
| 1.3 Batasan Masalah.....                             | I-3  |
| 1.4 Sistematika Laporan .....                        | I-4  |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                 | II-2 |
| 2.1 <i>Filament PLA+ (Polyactid Acid Plus)</i> ..... | II-1 |
| 2.2 Mekanisme Proses 3D <i>Printing</i> .....        | II-2 |
| 2.2.1 Modelling Objek 3D .....                       | II-2 |
| 2.2.2 Proses Penentuan Parameter .....               | II-2 |
| 2.2.3 Proses pencetakan.....                         | II-2 |
| 2.2.4 Proses <i>Finishing</i> .....                  | II-2 |
| 2.3 <i>Fused Deposition Modelling</i> .....          | II-2 |
| 2.4 <i>Ultimaker Cura</i> .....                      | II-3 |
| 2.5 Parameter 3D <i>Printing</i> .....               | II-4 |
| 2.4.1 <i>Infill Geometry</i> .....                   | II-4 |
| 2.4.2 <i>Nozzle Temperature</i> .....                | II-6 |
| 2.4.3 <i>Cooling Speed</i> .....                     | II-6 |
| 2.4.4 <i>Layer Thickness</i> .....                   | II-6 |



|  |       |
|--|-------|
| 2.4.5 <i>Travel Speed</i> .....  | I-6   |
| 2.4.6 <i>Printing Speed</i> .....  | II-6  |
| 2.6 Spesimen Uji Impak <i>Charpy</i> .....   | II-7  |
| 2.7 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i> .....   | II-7  |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....   | III-1 |
| 3.1 <i>Folwchart</i> Penelitian.....   | III-1 |
| 3.2 <i>Studi Literature</i> .....  | III-2 |
| 3.3 Persiapan Ekperimen .....  | III-2 |
| 3.4 Metode Yang Digunakan .....  | III-5 |
| 3.5 Prosedur penelitian .....  | III-5 |
| 3.6 Pengolahan Data .....  | III-8 |
| 3.7 Analisa Dan Kesimpulan .....   | III-8 |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....   | IV-1  |
| 4.1 Proses Pencetakan Pada Mesin 3D <i>Printing</i> .....  | IV-1  |
| 4.2 Hasil Pengujian Impak .....  | IV-4  |
| 4.3 Pembahasan Penelitian.....   | IV-5  |
| 4.3.1 Hasil Parameter <i>Nozzle Temperature 205°C, Cooling Speed</i><br>100%, Dengan 13 Tipe <i>Infill</i> ..... | IV-5  |
| 4.3.2 Hasil Parameter <i>Nozzle Temperature 215°C, Cooling Speed</i><br>90%, Dengan 13 Tipe <i>Infill</i> .....  | IV-5  |
| 4.3.3 Hasil Parameter <i>Nozzle Temperature 225°C, Cooling Speed</i><br>80%, Dengan 13 Tipe <i>Infill</i> .....  | IV-6  |
| 4.3.4 Pembahasan Hasil Pengujian .....   | IV-7  |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....  | V-1   |
| 5.1 Kesimpulan .....   | V-1   |
| 5.2 Saran .....  | V-1   |
| <b>DAFTAR PUSAKA</b>   |       |
| <b>LAMPIRAN</b>  |       |

## DAFTAR TABEL

|   |       |
|---|-------|
| Tabel 3.1 Spesifikasi Filamen PLA+ .....                | I-2   |
| Tabel 3.2 Nilai Level Parameter Yang Diuji.....         | III-3 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi Alat Uji Impak Model GT-7045..... | III-5 |
| Tabel 4.1 Nilai Hasil Impak .....                       | IV-4  |

## DAFTAR GAMBAR

|   |       |
|---|-------|
| Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk Dan Ukuran Spesimen .....  | I-7   |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Skematis Pengujian Impak Dengan Benda Uji <i>Charpy</i> .....        | II-8  |
| Gambar 3.1 <i>Folwchart</i> Penelitian.....   | III-1 |
| Gambar 3.2 Mesin 3D Printing.....   | III-2 |
| Gambar 3.3 Filamen PLA+ .....   | III-2 |
| Gambar 3.4 Alat Uji.....  | III-5 |
| Gambar 3.5 Laptop Lenovo G40.....   | III-6 |
| Gambar 3.6 <i>Ultimaker Cura 4.7.1</i> .....  | III-6 |
| Gambar 3.7 Spesimen Yang Dibuat Menggunakan Aplikasi Perancangan .....                    | III-6 |
| Gambar 3.8 Spesimen Yang Sudah <i>Dislicing</i> Pada Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i> ..    | III-7 |
| Gambar 3.9 Proses Pencetakan Spesimen.....  | III-7 |
| Gambar 3.9 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i> .....                                     | III-8 |
| Gambar 4.1 Proses Pemasangan Filamen .....  | IV-1  |
| Gambar 4.2 Kalibrasi Mesin .....  | IV-1  |
| Gambar 4.3 Penyetingan Parameter Proses Pada Mesin 3D <i>Printing</i> .....               | IV-2  |
| Gambar 4.4 Proses Pencetakan Spesimen.....  | IV-2  |
| Gambar 4.5 Hasil Proses Pencetakan Spesimen.....  | IV-3  |
| Gambar 4.6 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i> .....                                     | IV-3  |
| Gambar 4.7 Hasil Harga Impak <i>Nozzle Temperature 205°C Dan Cooling Speed 100%</i> ..... | IV-5  |
| Gambar 4.8 Hasil Harga Impak <i>Nozzle Temperature 215°C Dan Cooling Speed 90%</i> .....  | IV-6  |
| Gambar 4.9 Hasil Harga Impak <i>Nozzle Temperature 225°C Dan Cooling Speed 80%</i> .....  | IV-7  |
| Gambar 4.10 Hasil Uji Impak Spesimen.....   | IV-7  |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam era industri perkembangan teknologi pada saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya adalah teknologi 3D *printing* atau juga dikenal sebagai *additive manufacturing*. Salah satu teknologi 3D *Printing* yang terkenal adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). Prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi termoplastik melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya produk dibuat lapis per lapis. Teknologi 3D *printing* adalah proses pembuatan benda padat dari sebuah *file* digital. Sebagai contoh pembuatan suatu produk *spare part* mesin seperti roda gigi, baut, dan lain-lain.

Penelitian yang dilakukan pada material filamen *flexible* jenis Eflex dengan diameter 1,75 mm. Parameter proses yang digunakan adalah *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *printing speed*, *overlap*, dan *fan speed*. Spesimen uji berbentuk kubus berukuran 20 mm × 20 mm × 20 mm. Optimasi parameter proses menggunakan metode Taguchi L27 *Orthogonal Array* untuk uji akurasi dimensi. Nilai parameter proses optimal untuk mendapatkan keakuratan dimensi X adalah *flowrate* 110 %, *layer thickness* 0,10 mm, *nozzle temperature* 210 °C, *print speed* 40 mm/s, *overlap* 75 %, dan *fan speed* 50%. Dimensi Y adalah *flowrate* 120 %, *layer thickness* 0,20 mm, *nozzle temperature* 230° C, *print speed* 30 mm/s, *overlap* 75 %, dan *fan speed* 100%. Serta dimensi Z adalah *flowrate* 120 %, *layer thickness* 0,30 mm, *nozzle temperature* 210 °C, *print speed* 30 mm/s, *overlap* 50 %, dan *fan speed* 100% [1].

Penelitian yang dilakukan pada material filamen PLA+ Esun diameter 1,75mm menggunakan mesin 3D Printing FDM model PRUSA dengan dimensi 220 mm x 220 mm x 250 mm dan nozzle berukuran 0,4 mm. Menggunakan variasi parameter *nozzle temperature* (205°C, 215°C, dan 225°C), *layer thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C, *travel speed* 100, *printing speed* 50, *infill type* (*Grid*, *Lines*, *Triangles*, *Tri Hexagon*, *Cubic*, *Cubic Subdivision*, *Octet*, *Quarter Qubic*,

*Concentric, Zig Zag, Cross, Cross 3D, dan Gyroid*) yang akan ditentukan pada *software Ultimaker Cura 4.4.0*. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen uji ke 22 yaitu 43,20 Mpa dengan parameter *nozzle temperature 215 °C* dan *Infill Type Concentric*, Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen uji ke 11 yaitu 24,50 Mpa dengan parameter *temperature nozzle 205 °C* dan *Infill Type Cross* [2]. Kebutuhan konstruksi semakin merambah dalam penggunaan material plastik sebagai bahan utamanya. Namun semua itu harus diimbangi dengan kelayakan desain. Sebelum desain tersebut dibuat nyata, material harus diuji terlebih dahulu. Hal ini agar konstruksi dinyatakan aman untuk operasional manusia. Ketangguhan material terhadap patah getas dan patah ulet adalah masalah yang harus diperhatikan pada konstruksi plastik. Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas dan patah ulet perlu adanya dilakukan uji impak. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi, dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Pengujian yang dilakukan dalam skala lab pada umumnya adalah uji impak metode *charpy*, dipilih karena dirasa lebih sederhana dan aman pada prosedur pengujiannya [3].

Pengujian yang dilakukan uji impak izod maka diperoleh hasil rata-rata dari suhu *bottom plate 1000c* tidak mempunyai harga impak dikarenakan pada saat pembuatan spesimen tidak sempurna dan tidak bisa dilakukan pengujian impak, dan untuk suhu 1100c mempunyai harga impak rata-rata 0,00186 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada suhu 1200c mempunyai harga impak rata-rata 0,00206 J/mm<sup>2</sup>, pada spesimen yang dibakar dengan suhu 150-2600c mempunyai harga rata-rata 0,000472 J/mm<sup>2</sup>. Untuk foto makro dari ketiga variasi tersebut terhadap spesimen terjadi bentuk patahan getas [4].

Plastik merupakan bahan yang sulit terurai, sehingga perlu dilakukan penelitian pengujian impak pada sampah plastik daur ulang bertujuan untuk mengetahui sifat fisik, ketahanan dan ketangguhan sampah plastik hasil daur ulang. Diperoleh nilai rata-rata sampel berupa plastik *polypropylene*, nilai energi impak rata-rata = 1,31

*joule*, dan kekuatan impak/ *impact strength* rata-rata = 0,0161 *joule/mm*<sup>2</sup>. Polyethylene Terephthalate jenis plastik, energi tumbukan rata-rata = 1,15 *joule*, kekuatan impak / *impact strength* rata-rata = 0,0138 *joule / mm*<sup>2</sup>. Plastik campuran antara PP dan PET, energi tumbukan rata-rata = 1,18 *joule*, nilai rata-rata kekuatan impak / *impact strength* = 0,0145 *Joule/mm*<sup>2</sup>. Sebagai hasil dari pengujian ini, plastik *polyethylene* memiliki nilai impak tertinggi untuk sampah plastik daur ulang [5].

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan uji impak dari material PLA+ yang sudah diproses pencetakan menggunakan 3D *printing* yang diharapkan material tersebut dapat digunakan sebagai material *spare part* seperti roda gigi, pasak, pena dan sebagainya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini untuk mengetahui hasil tertinggi dan terendah dari pengujian impak dengan parameter *orientasi printing 90°*, *cooling speed* dan *infill geometry*.

## 1.3 Tujuan Masalah

Adapun tujuan dari Penelitian ini untuk mengetahui hasil tertinggi dan terendah dari pengujian impak dengan parameter *orientasi printing 90°*, *cooling speed* dan *infill geometry*.

## 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan, sehingga tujuan penelitian akan tercapai.

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan filamen PLA+ berwarna *black* dengan diameter 1.75mm.
2. Parameter cetak terdiri dari *infill geometry*, *cooling speed* dan *nozzle temperature* dengan pengujian uji impak metode *charpy*.

3. Sudut cetak menggunakan 90°.
4. Mesin 3D *Printing* Anet ET4 dengan *printing area* XYZ 220 mm x 220 mm x 250 mm dengan *nozzle* berukuran 0.4 mm.
5. Alat Uji Impak *GOTECH* metode *Charpy* model GT-7045.

### **1.5 Sistematika Pelaporan**

Laporan penulisan tugas akhir ini menggunakan sistematika pelaporan yang dibekukan oleh Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, yaitu :

#### **Bab I Pendahuluan**

Terdiri atas latar belakang masalah, perumusan masalah penelitian, hipotesis (jika ada), ruang lingkup, batasan masalah, dan sistematika pelaporan.

#### **Bab II Tinjauan Pustaka / Landasan Teori**

Bab ini berisikan tinjauan pustaka (jika ada) dan landasan teori.

#### **Bab III Cara / Metode Penyelesaian**

Pada bab ini terdapat uraian rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah, bahan atau materi TA, alat yang digunakan, metode pengambilan data atau metode analisa hasil, dan masalah yang dihadapi disertai dengan cara penyelesaian.

#### **Bab IV Proses, Hasil Dan Pembahasan**

Bab ini berisikan proses, hasil dan pembahasan.

#### **Bab V Kesimpulan Dan Saran**

Bab ini memberikan gambaran akhir dari penarikan kesimpulan untuk membuktikan hipotesis dan keberhasilan menjawab permasalahan yang ditemui.

#### **Daftar Pustaka**

Berisikan referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 *Filament PLA+ (Polyactid Acid Plus)*

Poli (asam laktat) atau *polyactid acid* (PLA) adalah *poliester alifatik* termoplastik *biodegradable* dan bioaktif yang berasal dari sumber terbarukan. PLA berbeda dari polimer termoplastik yang berasal dari distilasi dan polimerisasi cadanganm minyak bumi yang terbarukan, PLA lebih dikenal sebagai bioplastik yang berasal dari biomassa, sumber daya yang ramah lingkungan, seperti jagung dan tebu [6].

Kelebihan *polyactid acid* (PLA) bersifat *biodegradable* dan bioaktif yang mempunyai kemiripan dengan *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE) /*polystyrene* (PS) yang didapatkan dari peralatan manufaktur yang sudah ada, sehingga bisa mengurangi biaya produksi.

Karakteristik dari *polymer* PLA tidak beracun, menyempit pada saat dipanaskan sehingga cocok digunakan untuk alat pembungkus plastik dan sifatnya yang melarutkan dapat digunakan untuk aplikasi pencetakan 3D *printing*. Namun disisi lain suhu transisi yang relatif rendah menjadikan material ini tidak cocok digunakan untuk aplikasi yang bersentuhan dengan cairan panas yang berlebihan. Yang paling menarik adalah PLA dapat mengalami degradasi atau pelapukan pada waktu tertentu, menurut beberapa *literature* waktu pelapukanya berkisar antara 6 hingga 24 bulan karena kelembaban, suhu, dan debu. Dengan kondisi seperti ini dikembangkan lagi filament PLA ini menjadi *filament PLA+*, dipilihnya *filament PLA+* karena reputasi lingkungan yang hijau, *bio-compostability* (*bio-based plastic*), aroma yang menyenangkan serta deformasi lengkung yang rendah dan kualitas bagian *prinfed* yang sangat baik, dengan formula molekuler [7].



## **2.2 Mekanisme proses 3D Printing**

### **2.2.1. Modelling Objek 3D**

Model 3D *printing* ini dapat diciptakan menggunakan *software* khusus desain 3D. *software* tersebut juga harus didukung oleh printer yang akan digunakan. *Software* tersebut antara lain *Tinkercad*, *Solidworks*, *Catia*, *Delcam* dan lainnya. Untuk mendapatkan file CAD ini pengguna bisa menggunakan *scanner* 3D.

### **2.2.2. Proses Penentuan Parameter**

Sebelum Melakukan pencetakan produk, maka harus menentukan parameter untuk dapat dicetak.

### **2.2.3. Proses Pencetakan**

Setelah file desain 3D siap, selanjutnya menggunakan printer 3D. lamanya proses pencetakan tergantung pada dimensi model. Tahapan yang dilakukan adalah mesin printer membaca desain 3D selanjutnya menyusun lapisan berturut-turut sehingga menjadi model virtual yang otomatis digabungkan agar membentuk sebuah objek lengkap yang utuh.

### **2.2.4. Proses *Finishing***

Di tahap akhir ini, pengguna dapat menyempurnakan bagian yang dianggap kompleks yang mungkin mengalami perbedaan ukuran (*over-sized*). Teknik yang bertujuan menyempurnakan ini juga bisa bertujuan menyempurnakan ini juga bisa dilakukan dengan bahan yang berbeda (*multiple material*), warna berbeda (*multiplecolor*) [8].

## **2.3 *Fused Deposition Modelling***

*Fused Deposition Modelling* (FDM), atau *Fused Filament Fabrication* (FFF), adalah proses pembuatan *Additive* yang termasuk dalam kelompok “*Material Extrusion*”. Dalam FDM, sebuah objek dibentuk dengan cara melelehkan material (*Resin*) lalu di tempatkan lapis demi lapis, sehingga membentuk sebuah objek yang diinginkan. Material yang digunakan dalam FDM adalah jenis *thermoplastic* dalam

bentuk *filament*. FDM sendiri digunakan dalam sebagian besar industri 3D printer dan ini merupakan teknologi yang banyak digunakan pada jenis printer 3D. Para DIY Makers sebelumnya harus mengetahui keterbatasan dalam teknologi FDM agar hasil dari objek yang dicetak memiliki hasil yang baik.

Salah satu keunggulan utama pada 3D *Printer* FDM adalah banyaknya bahan yang tersedia. Bahan dasar dapat ditemukan pada produsen plastik pada umumnya (seperti PLA dan ABS) hingga bahan plastik lainnya (seperti PA, TPU, dan PETG) [9].

Cara kerja 3D Printer FDM, sebagai berikut :

1. Filamen PLA+ dimasukkan kedalam *printer*, ketika *nozzle* telah mencapai suhu yang diinginkan filament diumpan kedalam *nozzle* yang sudah panas tersebut filamen akan meleleh dari ujung *nozzle*.
2. *Nozzle* ditempatkan pada 3 Axis dimana *nozzle* dapat bergerak secara bebas dari X, Y, Z dan *nozzle* menumpukkan filament lapis demi lapis sehingga membentuk sebuah objek. Terkadang pengerasan material dapat dipengaruhi oleh kecepatan pendingin (*Cooling Speed*) yang ada didekat *nozzle*.
3. Sebelum proses cetak dimulai, *nozzle* bergerak membuat kotak atau jalur penanda sekeliling objek yang akan di cetak. Setelah penanda dibuat maka *nozzle* bergerak kearah dimana objek akan dicetak dan membuat gerakan sesuai objek secara terus menerus sehingga terbentuk objek yang diinginkan [9].

#### 2.4 Ultimaker Cura

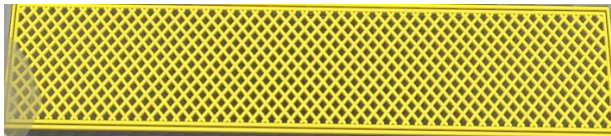
Ultimaker cura merupakan *software slicer* yang telah banyak digunakan oleh pengguna printer 3D di seluruh dunia, tidak hanya untuk printer 3D produksi pabrikan *Ultimaker* sendiri namun juga *compatible* digunakan oleh berbagai *brand* printer 3D lain. Karena sifatnya yang *open-source*, penggunaan *cura* oleh berbagai kalangan menjadikan *cura* semakin populer sebagai *software slicer printer 3D* [7]. *Software slicer ultimaker cura* ini digunakan untuk memasukkan parameter dan untuk mendapatkan G-code serta menjalankan mesin 3D *printing*.

## 2.5 Parameter 3D Printing

### 2.4.1. Infill Geometry

*Infill* adalah nilai yang biasanya direpresentasikan dalam persentase yang menunjukkan seberapa banyak model yang *solid* harus diisi dengan bahan saat dicetak. Berikut ini opsi bentuk *infill geometry* yang terdapat pada aplikasi perancangan *Ultimaker Cura 4.7.1*:

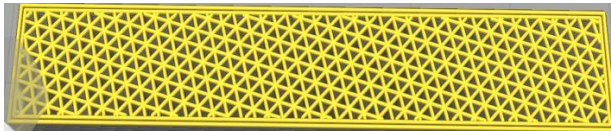
1. Kisi (*Grid*)



2. Garis (*Lines*)



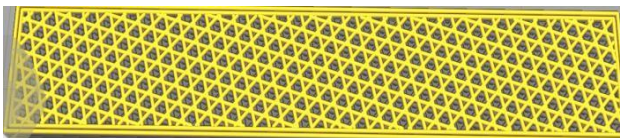
3. Segitiga (*Triangless*)



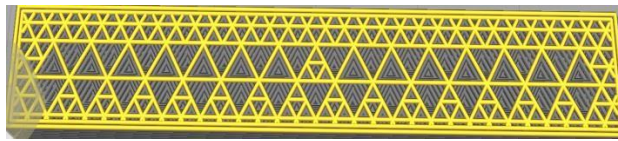
4. Tri-hexagon



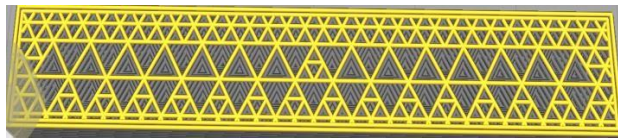
5. Kubik (*Cubic*)



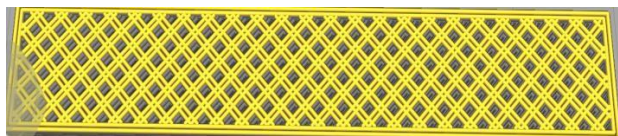
6. Kubik subdivisi (*Cubic Subdivision*)



7. Oktet (*Octet*)



8. Seperempat kubik (*Quarter Qubic*)



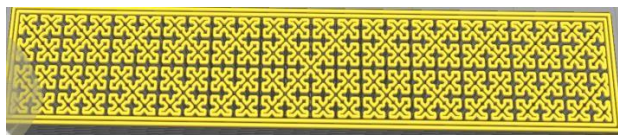
9. Konsentris (*Concentric*)



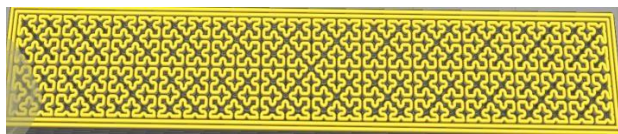
10. Berliku-liku (*Zig-zag*)



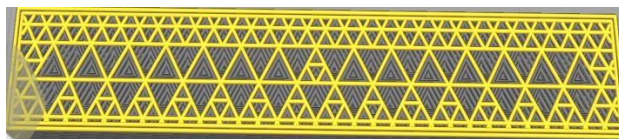
11. Silang (*Cross*)



12. Silang 3D (*Cross*)



13. Gyroid



#### **2.4.2. Nozzle Temperature**

*Nozzle Temperature* adalah suhu pada *nozzle* yang dibutuhkan untuk melelehkan spesimen pada saat mencetak suatu model 3D. Biasanya temperatur *nozzle* yang sering dipakai sekitar suhu 190°C – 225°C, tergantung dengan titik cair masing-masing spesimen. Namun dalam penelitian ini yang dipilih tiga level *nozzle temperature*, yaitu 205°C, 205°C, dan 225°C.

#### **2.4.3. Cooling speed**

*Cooling Speed* adalah kecepatan pendingin dari *nozzle* agar dapat menjaga suhu *nozzle* selama proses pencetakan spesimen *cooling speed* yang digunakan oleh mesin 3D *printing* ini besarnya antara 10% – 100%, namun dalam penelitian ini yang dipilih tiga level *cooling speed*, yaitu 100%, 90% dan 80%.

#### **2.4.4. Layer thickness**

*Layer thickness* merupakan ketebalan lapisan filamen dalam proses pencetakan spesimen. *Layer thickness* yang digunakan oleh mesin 3D *printing* ini besarnya antara 0,10 mm - 0,40 mm, namun dalam penelitian ini yang dipilih satu level, yaitu 0,2 mm.

#### **2.4.5. Travel speed**

*Travel speed* merupakan kecepatan perjalanan dalam proses pencetakan spesimen. *Travel speed* yang digunakan oleh mesin 3D *printing* ini besarnya antara 10 mm/s - 100 mm/s, namun dalam penelitian ini yang dipilih satu level, yaitu 100 mm/s.

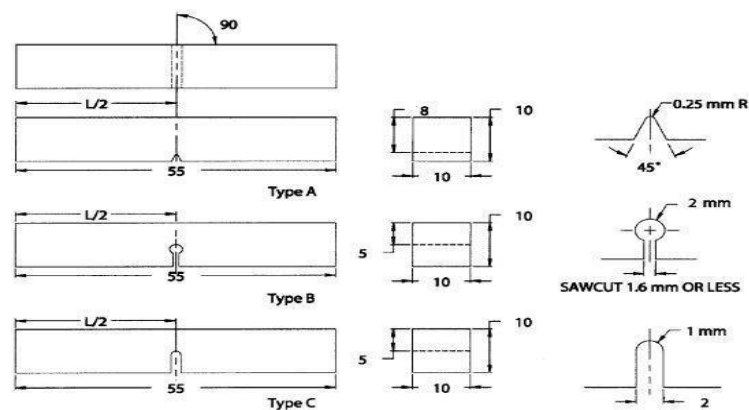
#### **2.4.6. Printing Speed**

*Printing Speed* merupakan kecepatan dalam proses pencetakan spesimen. *printing speed* yang digunakan oleh mesin 3D *printing* ini besarnya antara 30 mm/s

- 60 mm/s, namun dalam penelitian ini yang dipilih satu level *printing speed*, yaitu 100 mm/s.

## 2.6 Spesimen Uji Impak Charpy

Spesimen uji impak *charpy* digunakan berdasarkan ASTM E23. Sampel uji memiliki dimensi ukuran yaitu 10 x 10 x 55 mm (tinggi x lebar x panjang). Posisi takik berada di tengah, kedalaman takik 2 mm dari permukaan benda uji dan sudut takik 45° (dikenal sebagai tes *charpy v-notch*). Ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk dan Ukuran Spesimen [10].

## 2.7 Pengujian Impak

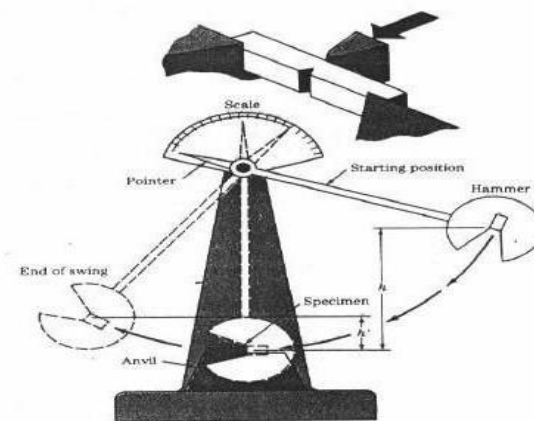
Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan, bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan, melainkan datang secara tiba-tiba. Contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

Beberapa kelebihan dari metode *charpy*, antara lain :

1. Hasil pengujian lebih akurat.
2. Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
3. Menghasilkan tegangan seragam di sepanjang penampang.

#### 4. Waktu pengujian lebih singkat.

Dasar pengujian impact ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi [11]. Standar pengujian impact *Charpy* berdasarkan Standar ASTM E23.



Gambar 2.2 Ilustrasi Skematis Pengujian Impact Dengan Benda Uji *Charpy* [11].

Pada pengujian impact ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perputahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Pada Gambar 2.2 diatas dapat dilihat bahwa setelah benda uji patah akibat deformasi, bandul pendulum melanjutkan ayunannya hingga posisi '*h*'. Bila bahan tersebut tangguh yaitu makin mampu menyerap energi lebih besar maka makin rendah posisi '*h*'. Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejutan yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah. Pada pengujian impact, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan Joule dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin pengujian [11].

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$E = E_p - E \dots \dots \dots (2.1)$$

$$E = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$E = m \cdot g \cdot \lambda \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$E_p$  = Energi Potensial

$E_m$  = Energi Mekanik

$m$  = Berat Pendulum (Kg)

$g$  = Gravitasi  $9,81 \text{ m/s}^2$

$h_1$  = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

$h_2$  = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

$\lambda$  = Jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$  = Sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$  = Sudut posisi akhir pendulum

Untuk mengetahui kekuatan impak atau benturan maka energi impak tersebut harus dibagi dengan luas penampang efektif spesimen (A) sehingga :

$$IS = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

$E$  = energi yang diserap (*joule*)

$A$  = luas area penampang dibawah takik ( $\text{mm}^2$ )

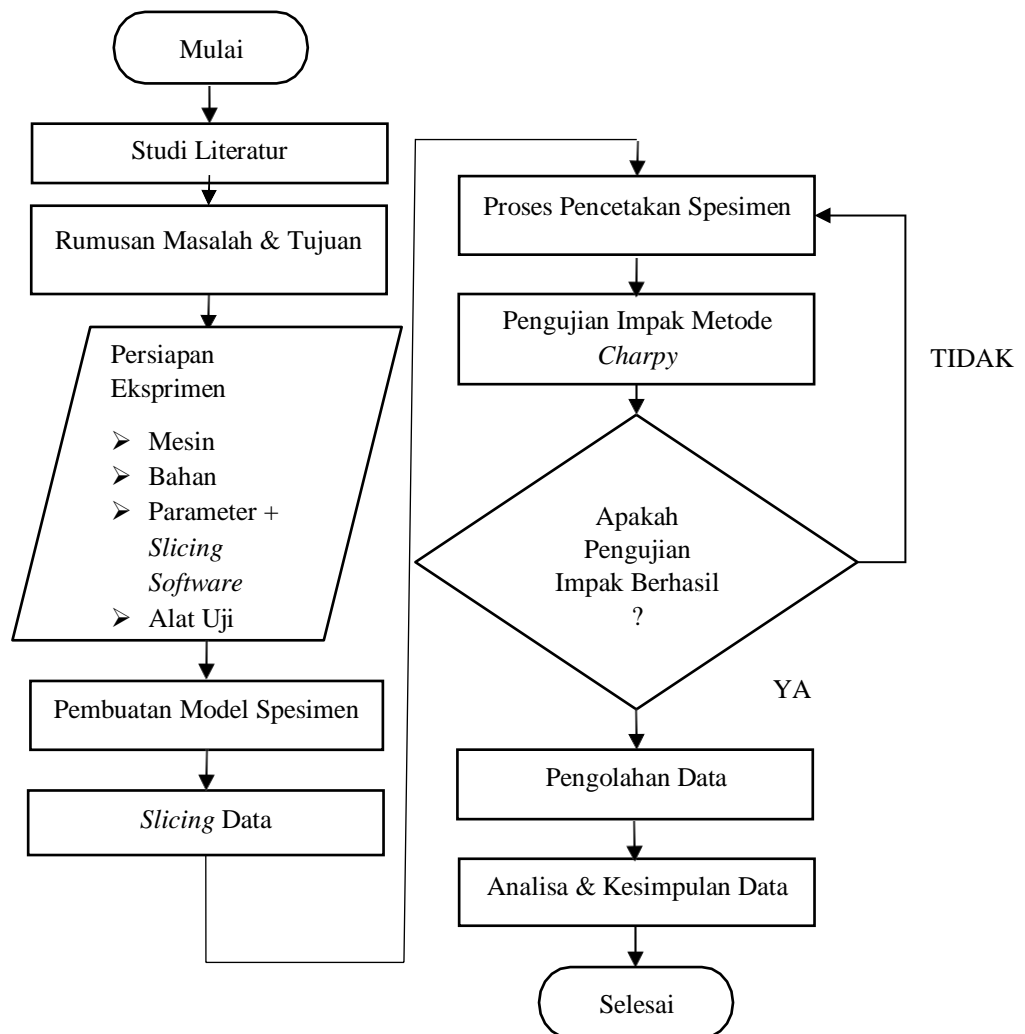


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian ini disiapkan sebaik mungkin bertujuan agar penelitian lebih ter-arah, sesuai dengan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### 3.2 Studi Literature

Studi literatur dilakukan dengan mencari jurnal-jurnal, buku-buku dan internet yang berhubungan dengan filamen PLA+, 3D *printing*, dan uji impak.

### 3.3 Persiapan Ekperimen

#### 3.3.1 Mesin

Mesin 3D *Printing* FDM Model Anet ET4 dengan *printing* area XYZ 220 mm x 220 mm x 250 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Mesin 3D *Printing*

#### 3.3.2 Bahan

Material filamen PLA+ dengan diameter 1,75 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Filamen PLA+

Tabel 3.1 Spesifikasi Filamen PLA+

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| <i>Filament Diameter</i> | 1.75 mm              |
| <i>Print Temperature</i> | 205° – 225 °C        |
| <i>Bed Temperature</i>   | No Heat              |
| <i>Density</i>           | 1.3 g/m <sup>3</sup> |
| <i>Tensile Strenght</i>  | 37 Mpa               |
| <i>Flexural Modulus</i>  | 4 GPa                |

### 3.3.3 Parameter

Setelah persiapan selesai dilakukan, maka akan dilanjutkan dengan menentukan parameter uji atau berubah adalah *infill geometry*, *cooling speed* (100%, 90%, dan 80%), dan *nozzle temperature* (205°C, 215°C, dan 225 °C). parameter tetap adalah *layer height* 0,2 mm, *printing speed* 100 mm/s, *layer thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C dan *travel speed* 100 mm/s.

Tabel 3.2 Nilai Level Parameter yang Diuji

| <i>Ex p No</i> | <i>Infill Geometry</i>   | <i>Cooling Speed (%)</i> | <i>Nozzle Temperature (*C)</i> | <i>Layer Thickness (mm)</i> | <i>Bed Temperat ure (° C)</i> | <i>Travel Speed (mm/s)</i> | <i>Printing Speed(m m/s)</i> |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1              | <i>Grid</i>              | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 2              | <i>Lines</i>             | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 3              | <i>Triangles</i>         | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 4              | <i>Tri-Hexagon</i>       | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 5              | <i>Cubic</i>             | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 6              | <i>Cubic Subdivision</i> | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 7              | <i>Octet</i>             | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 8              | <i>Quarter Qubic</i>     | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 9              | <i>Concentric</i>        | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 10             | <i>Zig-zag</i>           | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 11             | <i>Cross</i>             | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 12             | <i>Cross 3D</i>          | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 13             | <i>Gyroid</i>            | 100                      | 205                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 14             | <i>Grid</i>              | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 15             | <i>Lines</i>             | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 16             | <i>Triangles</i>         | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 17             | <i>Tri-Hexagon</i>       | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 18             | <i>Cubic</i>             | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 19             | <i>Cubic Subdivision</i> | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 20             | <i>Octet</i>             | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |
| 21             | <i>Quarter Qubic</i>     | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                            | 100                        | 100                          |

| <i>Ex p No</i> | <i>Infill Geometry</i>   | <i>Cooling Speed (%)</i> | <i>Nozzle Temperature (°C)</i> | <i>Layer Thickness (mm)</i> | <i>Bed Temperature (°C)</i> | <i>Travel Speed (mm/s)</i> | <i>Printing Speed (m/s)</i> |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 22             | <i>Concentric</i>        | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 23             | <i>Zig-zag</i>           | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 24             | <i>Cross</i>             | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 25             | <i>Cross 3D</i>          | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 26             | <i>Gyroid</i>            | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 27             | <i>Grid</i>              | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 28             | <i>Lines</i>             | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 29             | <i>Triangles</i>         | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 30             | <i>Tri-Hexagon</i>       | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 31             | <i>Cubic</i>             | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 32             | <i>Cubic Subdivision</i> | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 33             | <i>Octet</i>             | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 34             | <i>Quarter Qubic</i>     | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 35             | <i>Concentric</i>        | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 36             | <i>Zig-zag</i>           | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 37             | <i>Cross</i>             | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 38             | <i>Cross 3D</i>          | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |
| 39             | <i>Gyroid</i>            | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                         |

Sumber : Hasil *Software*

Ekperimen berdasarkan Tabel diatas yaitu tiap nilai parameter di-input ke mesin 3D *printing* dengan pengaplikasian *ultimaker cura* lalu, akan dilakukan pencetakan, Setelah pencetakan spesimen selesai lanjut pengujian impak. Agar mengetahui nilai spesimen yang tertinggi dan terendah berdasarkan tipe *infill* yang ditentukan dengan orientasi 90°.

### 3.3.4 Alat Uji

Alat uji impak GOTECH model GT-7045 metode Charpy ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alat Uji

Tabel 3.3 Spesifikasi Alat Uji Impak *Gotech* Model GT-7045

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Berat Pendulum             | 2.5 Kg |
| Jarak lengan pengayun      | 0.4 m  |
| Sudut posisi awal pendulum | 150°   |

### 3.4 Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Eksperimen. Pada tahap eksperimen ini dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Melakukan pembuatan model spesimen berdasarkan ukuran standar ASTM E23-05.
2. Melakukan proses pencetakan berdasarkan parameter proses yang akan di uji.
3. Melakukan pengujian impak pada bahan filamen PLA+ yang sudah di cetak di mesin *3D printing*.

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1. Laptop Lenovo G40

Spesifikasi laptop yang digunakan untuk studi menggunakan *prosesor* AMD A8-6410 2.0Ghz, RAM 4GB, HDD 500GB, VGA AMD RADEON R5 M23, dan *operation system windows* 10 ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Laptop Lenovo G40

### 3.5.2. *Software Slicer Ultimaker Cura 4.7.1*

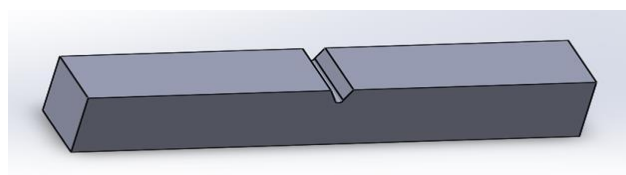
*Software slicer ultimaker cura* ini digunakan untuk memasukkan parameter dan untuk mendapatkan G-code serta menjalankan mesin 3D *printing*. *Ultimaker cura 4.7.1* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Ultimaker Cura 4.7.1*

### 3.5.3. **Pembuatan Model Spesimen**

Pembuatan model spesimen uji dengan menggunakan aplikasi perancangan, sesuai dengan ukuran standar ASTM E23-05. Dengan ukuran panjang 55 mm, lebar 10 mm, tinggi 10 mm dan takik berada di tengah-tengah panjang balok dengan kedalaman 2 mm dengan sudut 90° ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Spesimen Yang Dibuat Menggunakan Aplikasi Perancangan

### 3.5.4. Slicing Data

*Slicing* data dilakukan dengan aplikasi *ultimaker cura* 4.7.1, guna untuk mengubah file model spesimen uji *Stereolithography* (STL) menjadi file (G code) untuk pencetakan, *slicing* data menggunakan aplikasi *ultimaker cura* 4.7.1 dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Spesimen Yang Sudah dislicing Pada Aplikasi *Ultimaker Cura*

Setelah mendapatkan G-code selanjutnya, proses pencetakan spesimen menggunakan filamen PLA+ dengan parameter proses yang telah ditentukan, dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Proses Pencetakan Spesimen

### 3.5.5. Pengujian Impak Metode *Charpy*

Pengujian impak spesimen ini berdasarkan standar ASTM E23-05, dengan takik membelakangi pendulum yang akan menumbuk spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Pengujian Impak Metode *Charpy*

### 3.5.6. Pengambilan data hasil pengujian impak.

#### 3.6 Pengolahan Data

Setelah mendapatkan hasil dari sudut posisi akhir pendulum ( $\cos \beta$ ) maka dilakukan proses pengolahan data, pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi *microsoft excel* untuk mengetahui nilai tertinggi dan terendah pengujian impak/Harga Impak dari parameter yang sudah ditentukan.

#### 3.7 Analisa dan Kesimpulan

Analisa dan kesimpulan data yang didapatkan guna untuk mengetahui parameter mana yang paling tepat untuk menghasilkan produk yang paling baik.



## BAB IV

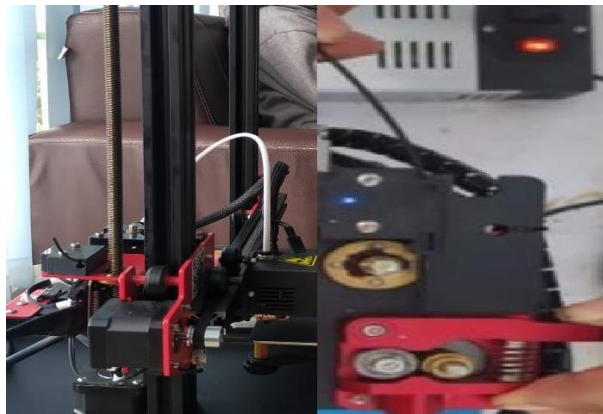
### PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Proses Pencetakan Pada Mesin 3D *Printing*

Langkah-langkah proses pencetakan spesimen pada mesin 3D *printing* sebagai berikut :

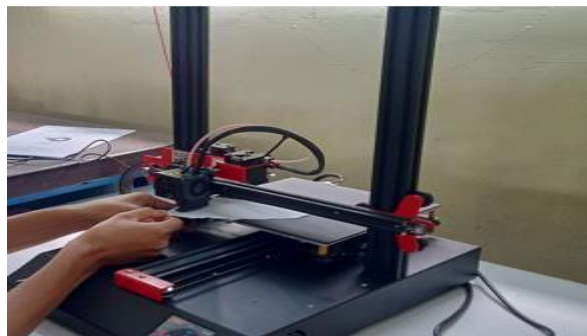
4.1.1 Tekan tombol ON untuk menyalakan mesin 3D *printing* terlebih dahulu.

4.1.2 Pasang filamen ke tempat yang ada pada mesin 3D *printing* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses Pemasangan Filamen

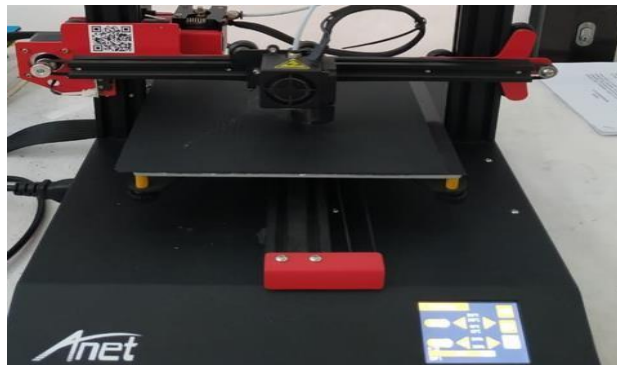
4.1.3 Ada baiknya sebelum masuk ke proses pencetakan meja 3D *printing* dikalibrasi terlebih dahulu agar meja 3D *printing* tersebut menjadi datar dan menjaga jarak antara *nozzel* dan meja 3D *printing*, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Kalibrasi Mesin

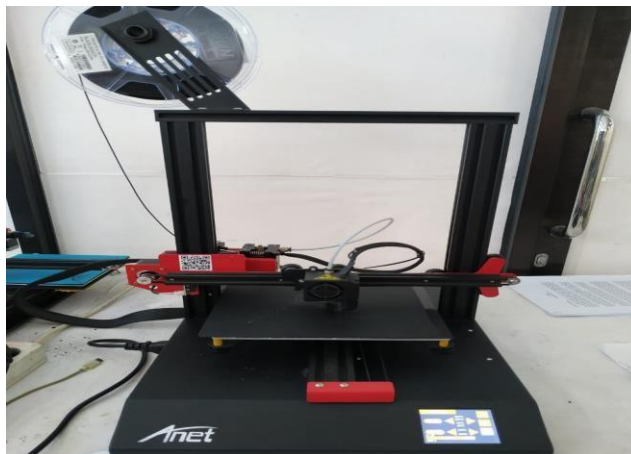
**4.1.4** Setelah itu masukkan kartu memori yang berisikan *file* G-code yang telah dislicing dari *software ultimaker cura* ke tempat yang ada pada mesin 3D *printing*.

**4.1.5** Kemudian seting parameter proses yang ada pada mesin 3D *printing*, seperti suhu *nozzle* dan *bed temperature* yang sesuai dengan parameter proses yang telah ditentukan, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



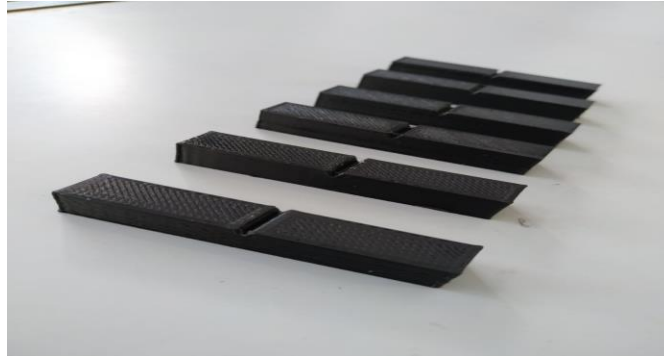
Gambar 4.3 Penyetingan Parameter Proses Pada Mesin 3D *Printing*

**4.1.6** Selanjutnya melakukan proses pencetakan, proses pencetakan ini dilakukan secara berturut-turut sesuai dengan 39 sampel spesimen, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Proses Pencetakan Spesimen

**4.1.7** Setelah semua hasil spesimen dicetak, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian impak *charpy* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Proses Pencetakan Spesimen

#### **4.1.1. Pengujian Impak Metode Charpy**

Setelah semua proses pembuatan spesimen selesai, maka dilanjutkan dengan proses pengujian impak dengan alat uji impak metode *charpy* untuk mengetahui hasil sudut posisi akhir pendulum ( $\cos \beta$ ) dari material PLA+. Pengujian impak spesimen ini berdasarkan standar ASTM E23-05, dengan takik membelakangi pendulum yang akan menumbuk spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengujian Impak Metode *Charpy*

## 4.2 Hasil Pengujian Impact

Setelah melakukan pengujian impact pada spesimen cetak, maka diperoleh hasil yang beragam dari setiap urutan eksperimen yang memiliki nilai yang berbeda-beda terhadap variasi parameternya *nozzle temperature* (205°C, 215°C, dan 225°C), *cooling speed* (100%, 90%, dan 80%), parameter tetap yaitu *layer thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C, dan *travel speed* 100 mm/s, *printing speed* 100 mm/s 13 *infill type* yang berbeda yaitu *grid*, *lines*, *triangles*, *tri-hexagon*, *cubic*, *cubic subdivision*, *octet*, *quarter cubic*, *concentric*, *zigzag*, *cross*, *cross 3D* dan *gyroid*, yang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Hasil Impact

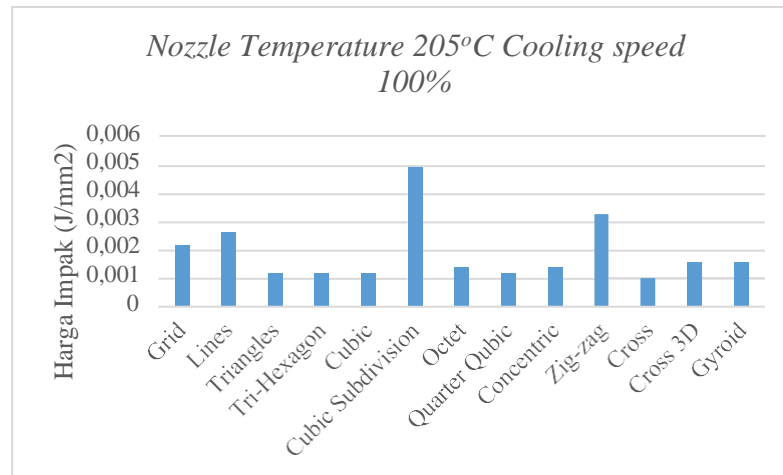
| xp No | Infill Geometry   | Cooling Speed (%) | Nozzle Temperature (°C) | Layer Thickness (mm) | Bed Temperature (°C) | Travel Speed (mm/s) | Printing Speed (mm/s) | Harga Impact (j/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1     | Grid              | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00219                           |
| 2     | Lines             | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00262                           |
| 3     | Triangles         | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00119                           |
| 4     | Tri-Hexagon       | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00119                           |
| 5     | Cubic             | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00119                           |
| 6     | Cubic Subdivision | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00496                           |
| 7     | Octet             | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 8     | Quarter Qubic     | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00119                           |
| 9     | Concentric        | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 10    | Zig-zag           | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00328                           |
| 11    | Cross             | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00102                           |
| 12    | Cross 3D          | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00159                           |
| 13    | Gyroid            | 100               | 205                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00159                           |
| 14    | Grid              | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00084                           |
| 15    | Lines             | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00398                           |
| 16    | Triangles         | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00119                           |
| 17    | Tri-Hexagon       | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00084                           |
| 18    | Cubic             | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 19    | Cubic Subdivision | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 20    | Octet             | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 21    | Quarter Qubic     | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00139                           |
| 22    | Concentric        | 90                | 215                     | 0.2                  | 60                   | 100                 | 100                   | 0,00177                           |

| <b>xp No</b> | <b>Infill Geometry</b> | <b>Cooling Speed (%)</b> | <b>Nozzle Temperature (°C)</b> | <b>Layer Thickness (mm)</b> | <b>Bed Temperature (°C)</b> | <b>Travel Speed (mm/s)</b> | <b>Printing Speed (mm/s)</b> | <b>Harga Impak (j/mm<sup>2</sup>)</b> |
|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 23           | Zig-zag                | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00159                               |
| 24           | Cross                  | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00102                               |
| 25           | Cross 3D               | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00159                               |
| 26           | Gyroid                 | 90                       | 215                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00139                               |
| 27           | Grid                   | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00084                               |
| 28           | Lines                  | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00219                               |
| 29           | Triangles              | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00177                               |
| 30           | Tri-Hexagon            | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00119                               |
| 31           | Cubic                  | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00139                               |
| 32           | Cubic Subdivision      | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00548                               |
| 33           | Octet                  | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        |                              | 0,00328                               |
| 34           | Quarter Qubic          | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00240                               |
| 35           | Concentric             | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00178                               |
| 36           | Zig-zag                | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00159                               |
| 37           | Cross                  | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00102                               |
| 38           | Cross 3D               | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00496                               |
| 39           | Gyroid                 | 80                       | 225                            | 0.2                         | 60                          | 100                        | 100                          | 0,00139                               |

### 4.3 Pembahasan Penelitian

#### 4.3.1. Hasil Parameter *Nozzle Temperature 205°C, Cooling speed 100%, Dengan 13 Tipe Infill.*

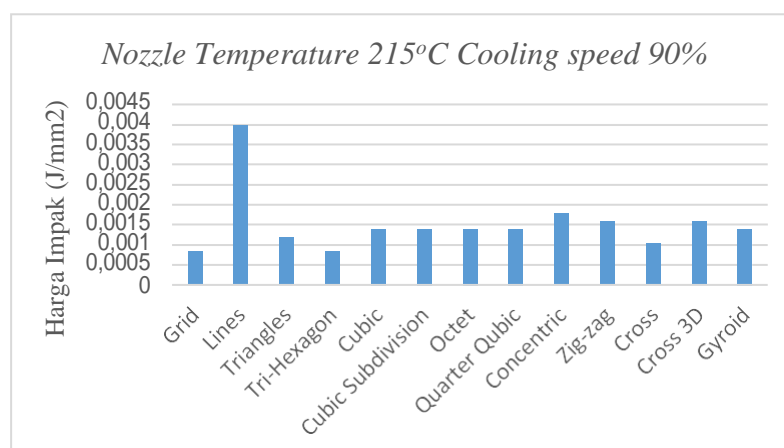
Pada hasil dari pengujian impak meode *charpy* dengan parameter 13 tipe *infill*, *nozzle temperature 205°C*, *cooling speed 100%*, *layer thickness 0,2mm*, *bed temperature 60°C*, dan *travel speed 100mm/s*, *printing speed 100mm/s*, didapatkan nilai Hasil Impak tertinggi yaitu 0,00496 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan *infill cubic subdivision*, dan nilai Hasil Impak terendah yaitu 0,00102 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan *infill cross*. Hasil dari pembahasan ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Harga Impak *Nozzle Temperature 205°C Dan Cooling Speed 100%*

#### 4.3.2. Hasil Parameter *Nozzle Temperature 215°C, Cooling Speed 90%, Dengan 13 Tipe Infill.*

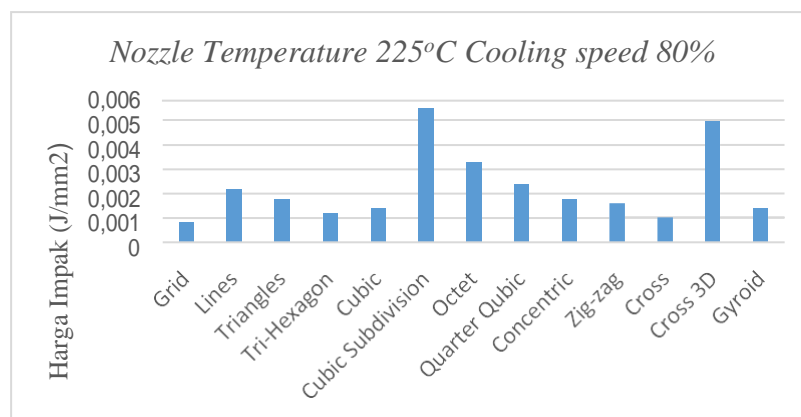
Pada hasil dari pengujian impak metode *charpy* dengan parameter 13 tipe *infill*, *nozzle temperature 215°C*, *cooling speed 90%*, *layer thickness 0,2mm*, *bed temperature 60°C*, dan *travel speed 100mm/s*, *printing speed 100mm/s*, didapatkan nilai Hasil Impak tertinggi yaitu 0,00398 *Joule/mm²* dengan *infill lines*, dan nilai Hasil Impak terendah yaitu 0,00084 *Joule/mm²* dengan *infill grid* dan *tri-hexagon*. Hasil dari pembahasan ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Harga Impak *Nozzle Temperature 215°C Dan Cooling Speed 90%*

### 4.3.3. Hasil Parameter *Nozzle Temperature 225°C, Cooling Speed 80%* Dengan 13 Tipe *Infill*.

Pada hasil dari pengujian impak metode *charpy* dengan parameter 13 tipe *infill*, *nozzle temperature 225°C*, *cooling speed 80%*, *layer thickness 0,2mm*, *bed temperature 60°C*, dan *travel speed 100mm/s*, *printing speed 100mm/s*, didapatkan nilai Hasil Impak tertinggi yaitu 0,00548 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan *infill Cubic Subdivision*, dan nilai Hasil Impak terendah yaitu 0,00084 *Joule/mm<sup>2</sup>* dengan *infill Grid*. Hasil dari pembahasan ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.

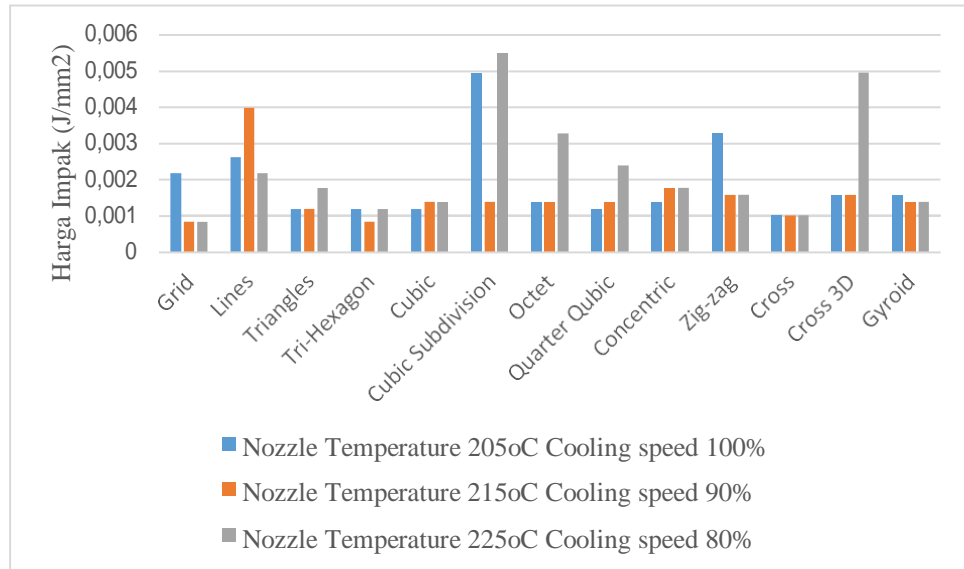


Gambar 4.9 Hasil Harga Impak *Nozzle Temperature 225°C* Dan *Cooling speed 80%*

### 4.3.4. Pembahasan Hasil Pengujian

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian impak yang diolah dengan parameter berubah yaitu 13 *infill geometry*, *cooling speed* (100%, 90% dan 80%), dan *nozzle temperature* (205 °C, 215 °C dan 225 °C), parameter tetap yaitu *layer thickness 0.2mm*, *bed temperature 60°C*, dan *travel speed 100mm/s*, *printing speed 100%*. Bahwa parameter berubah (*infill geometry*, *cooling speed*, dan *nozzle temperature*) memiliki pengaruh terhadap hasil dari harga impak/kekuatan impak, sehingga nilai tertinggi dari hasil pengujian impak pada eksperimen nomor 32 *infill cubic subdivision*, *cooling speed 80%* dan *temperature nozzle 225°C* dengan hasil 0,00548 *Joule/mm<sup>2</sup>*, nilai terendah dari hasil pengujian impak pada eksperimen nomor 14 dan 17 *infill grid* dan *tri-hexagon*, *cooling speed 90%*, *temperature nozzle 215°C* dengan hasil 0,00084 *Joule/mm<sup>2</sup>* dan nilai terendah dari hasil pengujian

impak pada eksperimen nomor 27 *infill grid*, *cooling speed 80%*, *temperature nozzle 225 °C* dengan hasil  $0,00084 \text{ Joule/mm}^2$  yang terdapat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.10 Hasil Uji Impak Spesimen



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data yang didapat, maka disimpulkan bahwa hasil pengujian impact menggunakan spesimen PLA+ didapatkan nilai uji impact tertinggi sebesar  $0,00548 \text{ Joule/mm}^2$ , dengan ekperimen nomor 32 *infill geometry cubic subdivision, cooling speed 80%, nozzle temperature 225°C*. Sedangkan nilai uji impact terendah terdapat sebesar  $0,00084 \text{ Joule/mm}^2$  dengan ekperimen nomor 14 dan 17 *infill geometry grid, dan tri-hexagon, cooling speed 90%, nozzle temperature 215°C* dan ekperimen nomor 27 *infill geometry grid, cooling speed 80%, nozzle temperature 225°C*.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan ada beberapa saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Untuk pengembangan lebih lanjut lagi tentang penelitian pengujian impact dengan filamen jenis plastik lainnya, agar mendapatkan hasil yang beragam dari berbagai filamen yang berbeda.
2. Untuk pengembangan lebih lanjut tentang parameter-parameter lainnya.

## DAFTAR PUSAKA

- [1]. Pristiansyah, Hasdiansah & Sugiyarto, 2019. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, Volume Vol. 11 No. 01, pp. 8.
- [2]. Suzen Z. S, Hasdiansyah & Yuliyanto, 2020. Pengaruh Tipe *Infill* Dan Temperatur *Nozzle* Terhadap Kekuatan. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur* , Volume Vol. 12, No. 02., pp. 8.
- [3]. Wawandaru, M. & Fitri, M., 2017. Perancangan Alat Uji Impak Charpy Untuk Material Plastik Dengan Takik. Volume 8 No 3, pp.41-48.
- [4]. Winarto, S., 2015. Pengaruh Suhu Dari *Bottom Plate* Terhadap Produk Printer 3D.
- [5]. Putra, W. T., Ismono, Fadelan & Winardi, Y., 2017. Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis PP, PET, Dan Campuran (PP + PET), pp. 6.
- [6]. Fancycop, 2018. Asam *polylactic*. [Online]  
Available at: <http://m.id.fancycoprinting.com/info/polylactic-acid-28452676.html>  
[Accessed 23 January 2021].
- [7]. Mpik, 2017. Kelebihan dan Kekurangan *Polylactic Acid (PLA)* Sebagai *Filament* Favorit *Printer 3D*. [Online]  
Available at: <http://indoprinter3d.com/printer-3d/material-printer-3d/polylactic-acid-pla/>  
[Accessed Minggu Maret 2021].
- [8]. Fomustudio, 2018. 3D Printer adalah Teknologi *Modern* Dalam Dunia Percetakan. [Online]  
Available at: <https://fomustudio.com/3d-printer-adalah-teknologi-modern-dalam-dunia-percetakan/>  
[Accessed 5 March 2021].
- [9]. Idekubagus, 2018. Pengertian 3D *Printer FDM (Fused Deposition Modeling)*. [Online]  
Available at: <https://www.idekubagus.com/2018/02/pengertian-3d-printer-fdm-fused.html>  
[Accessed 4 March 2021].
- [10]. Firmansyah, 2020. *Material Testing Impact Test*. [Online]  
Available at: <https://www.detch.co.id/impact-test/>  
[Accessed Minggu Maret 2021].

- [11]. Putranto, B., 2011. Perancangan Alat Uji Impak Charpy Untuk Material Komposit Berpenguat Serat Alam (Natural Fiber). *Perpustakaan.uns.ac.id, digilib.uns.ac.id.*

## Lampiran 1 :

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Ilham Akbar

Tempat, Tanggal Lahir : Toboali, 18 September 1998

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Pendidikan Terakhir : DIV Teknik Mesin dan Manufaktur

Alamat : JL.Haji Agus Salim, RT/RW 002/004, Kel/Desa  
Teladan, Kecamatan Toboali, Kabupaten Bangka  
Selatan, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Email : [ilhamakbarr542@gmail.com](mailto:ilhamakbarr542@gmail.com)

Pendidikan Formal

- A. 2010 : SD NEGERI 2 TOBOALI
- B. 2013 : SMP NEGERI 2 TOBOALI
- C. 2016 : SMA NEGERI 2 TOBOALI

Lampiran 2 :

Proses :



Hasil Pencetakan

Sumber : Dokumen Pribadi Peneliti



Hasil Patahan Pengujian Impak

Sumber : Dokumen Pribadi Peneliti

### Lampiran 3 :

#### Hitungan Uji Impak :

1.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 138^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,123$$

$$E = 1,207 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,207 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,207}{550}$$

$$H = 0,00219 \text{ Joule/mm}^2$$

2.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 136^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,147$$

$$E = 1,442 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,442 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,442}{550}$$

$$H = 0,00262 \text{ Joule/mm}^2$$

3.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 143^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

4.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 143^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

5.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 143^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

6.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 126^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,278$$

$$E = 2,727 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 2,727 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{2,727}{550}$$

$$H = 0,00496 \text{ Joule/mm}^2$$

7.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 142^\circ - \cos 150^\circ)$$



$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

8.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 143^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

9.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 142^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

10.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 133^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,184$$

$$E = 1,805 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,805 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,805}{550}$$

$$H = 0,00328 \text{ Joule/mm}^2$$

11.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 144^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,057$$

$$E = 0,559 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,559 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,559}{550}$$

$$H = 0,00102 \text{ Joule/mm}^2$$

12.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 141^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,089$$

$$E = 0,873 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,873 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,873}{550}$$

$$H = 0,00159 \text{ Joule/mm}^2$$

13.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 141^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,089$$

$$E = 0,873 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,873 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,873}{550}$$

$$H = 0,00159 \text{ Joule/mm}^2$$

14.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 145^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,047$$

$$E = 0,461 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,461 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,461}{550}$$

$$H = 0,00084 \text{ Joule/mm}^2$$

15.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 130^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,223$$

$$E = 2,188 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 2,188 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{2,188}{550}$$

$$H = 0,00398 \text{ Joule/mm}^2$$

16.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 143^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

17.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 145^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,047$$

$$E = 0,461 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,461 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,461}{550}$$

$$H = 0,00084 \text{ Joule/mm}^2$$

18.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 142^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

19.  $E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 142^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

$$20. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 142^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

$$21. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 142^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

$$22. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 140^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,099$$

$$E = 0,971 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,971 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,971}{550}$$

$$H = 0,00177 \text{ Joule/mm}^2$$

23.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 141^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,089$$

$$E = 0,873 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,873 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,873}{550}$$

$$H = 0,00159 \text{ Joule/mm}^2$$

24.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 144^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,057$$

$$E = 0,559 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$



$$E = 0,559 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,559}{550}$$

$$H = 0,00102 \text{ Joule/mm}^2$$

25.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 141^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,089$$

$$E = 0,873 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,873 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,873}{550}$$

$$H = 0,00159 \text{ Joule/mm}^2$$

26.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 142^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

27.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 145^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,047$$

$$E = 0,461 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,461 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,461}{550}$$

$$H = 0,00084 \text{ Joule/mm}^2$$

28.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 138^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,123$$

$$E = 1,207 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,207 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,207}{550}$$

$$H = 0,00219 \text{ Joule/mm}^2$$

29.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 140^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,099$$

$$E = 0,971 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,971 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,971}{550}$$

$$H = 0,00177 \text{ Joule/mm}^2$$

30.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 143^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,067$$

$$E = 0,657 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,567 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,567}{550}$$

$$H = 0,00119 \text{ Joule/mm}^2$$

31.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 142^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,657}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$

32.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 124^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,307$$

$$E = 3,012 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 3,012 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{3,012}{550}$$

$$H = 0,00548 \text{ Joule/mm}^2$$

$$33. E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 133^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,184$$

$$E = 1,805 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,805 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,805}{550}$$

$$H = 0,00328 \text{ Joule/mm}^2$$

$$34. E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 137^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,135$$

$$E = 1,324 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 1,324 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{1,324}{550}$$

$$H = 0,00241 \text{ Joule/mm}^2$$

$$35. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 140^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,099$$

$$E = 0,971 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,971 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,971}{550}$$

$$H = 0,00177 \text{ Joule/mm}^2$$

$$36. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 141^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,089$$

$$E = 0,873 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,873 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,873}{550}$$

$$H = 0,00159 \text{ Joule/mm}^2$$

$$37. \quad E = m \times g \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\cos 144^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,057$$

$$E = 0,559 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,559 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,559}{550}$$

$$H = 0,00102 \text{ Joule/mm}^2$$

38.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 126^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,278$$

$$E = 2,727 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 2,727 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{2,727}{550}$$

$$H = 0,00496 \text{ Joule/mm}^2$$

39.  $E = m \times g \times \lambda (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 98 \text{ m/s}^2 \times 0,4 \text{ m} (\text{Cos } 142^\circ - \text{Cos } 150^\circ)$$

$$E = 9,81 \times 0,078$$

$$E = 0,765 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,765 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$A = 550 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,765}{550}$$

$$H = 0,00139 \text{ Joule/mm}^2$$