

PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *INFILL PATTERN* TERHADAP KEKUATAN IMPAK DENGAN POSISI PENCETAKAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN FILAMEN PLA PRO

PROYEK AKHIR

Laporan ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Ummi Khalsum NIRM: 1041959

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2022/2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *INFILL PATTERN* TERHADAP KEKUATAN IMPAK DENGAN POSISI PENCETAKAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN FILAMEN PLA PRO

Oleh:

Umami Khalsum / 1041959

Laporan ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



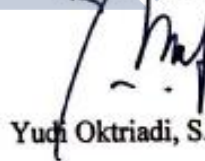
Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Husman, S.S.T., M.T.

Penguji 2



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.

Mengetahui,

Kepala Jurusan Teknik Mesin



Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Ummi Khalsum NIRM: 1041959

Dengan judul : **PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *INFILL PATTERN* TERHADAP KEKUATAN IMPAK DENGAN POSISI PENCETAKAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN FILAMEN PLA PRO**

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 13 September 2022

Nama Mahasiswa

1. Ummi Khalsum



ABSTRAK

Perkembangan teknologi adalah hal yang menjadi saksi bahwa zaman sudah semakin modern pada saat ini. Munculnya teknologi mesin cetak 3D yang merupakan bagian dari teknologi rapid prototyping, memberikan banyak perkembangan dan kemajuan pula pada berbagai sektor industri. Mesin cetak 3D ini dapat mencetak benda yang awalnya hanya berupa desain saja menjadi bentuk 3 dimensi yang sangat kompleks. Saat ini sudah banyak sekali material inovasi terbaru dari mesin 3D printing, salah satunya adalah PLA PRO. Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi studi literatur untuk pencetakan 3D terutama dengan bahan PLA PRO. Dengan variasi parameter yaitu 16 tipe infill pattern berdasarkan software PrusaSlicer 2.3.1 dan 3 level nozzle temperature, penelitian ini menghasilkan 48 kombinasi parameter. Dengan mesin Ender-3 PRO, spesimen uji dicetak menggunakan sudut pencetakan 90° atau secara horizontal. Pada penelitian ini didapatkan kekuatan impak tertinggi terdapat pada spesimen uji yang menggunakan infill pattern 3D honeycomb dengan suhu 230°C yaitu 0,205 Joule/mm². Sedangkan untuk nilai kekuatan impak terendah berada pada suhu 210°C dan menggunakan infill pattern stars senilai 0,003 Joule/mm². Hal ini membuktikan bahwa, parameter proses yang dipilih untuk proses pencetakan spesimen sangat berpengaruh pada hasil pencetakan 3D yang akan dilakukan.

Kata Kunci: PLA, 3D, Impak, Nozzle, Infill

ABSTRACT

Technology development is a witness that the era is getting more modern now. The emergence of 3D printing machine technology, part of rapid prototyping technology, has provided many developments and advances in various industrial sectors. This 3D printing machine can print objects that were originally designed into very complex 3-dimensional shapes. Currently, there are many new innovative materials from 3D printing machines, one of which is PLA PRO. Hopefully, this research can add to the literature study references for 3D printing, especially with PLA PRO materials. With parameter variations, namely 16 types of infill patterns based on PrusaSlicer 2.3.1 software and three levels of nozzle temperature, this study produced 48 parameter combinations. With the Ender-3 PRO machine, the test specimens are printed using a printing angle of 90° or horizontally. This study found the highest impact strength in test specimens using a 3D honeycomb infill pattern with a temperature of 230°C, 0.205 Joule/mm². Meanwhile, the lowest impact strength value is at 210°C and uses infill pattern stars worth 0.003 Joule/mm². This proves that the process parameters selected for the specimen printing process greatly affect the results of the 3D printing to be carried out.

Keywords: PLA, 3D, Impact, Nozzle, Infill

KATA PENGANTAR

Assalamau'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Besar, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, peneliti dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH NOZZLE TEMPERATURE DAN INFILL PATTERN TERHADAP KEKUATAN IMPAK DENGAN POSISI PENCETAKAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN FILAMEN PLA PRO”**. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Studi Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (POLMAN BABEL).

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya tercinta Ibu Sariyatina dan Ayah Kamaluddin Rozali yang telah banyak mendukung dan mendoakan saya hingga sampai ke titik ini.
2. Wali saya, Alm. Ayah Amiruddin Rozali dan Ibu Balkis yang telah banyak memberikan dukungan kepada saya sehingga saya dapat berkuliah dan menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Saudara saya, Mamas Adi Prastyanto, Ayuk Rohma, Ayuk Ummi Azizah Awliya, Kakak Baizunsyah, Kiyai Muhammad Rasyid Alghiffary, dan Adek Sultan Alqirom, yang sudah banyak sekali memberikan waktu dan pengertiannya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 Laporan Tugas Akhir saya, yang telah bersedia menyediakan waktu dan tenaganya dalam proses pembimbingan Laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.

7. Bapak Zulfitriyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 Laporan Tugas Akhir saya, yang telah memberikan ide-ide dan konsep pemikirannya
8. Bapak Hasdiansah, S.S.T., M.Eng. selaku dosen yang telah memberikan saran dan masukan terhadap tugas akhir saya.
9. Bapak Yuliyanto, S.S.T., M.T. selaku kepala laboratorium LAPALO sekaligus dosen perwalian saya yang telah banyak membantu dalam proses pengujian impak sehingga berjalan lancar.
10. Ibu Indah Riezky Pratiwi, M.Pd. selaku dosen sekaligus tempat cerita dan berkeluh kesah yang telah banyak memberikan saran dan masukan terkait tugas akhir dan jurnal saya.
11. Teman-teman saya yang saya sayangi, Riskullah Dirga Trisaplin, Faradila Irianti, Erissa Farianti dan Rikky Ardiansyah yang telah bersedia memberikan banyak waktunya untuk mendukung serta memberikan saran dan masukkan demi kelancaran proses penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman saya Shopping yang telah bersedia meluangkan banyak waktunya untuk memberikan dukungan kepada saya untuk menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah ini.
13. Rekan-rekan Dewan Kerja Cabang Masa bakti 2017-2022, yang telah banyak mendoakan serta mendukung saya untuk menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah ini.
14. Seluruh teman-teman satu kelas saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu mahasiswa Teknik Mesin dan Manufaktur POLMAN BABEL angkatan 2019 yang telah saling mendoakan dan mendukung satu sama lain.

Penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, namun penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan.

Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk penulisan Laporan Tugas Akhir ini agar kedepannya dapat memiliki manfaat yang lebih banyak.

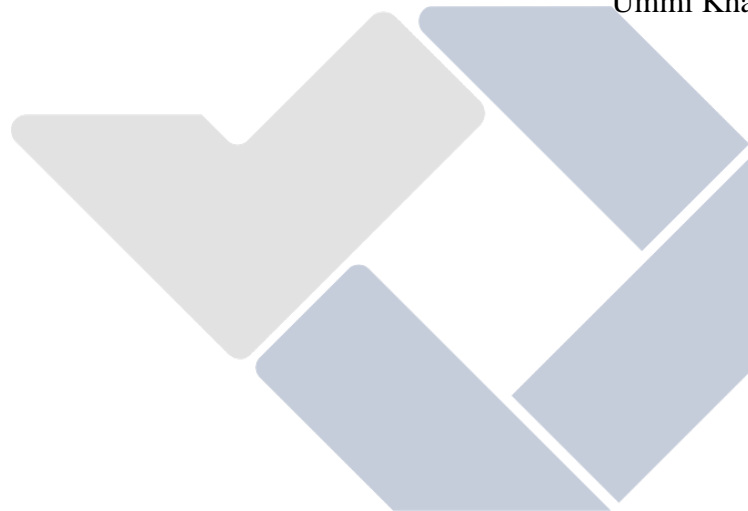
Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sungailiat, 13 September 2022

Penulis



Ummi Khalsum



DAFTAR ISI

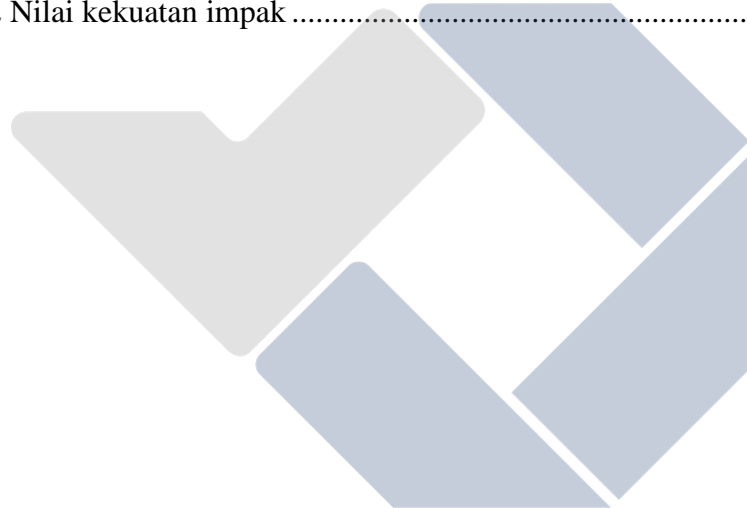
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Mesin Cetak 3D	6
2.1.1 Komponen Mesin Cetak 3D	6
2.1.1.1 Papan <i>Controller</i>	6
2.1.1.2 Filamen.....	7
2.1.1.3 <i>Frame</i>	7
2.1.1.4 <i>Print Bed</i> atau <i>Build Platform</i>	7
2.1.1.5 <i>Print Head</i>	7
2.1.1.6 <i>Nozzle</i>	7
2.1.1.7 <i>Moving Part</i>	8
2.1.1.8 <i>Power Supply Unit</i>	8
2.2 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	8
2.3 Filamen <i>Polylactic Acid PRO (PLA PRO)</i>	9
2.4 Parameter pada Mesin Cetak 3D	10
2.4.1 <i>Bed Temperature</i>	11
2.4.2 <i>Layer Height</i>	11
2.4.3 <i>Brim Width</i>	11
2.4.4 <i>Perimeter</i>	11

2.4.5 <i>Nozzle Temperature</i>	11
2.4.6 <i>Extrusion Width</i>	11
2.4.7 <i>Infill Density</i>	12
2.4.8 <i>Infill Pattern</i>	12
2.4.9 Kecepatan Pencetakan atau <i>Printing Speed</i>	13
2.5 Mekanisme Proses Pencetakan 3D	13
2.5.1 Proses Permodelan Tiga Dimensi	14
2.5.2 Proses Pencetakan Tiga Dimensi	14
2.5.3 Proses Penyelesaian	14
2.6 <i>Impact Test</i> (Uji Kekuatan Impak)	14
2.6.1 Pengujian Impak	14
2.6.2 Uji Impak Metode <i>Charpy</i>	15
2.7 Metode Eksperimen Faktorial	17
2.8 <i>Dashboard</i> pada mobil	17
2.9 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODE PELAKSANAAN	21
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Studi Literatur.....	22
3.3 Persiapan Proses Penelitian	23
3.3.1 Alat dan Bahan.....	23
3.3.1.1 Mesin Pencetakan 3 Dimensi	23
3.3.1.2 Material	24
3.3.1.3 Mesin Uji Impak	25
3.4 Penentuan Parameter	26
3.4.1 Parameter Proses.....	26
3.4.2 Kombinasi Parameter Proses	27
3.5 Desain Spesimen Uji	29
3.6 Proses <i>Slicing</i> Data CAD.....	30
3.6.1 <i>Slicing</i> Permodelan CAD.....	30
3.7 Pencetakan Spesimen Uji	31
3.8 Replikasi Spesimen Uji	32
3.9 Proses Uji Impak	32

3.10 Pengumpulan dan Pengolahan Data	33
3.11 Analisis Data	34
3.12 Kesimpulan.....	34
BAB IV PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil Pengujian.....	35
4.2 Proses Pengambilan Data	35
4.3 Hasil Pengujian Impak	38
4.4 Perhitungan Uji Impak	40
4.5 Analisa Hasil Uji Impak	44
4.5.1 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, <i>Nozzle Temperature</i> 210°C dan 16 Tipe <i>Infill Pattern</i>	44
4.5.2 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, <i>Nozzle Temperature</i> 220°C dan 16 Tipe <i>Infill Pattern</i>	45
4.5.3 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, <i>Nozzle Temperature</i> 230°C dan 16 Tipe <i>Infill Pattern</i>	46
4.5.4 Analisa Rata-rata Nilai Hasil Kekuatan Impak Berdasarkan Suhu Pencetakan	47
4.5.5 Analisa Rata-rata Nilai Hasil Kekuatan Impak <i>Infill Pattern</i>	48
4.5.6 Analisa Nilai Hasil Pengujian Kekuatan Impak	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik pada Dashboard Mobil	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Cetak 3 Dimensi Ender-3 PRO.....	24
Tabel 3. 2 Spesifikasi Filamen Polylactid Acid PRO (PLA PRO)	25
Tabel 3. 3 Spesifikasi Mesin Uji Impak GOTECH model GT – 7045	26
Tabel 3. 4 Parameter Pencetakan	27
Tabel 3. 5 Kombinasi Parameter Proses Pencetakan	28
Tabel 4. 1 Nilai Sudut Akhir Pendulum.....	38
Tabel 4. 2 Nilai kekuatan impact	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Fused Deposition Modelling (FDM) (Juliarta, 2021).....	9
Gambar 2. 2 Infill Pattern (PrusaSlicer 2.3.1).....	12
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Uji Impak Charpy (Nuhgraha, 2020)	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3. 2 Mesin Cetak 3 Dimensi Ender-3 PRO (creality.com).....	23
Gambar 3. 3 Filamen Polylactid Acid PRO (PLA PRO) (Rajawali3D)	24
Gambar 3. 4 Mesin Uji Impak GOTECH model GT – 7045	25
Gambar 3. 5 Desain Spesimen Uji Impak Metode Charpy	29
Gambar 3. 6 Pengaturan Parameter Proses (Software PrusaSlicer 2.3.1).....	30
Gambar 3. 7 Proses Uji Impak	33
Gambar 4. 1 Proses Slicing File STL.....	36
Gambar 4. 2 Proses pencetakan Spesimen Uji.....	36
Gambar 4. 3 Hasil Pencetakan Spesimen Uji.....	37
Gambar 4. 4 Proses Pengujian Impak	37
Gambar 4. 5 Spesimen Uji yang Telah Diuji Impak.....	38
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Kekuatan Impak <i>Nozzle temperature</i> 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 <i>Infill Pattern</i>	45
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Kekuatan Impak <i>Nozzle temperature</i> 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 <i>Infill Pattern</i>	46
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Kekuatan Impak <i>Nozzle temperature</i> 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 <i>Infill Pattern</i>	47
Gambar 4. 9 Grafik Rata-rata Kekuatan Impak Berdasarkan <i>Nozzle temperature</i> (210°C, 220°C, dan 230°C)	47
Gambar 4. 10 Grafik Berdasarkan <i>Infill Pattern</i>	49
Gambar 4. 11 Grafik Berdasarkan <i>Infill Pattern</i>	51

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 210°C
- Lampiran 3 Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 220°C
- Lampiran 4 Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 230°C
- Lampiran 5 Hasil Perhitungan Menggunakan Ms. Excel
- Lampiran 6 Perhitungan Rata-Rata Nilai Kekuatan Impak pada *Nozzle Temperature*
- Lampiran 7 Perhitungan Rata-Rata Nilai Kekuatan Impak pada 16 *Infill Pattern*
- Lampiran 8 Dokumentasi penelitian
- Lampiran 9 Form Monitoring Proyek Akhir
- Lampiran 10 Form Bimbingan Proyek Akhir
- Lampiran 11 Form Revisi Laporan Akhir
- Lampiran 12 Bukti Bukan Plagiasi
- Lampiran 13 Bukti Publikasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin modern tentunya membuat teknologi semakin berkembang juga. Teknologi berbasis *rapid prototyping* yang salah satunya adalah mesin 3D *printer*, saat ini telah digunakan pada beberapa lini seperti sektor industri manufaktur, otomotif, kesehatan dan lainnya (More, 2013), pernyataan tersebut menjadi arti bahwa teknologi 3D *printing* memberikan pengaruh yang sangat besar untuk kemajuan saat ini, masa depan dan dapat dipastikan pula pada masa yang akan datang teknologi 3D *printer* akan berkembang dengan sangat pesat. Hal ini selaras dengan digemarinya teknologi 3D *printer* di dunia industri manufaktur saat ini.

Mesin 3D *printer* dikategorikan sebagai teknologi *rapid prototyping* dengan jenis *fused deposition modelling (FDM)*, FDM sendiri merupakan teknologi yang umum ditemui (Pratama *et al.*, 2021), prinsip kerja dari mesin 3D *printing* ialah mengadopsi dari *additive manufacturing (AM)* yang artinya proses produksi tanpa membuang sebagian material pada saat proses produksi berlangsung namun prosesnya adalah dengan metode menambah material, selain itu teknologi FDM mampu mencetak produk dengan tingkat struktur dan geometri yang sangat kompleks (Hannanto Saputra, Herianto and Agus Pamasaria, 2019), proses pencetakannya dimulai melalui ekstrusi filamen oleh heater pada suhu leleh filamen kemudian disalurkan melalui *nozzle* dengan meletakkan lapisan demi lapisan hingga terbentuk benda 3D yang memiliki volume, dapat diraba, dan dipegang (Pristiansyah *et al.*, 2019), Mesin 3D *printer* memiliki kelebihan yang salah satunya dapat mencetak *prototype* dengan waktu yang singkat (Riza, Budiyanoro and Nugroho, 2020).

Material yang digunakan pada proses pencetakan produk 3D *printing* disebut dengan filamen, filamen sendiri berperan sebagai bahan utama pada proses pencetakan produk tiga dimensi, pada mesin 3D *printer* filamen terdiri dari

berbagai jenis seperti *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), *polylactic acid* (PLA), *polycarbonat* (PC), *nylon* dan lain-lain (Grabowik *et al.*, 2017). Namun menurut (Kumar *et al.*, 2009) filamen *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) dan *polylactic acid* (PLA) merupakan filamen yang sering digunakan. Filamen sendiri telah mengalami berbagai macam inovasi adapun contohnya seperti filamen PLA, ST PLA, PLA+ dan yang terbaru PLA PRO, dimana jenis-jenis inovasi tersebut memiliki keunggulan tersendiri.

Menurut penelitian (Durgashyam *et al.*, 2019) kekuatan bahan yang dihasilkan dari pencetakan menggunakan metode FDM cukup kompleks, karena kekuatan suatu produk cetak tidak hanya mengandalkan bahan filamen saja, akan tetapi parameter seperti sudut orientasi, kepadatan isi, pengisian pola, ketebalan dinding, suhu *nozzle* dan beberapa parameter lainnya memiliki peran yang penting dalam menghasilkan produk dengan nilai tertentu. Adapun parameter yang salah satunya patut dipertimbangkan adalah pola pengisiannya atau yang disebut *infill*. Aplikasi yang digunakan sebagai pemrograman 3D *printer* memberikan banyak sekali varian *infill* dengan waktu pencetakan yang berbeda dan memiliki perbedaan kekuatan yang dihasilkan (Nikmatuzaroh, 2019).

Terdapat penelitian sebelumnya yang terfokus kepada parameter dalam proses pencetakan 3D yang tentunya memiliki hasil akhir yang bervariasi dan dengan nilai kekuatan optimal yang berbeda pula. Salah satunya yang dilakukan oleh (Suzen, 2020), penulis melakukan penelitian terhadap hasil dari pengaruh tipe *infill* dan *nozzle temperature* pada filamen PLA+ Esun dengan terfokus pada 3 level suhu *nozzle temperature* yaitu 205°C, 215 °C dan 225 °C, menggunakan 13 tipe *infill* pada aplikasi pencetakan *slicing* yaitu *lines, tri hexagon, cubic division, concentric, cubic, octet, grid, zig zag, quarter cubic, cross 3D triangles, dan gyroid*. *Layer thickness, bed temperature, travel speed, dan printing speed* juga digunakan dengan nilai yang konstan. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode eksperimen dengan melakukan pencetakan yang menghasilkan sebanyak 39 sampel spesimen uji. Kemudian dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan spesimen uji yang tertinggi dan terendah. Setelah melakukan penelitian, penulis mendapatkan hasil bahwa bentuk dari tipe *infill* dan *nozzle temperature*

memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kekuatan tarik spesimen uji. Dengan demikian hasil pengujian tertinggi dan terendah antar setiap spesimen dapat diketahui dengan kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen uji ke 22 yaitu *Nozzle temperature 215°C* yang menggunakan *Infill type Concentric* sebesar 43,20 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik terendah yaitu pada spesimen uji ke 11 sebesar 24,50 Mpa dengan *nozzle temperature 205°C* dan *infill type Cross*.

Penelitian yang dilakukan pada filamen ST PLA dengan diameter 1,75mm yang menggunakan metode eksperimen dengan model spesimen berdasarkan standar ukuran ASTM E23-05 seperti yang dilakukan oleh (Bowo *et al.*, 2021). Dalam hal ini penulis tersebut meneliti pengaruh dari *infill geometry*, *printing speed*, dan *nozzle temperature* dengan pengujian kekuatan menggunakan uji impak. Dalam penelitian ini metode yang digunakan pada uji impak adalah metode *charpy* dengan menggunakan alat uji impak GOTECH model GT-7405. Parameter tetap yang digunakan penulis pada penelitian ini adalah *bed temperature 60°C*, *travel speed 100mm/s*, dan *layer thickness* sebesar 0,2 mm. Sedangkan untuk parameter berubah penulis menggunakan *printing speed* dengan 3 tingkat kecepatan yang berbeda yaitu 30mm/s, 40mm/s, dan 50mm/s, 3 level suhu *nozzle temperature* yaitu 210°C, 215°C, dan 220°C, dan 13 tipe *infill* yang berbeda. Adapun tipe *infill* yang digunakan adalah *Cubic Subdivision*, *Cubic*, *Triangles*, *Lines*, *Grid*, *Tri Hexagon*, *Concentric*, *Gyroid*, *Zigzag*, *Octet*, *Quarter Qubic*, *Cross*, dan *Cross 3D*. Dalam penelitian dengan metode *charpy* ini didapatkan kesimpulan bahwa nilai uji impak tertinggi yang didapatkan dengan *printing speed 50mm/s*, *nozzle temperature 220°C*, dan tipe *infill Concentric* dengan nilai sebesar 0,00653 Joule/mm². Dan pada *infill Cross*, *nozzle temperature 210°C* dan *printing speed 30mm/s* didapatkan sebagai hasil uji impak terendah dengan nilai 0,00119 Joule/mm².

Berdasarkan penelitian terdahulu yang ada, metode penelitian yang digunakan sangat berbagai macam bentuk pengujian kekuatannya. Salah satunya adalah pengujian kekuatan menggunakan uji impak yang merupakan pengujian untuk mendapatkan hasil kerapuhan dan keuletan suatu bahan dari segi ketangguhannya (Nuhgraha, 2020). Parameter juga menjadi hal yang sangat penting untuk dapat diperhatikan dari pengujian terdahulu. Adapun parameter yang biasa

digunakan pada penelitian terdahulu adalah *nozzle temperature*, *infill type*, *printing speed*, sudut pencetakan, dan lain sebagainya.

Akan tetapi pada masa sekarang yang sudah banyak dilakukan penelitian mengenai pencetakan 3D, penelitian menggunakan material PLA PRO masih sangat minim sekali. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini penulis akan melakukan penelitian untuk mencari nilai kekuatan impact terendah dan tertinggi suatu spesimen uji dengan menggunakan bahan inovasi PLA terbaru yaitu *polylactid acid* PRO (PLA PRO) dengan parameter proses yaitu *infill pattern* dan *nozzle temperature* pada pencetakan 3D menggunakan posisi pencetakan horizontal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang terdapat pada latar belakang di atas maka dapat disimpulkan inti permasalahan yang ada adalah bagaimana pengaruh hasil pencetakan produk 3D *printing* terhadap kekuatan impact serta mengetahui nilai kekuatan impact tertinggi dan terendah yang dihasilkan dengan pencetakan 90° atau orientasi horizontal menggunakan bahan *polylactic acid* PRO (PLA PRO)?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian ini lebih terfokus dan terarah maka dibuatlah batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Mesin 3D *printer* menggunakan mesin Ender 3 PRO dengan *software* pendukung yaitu *PrusaSlicer 2.3.1*
2. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan impact pada material *Polylactic Acid* PRO (PLA PRO).
3. Variasi parameter yang diujikan adalah *nozzle temperature* dan *infill Pattern* yang dicetak pada orientasi sudut pencetakan horizontal 90°.
4. Variasi *nozzle temperature* berada pada rentang spesifikasi temperatur Filamen PLA PRO.
5. Bentuk spesimen uji merujuk pada standar (ASTM E23-18, 2019) tentang *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Material*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan impak tertinggi dan terendah serta apakah parameter proses berpengaruh terhadap nilai kekuatan impak suatu produk yang dicetak menggunakan material *polylactid acid PRO* (PLA PRO).



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin Cetak 3D

Mesin cetak 3D adalah satu dari sekian teknologi yang banyak diminati pada saat ini dikarenakan mesin ini berkembang dengan sangat pesat sesuai dengan kebutuhan diberbagai arah industri. Menurut (Excell, 2013) mesin cetak 3D merupakan sebuah proses pembuatan produk 3D yang berasal dari permodelan digital dengan proses pengerjaan yang hampir sama dengan alat cetak laser yang membuat produk dengan cara setiap lapisan dicetak di atas lapisan lainnya. Teknologi pencetakan 3D ini telah ada sejak tahun 1980, akan tetapi teknologi ini belum begitu dikenal dan belum menjadi pusat perhatian pada masa itu. Teknologi pencetakan 3D ini memiliki kelebihan yang dapat memberikan alternatif bagi beberapa bidang hingga tahun 2010 mesin cetak ini dikembangkan secara luas.

2.1.1 Komponen Mesin Cetak 3D

2.1.1.1 Papan *Controller*

Merupakan otak dari mesin cetak 3D yang biasa disebut dengan papan utama atau *motherboard* yang memiliki fungsi untuk dapat menggerakkan langsung komponen komponen lain yang ada pada mesin cetak 3D sesuai dengan perintah komputer yang melalui proses *slicing* file sehingga terbentuk *G-code*. Perintah yang telah disampaikan oleh komputer selanjutnya akan masuk ke sensor yang ada di papan *controller* dan langsung diterjemahkan untuk dapat menjadi perintah kerja sebuah proses pencetakan produk yang diinginkan. *Motherboard* ini memiliki pengaruh yang sangat besar dalam terjadinya proses pencetakan produk di mesin 3D. Dapat dikatakan bahwa papan *controller* ini merupakan pemeran utama pada mesin cetak 3D dikarenakan kualitas dari *motherboard* ini memberikan efek pada performa dari mesin 3D. Pencetakan yang baik tidak akan bisa dilakukan apabila kualitas dari *motherboard* ini buruk meskipun komponen lain pada mesin 3D berkualitas tinggi.

2.1.1.2 Filamen

Sama halnya dengan mesin cetak 2D yang membutuhkan tinta sebagai material untuk proses pencetakan, mesin cetak 3D juga membutuhkan filamen sebagai material untuk pencetakan produk 3D. Ada banyak sekali jenis filamen yang dapat digunakan pada proses cetak 3D dan setiap filamen tersebut mempunyai kekurangan dan kelebihan tersendiri yang dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan filamen. Umumnya pada mesin cetak 3D menggunakan jenis filamen yang mempunyai diameter 1,75mm.

2.1.1.3 Frame

Frame pada mesin cetak 3D merupakan kerangka yang bertujuan untuk dapat menopang atau menahan mesin 3D agar dapat menyeimbangkan dan menjaga ketahanan mesin cetak 3D. Mesin cetak tiga dimensi saat ini menggunakan bahan yang kokoh seperti metal ataupun akrilik.

2.1.1.4 Print Bed atau Build Platform

Print Bed pada mesin 3D merupakan komponen yang berbentuk lempengan datar dan menjadi tempat pencetakan tiga dimensi berlangsung. *Bed* ini dapat dipanaskan hingga mencapai suhu pencetakan yang diinginkan sesuai dengan jenis filamen yang digunakan.

2.1.1.5 Print Head

Merupakan komponen yang berfungsi untuk melelehkan filamen sesuai dengan suhu yang telah ditentukan. Pada *Print Head* terdapat beberapa komponen didalamnya seperti *nozzle*, *fan* (kipas), dan *heater* (pemanas).

2.1.1.6 Nozzle

Filamen yang telah melewati *heater* selanjutnya akan dikeluarkan melalui *nozzle*, dimana pada *nozzle* inilah dapat dilihat kualitas filamen yang dicairkan dan dikeluarkan memiliki kualitas yang baik atau buruk.

2.1.1.7 Moving Part

Moving part merupakan komponen penggerak pada mesin 3D yang biasanya meliputi beberapa komponen lain didalamnya seperti *end stop*, *belt*, motor, dan lain sebagainya yang beberapa menempel dan terhubung langsung dengan *pulley*.

2.1.1.8 Power Supply Unit

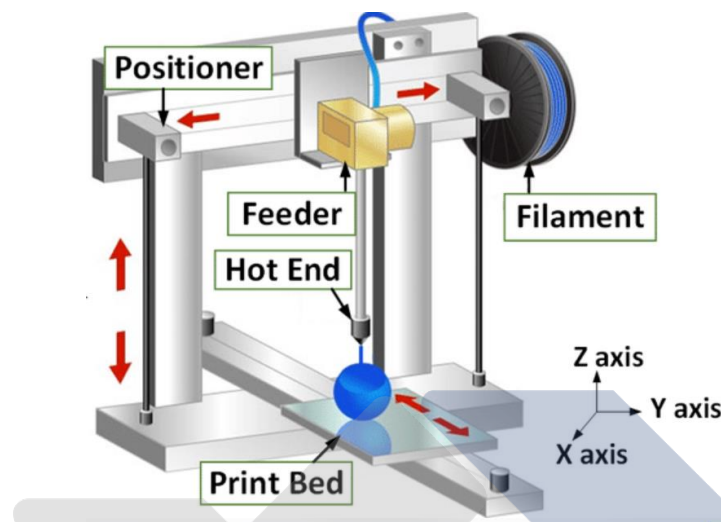
Merupakan salah satu alat elektronik pada mesin cetak 3D yang menyuplai tenaga listrik dan menjadi penghubung antara mesin dan sambungan listrik yang dapat menjalankan mesin cetak 3D.

2.2 Fused Deposition Modelling (FDM)

Secara komersial ada beberapa jenis mesin *rapid prototyping* yang telah dipasarkan, diantaranya adalah mesin *Selective laser Sintering* (SLS) yang diaplikasikan untuk menghasilkan produk dengan berbagai material seperti polystyrene, keramik, logam, polymer, lilin, dan lain sebagainya yang pada prosesnya menggunakan laser sebagai pemeran utamanya. Kemudian mesin *Stereolithography* yang pada proses pematatan permukaan material *photopolymer* memanfaatkan sinar ultraviolet. Mesin *Laminated Object Manufacturing* (LOM) yang menggunakan material yang berbentuk lembaran seperti kertas atau plastik yang ditumpuk, hingga mesin *Three Dimensional Printing* (3D Printing) yang menggunakan serbuk untuk membuat layer dan memanfaatkan *cartridge* bergerak sesuai data *slicing* produk yang akan dihasilkan (Widyanto, 2007).

Metode FDM ini sudah banyak sekali mengalami perkembangan, salah satunya pada proses pengoperasiannya sudah mengalami peningkatan yang signifikan sehingga metode ini menjadi alasan yang kuat mengapa banyak orang memilih metode FDM (Rochmad Eko, 2020). Mesin cetak 3D yang menggunakan teknologi FDM ini membentuk produk dari bawah ke atas secara lapis demi lapis oleh filamen termoplastik dengan proses pemanasan dan juga ekstrusi (Widiyanto and Setyani, 2019). Pada metode FDM penggunaan *nozzle* menjadi pembeda dengan metode yang lain, dimana pada hal ini *nozzle* yang ada pada mesin cetak 3D dipanaskan sehingga dapat mentransferkan material ekstrusi oleh pemanas tanpa

membutuhkan proses fabrikasi yang didalamnya terdapat sinar laser. Pemanas atau *heater* pada FDM ini dimanfaatkan sebagai pengontrol suhu pada *nozzle* yang akan mengakibatkan filamen berubah menjadi semi solid untuk memudahkan proses ekstrusi (Yuan, 2008).



Gambar 2. 1 Proses Fused Deposition Modelling (FDM) (Juliarta, 2021)

Salah satu hal yang menjadi keunggulan pada mesin cetak 3D dengan metode FDM ini yaitu adalah banyaknya pilihan bahan termoplastik atau yang biasa disebut filamen, diantaranya adalah *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile styrene acrylate* (ASA), *polycarbonate* (PC), *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), *nylon*, *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), dan lain sebagainya.

2.3 Filamen *Polylactic Acid* PRO (PLA PRO)

Menurut (Hakim *et al.*, 2019) awalnya jenis filamen PLA yang diproduksi hanyalah PLA yang memanfaatkan laktida sebagai bahan baku dan memiliki tingkat kepadatan yang rendah. Setelah melewati sebuah proses polimerisasi, seiring berjalannya waktu akhirnya diputuskan untuk mengembangkan versi PLA dengan kepadatan yang lebih tinggi. PLA merupakan sebuah material yang memiliki sifat *biodegradable* yaitu sifat sebuah benda yang dapat terurai oleh mikroorganisme, sifat termoplastik dimana PLA dapat mengeras jika pada suhu rendah (didinginkan) dan akan melunak pada suhu yang tinggi (dipanaskan).

Jenis material PLA ini merupakan salah satu material yang dapat dikatakan ramah lingkungan karena berasal dari sumber dan bahan yang dapat diperbaharui seperti tepung tapioka, tepung jagung ataupun tepung kentang dan PLA memiliki sifat kimia serta mekanik yang baik. Kekuatan dari material PLA ini juga dapat dikatakan baik, adapun salah satu bahan yang menjadi pemicu kekuatan pada material PLA ini adalah *Carbon Nano Tube* (CNT) (Oktavian *et al.*, 2021). Akan tetapi meskipun material PLA ini mempunyai beberapa hal yang dapat membuatnya unggul, PLA masih memiliki kekurangan yang tentunya harus ditingkatkan dan dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan yang berbeda beda disetiap masa perkembangan industri. Menurut (Liu *et al.*, 2018) untuk mengembangkan PLA ini diperlukan teknik rekayasa misalnya dengan memperkuat komposit PLA dengan bermacam-macam tambahan bahan seperti, serat kayu alami, serbuk logam, serbuk karbon, dan lain sebagainya. Sekarang ini sudah banyak sekali pengembangan dari jenis filamen PLA hasil dari penelitian penelitian terdahulu seperti ST PLA, PLA+, hingga PLA PRO.

PLA PRO merupakan pengembangan filamen PLA yang memiliki ketangguhan lebih tinggi dibandingkan dengan filamen PLA. Filamen PLA PRO ini juga lebih tidak mudah lembab dan getas jika dibandingkan dengan yang sebelumnya. Beberapa kelebihan yang dapat disimpulkan dari filamen PLA PRO adalah:

- a. PLA PRO memiliki suhu leleh yang mendekati filamen ABS dan memiliki suhu cetak 20 derajat lebih tinggi dibandingkan filamen PLA.
- b. *Heat Resistance* pada filamen PLA PRO mendekati filamen ABS.
- c. PLA PRO memiliki *impact strength* yang jauh lebih baik dibandingkan dengan filamen ABS.

2.4 Parameter pada Mesin Cetak 3D

Parameter dapat diartikan sebagai suatu nilai-nilai yang dapat dijadikan acuan pada proses pencetakan tiga dimensi agar hasil produk yang dicetak dapat memenuhi kriteria yang diinginkan. Parameter ini dapat diatur sedemikian rupa menggunakan bantuan *software* yang memang digunakan sebelum proses

pencetakan berlangsung. *Prusa Slicer 2.3.1* adalah sebuah *software* yang berfungsi untuk mengatur parameter yang nantinya akan merubah pengaturan tersebut menjadi bahasa pemrograman *G-code* agar dapat dibaca oleh mesin untuk proses pencetakan 3D. Adapun beberapa parameter yang terdapat pada mesin cetak tiga dimensi adalah:

2.4.1 *Bed Temperature*

Bed Temperature atau nama lainnya adalah *Build Plate Temperature* merupakan parameter yang digunakan sebagai pengatur temperatur *bed* agar temperatur dari produk tetap terjaga selama proses pencetakan berlangsung.

2.4.2 *Layer Height*

Layer Height digunakan untuk mengatur ketebalan dalam satuan milimeter setiap lapisan yang akan dibuat.

2.4.3 *Brim Width*

Brim Width digunakan pada awal proses cetak dengan cara memperluas area dilapisan awal yang juga mempunyai fungsi sebagai alas tempat menempelnya benda tiga dimensi yang akan dicetak agar lebih kokoh pada saat proses pencetakan.

2.4.4 *Perimeter*

Perimeter merupakan nilai minimum dari jumlah dinding yang akan dilakukan proses pencetakan.

2.4.5 *Nozzle Temperature*

Parameter ini digunakan untuk mengatur temperature *heater* pada *nozzle* yang merupakan tempat keluarnya filamen setelah dicairkan.

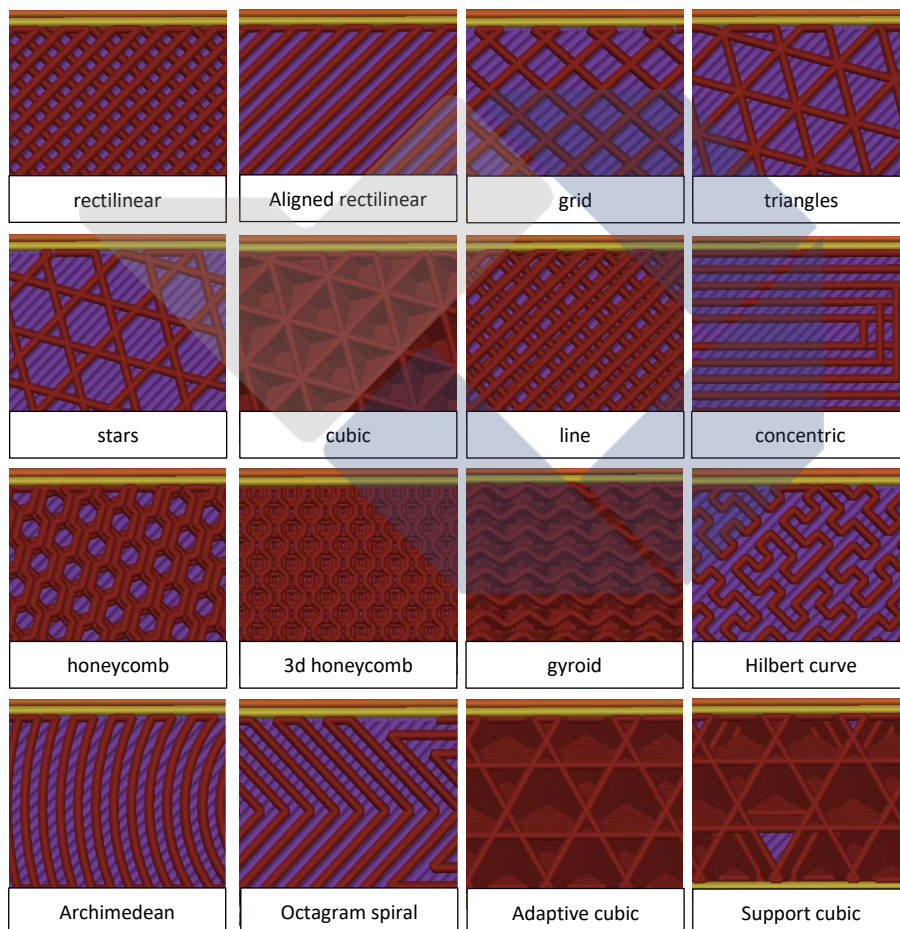
2.4.6 *Extrusion Width*

Extrusion width merupakan parameter yang digunakan untuk mengatur lebar material yang keluar dari *nozzle* setelah proses ekstrusi.

2.4.7 Infill Density

Merupakan parameter yang digunakan untuk mengatur tingkat kerapatan bagian inti produk tiga dimensi yang akan dicetak dengan skala kerapatan mulai dari 0% hingga 100%. Semakin tinggi persentase yang digunakan maka inti produk akan semakin rapat dan membutuhkan waktu pencetakan yang cukup lama, begitu juga sebaliknya semakin kecil presentase yang digunakan maka inti produk akan semakin renggang dan waktu proses pencetakan akan semakin singkat.

2.4.8 Infill Pattern



Gambar 2. 2 Infill Pattern (PrusaSlicer 2.3.1)

Infill pattern merupakan pola atau bentuk inti pengisian pada produk yang dicetak. Pola ini terbentuk apabila *infill density* yang digunakan pada suatu produk

kurang dari 100%. Apabila *infill density* suatu produk yang dicetak mencapai 100% maka pola atau bentuk pengisian tidak akan terlihat karena bagian inti sudah terlalu rapat. *Infill pattern* ini memiliki pola atau bentuk yang beragam dengan struktur kekuatan dan kecepatan pencetakan yang berbeda beda. Maka dari itu pemilihan *infill pattern* pada proses pencetakan 3D harus disesuaikan dengan produk yang akan diproduksi. Perlu diketahui bahwa setiap aplikasi pencetakan tiga dimensi memiliki jenis *infill pattern* yang berbeda. Pada aplikasi *Prusa Slicer 2.3.1* memiliki 16 bentuk pola yaitu, *gyroid*, *grid*, *stars*, *line*, *octagram spiral*, *concentric*, *honeycomb*, *cubic*, *3D honeycomb*, *aligned rectilinear*, *Archimedean chords*, *triangles*, *adaptive cubic*, *rectilinear*, *hilbert curve* dan *support cubic* yang ditunjukkan pada gambar 2.2.

2.4.9 Kecepatan Pencetakan atau *Printing Speed*

Parameter ini digunakan untuk mengatur kecepatan pada saat proses pencetakan tiga dimensi berlangsung. Pada saat proses cetak berlangsung ada 3 kecepatan yang harus diperhatikan yaitu:

- A. *Infill speed* adalah pengaturan kecepatan pada pengisian bentuk atau pola produk tiga dimensi.
- B. *Parameter speed* merupakan kecepatan *outline* pada saat proses pencetakan dimana semakin rendah kecepatan yang digunakan maka sisa hasil ekstrusi akan semakin sedikit.
- C. *Travel speed* adalah pengaturan kecepatan untuk mengatur gerak *nozzle* pada saat posisi sedang tidak dalam proses pencetakan.

2.5 Mekanisme Proses Pencetakan 3D

Pencetakan tiga dimensi memiliki tahapan mekanisme yang harus diperhatikan agar dapat berjalan dengan lancar. Adapun mekanisme proses pencetakan tiga dimensi adalah sebagai berikut:

2.5.1 Proses Permodelan Tiga Dimensi

Sebelum melakukan pencetakan tiga dimensi proses permodelan adalah hal pertama yang harus dilakukan. Permodelan tiga dimensi dapat dilakukan menggunakan *software* yang dapat mendesain produk tiga dimensi. Beberapa *software* yang dapat digunakan untuk mendesain permodelan 3D diantaranya Fusion 360, AutoCAD, SolidWorks, dan lain sebagainya. Desain permodelan inilah yang nantinya akan dimasukkan pada *software slicer* yang dapat digunakan untuk mengatur proses pencetakan 3D dengan format STL.

2.5.2 Proses Pencetakan Tiga Dimensi

Proses berikutnya adalah tahap pencetakan tiga dimensi dimana desain permodelan yang telah dibuat akan dimasukkan ke *software slicer* dan akan masuk ke tahap pengaturan parameter yang ada pada *software slicer* tersebut. Kemudian permodelan tersebut akan diubah menjadi *G-code* yang dapat dibaca oleh mesin cetak tiga dimensi dan dilakukanlah proses pencetakan dengan cara lapisan per lapisan hingga terbentuk produk tiga dimensi yang diinginkan.

2.5.3 Proses Penyelesaian

Proses penyelesaian atau biasa dikenal dengan *finishing* merupakan tahap terakhir dari pencetakan tiga dimensi yang dilakukan untuk menyempurnakan bagian bagian yang dianggap belum maksimal kelihatannya. Proses penyelesaian ini bisa berupa penambahan sentuhan warna atau hanya proses penghalusan di beberapa bagian luar produk saja.

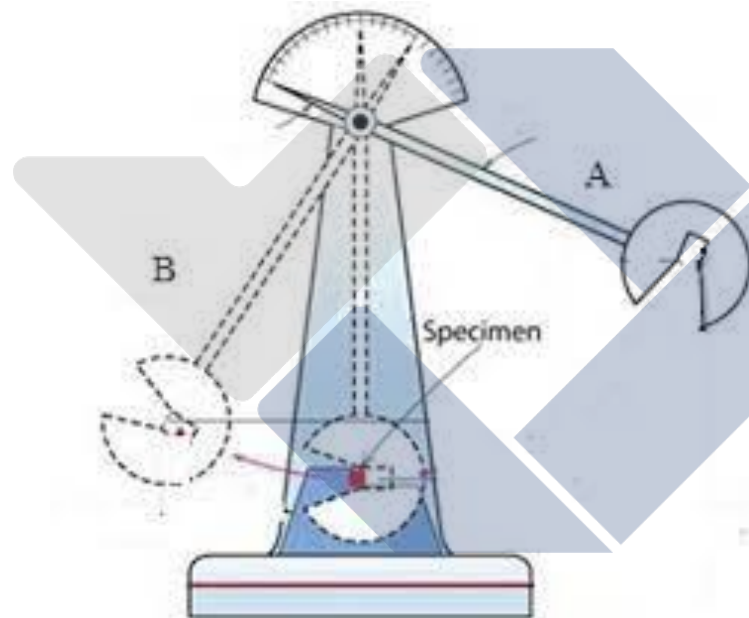
2.6 Impact Test (Uji Kekuatan Impak)

2.6.1 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan pengujian yang digunakan untuk menentukan ketahanan dan kemampuan suatu material untuk rapuh atau kuat berdasarkan sifat ketahanannya (Dieter George E, 1987). Pengujian impak ini tidak dapat membaca hasil kondisi patahnya spesimen uji secara langsung dikarenakan keterbatasannya yang tidak dapat mengukur tegangan gaya 3D yang ada pada spesimen uji

(Nuhgraha, *et al.*, 2020). Pengujian ini merupakan suatu uji dimana beban tidak selalu perlahan menuju spesimen uji melainkan dapat secara tiba tiba. Suatu material dapat dikatakan kuat apabila nilai impact yang ditunjukkan tinggi dengan cara menyerap energi potensial dari pendulum yang bergerak terayun dari ketinggian tertentu sehingga akan menabrak material dan material mengalami perubahan bentuk. Dalam pengujian impact terdapat 2 metode yang menjadi standar pengujian yaitu metode *izod* yang banyak digunakan di Eropa dan metode *charpy* yang biasa digunakan di Amerika.

2.6.2 Uji Impact Metode Charpy



Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Uji Impact Charpy (Nuhgraha, 2020)

Metode *charpy* dalam pengujian impact merupakan pengujian yang sangat penting dalam keperluan masalah keretakan pada kapal selama Perang Dunia kedua. Metode *charpy* ini dikembangkan oleh Georger Charpy yang merupakan seorang ilmuwan di Perancis pada tahun 1905. Menurut (W. Both, 1984), pada saat ini metode *charpy* banyak digunakan oleh industri untuk menguji bahan dan material yang digunakan untuk membangun suatu proyek seperti jembatan atau konstruksi lainnya. Pada uji impact metode ini spesimen uji diletakkan dengan posisi horizontal atau sejajar dengan garis datar pada *anvil* atau penahan spesimen.

Kemudian pendulum atau bandul diarahkan ke bagian belakang takikan yang ada pada spesimen uji lalu spesimen uji diberikan pembebanan secara tiba tiba di arah belakang sisi takik oleh bandul (Tito Endramawan, 2013).

Menurut (ASTM E23-18, 2019) prosedur dalam pengujian impak *charpy* yaitu spesimen uji dikondisikan secara termal dan diletakkan pada penyangga spesimen uji terhadap landasan kemudian pendulum dilepaskan tanpa getaran dan spesimen uji terkena benturan oleh pendulum. Prinsip dari pengujian impak adalah menghitung energi yang dapat diserap oleh benda yang diuji dan menghitung energi yang diberikan oleh pembebanan. Energi yang diserap harus diambil sebagai perbedaan antara energi pada komponen struktur yang menumbuk pada saat tumbukan dengan benda uji dan energi yang tersisa setelah patah benda uji. Nilai energi yang diserap ini ditentukan oleh alat penunjuk yang telah dikoreksi untuk kerugian gesekan total. (Handoyo, 2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa usaha yang dilakukan bandul atau pendulum ketika membentur spesimen uji atau energi yang diserap spesimen uji sampai rapuh yaitu:

$$E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- E : Energi Impak (J)
- m : Berat Pendulum (kg)
- g : Gravitasi 9,81 m/s²
- r : Jarak lengan pengayun (m)
- cos α : Sudut posisi awal pendulum
- cos β : Sudut posisi akhir pendulum

Untuk mengetahui besarnya nilai impak dari pengujian impak yang telah dilakukan maka persamaan di atas harus dibagi dengan luas penampang spesimen (A) atau dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$HI = \frac{E}{A} (Kg m / mm^2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :
HI : Nilai impak (Joule/mm²)
E : Energi Impak (Joule)
A : Luas penampang (mm²)

2.7 Metode Eksperimen Faktorial

Menurut (Robert G.D. Steel, 1989) dalam metode percobaan faktorial menimbulkan efek yang disebabkan oleh variabel bebas atau perlakuan faktorial yang dapat dilihat dari reaksi yang ditunjukkan oleh variabel dependen atau variabel respons. Dapat disimpulkan bahwa metode percobaan faktorial merupakan eksperimen yang perlakuannya terdiri dari semua kemungkinan kombinasi atau percampuran dari beberapa faktor atau perlakuan yang diambil. Dengan kata lain pada metode faktorial ini terdapat lebih dari satu faktorial yang akan diteliti. Perubahan nilai dari variable respons yang berbeda yang dipengaruhi oleh perubahan taraf suatu faktor dengan faktor lainnya dapat dilihat pada metode faktorial ini.

Metode faktorial digunakan karena metode ini dapat menyimpulkan beberapa percobaan faktor tunggal sehingga metode ini dapat menghemat alat, bahan, modal, tenaga kerja dan waktu eksperimen untuk mencapai seluruh sasaran percobaan faktor tunggal sekaligus. Pada metode ini juga dapat diketahui adanya kerja sama antara faktor dan pengaruh dari dua faktor atau lebih. Namun dibalik keunggulan metode faktorial, metode ini masih memiliki kelemahan seperti jika faktor yang diteliti semakin banyak maka kombinasi perlakuannya akan semakin meningkat juga, sehingga menyebabkan ukuran eksperimen semakin besar dan akan berpengaruh pada tingkat ketelitian yang semakin mengecil.

2.8 Dashboard pada mobil

Pencetakan 3D saat ini sangat diminati diberbagai macam bidang industri, salah satunya adalah pada bidang otomotif. Salah satu pengaplikasian pencetakan 3D dapat dilakukan pada *dashboard* yang ada pada mobil. *Dashboard* merupakan bagian interior mobil yang terletak pada bagian depan mobil yang digunakan

sebagai pemisah antara bagian pengemudi dengan bagian depan mobil yang jika keberadaannya ditiadakan maka akan menjadi hal yang bermasalah pada mobil.

(Sapuan *et al.*, 2011) telah melakukan penelitian dan menghasilkan beberapa spesifikasi sifat mekanik yang baik pada *dashboard* mobil yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik pada Dashboard Mobil

Material Properties	Range of value
Density (Kg/m³)	980-1100
Young's Modulus (GPa)	2-6
Tensile Strength (MPa)	20-30

2.9 Penelitian Terdahulu

(Wahyudi Hafizi, 2021) telah melakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik pada spesimen uji yang menggunakan material PLA+ Esun. Peneliti melakukan penelitian dengan menggunakan tingkat kecepatan pencetakan yang berbeda (30mm/s, 35mm/s, 40mm/s, 45mm/s, dan 50mm/s), 5 orientasi pencetakan yang berbeda (0°, 30°, 45°, 60°, dan 90°), suhu *nozzle* yang berbeda dengan perbedaan 5° disetiap suhu (195°, 200°, 205°, 210°, dan 215°), *Cooling speed* yang berbeda dimulai dari 20% hingga 100% dengan perbedaan 20% disetiap presentasenya, dan ketebalan layer yang berbeda (0,10mm, 0,15mm, 0,20mm, 0,25mm, dan 0,30mm). Dari penelitian ini didapatkan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada benda uji nomor 10 dengan *cooling speed* 20%, temperature *nozzle* 215°, kecepatan pencetakan 35mm/s, orientasi pencetakan 45°, dan ketebalan layer 0,10mm dengan nilai sebesar 48,1 MPa.

Penelitian yang dilakukan oleh (Asmar Finali, *et al.*, 2020) menggunakan filamen PLA + berfokus untuk mengetahui pengaruh variasi pola isi spesimen terhadap nilai kekuatan tarik. Pada penelitian ini peneliti menggunakan beberapa parameter seperti *bed temperature* 60°, *extruder temperature* 215°, dan *infill density* 100% dengan 3 jenis *infill pattern* (*triangular*, *rectiliniier*, dan *honeycomb*).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *infill pattern* sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik, hal ini dapat dibuktikan dari hasil penelitian yang memiliki nilai kekuatan tarik yang berbeda pada setiap *infill pattern*. Didapatkan hasil dari penelitian ini bahwa *infill pattern* dengan jenis *triangular* memiliki rerata tertinggi dengan nilai 29,01 N/mm².

Penelitian yang dilakukan oleh (Trisaplin, *et al.*, 2021) menggunakan 15 tipe *infill pattern* dan 3 temperatur *nozzle* (210°, 220°, 230°) sebagai parameter pencetakan. Peneliti melakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter yang dipilih terhadap kekuatan tarik dengan pencetakan vertikal menggunakan filamen PLA PRO. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi 44,2 Mpa yang terdapat pada spesimen uji dengan temperatur *nozzle* sebesar 210° dan jenis *infill pattern 3D honeycomb*. Dengan demikian disimpulkan bahwa parameter yang dipilih peneliti dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik pada spesimen uji.

(Irfany, *et al.*, 2021) telah melakukan penelitian menggunakan filamen PLA yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pada proses pencetakan 3D terhadap nilai kekuatan impact. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 13 jenis tipe pola *infill* dengan 3 level kecepatan pencetakan yang berbeda (40mm/s, 50mm/s, dan 60mm/s). Penelitian ini membuktikan bahwa dengan menggunakan parameter yang berbeda dapat mempengaruhi hasil kekuatan impact spesimen uji. Didapatkan pada penelitian ini menghasilkan nilai kekuatan impact tertinggi sebesar 0,00935 Joule/mm² dengan tipe pola *infill cubic subdivision*, dan kecepatan pencetakan 40mm/s.

Penelitian yang dilakukan oleh (Bowo *et al.*, 2021) memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil dari pengaruh *printing speed*, *infill geometry*, dan *nozzle temperature* terhadap spesimen uji yang dicetak menggunakan filamen St PLA dengan pengujian impact. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 13 tipe *infill geometry*, 3 level *nozzle temperature* (210°, 215°, dan 220°) dan 3 level *printing speed* yang berbeda (30mm/s, 40mm/s, dan 50mm/s).

(Febriansyah Rully *et al.*, 2022) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui parameter proses yang optimal dan menghasilkan kekuatan impact

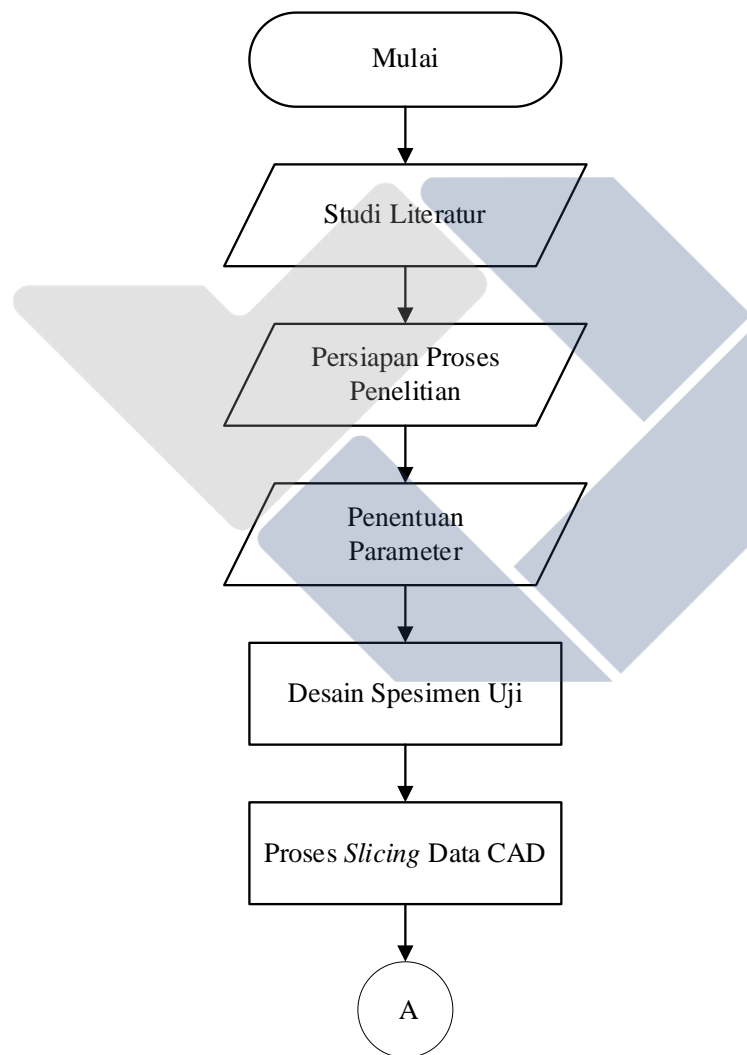
tertinggi pada spesimen uji yang dicetak menggunakan filamen ABS dengan menggunakan *layer thickness* (0.2, 0.25 dan 0.3mm), *wall thickness* (1.5, 2, dan 2.5mm), *printing speed* (55, 60, dan 65mm/s), 3 level suhu pencetakan, suhu bed, *fand speed*, *wall printing speed*, dan *infill overlap*. Pada penelitian ini salah satu hasil yang didapatkan adalah rata-rata nilai kekuatan impak tertinggi yaitu ada pada eksperimen nomor 27 dengan nilai kekuatan impak 0,0039 J/mm².

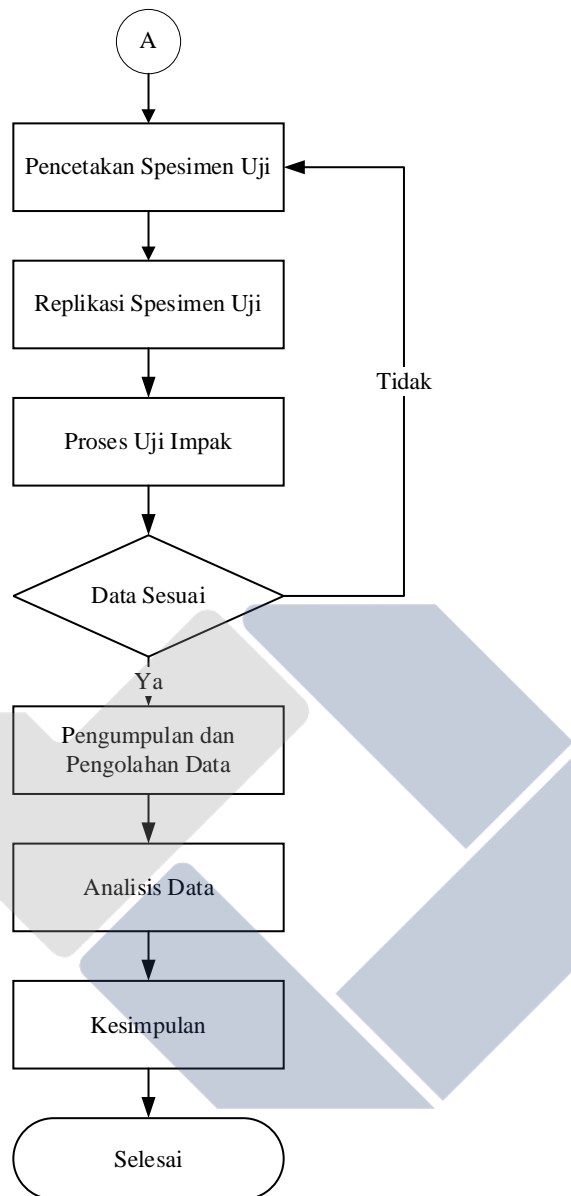


BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan penulis dapat dilihat pada diagram alir yang tertera pada gambar 3.1 dibawah ini:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari teori dan kajian yang terdapat pada buku dan jurnal yang berkaitan dengan mesin 3D *printer* yang nantinya akan digunakan untuk mengidentifikasi masalah, menyusun rencana kerja yang akan dilaksanakan, serta mengambil data penelitian yang ada untuk dijadikan sebagai pembandingan terhadap hasil uji yang akan dianalisis. Pada penelitian kali ini saya

banyak mencari referensi pada jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian saya.

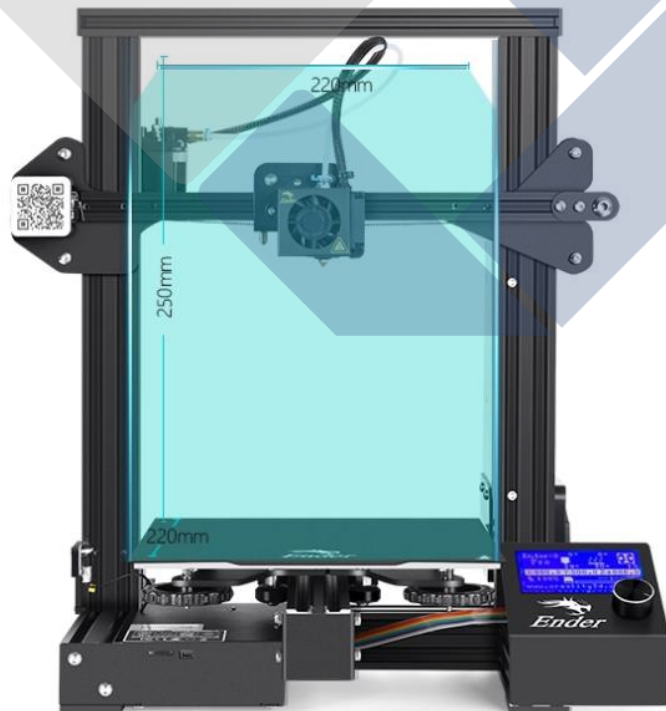
3.3 Persiapan Proses Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, persiapan alat dan bahan serta menentukan parameter proses yang akan digunakan pada penelitian ini perlu dilakukan agar penelitian dapat berjalan dengan lancar sebagaimana mestinya.

3.3.1 Alat dan Bahan

3.3.1.1 Mesin Pencetakan 3 Dimensi

Pada penelitian ini penulis melakukan pencetakan spesimen uji menggunakan mesin cetak 3 dimensi Ender-3 PRO yang terdapat pada gambar 3.2. Mesin Ender-3 PRO ini memiliki spesifikasi seperti yang dicantumkan pada table 3.1.



Gambar 3. 2 Mesin Cetak 3 Dimensi Ender-3 PRO (creality.com)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Cetak 3 Dimensi Ender-3 PRO

Printing Specification	
<i>Build Size</i>	220*220*250
<i>Machine Size</i>	440*440*465
<i>Molding Technology</i>	FDM
<i>Rated Power</i>	270W
<i>Net Weight</i>	7.0 Kg
<i>Nozzle Diameter</i>	0.4 mm
<i>Printing Precision</i>	±0.05mm

3.3.1.2 Material

Jenis material yang dipilih untuk melakukan pencetakan pada spesimen uji dipenelitian ini adalah filamen *Polylactid Acid* PRO (PLA PRO) yang merupakan pengembangan dari filamen PLA PLUS. Filamen PLA PRO ini diproduksi oleh Rajawali 3D dengan bahan utama menggunakan biji jagung dengan gambar spesimen dapat dilihat pada gambar 3.3 dan spesifikasi spesimen dapat dilihat pada table 3.2.



Gambar 3. 3 Filamen *Polylactid Acid* PRO (PLA PRO) (Rajawali3D)

Tabel 3. 2 Spesifikasi Filamen Polylactid Acid PRO (PLA PRO)

Filamen Spesification	
<i>Diameter</i>	1.75mm
<i>Length</i>	330m/kg
<i>Printing Temperature</i>	210 - 235°C
<i>Printing Speed</i>	50 - 100mm/s
<i>Layer Thickness</i>	0.1-0.3mm

3.3.1.3 Mesin Uji Impak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan impak dari spesimen uji yang telah dicetak. Untuk mendapatkan nilai kekuatan impak tersebut peneliti menggunakan mesin uji impak GOTECH model GT-7045 dengan metode *charpy*. Mesin ini digunakan untuk mengetahui nilai β atau nilai sudut akhir pendulum setelah dijatuhkan dari posisi awalnya. Alat uji impak GOTECH ini dapat dilihat pada gambar 3.4 dengan spesifikasi pada table 3.3.



Gambar 3. 4 Mesin Uji Impak GOTECH model GT – 7045

Tabel 3. 3 Spesifikasi Mesin Uji Impak GOTECH model GT – 7045

Spesifikasi Mesin	
Berat Pendulum	2.5 Kg
Jarak Lengan Pengayun	0.4 m
Sudut α	150°

3.4 Penentuan Parameter

Penentuan parameter dilakukan agar spesimen uji yang akan dicetak memiliki standar dan ketentuan tersendiri. Pada penelitian kali penentuan parameter dilakukan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa parameter *infill pattern* dan *nozzle temperature* merupakan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pengujian.

3.4.1 Parameter Proses

Parameter tetap yang digunakan diambil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Trisaplin *et al.*, 2021) dengan parameter berubah yang digunakan yaitu *Nozzle Temperature* dan *Infill Pattern*. Penelitian ini difokuskan untuk menggunakan 3 level *Nozzle Temperature* yaitu dimulai dari 210°C, 220°C, hingga 230°C dengan 16 jenis *Infill Pattern* berdasarkan *software* PrusaSlicer 2.3.1. Adapun jenis dari *Infill Pattern* tersebut yaitu *Aligned rectilinear*, *Gyroid*, *Grid*, *Octagram Spiral*, *Triangles*, *Cubic*, *Concentric*, *Honeycomb*, *Line*, *3D Honeycomb*, *Hilbert Curve*, *Archimedean Chords*, *Adaptive Cubic*, *Rectilinear*, *Stars*, dan *Support Cubic*.

Setelah proses *Study Literature* dan uji coba pencetakan yang telah dilakukan, didapatkan pula beberapa parameter tetap yang akan digunakan pada penelitian ini. Beberapa parameter tetap yang digunakan meliputi orientasi pencetakan, *layer thickness*, *travel speed*, *bed temperature*, dan *printing speed* dapat dilihat pada table 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 4 Parameter Pencetakan

Parameter	Varians level
<i>Infill pattern</i>	Aligned rectilinear, Gyroid, Grid, Octagram Spiral, Triangles, Cubic, Concentric, Honeycomb, Line, 3D Honeycomb, Hilbert Curve, Archimedean Chords, Adaptive Cubic, Rectilinear, Stars, dan Support Cubic.
<i>Bed temperature</i> (°C)	60
<i>Nozzle temperature</i> (cC)	210, 220, 230
<i>Printing Speed</i> (mm/s)	50
<i>Travel speed</i> (mm/s)	100
<i>Layer thickness</i> (mm/s)	0,2
Orientasi pencetakan	HORIZONTAL

3.4.2 Kombinasi Parameter Proses

Metode faktorial adalah metode yang peneliti gunakan dengan jumlah varians level 16 untuk *Infill Pattern* dan 3 untuk *Nozzle Temperature*. Banyaknya jumlah kombinasi parameter proses bisa didapatkan dengan hasil perkalian jumlah varians level satu dengan yang lainnya. Sehingga pada penelitian ini didapatkan 48 jumlah kombinasi parameter proses. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jenis varians level yang paling berpengaruh terhadap hasil pencetakan bahan uji sehingga nantinya memiliki nilai kekuatan impact yang berbeda dan hasil kesimpulannya dapat digunakan sebagai acuan dimasa yang akan datang. Penjabaran dari 48 jumlah kombinasi parameter proses dapat dilihat pada table 3.5.

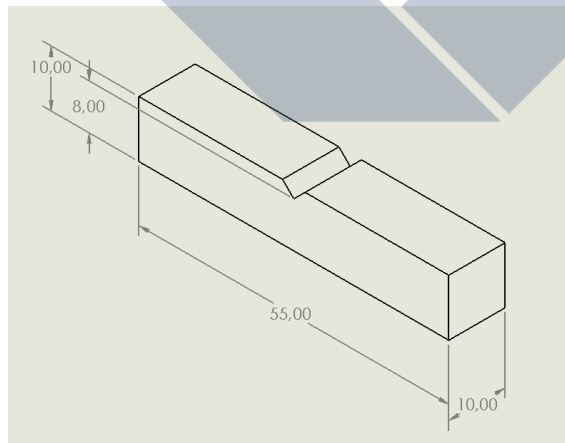
Tabel 3. 5 Kombinasi Parameter Proses Pencetakan

<i>Exp.No</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Orientasi horizontal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill pattern</i>
1	50	0.2	60	100	210	90	80	Rectilinear
2	50	0.2	60	100	210	90	80	Aligned Rectilinear
3	50	0.2	60	100	210	90	80	Grid
4	50	0.2	60	100	210	90	80	Triangles
5	50	0.2	60	100	210	90	80	Stars
6	50	0.2	60	100	210	90	80	Cubic
7	50	0.2	60	100	210	90	80	Line
8	50	0.2	60	100	210	90	80	Concentric
9	50	0.2	60	100	210	90	80	Honeycomb
10	50	0.2	60	100	210	90	80	3D Honeycomb
11	50	0.2	60	100	210	90	80	Gyroid
12	50	0.2	60	100	210	90	80	Hilbert Curve
13	50	0.2	60	100	210	90	80	Archimedean Chords
14	50	0.2	60	100	210	90	80	Octagram Spiral
15	50	0.2	60	100	210	90	80	Adaptive Cubic
16	50	0.2	60	100	210	90	80	Support Cubic
17	50	0.2	60	100	220	90	80	Rectilinear
18	50	0.2	60	100	220	90	80	Aligned Rectilinear
19	50	0.2	60	100	220	90	80	Grid
20	50	0.2	60	100	220	90	80	Triangles
21	50	0.2	60	100	220	90	80	Stars
22	50	0.2	60	100	220	90	80	Cubic
23	50	0.2	60	100	220	90	80	Line
24	50	0.2	60	100	220	90	80	Concentric
25	50	0.2	60	100	220	90	80	Honeycomb
26	50	0.2	60	100	220	90	80	3D Honeycomb
27	50	0.2	60	100	220	90	80	Gyroid
28	50	0.2	60	100	220	90	80	Hilbert Curve
29	50	0.2	60	100	220	90	80	Archimedean Chords
30	50	0.2	60	100	220	90	80	Octagram Spiral
31	50	0.2	60	100	220	90	80	Adaptive Cubic
32	50	0.2	60	100	220	90	80	Support Cubic
33	50	0.2	60	100	230	90	80	Rectilinear
34	50	0.2	60	100	230	90	80	Aligned Rectilinear
35	50	0.2	60	100	230	90	80	Grid
36	50	0.2	60	100	230	90	80	Triangles
37	50	0.2	60	100	230	90	80	Stars
38	50	0.2	60	100	230	90	80	Cubic

<i>Exp.No</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Orientasi horizontal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill patern</i>
39	50	0.2	60	100	230	90	80	Line
40	50	0.2	60	100	230	90	80	Concentric
41	50	0.2	60	100	230	90	80	Honeycomb
42	50	0.2	60	100	230	90	80	3D Honeycomb
43	50	0.2	60	100	230	90	80	Gyroid
44	50	0.2	60	100	230	90	80	Hilbert Curve
45	50	0.2	60	100	230	90	80	Archimedean Chords
46	50	0.2	60	100	230	90	80	Octagram Spiral
47	50	0.2	60	100	230	90	80	Adaptive Cubic
48	50	0.2	60	100	230	90	80	Support Cubic

3.5 Desain Spesimen Uji

Ketentuan spesimen uji adalah berdasarkan (ASTM E23-18, 2019) metode *charpy* yang didesain menggunakan *software* Fusion360 dengan lisensi pelajar yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Desain Spesimen Uji Impak Metode Charpy

Desain spesimen uji yang telah dibuat tersebut kemudian disimpan dengan format file .STL agar dapat dilakukan proses *slicing data*.

3.6 Proses Slicing Data CAD

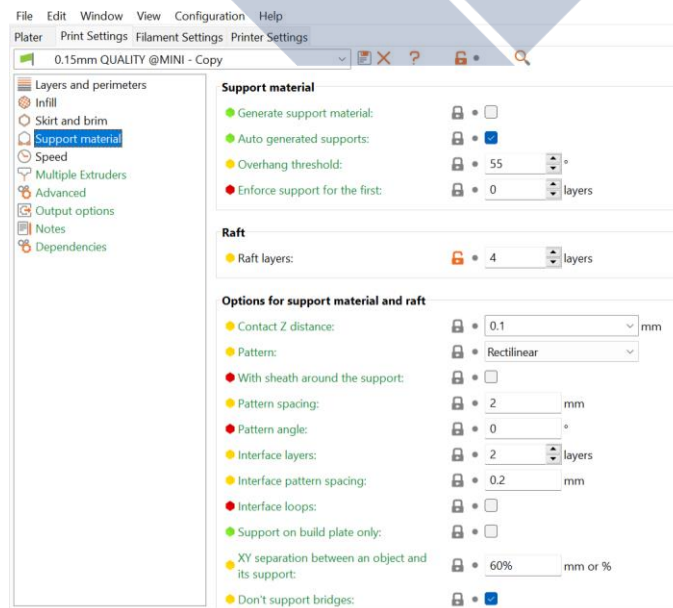
Slicing data dilakukan untuk menyimpan seluruh pengaturan parameter yang telah dilakukan pada software sebelum proses pencetakan dilakukan.

3.6.1 Slicing Permodelan CAD

Sebelum melakukan pencetakan spesimen uji, akan dilakukan proses pembuatan desain pada *software* Fusion360. Setelah selesai pembuatan desain format file akan diganti menjadi .STL (*.stl) agar dapat dilakukan proses *slicing data* yang bertujuan untuk mendapatkan *G-Code* yang digunakan untuk menjalankan mesin pencetakan sesuai dengan desain nantinya. Proses *slicing data* ini juga dapat memberikan informasi lain seperti lebar skirt dan brim setelah pencetakan, jumlah layer, banyaknya material yang digunakan hingga estimasi waktu pencetakan.

Langkah yang harus dilakukan agar dapat melakukan proses *slicing data* pada *software* PrusaSlicer 2.3.1 adalah:

1. Masukkan file dengan format .STL ke *software* PrusaSlicer 2.3.1 dengan cara klik file lalu klik *Open Project* atau *Import .STL*.
2. Lakukan proses pengaturan parameter yang telah ditentukan sebelumnya menggunakan *software* tersebut.



Gambar 3. 6 Pengaturan Parameter Proses (Software PrusaSlicer 2.3.1)

3. Lanjutkan dengan proses *slicing data* dengan menekan kotak *slice now* yang berada pada kanan bawah layer tampilan.
4. Lakukan *export G-Code* apabila proses *slicing data* telah dilakukan. *G-Code* inilah nantinya yang berfungsi untuk dapat memberi perintah kepada mesin cetak untuk dapat membuat spesimen uji sesuai dengan desain dan parameter yang telah ditentukan.

3.7 Pencetakan Spesimen Uji

Proses pencetakan ini sepenuhnya dilakukan oleh mesin cetak 3 dimensi yang pada penelitian ini menggunakan mesin Ender-3 PRO. Proses pencetakan dilakukan berdasarkan dengan perintah dari *G-Code* yang telah dimasukkan pada mesin pencetakan menggunakan kartu memori. Adapun langkah yang dilakukan untuk mesin dapat mencetak spesimen uji adalah:

1. Pasanglah filamen *Polylactid Acid* PRO (PLA PRO) yang digunakan sebagai material untuk membuat spesimen uji pada penelitian ini.
2. Masukkan ujung filamen ke lubang tempat filamen yang telah disediakan hingga filamen penuh mengisi selang penghubung lubang dan *nozzle*.
3. Masukkan kartu memori yang telah berisi *G-Code* ke mesin pencetakan lalu nyalakan mesin dengan cara menghubungkan kabel ke sumber listrik dan menekan tombol *power*.
4. Setelah mesin menyala tekan tombol utama lalu putar searah jarum jam hingga menunjuk pada pilihan *prepare*. Kemudian pilihlah menu *preheat PLA*, dan proses awal pemanasan filamen dimulai.
5. Setelah proses *preheat* selesai lanjutkan dengan proses pencetakan dengan cara tekan tombol utama, lalu putar searah jarum jam dan pilih menu *Print from TF*. Pilihlah file yang ingin dicetak dengan cara memutar tombol searah jarum jam dan tekan tombol jika sudah menemukan file yang diinginkan.
6. Pada awal proses pencetakan, mesin akan menuju titik 0 sesuai dengan pengaturannya kemudian melakukan pemanasan *bed* dan *nozzle* sesuai dengan suhu yang telah diatur pada *software*. Selanjutnya mesin akan

secara otomatis mencetak spesimen yang diawali dengan pencetakan *skirt* dan *brim* dan setelah itu mesin akan mencetak spesimen yang diinginkan.

7. Setelah pencetakan selesai sesuai dengan estimasi waktu yang diberikan, lepaskan spesimen uji yang sudah selesai dengan menggunakan alat bantu berbentuk seperti sekrap dinding.
8. Bersihkan spesimen uji dari tempelan *skirt* dan *brim* atau kotoran lain yang menempel pada spesimen uji. Lalu lakukan penandaan pada spesimen uji sesuai dengan table kombinasi parameter proses.
9. Lakukan proses ini secara berulang hingga seluruh kombinasi parameter proses selesai dicetak.

3.8 Replikasi Spesimen Uji

Untuk membuktikan bahwa penelitian yang dilakukan ini memiliki hasil yang akurat maka dibutuhkan replikasi dari spesimen uji. Sebagai contoh spesimen uji dengan *infill pattern rectilinear* yang menggunakan *nozzle temperature* 210°C tidak hanya dicetak satu kali saja, akan tetapi akan dicetak sebanyak tiga kali. Maka dari itu jumlah keseluruhan spesimen uji nantinya adalah 144 spesimen uji.

3.9 Proses Uji Impak

Proses pengujian impak dilakukan apabila seluruh proses pencetakan telah selesai dilakukan. Pengujian impak ini menggunakan mesin uji impak manual GOTECH model GT-7045 yang dilakukan untuk mendapatkan nilai sudut akhir setelah pendulum dilepaskan. Adapun proses pengujian impak dilakukan dengan cara berikut:

1. Persiapkan mesin uji impak dan spesimen uji yang akan diuji kekuatannya.
2. Letakkan spesimen uji pada tempat yang telah disediakan dengan posisi sudut takik spesimen uji menghadap ke depan. Hal ini dilakukan agar spesimen uji dapat patah dengan sesuai dikarenakan bagian yang terkena pendulum adalah bagian yang bersebrangan dengan sudut takik.

3. Sebelum melakukan pengujian impak, posisikan bandul penunjuk sudut ke arah 0° .
4. Setelah itu letakkan pendulum pada posisi awal dan jika sudah siap dilakukan pengujian maka lepaskan pendulum hingga membentur spesimen uji dan terjadi patahan pada spesimen uji.
5. Perhatikan dan catatlah posisi β atau sudut akhir pendulum pada saat terjadi patahan. Nilai sudut inilah yang nantinya akan diolah hingga menemukan nilai kekuatan impak setiap spesimen uji.
6. Lakukan hal ini secara berulang hingga seluruh spesimen uji selesai dilakukan pengujian impak.

Adapun proses pengujian impak dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 7 Proses Uji Impak

3.10 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Setelah melakukan proses pengujian impak, data yang didapatkan harus dikumpulkan dan diolah kembali menggunakan rumus yang telah ditentukan. Langkah pertama adalah proses perhitungan E atau energi impak dengan rumus yang ada. Setelah mendapatkan nilai E barulah nilai kekuatan impak dapat dihitung menggunakan cara pembagian nilai E dengan luas penampang spesimen uji dibawah takikan.

Apabila nilai kekuatan impact telah didapatkan, maka selanjutnya data akan diproses kembali menjadi sebuah grafik yang akan digunakan untuk menganalisa hasil kekuatan impact yang didapatkan.

3.11 Analisis Data

Data yang telah selesai diproses dan dijadikan sebuah grafik kemudian akan dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan hasil akhir yang diinginkan. Dalam proses ini analisa dilakukan dengan metode eksperimen langsung pada data yang telah disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat pengaruh *nozzle temperature* dan *infill pattern* terhadap nilai kekuatan impact dengan menggunakan sudut pencetakan horizontal dengan menunjukkan nilai kekuatan impact tertinggi dan nilai kekuatan impact terendah.

3.12 Kesimpulan

Setelah penelitian selesai dilakukan dan sudah mendapat hasil yang diinginkan, maka dibuatlah kesimpulan akhir seluruh penelitian.

BAB IV

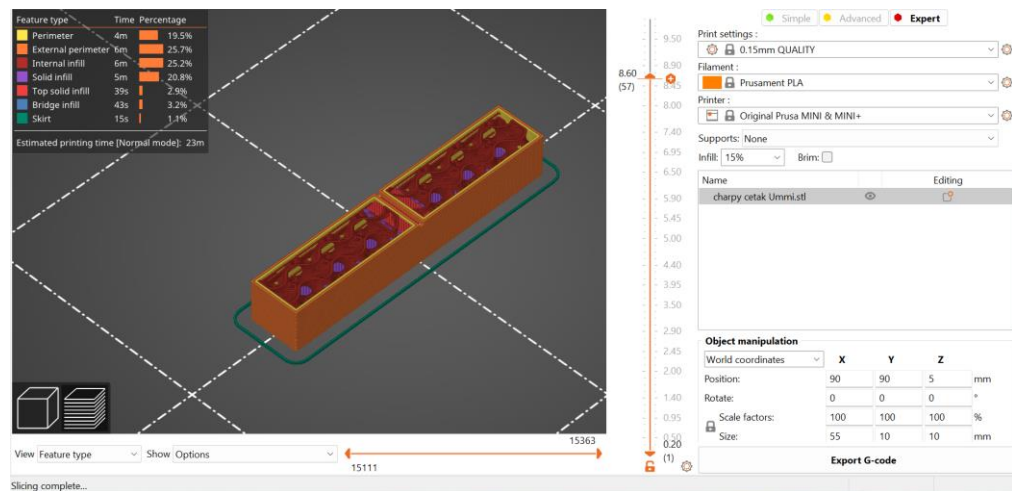
PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Spesimen uji yang telah dicetak menggunakan mesin cetak 3 dimensi Ender-3 PRO dengan filamen yang diproduksi oleh Rajawali 3D yaitu PLA PRO, selanjutnya dilakukan proses uji impact untuk mengetahui nilai kekuatan impact. Proses pengujian impact ini menggunakan mesin uji impact GOTECH model GT – 7045. Setelah mendapatkan data pada pengujian impact, selanjutnya akan dilakukan analisa dan pengolahan data yang kemudian akan ditarik kesimpulan mengenai parameter yang paling sesuai untuk mewujudkan kekuatan impact yang diinginkan.

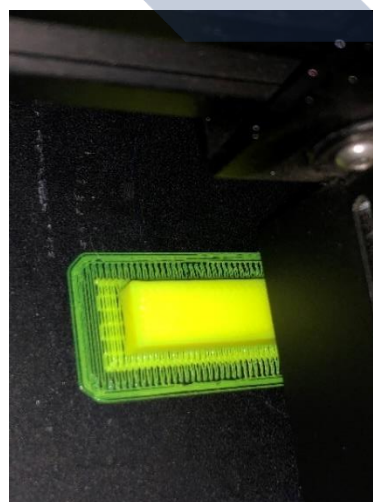
4.2 Proses Pengambilan Data

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan proses pengambilan data. Salah satu langkah yang pertama kali dilakukan adalah menentukan parameter proses pencetakan melalui studi literatur dan beberapa percobaan awal hingga mendapatkan parameter proses yang akan digunakan. Setelah itu dilanjutkan dengan membuat pemodelan spesimen yang akan diuji menggunakan *software* Fusion360 berdasarkan ASTM E23-18 sebagai acuannya. Format gambar 3D yang telah dibuat harus berupa STL agar dapat dimasukkan ke *software* pembuat bahasa pemrograman. Setelah itu file STL masuk ke proses *slicing* menggunakan *software* PrusaSlicer 2.3.1 yang nantinya akan menghasilkan *G-code* agar dapat dibaca oleh pemrograman mesin cetak 3D untuk mencetak spesimen uji. Pada proses inilah parameter proses yang digunakan pada penelitian akan diatur. Proses *slicing* file dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Proses Slicing File STL

Setelah didapatkan *G-code* pada proses *slicing*, selanjutnya dilakukan tahap persiapan pada mesin seperti pemasangan filamen pada mesin cetak 3D, memasukkan kartu memori yang berisi *G-code* ke dalam mesin 3D dan proses kalibrasi mesin agar *bed* pada mesin tetap dalam keadaan normal. Apabila semua tahap persiapan telah selesai dilakukan dan mesin sudah siap melakukan pencetakan, maka proses selanjutnya adalah proses pencetakan spesimen yang akan diuji dengan jumlah 48 spesimen uji dengan 3 replikasi sesuai dengan parameter proses yang sudah ditentukan sebelumnya. Gambar pencetakan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 4.2.



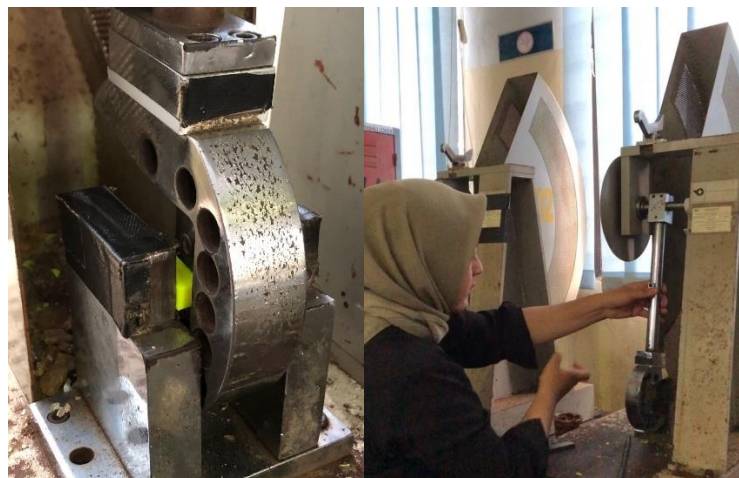
Gambar 4. 2 Proses pencetakan Spesimen Uji

Setelah pencetakan selesai dilakukan, maka total spesimen uji yang didapatkan adalah sebanyak 144 spesimen uji. Kemudian spesimen uji tersebut masuk ke proses pengujian impact untuk diketahui sudut akhir pendulum pada saat menabrak benda uji.

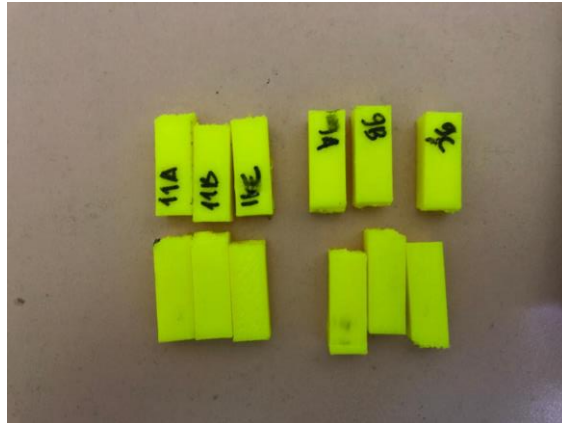


Gambar 4. 3 Hasil Pencetakan Spesimen Uji

Apabila pencetakan telah selesai, kemudian akan dilakukan pengujian impact untuk mendapatkan nilai sudut akhir pendulum pengujian impact seluruh spesimen uji. Mesin uji impact yang peneliti gunakan pada penelitian ini yaitu mesin uji impact GOTECH model GT – 7045. Proses pengujian impact dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 4 Proses Pengujian Impact



Gambar 4. 5 Spesimen Uji yang Telah Diuji Impak

4.3 Hasil Pengujian Impak

Setelah dilakukan proses pengujian impak menggunakan mesin uji impak GOTECH model GT – 7045 pada seluruh spesimen uji yang bermaterial PLA PRO, didapatkan sudut akhir pendulum yang bervariasi pada setiap spesimennya setelah proses pengujian impak. Nilai sudut akhir pendulum dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai Sudut Akhir Pendulum

Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature (°C)	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
1	210	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	136	135	135	135
2	210	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	144	145	145	145
3	210	0.2	60	100	50	90	80	Grid	143	145	143	144
4	210	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	135	135	135	135
5	210	0.2	60	100	50	90	80	Stars	146	147	147	147
6	210	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	145	145	145	145
7	210	0.2	60	100	50	90	80	Line	144	144	143	144
8	210	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	145	146	146	146
9	210	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	145	145	144	145
10	210	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	140	139	139	139
11	210	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	144	144	144	144

Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature (°C)	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
12	210	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	144	145	144	144
13	210	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	145	146	146	146
14	210	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	146	145	145	145
15	210	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	146	145	146	146
16	210	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	145	145	146	145
17	220	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	145	145	145	145
18	220	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	144	143	144	144
19	220	0.2	60	100	50	90	80	Grid	122	121	122	122
20	220	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	146	146	145	146
21	220	0.2	60	100	50	90	80	Stars	145	145	145	145
22	220	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	145	145	146	145
23	220	0.2	60	100	50	90	80	Line	139	139	140	139
24	220	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	110	110	109	110
25	220	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	136	135	136	136
26	220	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	98	97	97	97
27	220	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	132	132	131	132
28	220	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	144	145	144	144
29	220	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	145	144	145	145
30	220	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	145	145	146	145
31	220	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	145	145	144	145
32	220	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	142	141	141	141
33	230	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	45	44	45	45
34	230	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	42	42	41	42
35	230	0.2	60	100	50	90	80	Grid	126	127	127	127
36	230	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	125	126	126	126
37	230	0.2	60	100	50	90	80	Stars	142	141	141	141
38	230	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	113	112	114	113
39	230	0.2	60	100	50	90	80	Line	134	133	135	134

Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature (°C)	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
40	230	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	59	60	60	60
41	230	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	141	142	140	141
42	230	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	37	36	36	36
43	230	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	41	39	40	40
44	230	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	56	57	57	57
45	230	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	62	63	62	62
46	230	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	144	143	144	144
47	230	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	51	52	51	51
48	230	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	135	135	134	135

4.4 Perhitungan Uji Impak

Setelah dilakukan proses pengujian impak, maka didapatkan sudut posisi akhir pendulum setelah dilakukan uji impak setiap spesimen uji. Nilai sudut akhir pendulum ini dimasukkan sebagai nilai $\cos\beta$ pada rumus yang digunakan untuk mengetahui nilai akhir pengujian impak setiap spesimen uji. Energi impak adalah sebuah energi yang menyatakan nilai atau besarnya energi yang diserap sebuah spesimen uji sehingga spesimen tersebut dapat patah pada saat pengujian. Rumus yang digunakan dalam proses perhitungan nilai energi impak adalah:

$$E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan :

- E : Energi Impak (J)
- m : Berat Pendulum (kg)
- g : Gravitasi 9,81 m/s²
- r : Jarak lengan pengayun (m)
- $\cos\alpha$: Sudut posisi awal pendulum
- $\cos\beta$: Sudut posisi akhir pendulum

Untuk mendapatkan nilai dari berat pendulum, sudut posisi awal pendulum dan jarak lengan pengayun dibutuhkan informasi dari mesin uji impact yang akan digunakan. Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan mesin uji impact GOTECH model GT – 7045, maka nilai dari berat pendulum, sudut posisi awal pendulum dan jarak lengan pengayun secara berurutan adalah 2,5 kg, 150° dan 0,4 m.

Sehingga nilai dari E atau nilai impact yang diperlukan untuk spesimen rapuh adalah:

$$E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots (4.2)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos136 - \cos150) = \dots\dots\dots (4.3)$$

$$E = 9,81 (\cos136 - \cos150) = \dots\dots\dots (4.4)$$

$$E = 9,81 (-0,71933 - 0,866025) = 1,43898 \dots\dots\dots (4.5)$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan nilai usaha sebesar nilai di atas. Kemudian nilai ini akan dibagi dengan luas penampang dibawah takikan spesimen uji. Perhitungan ini dilakukan sebagai contoh untuk mengetahui nilai kekutan impact dari spesimen yang telah diuji dengan data yang digunakan adalah eksperimen nomor 1 pengujian ke 1. Kemudian dilakukan perhitungan selanjutnya sebagai berikut:

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2) \dots\dots\dots (4.6)$$

$$HI = \frac{1,43898}{80} (J / mm^2) \dots\dots\dots (4.7)$$

$$HI = 0,01798 (J / mm^2) \dots\dots\dots (4.8)$$

- Dimana :
- HI : Nilai impact (J/mm²)
 - E : Energi Impact (J)
 - A : Luas penampang (mm²)

Setelah dilakukan perhitungan maka spesimen uji nomor 1 pengujian ke 1 memiliki nilai kekuatan impact sebesar 0,01798 J/mm². Untuk mengetahui nilai kekuatan impact lainnya, maka dilakukan perhitungan yang sama seperti pada contoh perhitungan di atas. Hasil nilai kekuatan impact seluruh spesimen uji dapat dilihat pada table 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai kekuatan impact

Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
1	210	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	0,018	0,019	0,019	0,019
2	210	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	0,007	0,006	0,006	0,006
3	210	0.2	60	100	50	90	80	Grid	0,008	0,006	0,008	0,007
4	210	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	0,019	0,019	0,019	0,019
5	210	0.2	60	100	50	90	80	Stars	0,005	0,003	0,003	0,003
6	210	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	0,006	0,006	0,006	0,006
7	210	0.2	60	100	50	90	80	Line	0,007	0,007	0,008	0,007
8	210	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	0,006	0,005	0,005	0,005
9	210	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	0,006	0,006	0,007	0,006
10	210	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	0,012	0,014	0,014	0,014
11	210	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	0,007	0,007	0,007	0,007
12	210	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	0,007	0,006	0,007	0,007
13	210	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	0,006	0,005	0,005	0,005
14	210	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	0,005	0,006	0,006	0,005
15	210	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	0,005	0,006	0,005	0,005
16	210	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	0,006	0,006	0,005	0,005
17	220	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	0,006	0,006	0,006	0,006

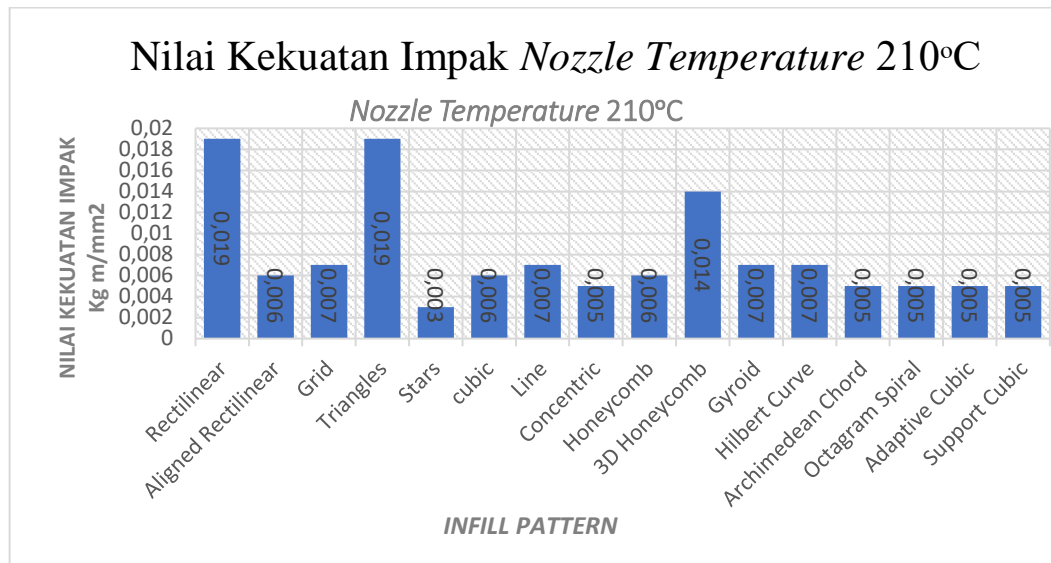
Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
18	220	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	0,007	0,008	0,007	0,007
19	220	0.2	60	100	50	90	80	Grid	0,041	0,043	0,041	0,042
20	220	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	0,005	0,005	0,006	0,005
21	220	0.2	60	100	50	90	80	Stars	0,006	0,006	0,006	0,006
22	220	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	0,006	0,006	0,005	0,005
23	220	0.2	60	100	50	90	80	Line	0,014	0,014	0,012	0,013
24	220	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	0,064	0,064	0,066	0,065
25	220	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	0,018	0,019	0,018	0,018
26	220	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	0,089	0,091	0,091	0,091
27	220	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	0,024	0,024	0,026	0,025
28	220	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	0,007	0,006	0,007	0,007
29	220	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	0,006	0,007	0,006	0,006
30	220	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	0,006	0,006	0,005	0,005
31	220	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	0,006	0,006	0,007	0,006
32	220	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	0,010	0,011	0,011	0,010
33	230	0.2	60	100	50	90	80	Rectilinear	0,193	0,194	0,193	0,193
34	230	0.2	60	100	50	90	80	Aligned Rectilinear	0,197	0,197	0,199	0,198
35	230	0.2	60	100	50	90	80	Grid	0,034	0,032	0,032	0,033
36	230	0.2	60	100	50	90	80	Triangles	0,036	0,034	0,034	0,035
37	230	0.2	60	100	50	90	80	Stars	0,010	0,011	0,011	0,010
38	230	0.2	60	100	50	90	80	Cubic	0,058	0,060	0,056	0,058
39	230	0.2	60	100	50	90	80	Line	0,021	0,023	0,019	0,021
40	230	0.2	60	100	50	90	80	Concentric	0,169	0,168	0,168	0,168

Exp.No	Nozzle temperature (°C)	Layer thickness (mm)	Bed temperature	Travel Speed (mm/s)	Printing Speed (mm/s)	Orientasi horizontal (°)	Infill density (%)	Infill pattern	Hasil pengujian ke-			
									1	2	3	Rata-rata
41	230	0.2	60	100	50	90	80	Honeycomb	0,011	0,010	0,012	0,011
42	230	0.2	60	100	50	90	80	3D Honeycomb	0,204	0,205	0,205	0,205
43	230	0.2	60	100	50	90	80	Gyroid	0,199	0,201	0,200	0,200
44	230	0.2	60	100	50	90	80	Hilbert Curve	0,175	0,173	0,173	0,174
45	230	0.2	60	100	50	90	80	Archimedean Chords	0,164	0,162	0,164	0,163
46	230	0.2	60	100	50	90	80	Octagram Spiral	0,007	0,008	0,007	0,007
47	230	0.2	60	100	50	90	80	Adaptive Cubic	0,183	0,182	0,183	0,183
48	230	0.2	60	100	50	90	80	Support Cubic	0,019	0,019	0,021	0,020

4.5 Analisa Hasil Uji Impak

4.5.1 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, Nozzle Temperature 210°C dan 16 Tipe Infill Pattern

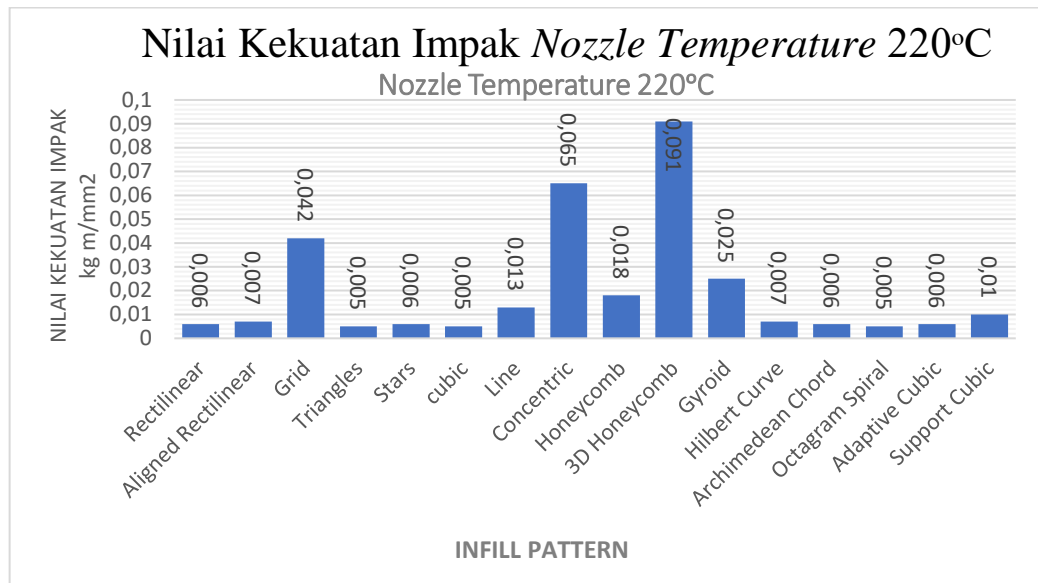
Dapat diperhatikan dari grafik yang disajikan bahwa hasil yang didapatkan dari pengujian kekuatan impak yang menggunakan parameter proses 16 tipe *infill pattern*, 3 level *nozzle temperature* dan dicetak dengan sudut 90° atau secara horizontal, membuktikan bahwa nilai kekuatan impak dari masing masing spesimen berbeda. Perbedaan yang dapat dilihat langsung menunjukkan bahwa hasil nilai kekuatan impak bervariasi mulai dari yang terendah hingga yang tertinggi. Dengan hasil data yang ada, didapatkan pencetakan dengan nilai kekuatan impak terkecil pada suhu pencetakan 210° yaitu menggunakan *infill pattern stars* dengan rata-rata nilai kekuatan impak adalah 0,003 J/mm² dan rata-rata nilai kekuatan tertinggi ditunjukkan pada 2 jenis *infill pattern* yaitu *Rectilinear* dan *Triangles* sebesar 0,019 J/mm². Perbedaan rata-rata nilai kekuatan impak yang dinyatakan pada analisa ini dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Kekuatan Impak *Nozzle temperature* 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 *Infill Pattern*

4.5.2 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, *Nozzle Temperature* 220°C dan 16 Tipe *Infill Pattern*

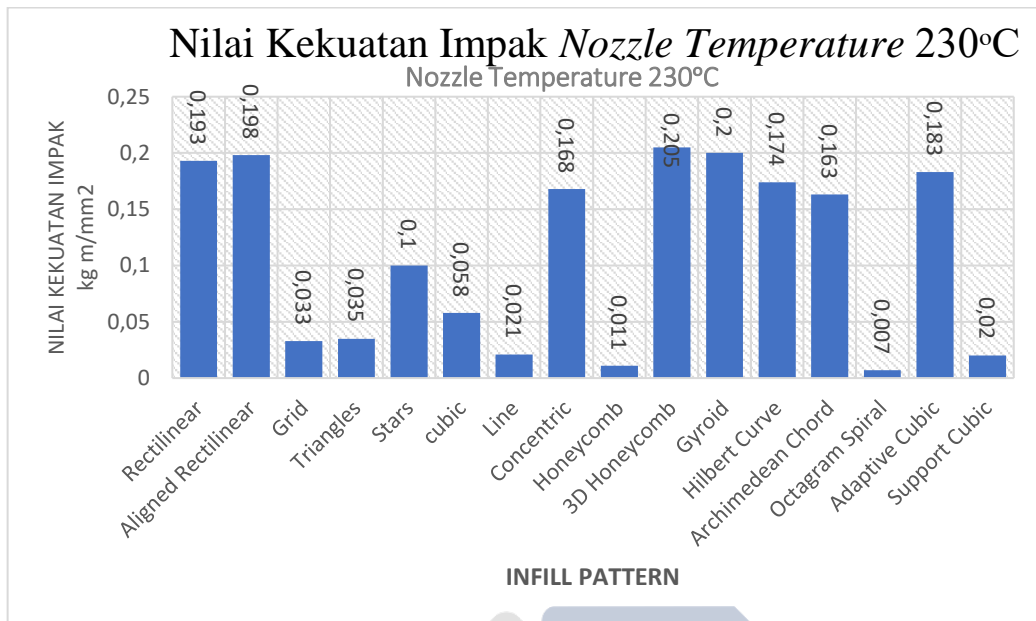
Dari hasil pengujian kekuatan impak spesimen uji yang telah dicetak sebelumnya menggunakan 16 *infill pattern*, *nozzle temperature* 220°C, serta posisi pencetakan secara horizontal atau dengan sudut 90°, didapatkan perbedaan yang signifikan pada nilai kekuatan impak dari masing masing spesimen uji. Perbedaan yang terlihat jelas yaitu adanya kekuatan impak terendah dan yang tertinggi dari 16 tipe *infill pattern* yang telah dicetak. Didapatkan nilai kekuatan impak terendah adalah pada *infill pattern triangles* dengan rata rata nilai 0,003 J/mm². Sedangkan untuk rata rata nilai kekuatan impak tertinggi ada pada *infill pattern 3D honeycomb* yaitu sebesar 0,091 J/mm². Adapun rata-rata nilai kekuatan impak yang dijabarkan pada analisa ini dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Kekuatan Impak Nozzle temperature 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 Infill Pattern

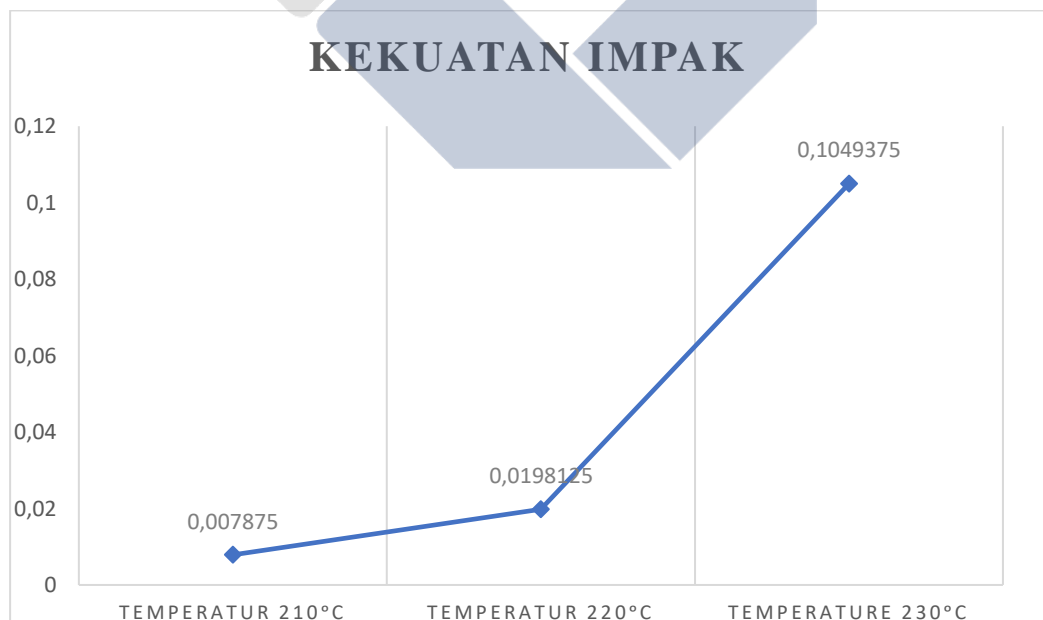
4.5.3 Analisa Hasil Menggunakan Parameter Proses Orientasi Pencetakan 90°, Nozzle Temperature 230°C dan 16 Tipe Infill Pattern

Dapat dilihat dari hasil pengujian kekuatan impak spesimen uji yang telah dicetak sebelumnya menggunakan parameter proses 16 *infill pattern*, nozzle temperature 230°C, serta posisi pencetakan secara horizontal atau dengan sudut 90°, didapatkan perbedaan yang sangat signifikan pada nilai kekuatan impak dari masing masing spesimen uji. Perbedaan yang terlihat jelas yaitu adanya kekuatan impak terendah dan yang tertinggi dari 16 tipe *infill pattern* yang telah dicetak. Didapatkan nilai kekuatan impak terendah adalah pada *infill pattern octagram spiral* dengan rata rata nilai 0,007 J/mm². Sedangkan untuk rata rata nilai kekuatan impak tertinggi ada pada *infill pattern 3D honeycomb* yaitu sebesar 0,205 J/mm². Adapun rata-rata nilai kekuatan impak yang dijabarkan pada analisa ini dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Kekuatan Impak *Nozzle temperature 210°C, Orientasi Pencetakan 90° dan 16 Infill Pattern*

4.5.4 Analisa Rata-rata Nilai Hasil Kekuatan Impak Berdasarkan Suhu Pencetakan



Gambar 4. 9 Grafik Rata-rata Kekuatan Impak Berdasarkan *Nozzle temperature (210°C, 220°C, dan 230°C)*

Pada gambar 4.9 terdapat suatu grafik yang berfungsi untuk menunjukkan bahwa *nozzle temperature* berpengaruh terhadap nilai kekuatan impak pada spesimen uji yang telah dicetak menggunakan mesin Ender-3 PRO dengan material PLA PRO. Data yang diperoleh dari hasil proses pengujian impak spesimen uji yang dicetak dengan sudut pencetakan 90° ini kemudian diolah kembali serta dirata-ratakan sesuai dengan tingkatan *nozzle temperature* yang digunakan pada saat pencetakan.

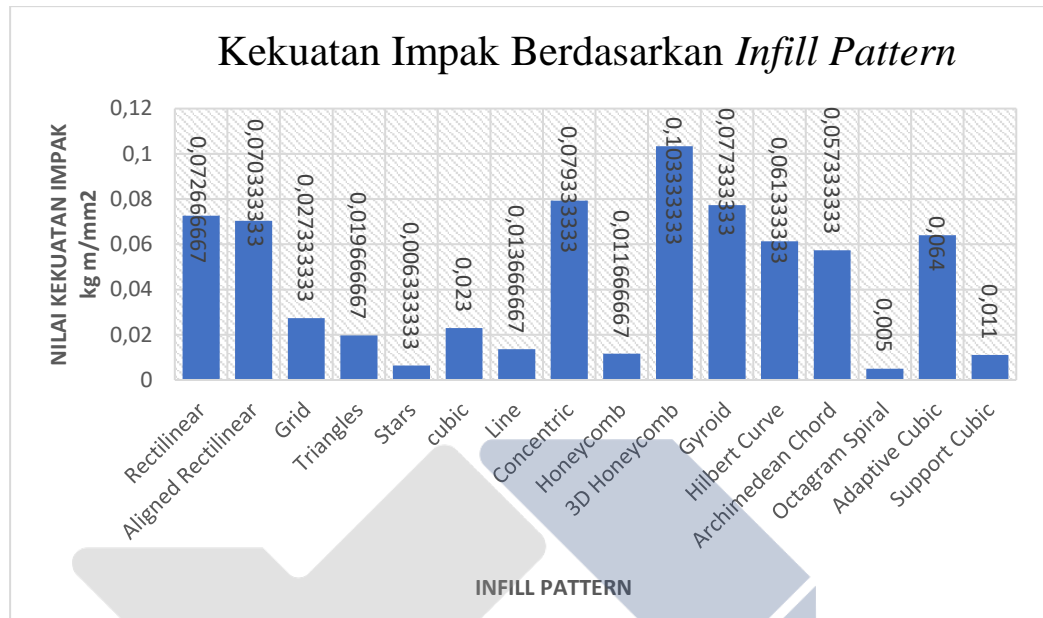
Dapat dilihat berdasarkan data yang ditunjukkan oleh grafik menandakan bahwa *nozzle temperature* memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai kekuatan impak pada setiap spesimen uji. Pada grafik dapat dinyatakan secara langsung bahwa pada 3 level *nozzle temperature* yang digunakan semakin tinggi suhu pencetakan suatu spesimen maka akan semakin meningkat pula nilai kekuatan impak spesimen tersebut.

Grafik tersebut menyatakan bahwa pada satu level *nozzle temperature* memiliki nilai yang cukup jauh dengan level *nozzle temperature* yang lainnya. Dapat dilihat pada gambar dinyatakan bahwa pada level suhu 210°C memiliki nilai rata-rata terendah, sedangkan pada level suhu 230°C memiliki nilai rata-rata tertinggi. Dapat disimpulkan bahwa perbedaan rata-rata setiap level suhu sangat bervariasi. Pada suhu 210°C memiliki rata-rata nilai kekuatan sebesar 0,007875 J/mm², kemudian meningkat 0,011938 menjadi 0,0198125 J/mm² pada suhu 220°C, kemudian meningkat lagi 0,085125 menjadi 0,1049375 J/mm² pada suhu 230°C. Hal ini membuktikan bahwa pada *nozzle temperature* 230°C menjadi nilai rata-rata kekuatan impak tertinggi pada penelitian ini.

4.5.5 Analisa Rata-rata Nilai Hasil Kekuatan Impak *Infill Pattern*

Terdapat suatu grafik pada gambar 2.10 yang berfungsi untuk menunjukkan bahwa *infill pattern* memiliki pengaruh terhadap nilai kekuatan impak pada spesimen uji yang telah dicetak menggunakan mesin Ender-3 PRO dengan material PLA PRO. Data yang diperoleh dari hasil proses pengujian impak spesimen uji yang dicetak dengan pencetakan horizontal dan menggunakan 16 tipe *infill pattern*

ini kemudian diolah kembali serta dirata-ratakan sesuai dengan tipe *infill pattern* yang digunakan pada saat pencetakan.



Gambar 4. 10 Grafik Berdasarkan Infill Pattern

Dapat dilihat berdasarkan gambar 4.10 ditunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan impact yang signifikan dari masing-masing spesimen uji. Dengan selisih yang cukup jauh antara rata-rata nilai kekuatan impact terendah dan kekuatan impact tertinggi didapatkan bahwa *infill pattern octagram spiral* memiliki nilai rata-rata kekuatan impact terendah dengan nilai 0,005 J/mm². Dengan selisih sekitar 0,097666, *infill pattern 3D honeycomb* menjadi rata-rata nilai kekuatan impact tertinggi dengan nilai 0,103333 J/mm².

Sehingga berdasarkan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa *infill pattern* sangat mempengaruhi nilai kekuatan impact pada setiap spesimen uji yang telah dicetak.

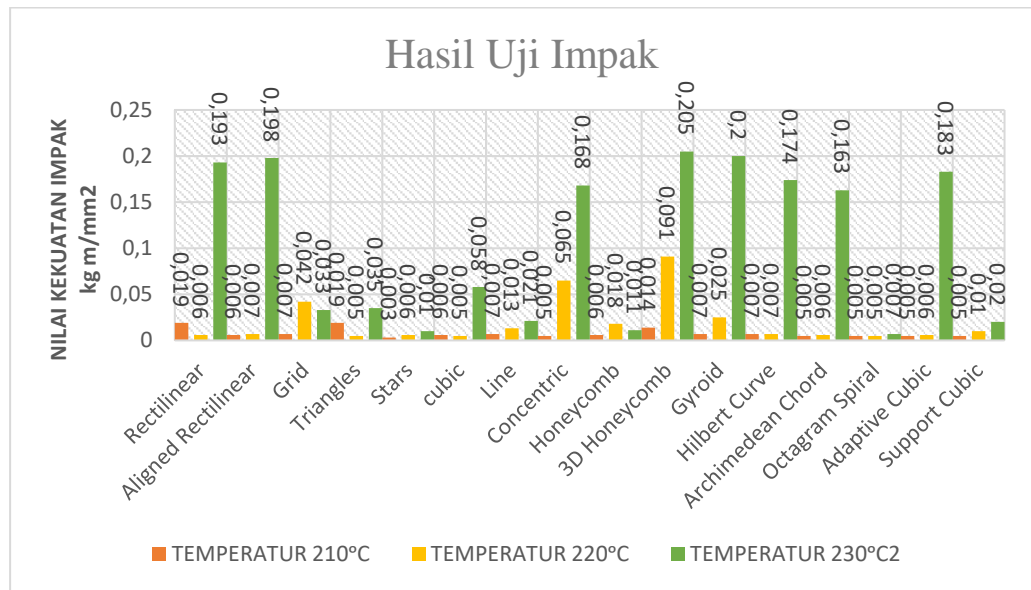
4.5.6 Analisa Nilai Hasil Pengujian Kekuatan Impact

Seluruh data yang dihasilkan dari proses pengujian kekuatan impact menggunakan parameter tetap seperti *travel speed* 100 mm/s, *infill density* 80%, *layer thickness* 0.2mm, dan *bed temperature* 60°C. Serta menggunakan parameter

bebas atau parameter berubah yaitu 3 level *nozzle temperature* (210°C, 220°C, dan 230°C), pencetakan horizontal atau dengan sudut 90°, dan 16 tipe *infill pattern*.

Dapat dilihat berdasarkan data hasil pengujian impact pada penelitian ini yang menggunakan parameter seperti sudut orientasi, *infill pattern*, dan *nozzle temperature*, memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada hasil nilai kekuatan impact. Hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan pada setiap spesimen uji yang telah dilakukan pengujian impact. Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa perbedaan setiap nilai kekuatan impact sangat bervariasi dari yang terendah hingga tertinggi. Berdasarkan grafik nilai kekuatan impact, dapat dinyatakan bahwa nilai kekuatan impact spesimen yang terendah diperoleh spesimen uji nomor 11 dengan menggunakan parameter *nozzle temperature* 210°C, *infill pattern stars*, dan pencetakan horizontal dengan nilai kekuatan impact sebesar 0,003 J/mm². Sedangkan untuk nilai kekuatan impact tertinggi diperoleh spesimen uji nomor 10 dengan parameter *nozzle temperature* 230°C, *infill pattern 3D honeycomb*, dan pencetakan horizontal dengan nilai kekuatan impact sebesar 0,205J/mm².

Pada grafik yang disajikan dapat dilihat bahwa pada *nozzle temperature* 210°C memiliki nilai yang sangat jauh dibandingkan dengan *nozzle temperature* 230°C. Walaupun pada data yang disajikan terdapat penurunan nilai kekuatan impact pada beberapa *infill pattern* seperti *rectilinear* disuhu 210°C ke 220°C, *grid* disuhu 220°C ke 230°C, *triangles* disuhu 210°C ke 220°C, *cubic* disuhu 210°C ke 220°C dan *honeycomb* disuhu 220°C ke 230°C, akan tetapi penurunan tersebut tidak memiliki selisih yang terlalu jauh dengan jumlah selisih paling besar terdapat pada *triangles* disuhu 210°C ke 220°C yaitu mengalami penurunan terbesar sebanyak 0,014. Maka dari itu dapat disimpulkan kembali bahwa pada penelitian ini *nozzle temperature* sangat berpengaruh besar terhadap nilai kekuatan impact spesimen yang telah diuji.



Gambar 4. 11 Grafik Berdasarkan Infill Pattern

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *nozzle temperature* atau suhu pencetakan yang digunakan, maka nilai kekuatan impak suatu spesimen uji akan semakin meningkat pula. Hal ini dapat dilihat kembali pada gambar 4.11 yang menyajikan nilai hasil kekuatan impak, dengan grafik yang meningkat secara signifikan pada setiap suhunya. Perbedaan nilai kekuatan impak pada setiap spesimen uji tidak hanya dipengaruhi oleh *nozzle temperature* saja. Akan tetapi 16 tipe *infill pattern* yang digunakan pada penelitian ini juga memberikan pengaruh yang cukup kuat pada nilai kekuatan impak spesimen. Pada 16 tipe *infill pattern* yang digunakan memiliki bentuk yang berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan kerapatan pada setiap spesimen. Pada *infill pattern 3D honeycomb* yang memiliki nilai kekuatan impak tertinggi memiliki kerapatan yang sangat tinggi dan tidak memiliki rongga, sehingga membuat spesimen uji memiliki kekuatan yang tinggi pada saat diuji. Sedangkan pada *infill pattern stars* yang ditunjukkan sebagai nilai kekuatan impak terendah memiliki pola *infill pattern* yang renggang dengan kerapatan yang sangat rendah sehingga menyebabkan spesimen uji rapuh dan memiliki kekuatan impak yang rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini bahwa parameter proses sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan impak suatu produk yang dicetak menggunakan material *polylactid acid PRO* (PLA PRO) dengan sudut pencetakan 90° atau posisi pencetakan horizontal. Dimana dalam hal ini parameter yang digunakan adalah *nozzle temperature* dan *infill pattern*.

Hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan nilai kekuatan impak tertinggi ditunjukkan oleh spesimen uji yang dicetak menggunakan *nozzle temperature 230°C* dan *infill pattern 3D honeycomb* dengan nilai 0,205 Joule/mm². Sementara untuk nilai kekuatan impak terendah adalah spesimen uji yang dicetak menggunakan *nozzle temperature 210°C* dan *infill pattern stars* dengan nilai 0,003 Joule/mm².

5.2 Saran

Saran yang bisa penulis sampaikan setelah melaksanakan penelitian ini yaitu:

- a. Terdapat banyak sekali parameter proses lain yang dapat digunakan dan dikombinasikan sehingga mendapatkan nilai kekuatan yang jauh lebih baik.
- b. Menggunakan metode penelitian lain dengan jumlah sampel yang sederhana tetapi hasilnya dapat lebih baik.
- c. Melakukan pengujian yang lain agar material PLA PRO lebih banyak referensinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Astm E23-18 (2019) 'Standard Test Methods For Notched Bar Impact Testing Of Metallic Materials 1', Pp. 1–26. Doi: 10.1520/E0023-18.
- Bowo, F. P. (2021) 'Pengaruh Infill Geometry, Printing Speed Dan Nozzle Temperature terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen St Pla', *Syntax Admiration*, 2(7).
- Creality.Com (No Date) *Ender 3 Pro 3d Printer*. Available At: <https://www.creality.com/products/ender-3-pro-3d-printer>.
- Dieter George E (1987) 'Metalurgi Mekanik', Halaman 91-117, Edisi Ketiga, Jilid II, Jakarta, Erlangga, 1042'.
- Durgashyam, K. *Et Al.* (2019) 'Experimental Investigation On Mechanical Properties Of Petg Material Processed By Fused Deposition Modeling Method', *Materials Today: Proceedings*, 18, Pp. 2052–2059. Doi: 10.1016/J.Matpr.2019.06.082.
- Excell, J. (2013) 'The Rise Of Additive Manufacturing. The Engineer.'
- Febriansyah Rully, Anggry Adhe, P. (2022) 'Prosiding Seminar Nasional Pada 3d Printing Material Abs', (27).
- Finali, A. (2020) 'Analisis Variasi Pattern 3d Printing Terhadap Kekuatan Tarik', *Jurnal Engine : Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(2), Pp. 39–44.
- Grabowik, C. *Et Al.* (2017) 'Tensile Tests Of Specimens Made Of Selected Group Of The Filament Materials Manufactured With Fdm Method', 04017, Pp. 1–6.
- Hakim, R. *Et Al.* (2019) 'Pengaruh Temperatur Nozzle Dan Bedak Plastik Pada Material PLA Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Dan Kekakuan Permukaan', 1(1), Pp. 1–8.
- Handoyo, Y. (2013) 'Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule', 1(2), Pp. 45–53.
- Hannanto Saputra, T., Herianto And Agus Pamasaria, H. (2019) 'Seminar Nasional Ienaco-2019 Issn:2337 - 4349', *Seminar Nasional Ienaco – 2019*, P. 209. Available At:

- <https://Publikasiilmiah.Ums.Ac.Id/Xmlui/Bitstream/Handle/11617/10701/Ienaco>
- 30 - Tri Hannanto Saputra_Analisa Pengaruh Pemilihan Komponen Terhadap Ketelitian Dimensi Dan Kualitas Permukaan Produk Pada Mesin 3d Printing Jenis Fdm %28fused Deposition Modell.
- Irfany, O. R. (2021) 'Pengaruh Parameter Proses 3d Printing Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Metode Charpy Pada Filamen Pla', (6).
- Juliarta (2021) *Salah Satu Jenis 3d Printer Yang Umum Digunakan Di Indonesia*. Available At: <https://Ayo3d.Com/2021/01/21/Salah-Satu-Jenis-3d-Printer-Yang-Umum-Digunakan-Di-Indonesia/?V=B718adec73e0>.
- Kumar, A., Ohdar, R. K. And Mahapatra, S. S. (2009) 'Improving Dimensional Accuracy Of Fused Deposition Modelling Processed Part Using Grey Taguchi Method', *Materials And Design*, 30(10), Pp. 4243–4252. Doi: 10.1016/J.Matdes.2009.04.030.
- Liu, W., Wu, N. And Pochiraju, K. (2018) 'Shape Recovery Characteristics Of Sic/C/Pla Composite Filaments And 3d Printed Parts', *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 108, Pp. 1–11. Doi: 10.1016/J.Compositesa.2018.02.017.
- More, P. (2013) '3d Printing Making The Digital Real', 2(7), Pp. 1–4.
- Nikmatuzaroh, R. . Dan N. M. (2019) '濟無no Title No Title No Title', *Skripsi*, 17(2), Pp. 103–107.
- Nuhgraha, Et All (2020) 'Perancangan Alat Uji Impak Digital Dengan Metode Charpy Untuk Mengukur Kekuatan Material Polimer', 10(2), Pp. 15–19.
- Oktavian, D., Arifvianto, B. And Mahardika, M. (2021) 'Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt)', *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(2), P. 12. Doi: 10.22146/Jmtp.70481.
- Pratama, Y. B. Et Al. (2021) 'Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen St-Pla', 13(01), Pp. 1–8.
- Pristiansyah, Hardiansyah And Sugiyarto (2019) 'Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3d Printing Fdm Terhadap Akurasi

Dimensi Menggunakan Filament Eflex’, *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), Pp. 0–7.

Riza, E. I., Budiyanoro, C. And Nugroho, A. W. (2020) ‘Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3d Printing Material Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi’, *Media Mesin : Majalah Teknik Mesin Vol.*, Pp. 66–75.

Robert G.D. Steel, J. H. T. (1989) *Prinsip Dan Prosedur Statistika : Suatu Pendekatan Biometrik / Robert G.D. Steel, James H. Torrie ; Alih Bahasa Bambang Sumantri*.

Rochmad Eko (2020) ‘Pengaruh Prosentase Infill Pada Proses 3d Printing Fdm Terhadap Sifat Mekanik The Effect Of Infill Procentation On Fdm 3d Printing Process On Mechanical Properties’, *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 4(13), Pp. 1–6.

Sapuan, S. M. *Et Al.* (2011) ‘Prototype Expert System For Material Selection Of Polymeric Composite Automotive Dashboard’, *International Journal Of Physical Sciences*, 6(25), Pp. 5988–5995. Doi: 10.5897/Ijps11.939.

Suzen, Z. S. (2020) ‘Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3d Printing Filamen Pla=Esun’, *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(02), Pp. 73–80.

Tito Endramawan, A. Sifa (2013) ‘Irwns 2013’, (08), Pp. 196–199.

Trisaplin, R. D. (2021) ‘Analisis Pada Proses 3d Printer Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Filamen Pla Pro’, 2(12), Pp. 503–511. Available At: [Http://Jurnalmahasiswa.Stiesia.Ac.Id/Index.Php/Jirm/Article/Download/2365/2369/](http://Jurnalmahasiswa.Stiesia.Ac.Id/Index.Php/Jirm/Article/Download/2365/2369/).

W.Both, G. L. J. V. V. (1984) ‘Teknologi Untuk Bangunan Mesin Bahan-Bahan 1. Jakarta: Penerbit Erlangano Title’.

Wahyudi Hafizi (2021) ‘Optimasi Parameter Proses 3d Printing Terhadap Kuat Tarik Material Filamen Pla + Menggunakan Metode Taguchi’, *Sprocket Journal Of Mechanical Engineering*, 3(1), Pp. 39–45. Doi: 10.36655/Sprocket.V3i1.568.

Widiyanto, W. And Setyani, T. I. (2019) ‘Pengaruh Arah Cetakan 3d Printing tipe Fdm Bahan Polymer Abs Terhadap Tensile Strength Produk Yang Dihasilkan’,

Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 21(1), Pp. 25–34. Doi: 10.23917/Mesin.V21i1.9419.

Widyanto, S. A. (2007) ‘Pengembangan Teknologi Rapid Prototyping Untuk Pembuatan Produk-Produk Multi Material’, *Rotasi*, 9(4), Pp. 10–14.

Yuan, L. (2008) ‘A Preliminary Research On Development Of’.



Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Ummi Khalsum
Tempat & tanggal lahir : Sungailiat, 29 Juli 2000
Alamat Rumah : Jl. Malabar Perumahan Malabar
Regency No. 19 Sungailiat, Bangka
Telp: 0831 5792 1560
HP: 0831 5792 1560
Email: khalsum72@gmail.com

Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : ISLAM

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 10 Sungailiat	Tahun 2006-2012
SMP Negeri 2 Sungailiat	Tahun 2012-2015
SMA Negeri 1 Sungailiat	Tahun 2015-2018

Sungailiat, 13 September 2022

Ummi Khalsum

Lampiran 2

Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 210°C

1. Rectilinear

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,71933 - 0,866025) = 1,43898$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,43898}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01798 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

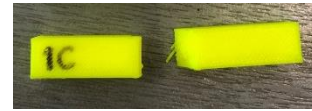


$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 (J / mm^2)$$



2. Aligned Rectilinear

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

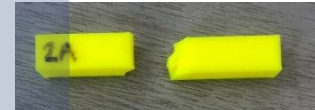
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

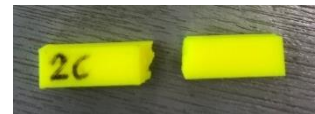
$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



3. Grid

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,79863 - 0,866025) = 0,66109$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,66109}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0082 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,79863 - 0,866025) = 0,66109$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,66109}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0082 (J / mm^2)$$



4. Triangles

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

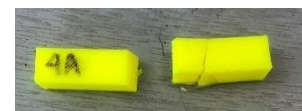
$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 (J / mm^2)$$



5. Stars

$$A. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 147 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 147 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,83867 - 0,866025) = 0,26835$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,26835}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0033 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 147 - \cos 150)$$

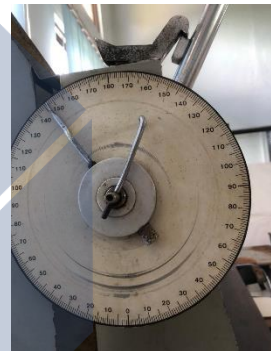
$$E = 9,81 (\cos 147 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,83867 - 0,866025) = 0,26835$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,26835}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0033 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



6. Cubic

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$HI = \frac{0,45982}{80} (J/mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J/mm^2)$$

$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J/mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J/mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J/mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J/mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J/mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J/mm^2)$$



7. Line

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

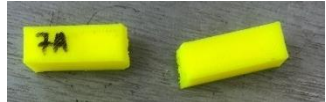
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

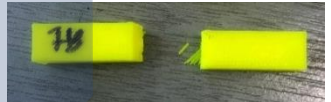
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,79863 - 0,866025) = 0,66109$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,66109}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0082 (J / mm^2)$$



8. Concentric

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

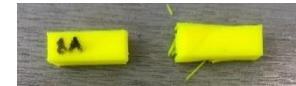
$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

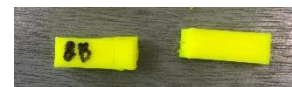
$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

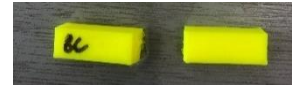
$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



9. Honeycomb

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

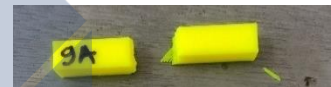
$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



10. 3D Honeycomb

$$A. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,76604 - 0,866025) = 0,98081$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,98081}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0122 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,75470 - 0,866025) = 1,09208$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,09208}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0136 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,75470 - 0,866025) = 1,09208$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,09208}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0136 (J / mm^2)$$



11. Gyroid

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$



$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



12. Hilbert Curve

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

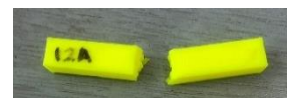
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

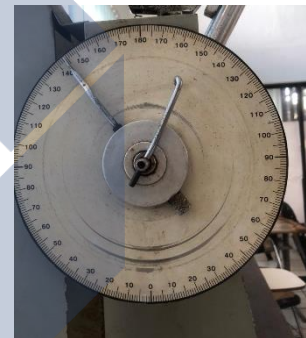
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,006 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



13. Archimedean Chords

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



14. Octagram Spiral

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$



$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



15. Adaptive Cubic

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,00453 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

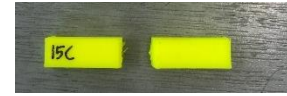
$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



16. Support Cubic

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



Lampiran 3

Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 220°C

1. Rectilinear

$$\text{A. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\text{B. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\text{C. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

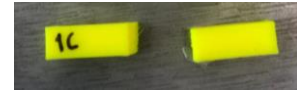


$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



2. Aligned Rectilinear

$$\text{A. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

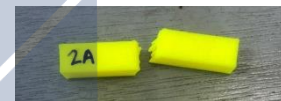
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$\text{B. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,79863 - 0,866025) = 0,66109$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,66109}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0082 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



3. Grid

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 122 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 122 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,52991 - 0,866025) = 3,2972$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{3,2972}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0412 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 121 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 121 - \cos 150)$$

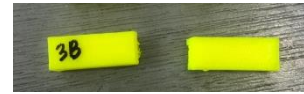
$$E = 9,81 (-0,51503 - 0,866025) = 3,44318$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{3,44318}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0430 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 122 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 122 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,52991 - 0,866025) = 3,2972$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{3,2972}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0412 (J / mm^2)$$



4. Triangles

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



5. Stars

$$A. E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$



$$HI = 0,0057 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$\text{B. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$\text{C. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

6. Cubic

$$\text{A. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

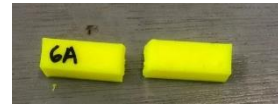


$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$\text{B. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 (J / mm^2)$$



$$\text{C. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



7. Line

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,75470 - 0,866025) = 1,09208$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2) \quad HI = \frac{1,09208}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0136 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 139 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,75470 - 0,866025) = 1,09208$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,09208}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0136 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,76604 - 0,866025) = 0,98081$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,98081}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0122 (J / mm^2)$$



8. Concentric

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 110 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 110 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,34202 - 0,866025) = 5,1404$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{5,1404}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0642 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 110 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 110 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,34202 - 0,866025) = 5,1404$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{5,1404}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0642 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 109 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 109 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,32556 - 0,866025) = 5,30188$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{5,30188}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,066 (J / mm^2)$$



9. Honeycomb

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,71933 - 0,866025) = 1,09200$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,09200}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01798 (J / mm^2)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,5589$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,5589}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0194(J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 136 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,71933 - 0,866025) = 1,09200$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,09200}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01798(J / mm^2)$$



10. 3D Honeycomb

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 98 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 98 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,13917 - 0,866025) = 7,1304$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{7,1304}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,089 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 97 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 97 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,1218 - 0,866025) = 7,3001$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{7,3001}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,09125 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 97 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 97 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,1218 - 0,866025) = 7,3001$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{7,3001}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,09125 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



11. Gyroid

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 132 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 132 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,66913 - 0,866025) = 1,93153$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,93153}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0241 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 132 - \cos 150)$$

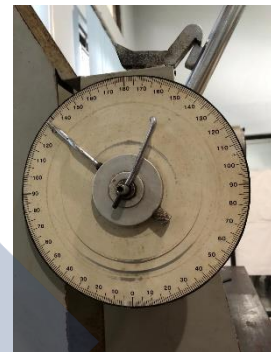
$$E = 9,81 (\cos 132 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,66913 - 0,866025) = 1,93153$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,93153}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0241 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 131 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 131 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,65605 - 0,866025) = 2,05977$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{2,05977}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0257 (J / mm^2)$$



12. Hilbert Curve

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,006 \text{ (J / mm}^2\text{)}$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



13. Archimedean Chords

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / \text{mm}^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / \text{mm}^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{\text{mm}^2} \right)$$



14. Octagram Spiral

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / \text{mm}^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / \text{mm}^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{\text{mm}^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 146 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,82903 - 0,866025) = 0,36285$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,36285}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00453 (J / mm^2)$$



15. Adaptive Cubic

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,81915 - 0,866025) = 0,45982$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,45982}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0057 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



16. Support Cubic

$$\mathbf{A. } E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,78801 - 0,866025) = 0,76532$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,76532}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0095 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,77714 - 0,866025) = 0,87190$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,87190}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0108 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,77714 - 0,866025) = 0,87190$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$



$$HI = \frac{0,87190}{80} (J/mm^2)$$

$$HI = 0,0108 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



Lampiran 4

Perhitungan Manual Nilai Kekuatan Impak Suhu 230°C

1. Rectilinear

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 45 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 45 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,70710 - 0,866025) = 15,4324$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,4324}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1929 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 44 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 44 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,71933 - 0,866025) = 15,5524$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,5524}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1944 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 45 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 45 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,70710 - 0,866025) = 15,4324$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,4324}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1929 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



2. Aligned Rectilinear

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 42 - \cos 150)$$

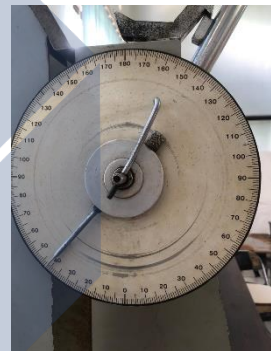
$$E = 9,81 (\cos 42 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,74314 - 0,866025) = 15,7859$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,7859}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1973 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 42 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 42 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,74314 - 0,866025) = 15,7859$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,7859}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1973 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 41 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 41 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,75470 - 0,866025) = 15,8994$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,8994}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,19874 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



3. Grid

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,58778 - 0,866025) = 2,72953$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{2,72953}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0341 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 127 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 127 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,60181 - 0,866025) = 2,59190$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{2,59190}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0323 \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 127 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 127 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,60181 - 0,866025) = 2,59190$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{2,59190}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,0323 \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right)$$



4. Triangles

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 125 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 125 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,57357 - 0,866025) = 2,86892$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{2,86892}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0358 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \ E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,58778 - 0,866025) = 2,72953$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{2,72953}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0341 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \ E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 126 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,58778 - 0,866025) = 2,72953$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{2,72953}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0341 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



5. Stars

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,78801 - 0,866025) = 0,76532$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,76532}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0095 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,77714 - 0,866025) = 0,87190$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,87190}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,010 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,77714 - 0,866025) = 0,87190$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,87190}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,010 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



6. Cubic

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 113 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 113 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,39073 - 0,866025) = 4,6626$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{4,6626}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,05828 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 112 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 112 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,37460 - 0,866025) = 4,8208$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{4,8208}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0602 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 114 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 114 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,40673 - 0,866025) = 4,50562$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{4,50562}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,056 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



7. Line

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 134 - \cos 150)$$

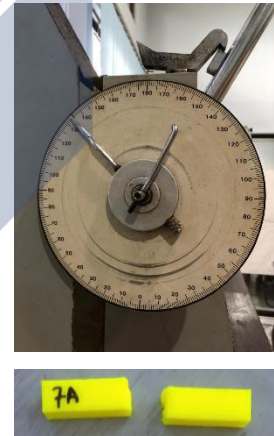
$$E = 9,81 (\cos 134 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,6946 - 0,866025) = 1,68111$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,68111}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0210 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 133 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 133 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,68199 - 0,866025) = 1,8053$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,8053}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0225 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



C. $E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,55899$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,55899}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



8. Concentric

A. $E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 59 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 59 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,51503 - 0,866025) = 13,5482$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,5482}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1693 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 60 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 60 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,5 - 0,866025) = 13,400$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,400}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1675 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 60 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 60 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,5 - 0,866025) = 13,400$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,400}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1675 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



9. Honeycomb

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 141 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,77714 - 0,866025) = 0,87190$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,87190}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0108 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 142 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,78801 - 0,866025) = 0,76532$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,76532}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,00956 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 140 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,76604 - 0,866025) = 0,98081$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,400}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0122 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



10. 3D Honeycomb

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 37 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 37 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,79863 - 0,866025) = 16,3303$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{16,3303}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,2041 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 36 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 36 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,80901 - 0,866025) = 16,4321$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{16,4321}{80} \quad (J / mm^2)$$

$$HI = 0,205 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 36 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 36 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,80901 - 0,866025) = 16,4321$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{16,4321}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,205 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



11. Gyroid

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 41 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 41 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,75470 - 0,866025) = 15,8994$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,8994}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1987 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 39 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 39 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,77714 - 0,866025) = 16,1195$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{16,1195}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,201 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 40 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 40 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,76604 - 0,866025) = 16,0106$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{16,0106}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,2001 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



12. Hilbert Curve

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 56 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 56 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,55919 - 0,866025) = 13,9813$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,9813}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1747 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$B. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 57 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 57 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,54463 - 0,866025) = 13,8386$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,8386}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1729 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$C. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 57 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 57 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,54463 - 0,866025) = 13,8386$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,8386}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1729 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



13. Archimedean Chords

$$A. E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 62 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 62 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,46947 - 0,866025) = 13,1012$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{13,1012}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,16376 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 63 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 63 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,45399 - 0,866025) = 12,9493$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{12,9493}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,16186 \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 62 - \cos 150)$$

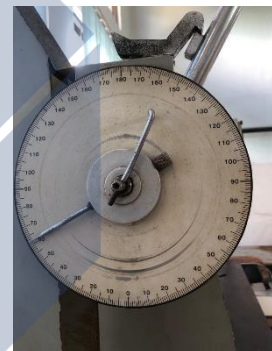
$$E = 9,81 (\cos 62 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,46947 - 0,866025) = 13,1012$$

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = \frac{13,1012}{80} \text{ (J / mm}^2\text{)}$$

$$HI = 0,16376 \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^2} \right)$$



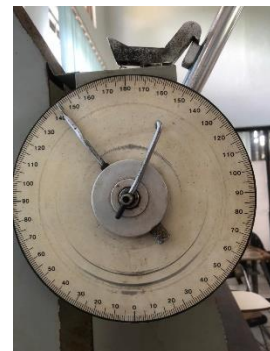
14. Octagram Spiral

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$



$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,79863 - 0,866025) = 0,66109$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,66109}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0082 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 144 - \cos 150)$$

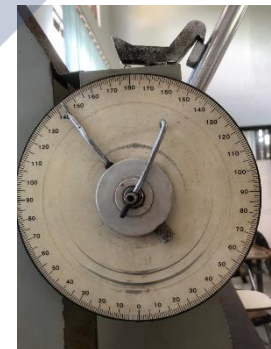
$$E = 9,81 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,80901 - 0,866025) = 0,55925$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{0,55925}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,006 (J / mm^2)$$



15. Adaptive Cubic

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 51 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 51 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,62932 - 0,866025) = 14,6693$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{14,6693}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,183 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 52 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 52 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,61566 - 0,866025) = 15,53534$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{15,53534}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,1816 (J / mm^2)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 51 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 51 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (0,62932 - 0,866025) = 14,6693$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{14,6693}{80} (J / mm^2)$$



$$HI = 0,183 (J / mm^2)$$

16. Support Cubic

$$\mathbf{A.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,55899$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,55899}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{B.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 135 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,70710 - 0,866025) = 1,55899$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,55899}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,01948 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



$$\mathbf{C.} \quad E = mgr(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$E = 2,5 \times 9,81 \times 0,4 (\cos 134 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (\cos 134 - \cos 150)$$

$$E = 9,81 (-0,6946 - 0,866025) = 1,68111$$

$$HI = \frac{E}{A} (J / mm^2)$$

$$HI = \frac{1,68111}{80} (J / mm^2)$$

$$HI = 0,0210 \left(\frac{J}{mm^2} \right)$$



Lampiran 5

Hasil Perhitungan Menggunakan Ms. Excel

Pengujian Impak 210°

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1A	136	0,018
2A	144	0,007
3A	143	0,008
4A	135	0,019
5A	146	0,005
6A	145	0,006
7A	144	0,007
8A	145	0,006
9A	145	0,006
10A	140	0,012
11A	144	0,007
12A	144	0,007
13A	145	0,006
14A	146	0,005
15A	146	0,005
16A	145	0,006

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1B	135	0,019
2B	145	0,006
3B	145	0,006
4B	135	0,019
5B	147	0,003
6B	145	0,006
7B	144	0,007
8B	146	0,005
9B	145	0,006
10B	139	0,014
11B	144	0,007
12B	145	0,006
13B	146	0,005
14B	145	0,006
15B	145	0,006
16B	145	0,006

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1C	135	0,019
2C	145	0,006
3C	143	0,008
4C	135	0,019
5C	147	0,003
6C	145	0,006
7C	143	0,008
8C	146	0,005
9C	144	0,007
10C	139	0,014
11C	144	0,007
12C	144	0,007
13C	146	0,005
14C	145	0,006
15C	146	0,005
16C	146	0,005

Pengujian Impak 220°

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1A	145	0,006
2A	144	0,007
3A	122	0,041
4A	146	0,005
5A	145	0,006
6A	145	0,006
7A	139	0,014
8A	110	0,064
9A	136	0,018
10A	98	0,089
11A	132	0,024
12A	144	0,007
13A	145	0,006
14A	145	0,006
15A	145	0,006
16A	142	0,010

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1B	145	0,006
2B	143	0,008
3B	121	0,043
4B	146	0,005
5B	145	0,006
6B	145	0,006
7B	139	0,014
8B	110	0,064
9B	135	0,019
10B	97	0,091
11B	132	0,024
12B	145	0,006
13B	144	0,007
14B	145	0,006
15B	145	0,006
16B	141	0,011

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1C	145	0,006
2C	144	0,007
3C	122	0,041
4C	145	0,006
5C	145	0,006
6C	146	0,005
7C	140	0,012
8C	109	0,066
9C	136	0,018
10C	97	0,091
11C	131	0,026
12C	144	0,007
13C	145	0,006
14C	146	0,005
15C	144	0,007
16C	141	0,011

Pengujian Impak 230°

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1A	45	0,193
2A	42	0,197
3A	126	0,034
4A	125	0,036
5A	142	0,010
6A	113	0,058
7A	134	0,021
8A	59	0,169
9A	141	0,011
10A	37	0,204
11A	41	0,199
12A	56	0,175
13A	62	0,164
14A	144	0,007
15A	51	0,183
16A	135	0,019

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1B	44	0,194
2B	42	0,197
3B	127	0,032
4B	126	0,034
5B	141	0,011
6B	112	0,060
7B	133	0,023
8B	60	0,168
9B	142	0,010
10B	36	0,205
11B	39	0,201
12B	57	0,173
13B	63	0,162
14B	143	0,008
15B	52	0,182
16B	135	0,019

No. Spesimen	Hasil Pengujian	Hasil Akhir
1C	45	0,193
2C	41	0,199
3C	127	0,032
4C	126	0,034
5C	141	0,011
6C	114	0,056
7C	135	0,019
8C	60	0,168
9C	140	0,012
10C	36	0,205
11C	40	0,200
12C	57	0,173
13C	62	0,164
14C	144	0,007
15C	51	0,183
16C	134	0,021

Lampiran 6

Perhitungan Rata-Rata Nilai Kekuatan Impak pada *Nozzle Temperature*

1. Nozzle Temperature 210°C

$$\bar{x}_a = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{infill\ pattern}}$$
$$= \frac{0,019 + 0,006 + 0,007 + 0,019 + 0,003 + 0,006 + 0,007 + 0,005 + 0,006 + 0,014 + 0,007 + 0,007 + 0,005 + 0,005 + 0,005 + 0,005}{15}$$

$$\bar{x}_a = 0,007 \text{ Joule/mm}^2$$

2. Nozzle Temperature 220°C

$$= \frac{0,006 + 0,007 + 0,042 + 0,005 + 0,006 + 0,005 + 0,013 + 0,065 + 0,018 + 0,091 + 0,025 + 0,007 + 0,006 + 0,005 + 0,006 + 0,010}{15}$$

$$\bar{x}_b = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{infill\ pattern}}$$

$$\bar{x}_b = 0,019 \text{ Joule/mm}^2$$

3. Nozzle Temperature 230°C

$$\bar{x}_c = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{infill\ pattern}}$$

$$= \frac{0,0193 + 0,198 + 0,033 + 0,035 + 0,010 + 0,058 + 0,021 + 0,168 + 0,011 + 0,205 + 0,200 + 0,174 + 0,163 + 0,007 + 0,183 + 0,020}{15}$$

$$\bar{x}_c = 0,104 \text{ Joule/mm}^2$$

Lampiran 7

Perhitungan Rata-Rata Nilai Kekuatan Impak pada 16 Infill Pattern

1. Rectilinear

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,019 + 0,006 + 0,193}{3} = 0,072 \text{ Joule/mm}^2$$

2. Aligned Rectilinear

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,006 + 0,007 + 0,198}{3} = 0,070 \text{ Joule/mm}^2$$

3. Grid

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,007 + 0,042 + 0,033}{3} = 0,027 \text{ Joule/mm}^2$$

4. Triangles

$$\bar{x}_4 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,019 + 0,005 + 0,035}{3} = 0,019 \text{ Joule/mm}^2$$

5. Stars

$$\bar{x}_5 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,003 + 0,006 + 0,01}{3} = 0,006 \text{ Joule/mm}^2$$

6. Cubic

$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,006 + 0,005 + 0,058}{3} = 0,023 \text{ Joule/mm}^2$$

7. Line

$$\bar{x}_7 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{nozzle\ temperature}} = \frac{0,007 + 0,013 + 0,021}{3} = 0,013 \text{ Joule/mm}^2$$

8. Concentric

$$\bar{x}_8 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,005 + 0,065 + 0,168}{3} = 0,07 \text{ Joule/mm}^2$$

9. Honeycomb

$$\bar{x}_9 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,006 + 0,018 + 0,011}{3} = 0,011 \text{ Joule/mm}^2$$

10. 3D Honeycomb

$$\bar{x}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,014 + 0,091 + 0,205}{3} = 0,103 \text{ Joule/mm}^2$$

11. Gyroid

$$\bar{x}_{11} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,007 + 0,025 + 0,200}{3} = 0,077 \text{ Joule/mm}^2$$

12. Hilbert Curve

$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,007 + 0,007 + 0,174}{3} = 0,062 \text{ Joule/mm}^2$$

13. Archimedean chord

$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,005 + 0,006 + 0,163}{3} = 0,058 \text{ Joule/mm}^2$$

14. Octagram Spiral

$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,005 + 0,005 + 0,007}{3} = 0,005 \text{ Joule/mm}^2$$

15. Adaptive Cubic

$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,005 + 0,006 + 0,183}{3} = 0,064 \text{ Joule/mm}^2$$

16. Support Cubic

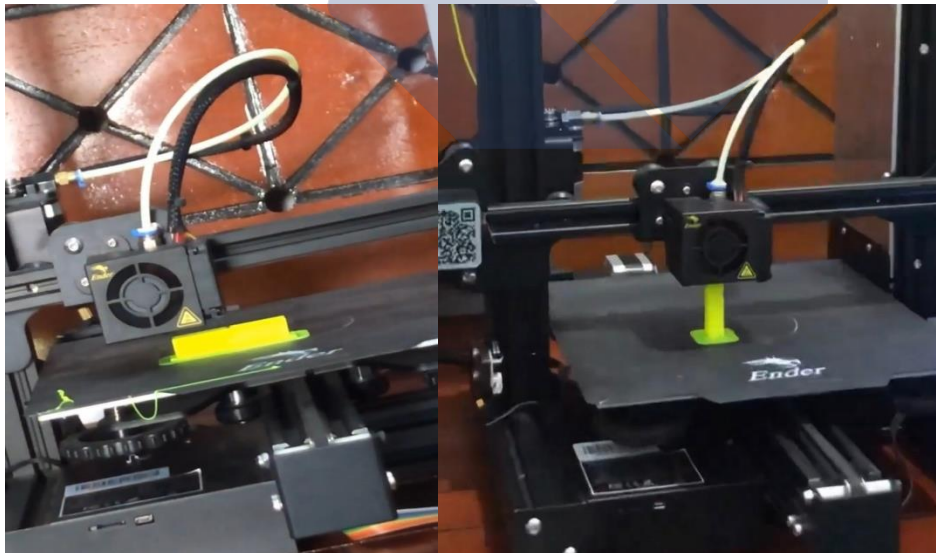
$$\bar{x}_6 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n_{\text{nozzle temperature}}} = \frac{0,005 + 0,010 + 0,020}{3} = 0,011 \text{ Joule/mm}^2$$



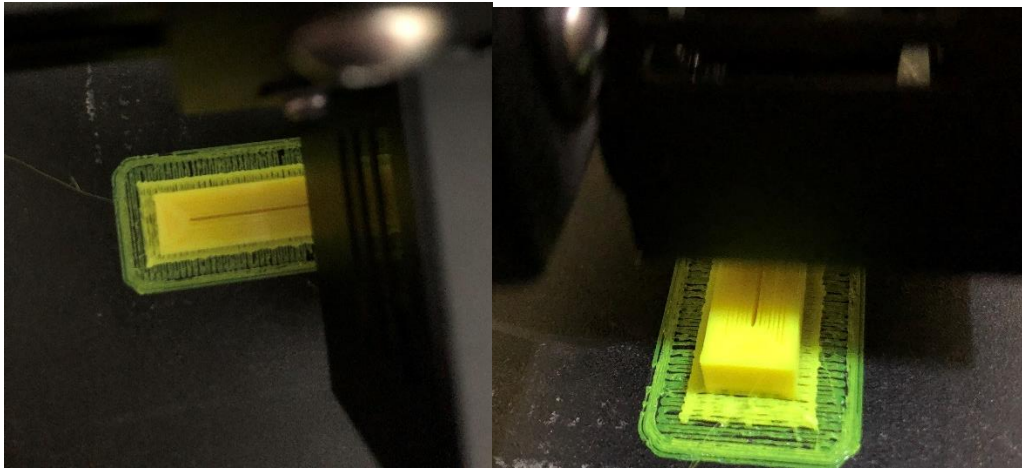
Lampiran 8
Dokumentasi penelitian



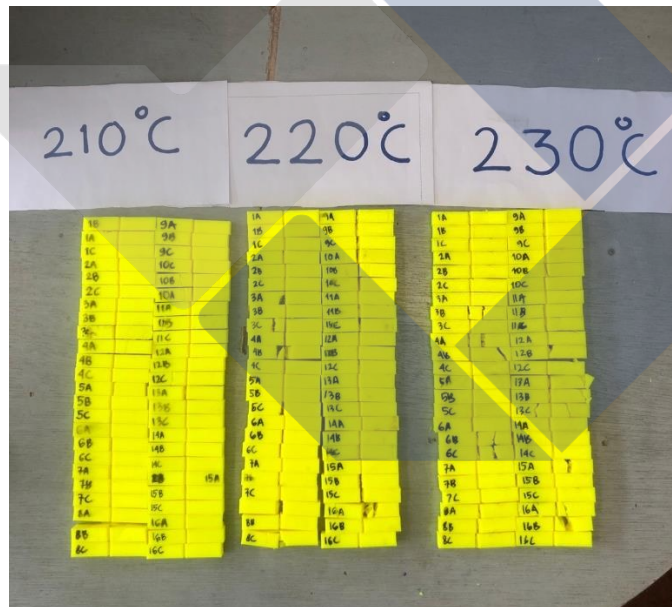
Gambar Filamen yang Digunakan



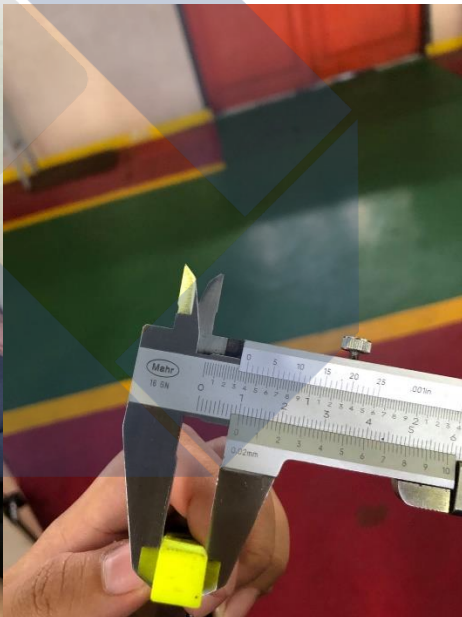
Proses Pencetakan Benda Uji Coba



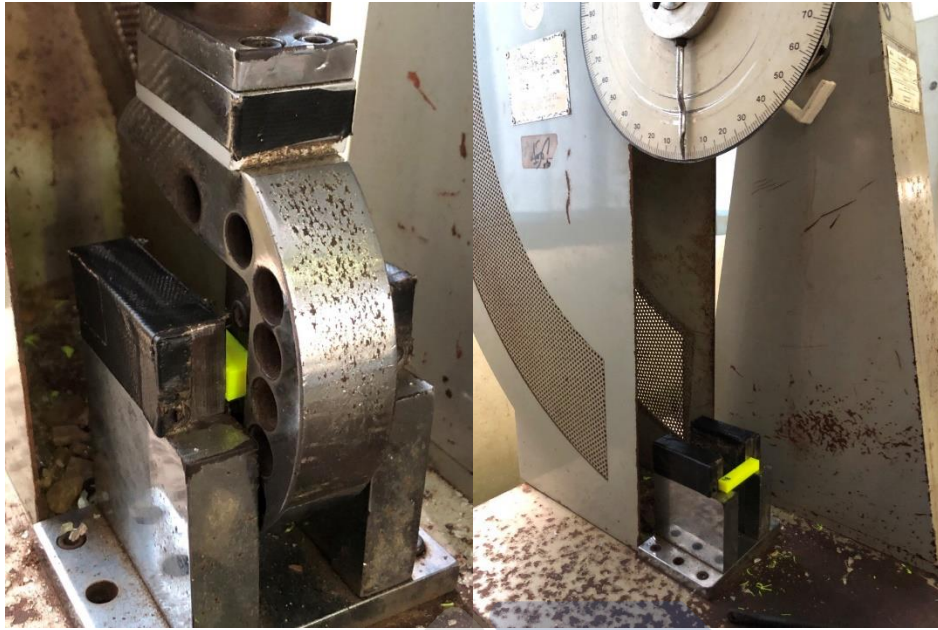
Proses Pencetakan Spesimen Uji



Gambar 144 Spesimen Uji



Proses Pengukuran Spesimen Uji yang Sudah Dicitak



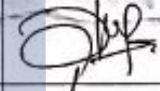



Proses Pengujian Impak Spesimen Uji


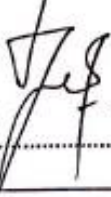
Lampiran 9

Form Monitoring Proyek Akhir

FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022./2023	
JUDUL		Pengaruh Nozzle Temperature dan Infill Pattern terhadap Kekuatan Impak dengan posisi penetakan Horizontal menggunakan Filamen PLA PRO	
Nama Mahasiswa		1. Ummi Khalsum /NIM: 1011059 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
2	Kamis, 13/10/22	} • Progress alat 100%	
2	Kamis, 13/10/22	} • Progress Makalah Bab 1	
2	Kamis, 20/10/22	} s/d Bab 5 100%	



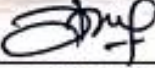

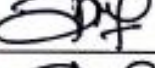
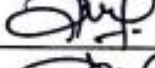

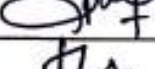

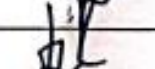
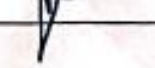
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BELUM~~ (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
 (.....)	 (.....)	(.....)

Lampiran 10

Form Bimbingan Proyek Akhir



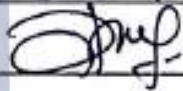
FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022/2023			
JUDUL	Pengaruh Nozzle Temperature dan Infill Pattern terhadap kekuatan impact dengan posisi pencetakan horizontal menggunakan Filamen PLA PRO.		
Nama Mahasiswa	UMMI KHALSUM NIM: 1041959		
Nama Pembimbing	1. <u>Zaldy S. Suzen, S.C.T., M.T.</u> 2. <u>Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	Senin, 14/02/22	Pemaparan mengenai apa yang telah dikerjakan dan persiapan sempro	
2	Selasa, 22/02/22	- Bimbingan proposal - persiapan PPT seminar proposal	
3	Rabu, 16/03/22	- Bimbingan BAB 2 - persiapan seminar proposal	
4	Selasa, 10/05/22	- pemaparan parameter ubah dan tetap yang digunakan - proses cetak	
5	Jumat, 17/06/22	- Bimbingan BAB 3 dan BAB 4 - menanyakan jurnal	
6	rabu, 27/07/22	- Bimbingan BAB 5 - Bimbingan Jurnal	
7	Selasa, 23/08/22	- Bimbingan Jurnal - revisi semua makalah sedikit	
8	Selasa, 21/06/22	- perkenalan pembimbing 2	
9	Kamis, 11/08/22	- monitoring dan bimbingan makalah	
10	Jumat 01/9/22	- bimbingan jurnal dan makalah	

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir

FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

	FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHAP AKADEMIK 2022/2023		
JUDUL	Pengaruh Nozzle Temperature dan Infill Pattern terhadap kekuatan Impact dengan posisi pencetakan horizontal menggunakan filamen PLA PRO.		
Nama Mahasiswa	UMMI KHALSUM NIM: 1041059		
Nama Pembimbing	1. <u>Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T.</u> 2. <u>Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	Jumat, 9/9/22	Bimbingan seluruh BAB makalah yang sudah direvisi	
2	Selasa 20/9/22	- submit jurnal ke publikasi jurnal ilmiah	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			


Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir


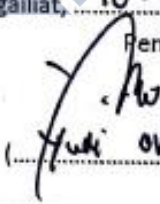

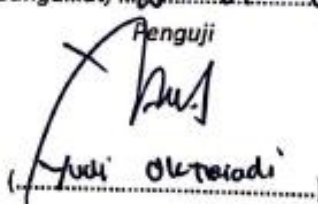
Lampiran 11

Form Revisi Laporan Akhir


FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

 <p>FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK/...../.....</p>	
JUDUL :	<i>Pengaruh Nozzle Temperature & injeksi puffing terhadap karakteristik impact di bawah Pencetakan HSD untuk menggunakan bahan PHT PPO</i>
Nama Mahasiswa :	1. <u>LIMMI KHALSUM</u> NIM: _____ 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
<i>- BAB I, banyak revisi ya tidak sesuai di Abstrak.</i>	
<i>- BAB III Alur proses, Tabel 3.2 iku ya ada di praktik Kumpulan</i>	
<i>- BAB V Kumpulan Gbr (persiapan) Silapir ku -</i>	
Sunggailiat, 3-1-2022	
Penguji <i>(Hurnia)</i>	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing <i>(Sedy)</i>	Sunggailiat, Penguji <i>(Hurnia)</i>

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

 <p>FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....</p>	
JUDUL :	Pengaruh Nozzle Temperature dan Infill Pattern terhadap Ketepatan Impak dengan posisi Peraketa Horizontal menggunakan filamen PLA P10
Nama Mahasiswa :	1. <u>Umni Khalid Sum</u> NIM: <u>1041909</u> 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
<p>1. Cek format Bagian yang direvisi Halaman</p> <p>2. <u>pendahuluan harus esher</u></p> <p>3. <u>Daftar isi diperbaiki selama 30%</u></p> <p>4. <u>ketepatan impak diperbaiki</u></p> <p>5. <u>Hitungan hasil konversi ke liter</u></p> <p>6. <u>Abstract</u></p> <p>7. <u>foto mesin (ukuran cet standar)</u></p>	
Sungailiat, 10 - 01 - 2023 Penguji  (.....Yudi Oktadi.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing  (.....)	Sungailiat, 10 - 01 - 2023 Penguji  (.....Yudi Oktadi.....)

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK
...../.....

JUDUL : Pengaruh Nozzle Temperatur & until
Pattern terhadap kekuatan impact dengan
pecepatan horizontal menggunakan Filana PLA PRO

Nama Mahasiswa :

1. <u>Umni khakim.</u>	NIM: _____
2. _____	NIM: _____
3. _____	NIM: _____
4. _____	NIM: _____
5. _____	NIM: _____



Bagian yang direvisi	Halaman
<u>- Ada & makalah untuk di perbaiki</u>	<u>~</u>

Sunggailiat, 03.01.2023.....

Penguji

 (.....Salay S. S.....)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui, Pembimbing  (..... <u>Salay S. S</u>)	Sunggailiat, <u>10.01.2023</u> Penguji  (..... <u>Salay S. S</u>)
---	--

Lampiran 12

Bukti Bukan Plagiasi

coba cek plagiasi

ORIGINALITY REPORT

13%	13%	2%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jist.publikasiindonesia.id Internet Source	4%
2	jurnalsyntaxadmiration.com Internet Source	1%
3	repository.its.ac.id Internet Source	1%
4	jurnal.polines.ac.id Internet Source	1%
5	repository.usd.ac.id Internet Source	1%
6	text-id.123dok.com Internet Source	1%
7	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	<1%
8	Submitted to Politeknik Negeri Jember Student Paper	<1%
9	ojs.unm.ac.id Internet Source	<1%

10	Submitted to Universitas Bengkulu Student Paper	<1%
11	ejournal.unesa.ac.id Internet Source	<1%
12	pt.scribd.com Internet Source	<1%
13	Dspace.Uii.Ac.Id Internet Source	<1%
14	ejournal.undip.ac.id Internet Source	<1%
15	Submitted to RMIT University Student Paper	<1%
16	123dok.com Internet Source	<1%
17	Submitted to Arizona College Preparatory Student Paper	<1%
18	3pysci.com Internet Source	<1%
19	fr.scribd.com Internet Source	<1%
20	kemahasiswaan.poltekindonusa.ac.id Internet Source	<1%
21	anzdoc.com Internet Source	<1%

22	digilib.uin-suka.ac.id Internet Source	<1%
23	docplayer.info Internet Source	<1%
24	doctiktak.com Internet Source	<1%
25	doku.pub Internet Source	<1%
26	idoc.pub Internet Source	<1%
27	www.fastradius.com Internet Source	<1%
28	Agung Fauzi Hanafi, Asmar Finali, Rodmat Eko P.U. ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN, 2021 Publication	<1%
29	buletinppi.ulm.ac.id Internet Source	<1%
30	Budi Prasetyo Adi, Muhammad Arif Irfa`i, Muhammad Munib Rosadi. "Pengembangan alat uji impak charpy di bagian pengereman, berat pendulum, dan skala ukur pada mesin impak charpydi Laboraturium Teknik Mesin Unhasy", ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur, 2020 Publication	<1%

31	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
32	repository.ittelkom-pwt.ac.id Internet Source	<1 %
33	www.achatpc.com Internet Source	<1 %
34	Submitted to Universitas Muria Kudus Student Paper	<1 %
35	dokumen.tips Internet Source	<1 %
36	issuu.com Internet Source	<1 %
37	repository.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
38	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
39	Erwin Fajar Hasrianda, Ahmad Zaelani, Yuyu Suryasari Poerba. "JUMLAH, UJI VIABILITAS DAN DAYA KECAMBAH POLEN 31 AKSESI PISANG (Musa sp.) KOLEKSI KEBUN PLASMA NUTFAH PISANG LIPI", BERITA BIOLOGI, 2020 Publication	<1 %
40	adoc.pub Internet Source	<1 %

41	ardra.biz Internet Source	<1%
42	bapendik.unsoed.ac.id Internet Source	<1%
43	corona.jogjaprov.go.id Internet Source	<1%
44	firdaus-zr06.blogspot.com Internet Source	<1%
45	media.neliti.com Internet Source	<1%
46	merryfitriani.blogspot.com Internet Source	<1%
47	patents.justia.com Internet Source	<1%
48	www.omesin.com Internet Source	<1%
49	Rezza Ruzuqi, Victor Danny Waas. "ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN IMPAK MATERIAL KOMPOSIT POLIMER DALAM APLIKASI FIBERBOAT", ALE Proceeding, 2021 Publication	<1%

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

Lampiran 13

Bukti Publikasi



No : 05/J.Momentum/UWH/XI/2022
Lamp : 1 eks
Hal : *Letter of Acceptance (LoA)*

Kepada yth, **Ummi Khalsum**

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Indonesia

Berdasarkan hasil review, artikel berikut atas nama:

Penulis 1 : Ummi Khalsum
Penulis 2 : Zaldy Sirwansyah Suzen
Penulis 3 : Hasdiansah Hasdiansah
Penulis 4 : Zulfitriyanto Zulfitriyanto
Judul Artikel : Pengaruh Parameter Proses Produk 3D Printing dengan Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen Pla Pro.
Tanggal Submit : -

Dinyatakan DITERIMA dan akan diterbitkan pada Volume 18 Nomor 02 Tahun 2022.
Demikian surat ini dibuat, atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Semarang, 1 November 2022



Dr. S.M. Bondan Respati, ST., MT
Editor In Chief

