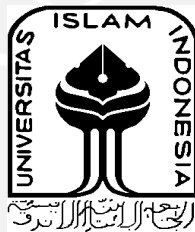


**PENGARUH PARAMETER *3D PRINTING* MATERIAL
FILAMEN *THERMOPLASTIC POLYURETHANE* (TPU)
TERHADAP KUALITAS PRODUK *3D PRINTING FUSED
FILAMENT FABRICATION* (FFF) STUDI KASUS *SOFT MOLD
VACCUM INFUSION PROCESS* (VIP)**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Reezcky Noer Allamsyah Santoso

No. Mahasiswa : 18525115

NIRM : 1807100349

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH PARAMETER *3D PRINTING* MATERIAL
FILAMEN *THERMOPLASTIC POLYURETHANE* (TPU)
TERHADAP KUALITAS PRODUK *3D PRINTING FUSED
FILAMENT FABRICATION* (FFF) STUDI KASUS *SOFT MOLD
VACCUM INFUSION PROCESS* (VIP)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Reezky Noer Allamsyah Santoso
No. Mahasiswa : 18525115
NIRM : 1807100349

Yogyakarta, 15 November 2022

Pembimbing I,



Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH PARAMETER 3D PRINTING MATERIAL
FILAMEN THERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU)
TERHADAP KUALITAS PRODUK 3D PRINTING FUSED
FILAMENT FABRICATION (FFF) STUDI KASUS SOFT MOLD
VACCUM INFUSION PROCESS (VIP)**

TUGAS AKHIR

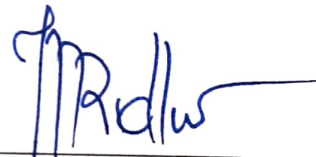
Disusun Oleh :

Nama : Reezcky Noer Allamsyah Santoso
No. Mahasiswa : 18525115
NIRM : 1807100349

Tim Penguji

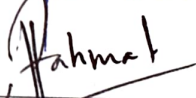
Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

Ketua


Tanggal : 28/11/2022


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

Anggota I


Tanggal : 28 November 2022

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D.

Anggota II


Tanggal : 25-11-2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin





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

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah yang maha segalanya, dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual maka saya bersedia mengikuti hukuman maupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 21 November 2022



Reezcky Noer Allamsyah

18525102

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji serta syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan penulis nikmat kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dari segala urusan yang tiada hentinya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada diri saya, kedua orang tua yang saya sayangi dan cintai beserta keluarga yang selama ini sudah memberikan do'a, semangat, perhatian serta kasih sayang yang tak terhingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Barang siapa yang ingin berdamai maka bersiaplah untuk berperang.”

(Ronald Reagen)

"In every life we have some trouble. But when you worry, you make it double."

(Bobby McFerrin)

“Ini aku, entahlah kalau kalian, tapi tujuanku kuliah selain mendapat ilmu adalah untuk reuni.”

(Pidi Baiq)

“Berjalan tak seperti rencana adalah jalan yang sudah biasa, dan jalan satu-satunya jalani sebaik kau bisa.”

(Frdstvy)

“Aku adalah hari ini yang harus lebih baik dari hari kemarin“

(Pidi Baiq)

“Jika dalam hidup mengalami beberapa kesulitan, aku selalu percaya bahwa dari beberapa itu ada keberhasilan“

(Reezcky Noer)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang akan memberikan syafaatnya kelak di yaumul qiyamah. Sehingga pada saat ini penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir mengenai “Pengaruh Parameter *3D Printing Material Filamen Thermoplastic Polyurethane* (TPU) Terhadap Kualitas Produk *3D Printing Fused Filament Fabrication* (FFF) Studi Kasus *Soft Mold Vacuum Infusion Process* (VIP)” guna menyelesaikan Pendidikan jenjang Sarjana Strata-1 di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini dengan segala hati pekenankanlah penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Ayah Adil Santoso dan Bunda Elis Nuryalina selaku orang tua penulis yang selalu memberikan do'a, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang begitu tulus hingga detik ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Zahra Shafira Alwainy, B. SS yang selalu memberikan dukungan, nasihat, saran dan dorongan hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kawan-kawan seperjuangan Teknik Mesin, Abdi Haritz S.T (Abdoy), Ahsanul Zikri S.T (Kijok), David Yade (Dapid), Kemal Ali (Skrilex), Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim S.T (Masyo), Muhammad Nur Faizun (Azun), Rio Ari Sandika (Slamet) yang telah bersama-sama dan saling mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Gufran Rahardi Muchlis S.T (Gopur) atas dorongan serta saran kepada penulis.
9. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberi banyak ilmu organisasi.
10. Seluruh keluarga mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2018.

Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebut Namanya satu-per satu.

Terima kasih, Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 15 November 2022



Reezcky Noer Allamsyah

18525115

ABSTRAK

3D printing atau biasa juga sering dikenal dengan *Fused Deposition Modeling* merupakan salah satu teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pembuatan objek tiga dimensi dari model digital. Pada umumnya *3D print* menggunakan material yang dinamakan filamen. Setiap filamen memiliki parameter *printing* yang berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi dari filamen. Material yang paling umum yang digunakan pada *3D print* adalah *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS). Namun dengan semakin berkembangnya teknologi, penggunaan material yang digunakan pada *3D printing* semakin bervariasi, seperti dalam pembuatan produk yang fleksibel. Permasalahan yang sering terjadi pada proses *3D printing* menggunakan *flexible filament* yaitu banyaknya mesin *3D printing* yang mengalami kesulitan pada saat mencetak produk atau komponen karena terjadi *buckling* pada *extruder* (macet pada *extruder*). Efek *layer thickness*, *orientation angle*, dan *shell thickness* dapat mempengaruhi akurasi dari dimensi dan kekuatan yang akan dicetak. Tujuan penelitian ini adalah membahas terkait pengaruh parameter *3D print*, kendala yang dihadapi, dan solusi dengan menggunakan filamen fleksibel Sunlu *thermoplastic polyurethane* (TPU) dengan shore A95. Strategi yang digunakan yaitu *Layer Height* diatur sebesar 0,1 mm, *infill density* yang digunakan yaitu 50% dengan jenis *infill lines*, suhu *nozzle* 210° C, suhu *bed* 53° C, kecepatan *printing* 20 mm/s, dan penambahan *support*. Permasalahan yang terjadi pada saat proses *printing* menggunakan fleksibel filamen yaitu *buckling* dan hasil permukaan yang kasar. Untuk mengatasi yang dihadapi yaitu dengan memodifikasi *extruder* dari mesin *3D printer*, modifikasi yang dilakukan yaitu dengan mengganti pegas menggunakan pegas yang lebih lunak. Lalu, untuk mengatasi kendala hasil permukaan yang kasar yaitu dengan cara mengeringkan filamen menggunakan *food dehydrator* dan proses *printing* dilakukan menggunakan lemari mesin *3D printer* untuk menjaga suhu lingkungan.

Kata kunci: *3D Printing*, *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), Strategi *Printing*, Kendala, Solusi, *Soft Mold*

ABSTRACT

3D printing or traditional also commonly known as modeling modeling is one of the proposed manufacturing technologies used in the manufacture of three-dimensional objects of digital models. Most 3D printer's use a material called filament. Each filament has different parameters of printing according to the specifications of the filament. The most common material used on the 3D print is polylactic acid (PLA), acrylonitrile butadiene styrene (ABS). But as technology grows, the use of materials used in 3d printing is increasingly varied, as in the manufacture of flexible products. The frequent problem with the 3d printing process uses the suppression of filamen as many 3D printing machines develop difficulty when printing a product or component because buckling occurs on extruder. Layers, angles, and shell ranges can affect the accuracy of dimensions and forces to be molded. The purpose of the study is to discuss optimization 3d parameters print, obstacles encountered, and solutions using flexible sunlu thermoplastic polyurethane (TPU) filament with the shore A95. The design for layer heights is set by 0.1 mm, the infill density used is 50% with the infill lines, nozzle temperature 210 celcius, bed temperature 53 celcius , printing speed 20 mm/s, and adding support. The problem occurs when printing uses flexible filaments of buckling and crude surface results. To counteract the challenge by modifying the extruder of the printer's 3D machine, the modifications made were replacing springs using softer springs. Next, to counteract the crude surface results by drying off the filaments, using the food receptors, and the printing process is performed using 3D printers to maintain the environment temperature.

Keywords : 3D Printing, Thermoplastic Polyurethane (TPU), Printing Strategy, Obstacle, Solution, Soft Mold

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Pernyataan Keaslian.....	iv
Halaman Persembahan.....	v
Halaman Motto.....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih.....	vii
Abstrak.....	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Notasi.....	xvi
Bab 1 Pendahuluan.....	17
1.1 Latar Belakang.....	17
1.2 Rumusan Masalah.....	18
1.3 Batasan Masalah.....	19
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan.....	19
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	19
1.6 Sistematika Penulisan.....	19
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	21
2.1 Kajian Pustaka.....	21
2.2 Dasar Teori.....	22
2.2.1 3D printing.....	22
2.2.2 Ultimaker Cura.....	23
2.2.3 Filamen Thermoplastic Polyurethane (TPU).....	25

Bab 3 Metode Penelitian	27
3.1 Alur Penelitian	27
3.2 Peralatan dan Bahan	29
3.3 Proses Pengerjaan.....	32
3.3.1 Desain Soft Mold.....	32
3.3.2 Proses 3D Printing.....	33
Bab 4 Hasil dan pembahasan	35
4.1 Strategi 3D printing Menggunakan Flexible Filament.....	35
4.1.1 Orientasi Printing	35
4.1.2 Pengaturan Strategi Printing Menggunakan Aplikasi Ultimaker Cura	36
4.1.3 Proses Pengerjaan 3D printing.....	40
4.2 Kendala Printing Menggunakan Flexible Filament (TPU).....	41
4.2.1 Buckling.....	41
4.2.2 Hasil Printing Yang Kasar	43
4.3 Solusi Kendala Printing.....	45
4.3.1 Solusi untuk Buckling Filamen.....	45
4.3.2 Solusi Untuk Kelembapan Filamen.....	47
4.3.3 Suhu Ruangan	48
4.4 Hasil Printing Soft Mold.....	49
4.5 Penerapan Soft Mold Pada Proses Vacuum Infusion.....	50
4.5.1 Percobaan Tanpa Menggunakan Vacuum Bag	50
4.5.2 Percobaan Dengan Menggunakan Vacuum Bag.....	53
4.6 Analisa dan Pembahasan	56
Bab 5 Penutup	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya	58
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Matriks Eksperimental 28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Mesin <i>3D printer</i>	22
Gambar 2- 2 Tampilan Ultimaker Cura	23
Gambar 2- 3 Filamen TPU	25
Gambar 2- 4 Shore Hardness Scale	25
Gambar 3- 1 Diagram Alir	27
Gambar 3- 2 Laptop	29
Gambar 3- 3 <i>3D printer</i>	30
Gambar 3- 4 <i>Food Dehydrator</i>	30
Gambar 3- 5 Filamen Thermoplastic Polyurethane (TPU)	31
Gambar 3- 6 Lemari <i>3D Printer</i>	31
Gambar 3- 7 Gambar Teknik Soft Mold	32
Gambar 3- 8 Pengaturan Parameter <i>3D Printing</i>	33
Gambar 4- 1 Orientasi <i>Printing</i>	35
Gambar 4- 2 Pengaturan Kualitas	36
Gambar 4- 3 Pengaturan <i>Infill</i>	37
Gambar 4- 4 Pengaturan Suhu <i>Nozzle</i> dan <i>Bed</i>	38
Gambar 4- 5 Pengaturan Kecepatan	39
Gambar 4- 6 Simulasi Bentuk <i>Soft Mold</i> Sebelum Pemberian <i>Support</i>	40
Gambar 4- 7 Proses <i>Printing Soft Mold</i>	41
Gambar 4- 8 <i>Buckling</i> Pada <i>Extruder</i>	42
Gambar 4- 9 <i>Buckling</i> Pada <i>Extruder</i>	42
Gambar 4- 10 Permukaan Produk Kasar	43
Gambar 4- 11 <i>Display</i> Layar <i>3D printer</i>	44
Gambar 4- 12 Terdapat Bagian Produk Yang Tidak Terisi Filamen	45
Gambar 4- 13 <i>Extruder</i>	46
Gambar 4- 14 Pegas	46
Gambar 4- 15 Pegas Diganti Menggunakan Pegas Yang Lebih Lunak	47
Gambar 4- 16 Filamen Diletakkan Dalam <i>Food Dehydrator</i>	48

Gambar 4- 17 Lemari Mesin <i>3D printer</i>	49
Gambar 4- 18 Hasil <i>Printing Soft Mold</i>	50
Gambar 4- 19 <i>Void</i> Dari Proses <i>3D printing</i>	51
Gambar 4- 20 <i>Soft Mold</i> Dilapisi Plastisin Untuk Mengatasi Kebocoran	52
Gambar 4- 21 Hasil Proses <i>Vacuum Infusion</i> Tanpa Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	52
Gambar 4- 22 Percobaan <i>Vacuum Infusion</i> Dengan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	54
Gambar 4- 23 Produk Hasil <i>Vacuum Infusion</i> Dengan Penambahan <i>Soft Mold</i> ..	55
Gambar 4- 24 Percobaan <i>Vacuum Infusion</i> Tanpa Menggunakan <i>Soft Mold</i>	56



DAFTAR NOTASI

3D	= <i>Three-Dimensional</i>
FFF	= <i>Fused Filament Fabrication</i>
ABS	= <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
FDM	= <i>Fused Deposition Modelling</i>
PE	= <i>Polyethylene</i>
PETG	= <i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>
PLA	= <i>Polylactic Acid</i>
TPU	= <i>Thermoplastic Polyurethane</i>
TPE	= <i>Thermoplastic Co-Polyester</i>
TPE	= <i>Thermoplastic Elastomer</i>
VIP	= <i>Vacuum Infusion Process</i>



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industri 4.0 seperti sekarang teknologi *3D printing* dalam dunia manufaktur mampu memberikan dampak yang cukup signifikan dalam bidang industri, terutama dari segi proses pembuatan produk yang singkat dan juga murah.

3D printing atau biasa juga sering dikenal dengan *Fused Deposition Modeling* merupakan salah satu teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pembuatan objek tiga dimensi dari model digital. Pada umumnya *3D print* menggunakan material yang dinamakan filamen. Setiap filamen memiliki parameter *printing* yang berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi dari filamen. Pengaturan parameter *3D printing* dilakukan dengan menggunakan aplikasi sesuai dengan mesin *3D print* yang digunakan. Sebagai contoh aplikasi yang sering digunakan dalam proses pengaturan parameter *3D print* adalah CURA.

Material yang paling umum yang digunakan pada *3D print* adalah *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS). Namun dengan semakin berkembangnya teknologi, penggunaan material yang digunakan pada *3D printing* semakin bervariasi, seperti dalam pembuatan produk yang fleksibel. Beberapa jenis filamen fleksibel yang umum digunakan adalah *thermoplastic elastomer* (TPE) dan *thermoplastic polyurethane* (TPU).

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada proses *3D printing* menggunakan *flexible* filamen yaitu banyaknya mesin *3D printing* yang mengalami kesulitan pada saat mencetak produk atau komponen karena terjadi *buckling* pada *extruder* (macet pada *extruder*). Efek *layer thickness*, *orientation angle*, dan *shell thickness* dapat mempengaruhi akurasi dari dimensi dan kekuatan yang akan dicetak.

Komposit merupakan perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi dari masing-masing sifat fisik material penyusunnya untuk dapat menghasilkan material baru dengan sifat yang berbeda dibandingkan dengan sifat material dasar sebelum dicampur menjadi suatu ikatan permukaan dari masing-

masing material penyusunnya (Gibson, 1994). Pada sifat mekanik dari komposit yang diharapkan adalah material yang kuat dan ringan.

Vaccum Infusion adalah proses pembuatan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara yang biasa disebut juga dengan proses cetakan tertutup karena cetakan ini ditutup oleh plastik *bag* yang diberi perekat (*sealing tape*) agar udara dalam cetakan tetap tervakum, yang nantinya aliran dari resin akan masuk dan mengisi cetakan (Hidayat, 2020). Penggunaan dari proses *vaccum infusion* yaitu dapat meminimalisir adanya gelembung udara yang terperangkap dan resin yang berlebih di dalam cetakan. Pada proses *vaccum infusion* memerlukan bahan yang sekali pakai seperti plastik, *butyl tape*, selang, dan selang spiral untuk mengalirkan resin. Bahan-bahan tersebut hanya dapat digunakan sekali pakai akibat terkena resin yang mudah mengeras. Proses *vaccum infusion* menjadikan plastik sebagai bahan yang paling banyak menghasilkan limbah yang paling banyak karena pada proses *vaccum infusion* plastik yang digunakan harus selalu lebih besar dari cetakan.

Perlu penelitian terkait pengaruh parameter *3D print* dengan menggunakan filamen fleksibel Sunlu *thermoplastic polyurethane* (TPU) dengan shore A95. Penggunaan filamen fleksibel memberikan beberapa tantangan sehingga perlu dilakukan penelitian untuk optimasi parameter *printing* agar menghasilkan produk yang dapat digunakan untuk pembuatan *soft mold* pada proses *vaccum infusion*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat dirumuskan masalah-masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana strategi yang tepat digunakan pada mesin *3D printing* terhadap *flexible filament* (TPU) untuk jenis material *soft mold* ?
2. Apakah terdapat kendala dan kegagalan dari proses *printing soft mold* menggunakan filamen TPU?
3. Bagaimana solusi untuk mengatasi kendala dan kegagalan pada proses *printing soft mold* menggunakan filamen TPU?
4. Bagaimana kualitas produk *soft mold* menggunakan filamen TPU pada proses *vaccum infusion*?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah untuk tetap fokus dan tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, di antaranya :

1. Proses *printing* menggunakan mesin *3D print* Creality CR-10S Pro dengan jenis material *soft mold* yang diteliti yaitu *thermoplastic polyurethane* (TPU) SUNLU *shore* A95.
2. Tidak membahas desain dari proses *printing*.
3. Proses penelitian ini hanya fokus pada pengaruh parameter proses *3D printing* terhadap kualitas produk *soft mold* yang dihasilkan menggunakan filamen TPU SUNLU *shore* A95.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan strategi yang tepat pada proses *3D printing soft mold* menggunakan filamen TPU *shore* A95.
2. Mengetahui kendala dan kegagalan dari proses *printing soft mold* menggunakan filamen TPU *shore* A95.
3. Menentukan solusi untuk mengatasi kendala dan kegagalan pada proses *printing soft mold* menggunakan filamen TPU *shore* A95.
4. Mengetahui penggunaan *3D printing soft mold* menggunakan filamen TPU *shore* A95 pada proses *vaccum infusion*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai panduan cara penggunaan *3D printing soft mold* menggunakan filamen TPU *shore* A95.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang mendasari penelitian pengaruh parameter *3D printing* pada pembuatan *soft mold* pada proses *vacuum infusion*.

BAB III Metode Penelitian

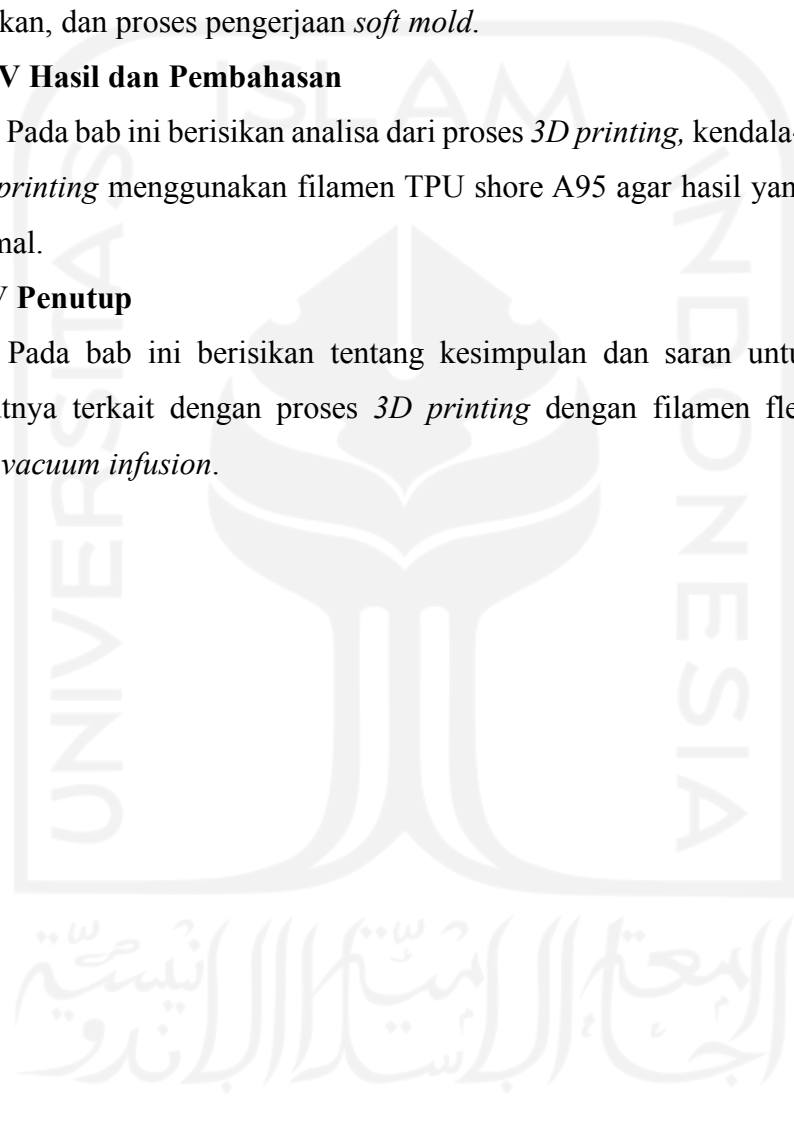
Pada bab ini berisikan diagram alur penelitian ini, peralatan dan bahan yang digunakan, dan proses pengerjaan *soft mold*.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisa dari proses *3D printing*, kendala-kendala, dan solusi *printing* menggunakan filamen TPU shore A95 agar hasil yang didapatkan maksimal.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan proses *3D printing* dengan filamen fleksibel untuk proses *vacuum infusion*.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh (Pristiansyah et al., 2019). Penelitian ini membahas akurasi dimensi *3D printed product* menggunakan filamen fleksibel Eflex menggunakan mesin *3D print* DIY coreXY dan analisis menggunakan *Taguschi method*. Pengaturan strategi *printing* yang optimal menggunakan filamen fleksibel Eflex yaitu dengan *flowrate* 110%, *layer thickness* 0,10 mm, temperatur *nozzle* 210 °C, dan *print speed* 40 mm/s.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hasdiansah & Herianto, 2018). Penelitian ini membahas terkait parameter proses *3D Printing* yang mempengaruhi kualitas produk dari hasil proses *3D Printing flexible filament* dengan menggunakan filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) dengan teknik FDM menggunakan *3D Printer* jenis cartesian. Dengan menggunakan dua faktor dan masing-masing faktor terdiri dari tiga level serta menggunakan parameter proses *printing speed*, *bed temperature*, *infill*, *flowrate*, dan *shell thickness* yang tetap. Dari hasil percobaan, dapat diperoleh bahwa parameter yang diatur pada *slicing software* dapat mempengaruhi tingkat elastisitas produk. Dapat diketahui juga bahwa pengaturan *layer thickness* pada saat *slicing* memberikan pengaruh dalam berkurangnya tingkat elastisitas pada hasil *printing*. Namun, dalam perbedaan pengaturan ekstruder temperatur sebesar 5° tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat elastisitas produk yang dicetak menggunakan filamen TPU.

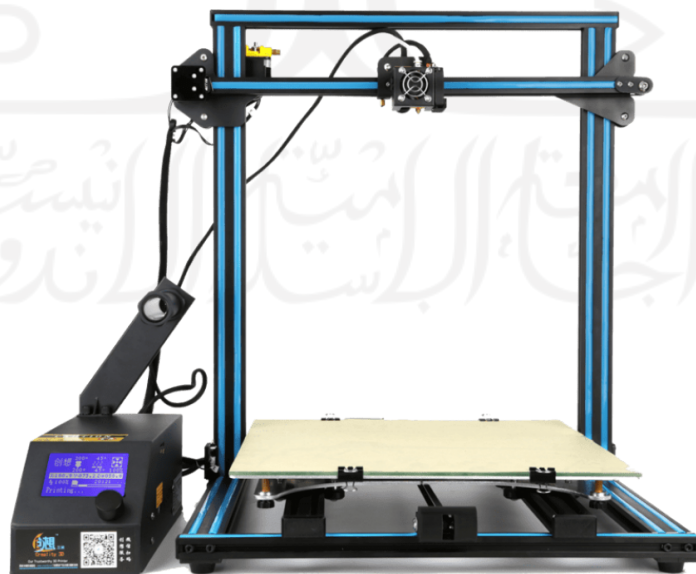
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Pratama & Adib, 2022). Penelitian tersebut berisi tentang pengaruh parameter proses yaitu suhu dan orientasi *build* terhadap akurasi dimensi serta nilai kekerasan (*shore D hardness*) dari material *thermoplastic elastomer* (TPE) dari hasil cetak *3D printing*. Pengaruh dari suhu serta orientasi *build* dapat mempengaruhi pada nilai kekerasan serta akurasi dimensi.

Extruder 3D printer pada umumnya tidak dapat untuk digunakan untuk *printing* dengan filamen fleksibel dikarenakan sering terjadinya *buckling* pada *roller extruder* ketika mendorong filamen menuju *nozzle*. Penelitian yang dilakukan oleh (Kumar et al., n.d.) menjelaskan hasil dari modifikasi *screw extrusion* berdasarkan *material deposition tool* (MDT). Parameter optimum dalam proses *printing* yaitu kecepatan *deposition* 938 mm/min, *barrel temperature* 120 °C, *screw speed* 60 rpm, *bed temperature* 50 °C, dan *layer thickness* 1,42 mm.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 3D printing

Teknologi *3D print* merupakan teknologi yang biasa dikenal dengan sebutan *Additive Layer Manufacturing* yang sebenarnya sudah ada sejak tahun 1980-an. *3D printing* merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi dan sangat populer di kalangan akademisi dan industri. Teknologi *3D printing* juga berpengaruh pada bidang industri karena dengan *rapid prototyping* dapat memproduksi *prototype* dengan cepat.(Attaran, 2017). Proses *3D printing* yang sering dikenal dengan *Fused Deposition Modelling* (FDM), prinsip kerjanya adalah dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* tertentu.(Satyanarayana & Prakash, 2015)

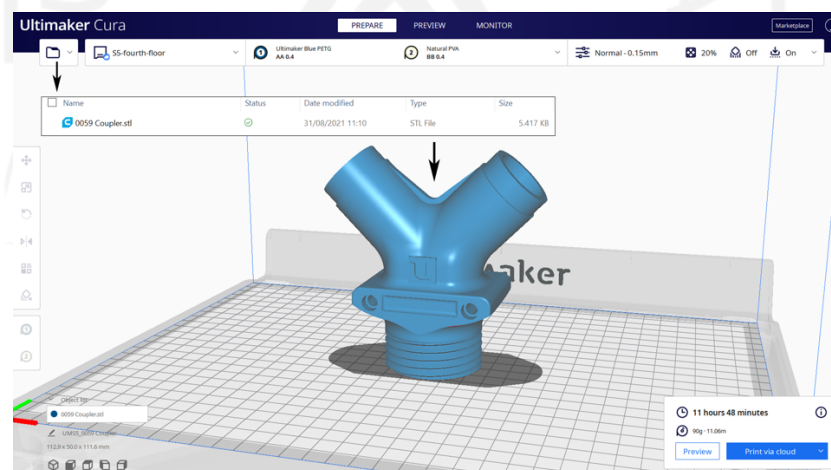


Gambar 2- 1 Mesin 3D printer

3D printing merupakan proses pembuatan produk dari *3D* model menjadi objek yang nyata. Metode yang digunakan yaitu dengan cara meletakkan *layer by layer* ke *bed 3D printer* hingga menjadi bentuk solid yang menyerupai model *3D*-nya. Pada umumnya *3D printing* dalam penggunaannya adalah membuat produk-produk *flexible*. Proses pencetakan filamen *flexible* dengan menggunakan teknologi *Fused Deposition Modelling (FDM)* masih memerlukan studi mendalam. Ada beberapa jenis filament *flexible* yang umum digunakan yaitu *Thermoplastic Elastomer (TPE)* dan *thermoplastic polyurethane (TPU)*. salah satu permasalahan pada teknologi *3D print* pada saat penge-*print*-nan filamen TPU dan TPE yaitu dibutuhkan sentuhan khusus pada saat melakukan pengeprintan filamen jenis ini. Karena seringnya terjadi macet pada *extruder*. Dan selain itu penelitian dengan menggunakan filamen *flexible* dalam hal akurasi dimensi masih memiliki peluang untuk dikaji lebih dalam. (Pristiansyah et al., 2019b)

2.2.2 Ultimaker Cura

Ultimaker Cura merupakan *software* perangkat lunak yang bertujuan untuk mengatur atau mempersiapkan model dari desain dengan melakukan proses *slicing* (membuat desain menjadi lapisan per lapisan) dan proses selanjutnya akan menghasilkan *g-code* yang akan dicetak pada mesin *3D printer*. (Ultimaker, 2017b).



Gambar 2- 2 Tampilan Ultimaker Cura

Berikut beberapa pengaturan yang terdapat pada *software* Ultimaker Cura untuk mengatur model *3D print* antara lain :

1. *Layer Thickness*

Untuk mengatur tinggi dari setiap lapisan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hasdiansah & Herianto, 2018) *layer thickness* 0,15 mm memiliki elastisitas lebih baik jika dibandingkan dengan *layer thickness* 0,10mm dan 0,20mm dengan *nozzle temperature* 205 ° C, 210° C, dan 215° C.

2. *Wall Thickness*

Untuk mengatur ketebalan dinding model lapisan.

3. *Infill Density*

Untuk mengatur kerapatan dari model yang akan dicetak. Apabila semakin besar *infill density* yang digunakan maka semakin besar nilai kekuatannya.

4. *Infill Pattern*

Untuk mengatur bentuk *infill* yang akan digunakan. Contoh *infill pattern* yang ada pada *software* cura adalah *line*, *hexagon*, dan *gyroid*.

5. *Printing Temperature*

Untuk mengatur suhu yang ingin digunakan. Berdasarkan data *technical data sheet* filamen TPU direkomendasikan menggunakan suhu 210° C - 230° C.

6. *Print Speed*

Untuk mengatur kecepatan keluarnya filamen pada saat mencetak menggunakan mesin *3D print*. Berdasarkan penelitian dari (Pristiansyah et al., 2019b) untuk mendapatkan akurasi dimensi yang baik, *printing speed* yang digunakan maksimal 40 mm/s.

7. *Support*

Untuk memberikan bahan bantuan pada produk yang akan dibuat oleh mesin *3D print* agar sesuai dengan model yang diinginkan.

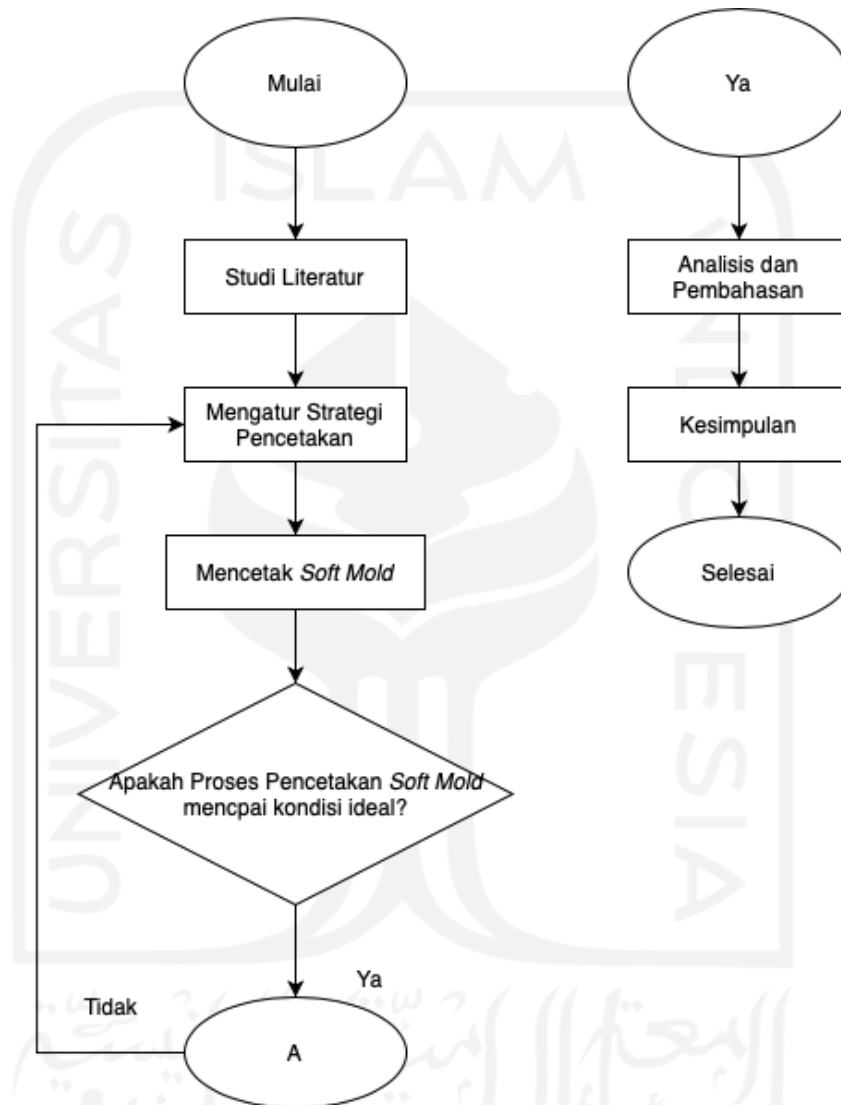
A95 milik Ultrafuse memiliki nilai *tensile strength at yield* sebesar 8,3 MPa dan *elongation at yield* sebesar 50% (Ultrafuse, 2021). Filamen TPU akan mengalami patah atau putus ketika mengalami pemanjangan sebesar 580%. Bahan dari *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) biasa digunakan untuk interior otomotif, alas kaki dan juga sebagai perangkat medis.(Martin et al., 2012). Pada saat ini filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) dapat digunakan sebagai cetakan *soft mold* proses komposit.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Diagram Alir

Tabel 3- 1 Matriks Eksperimental

Matriks Eksperimental					
Percobaan	Parameter	Kondisi Ideal	Hasil (visual)	Keterangan	
1	Nozzle Temperature = 195°C	1. <i>Soft Mold</i> yang diinginkan fleksibel namun tidak terlalu kaku 2. Sesuai dengan bentuk yang diinginkan	Hasil 3D printitng gagal	X	
	Printing Speed = 100 mm/s				
	Infill Density = 50 %				
	No Food Dehydrator				
2	Nozzle Temperature = 230 °C		1. <i>Soft Mold</i> yang diinginkan fleksibel namun tidak terlalu kaku 2. Sesuai dengan bentuk yang diinginkan	Hasil 3D printitng gagal	X
	Printing Speed = 50 mm/s				
	Infill Density = 50 %				
	With Food Dehydrator = 55 °C				
3	Nozzle Temperature = 210 °C	1. <i>Soft Mold</i> yang diinginkan fleksibel namun tidak terlalu kaku 2. Sesuai dengan bentuk yang diinginkan		1. <i>Soft Mold</i> yang diinginkan fleksibel namun tidak terlalu kaku 2. Sesuai dengan bentuk yang diinginkan	✓
	Printing Speed = 20 mm/s				
	Infill Density = 50 %				
	With Food Dehydrator = 45 °C				

3.2 Peralatan dan Bahan

1. Laptop

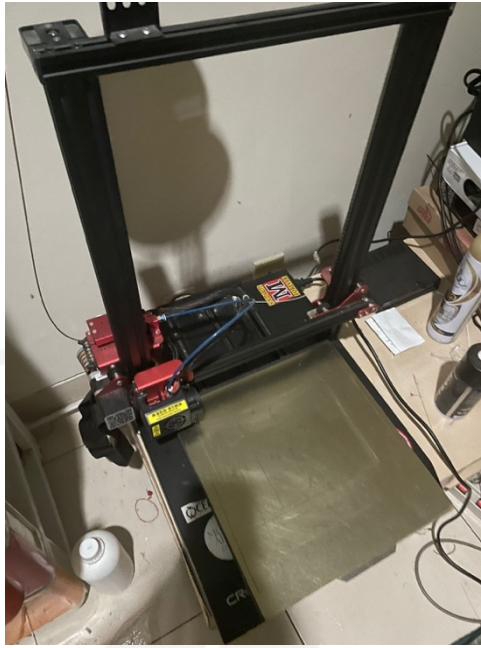


Gambar 3- 2 Laptop

Pada penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah laptop yang berfungsi sebagai menentukan parameter *3D printing* pada software Ultimaker Cura agar pada saat proses printing dapat sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

2. *3D printer*

Pada penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah mesin *3D print* dari Creality CR-10S Pro yang berfungsi untuk mencetak *soft mold*. Mesin *3D print* ini memiliki ukuran *bed* 300 x 300 mm dengan jenis *extruder* yang digunakan merupakan *bowden extruder*. Gambar 3- 3 menunjukkan *3D printer* Creality CR-10S Pro.



Gambar 3- 3 *3D printer*

3. *Food Dehydrator*

Food Dehydrator yang digunakan adalah *Shanben food dehydrator* yang berkapasitas 345 W berfungsi sebagai pemanas dari filamen TPU agar filamen tidak menjadi lembap pada saat proses pencetakan *soft mold*. Gambar 3- 4 menunjukkan *food dehydrator* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3- 4 *Food Dehydrator*

4. Filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Filamen yang digunakan sebagai material *soft mold* pada penelitian ini adalah filamen *thermoplastic polyurethane* (TPU) keluaran Sunlu dengan *shore A95* yang memiliki diameter 1.75 mm dan dapat dilelehkan pada suhu 210 °C.



Gambar 3- 5 Filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

5. Lemari *3D Printer*

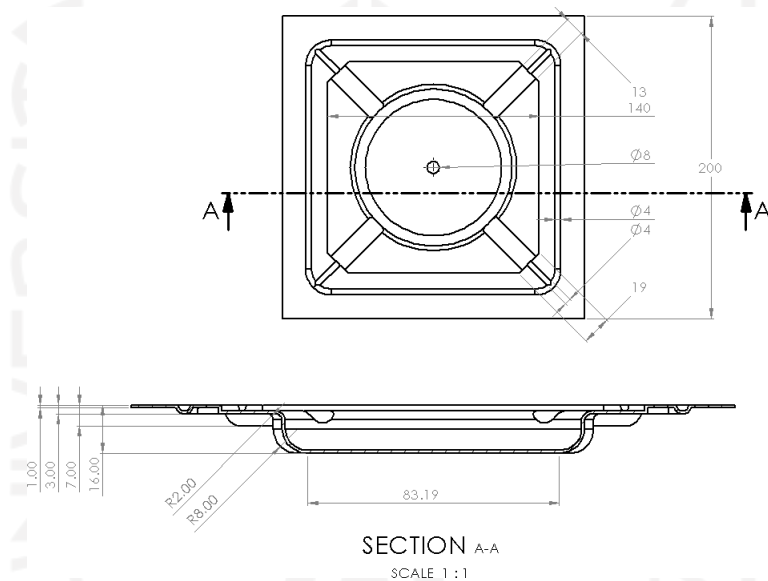


Gambar 3- 6 Lemari *3D Printer*

Lemari *3D printer* berfungsi untuk menjaga suhu ruangan ketika proses *printing*. Filamen fleksibel setelah dipanaskan di dalam *food dehydrator* pada suhu tertentu. Filamen akan keluar dari *food dehydrator* dan bersentuhan dengan suhu lingkungan. Maka dari itu diperlukan lemari *3D printer* untuk menjaga filamen agar tetap dalam keadaan kering setelah melalui fase pemanasan pada *food dehydrator*.

3.3 Proses Pengerjaan

3.3.1 Desain Soft Mold

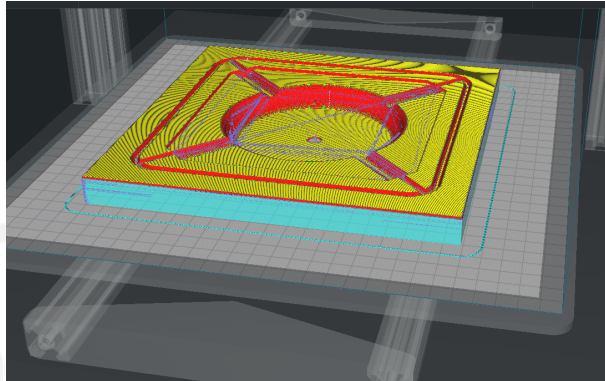


Gambar 3- 7 Gambar Teknik Soft Mold

Pada gambar 3-7 merupakan gambar teknik dari desain *soft mold* yang akan digunakan pada penelitian ini. *Soft mold* memiliki bentuk sisi persegi dengan ukuran 200mm x 200mm dengan total ketebalan 1mm.

3.3.2 Proses 3D Printing

1. Mengatur parameter 3D printing pada Ultimaker Cura.



Gambar 3- 8 Pengaturan Parameter 3D Printing

Pada tahap ini dilakukan pengaturan parameter yang digunakan pada proses pencetakan *soft mold*. Beberapa pengaturan yang diatur seperti : orientasi printing, *layer thickness*, *infill density*, *infill pattern*, *nozzle temperature*, *bed temperature*, *printing speed*, dan *support*.

2. Menyimpan strategi yang sudah diatur dengan format g-code

Setelah selesai mengatur parameter yang akan digunakan file disimpan dengan format g-code agar dapat terbaca pada mesin *3D printer*.

3. Memindahkan *file* dari laptop ke *sd card*

Untuk dapat mencetak produk *file* yang sudah disimpan dalam format g-code dipindahkan ke *sd card* yang akan digunakan pada mesin *3D printer*.

4. Menghidupkan dan memanaskan mesin *3D printer*

Sebelum melakukan pencetakan produk mesin dinyalakan dan dipanaskan terlebih dahulu, terutama pada bagian *nozzle* untuk menghilangkan filamen yang sebelumnya digunakan pada mesin *3D printer*

5. Mengganti pegas dari *extruder*

Dikarenakan pegas dari *extruder* pada mesin *3D printer* kaku maka perlu diganti dengan menggunakan pegas yang lebih lunak untuk menghindari *buckling* pada *extruder*.

6. Memasukkan filamen kedalam *extruder*

Filamen dimasukkan kedalam *extruder* hingga ujung dari filamen menyentuh *nozzle*.

7. Memilih file yang akan dicetak melalui display *3D printer*

File yang sudah dipindahkan pada sd card dipilih melalui display untuk proses pencetakan pada mesin *3D printer*.

8. Proses pencetakan produk

kerMesin akan mencetak produk secara otomatis mengikuti g-code yang sudah diatur pada *Ultimaker Cura*.



BAB 4

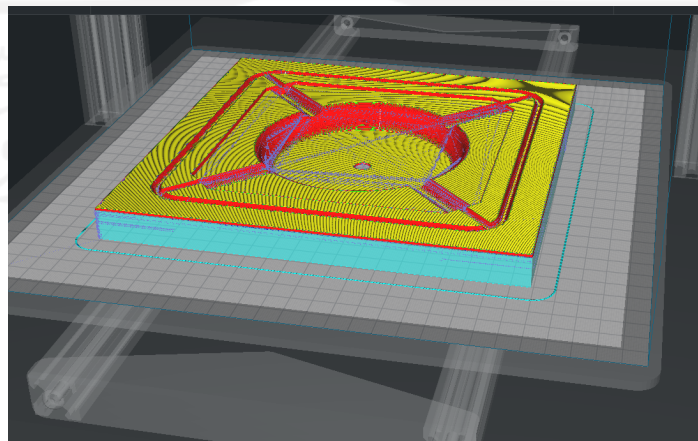
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Strategi *3D printing* Menggunakan *Flexible Filament*

Proses *3D printing* digunakan sebagai master dalam pembuatan *soft mold*. Filament yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Thermoplastic Polyurathane* (TPU) karena *soft mold* diharapkan memiliki fleksibilitas yang cukup untuk membentuk produk yang akan dibuat menyesuaikan dengan serat gelas yang digunakan dalam proses pembuatan produk komposit. Proses *3D print* diawali dengan pembuatan desain cetakan kemudian di export dengan format STL untuk digunakan di aplikasi CURA. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan parameter *3D print*. Parameter *3D print* yang digunakan yaitu dengan jenis *infill line* dan *infill density* sebesar 50%.

4.1.1 Orientasi *Printing*

Orientasi *printing* digunakan untuk menentukan posisi produk yang akan dicetak selama proses pengaturan strategi. Orientasi yang dipilih yaitu dapat dilihat pada gambar 4- 1 pemilihan orientasi tersebut mempertimbangkan bagian yang akan bersentuhan dengan resin. bagian tersebut menjadi bagian *layering* terakhir ketika proses pencetakan. Bagian tersebut akan memiliki permukaan yang halus agar permukaan produk yang dibuat memiliki permukaan yang halus.



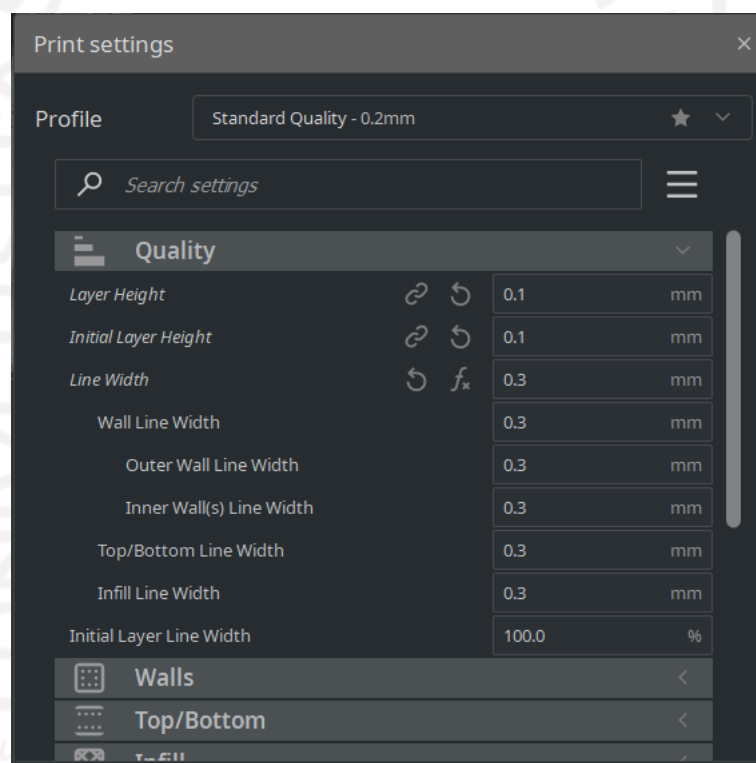
Gambar 4- 1 Orientasi *Printing*

4.1.2 Pengaturan Strategi *Printing* Menggunakan Aplikasi Ultimaker Cura

Sebelum dilakukan proses pencetakan menggunakan *3D printer* diperlukan aplikasi untuk mengatur strategi *printing*. Dalam penelitian ini, pengaturan strategi *printing* dilakukan menggunakan aplikasi Ultimaker Cura. Beberapa pengaturan yang dilakukan yaitu:

1. Kualitas

Pengaturan kualitas yang dilakukan yaitu *Layer Height*, *Initial Layer Height*, dan *Top/Bottom Line Width*.



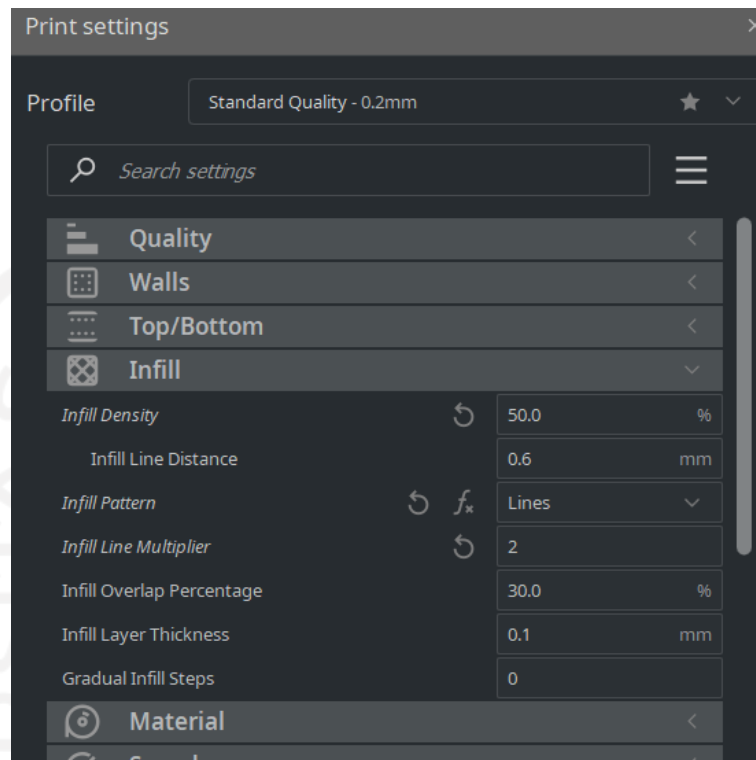
Gambar 4- 2 Pengaturan Kualitas

Layer Height diatur sebesar 0,1 mm. Jika nilai *Layer Height* semakin rendah maka kualitas produk semakin baik namun proses *printing* menjadi lebih lama. Jika semakin besar nilai *Layer Height* maka semakin berkurang kualitasnya namun proses *printing* menjadi lebih cepat. Pada penelitian ini digunakan *Layer height* yang kecil untuk mendapatkan kualitas yang baik.

2. *Infill*

3D model yang selesai didesain biasanya membutuhkan *infill* agar bisa dicetak. *Infill* adalah suatu pola di dalam objek yang digunakan sebagai struktur

support agar bisa dicetak di *3D printer*. Semakin banyak *infill* yang ada, semakin padat dan tahan lama objek tersebut akan terbentuk.



Gambar 4- 3 Pengaturan *Infill*

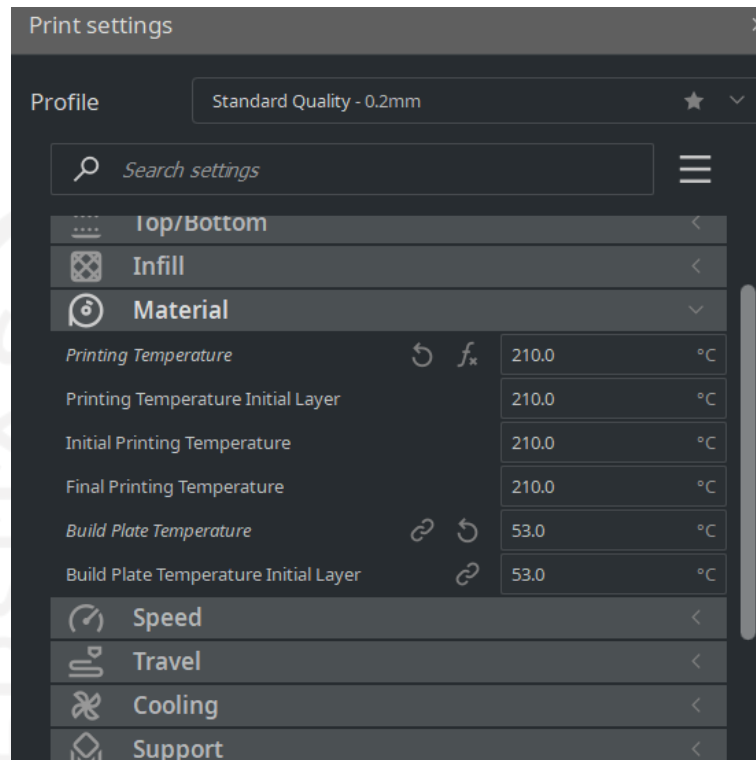
Pada penelitian ini, *infill density* yang digunakan yaitu 50% tujuannya yaitu agar produk memiliki kerapatan yang tinggi. Hal tersebut dilakukan agar ketika digunakan selama proses *vacuum infusion*, *3D printed soft mold* tidak terisi oleh resin.

Pengaturan yang lain yaitu, jenis *infill* yang digunakan yaitu jenis *Lines*. *Infill* tersebut digunakan agar *3D printed soft mold* memiliki kerapatan yang tinggi selain diatur dengan kepadatan atau densitas yang digunakan.

3. Material

Pada pengaturan ini, terdapat beberapa parameter yang dapat diatur yaitu suhu *nozzle* dan suhu *bed 3D print*. Suatu filamen yang dikeluarkan oleh produsen memiliki rekomendasi suhu yang digunakan untuk melelehkan filamen yang digunakan. Pada penelitian ini, menggunakan filamen TPU Shore 95A keluaran produsen SUNLU. Suhu yang direkomendasikan yaitu 190° hingga 230° C. Pada tabel 3- 1 dilakukan 3 kali percobaan. Pada percobaan pertama yang dilakukan menggunakan temperatur 200° C, pada percobaan

kedua yang dilakukan menggunakan temperatur 230° C, dan untuk percobaan ketiga yang dilakukan menggunakan temperatur 210° C yang merupakan parameter optimal yang digunakan pada saat pencetakan *soft mold* .



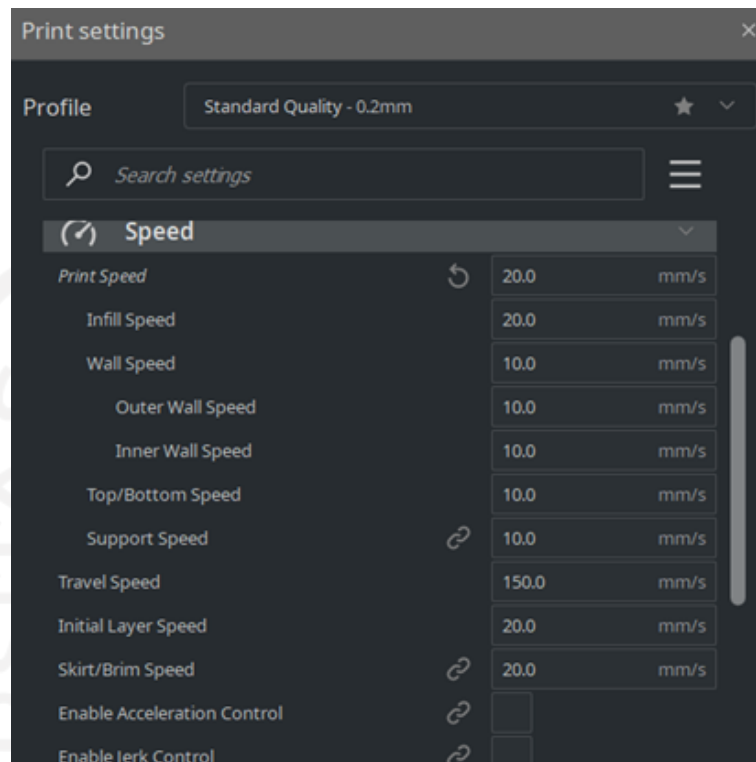
Gambar 4- 4 Pengaturan Suhu *Nozzle* dan *Bed* Optimal Yang Digunakan

Pengaturan lain yang dilakukan yaitu suhu *bed 3D printer* atau *Build Plate Temperature*. Suhu *bed* juga disesuaikan dengan rekomendasi dari perusahaan, lalu suhu yang kami digunakan yaitu 53 derajat Celsius. Mesin *3D printer* akan melakukan pemanasan *nozzle* dan *bed* sebelum dilakukan *printing* hingga sesuai dengan suhu yang diatur yang terlihat pada gambar 4- 4.

4. *Speed*

Speed merupakan kecepatan *nozzle* dalam bergerak untuk mencetak produk yang diinginkan. Kesulitan yang dialami selama proses *printing* menggunakan *flexible filament* yaitu kualitas produk. Kecepatan memiliki peranan penting dalam strategi *printing* menggunakan *flexible filament*. *Flexible filament* tidak dapat digunakan menggunakan kecepatan yang tinggi karena filamen yang dikeluarkan dari *nozzle* lambat sehingga untuk mendapatkan hasil yang bagus kecepatan harus sangat rendah. Di sisi lain, jika kecepatan terlalu tinggi, filamen

akan mengalami *buckling* pada ekstruder karena proses ekstrusi filamen dari *nozzle* yang cepat.



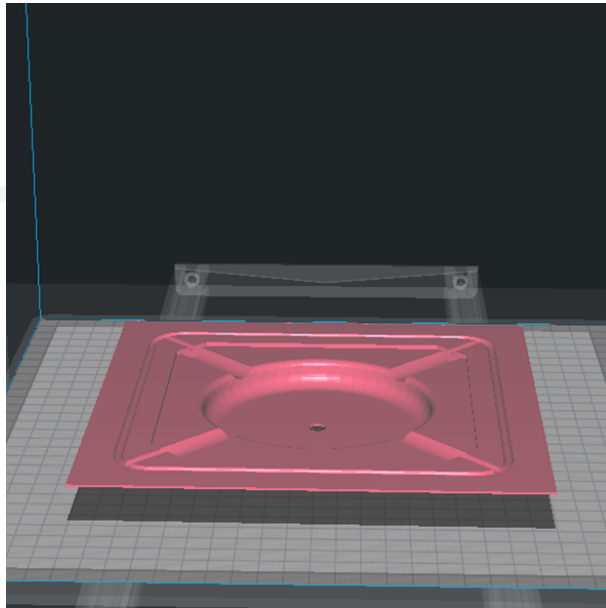
Gambar 4- 5 Pengaturan Kecepatan Optimal Yang Digunakan

Pada penelitian ini, dilakukan 3 kali percobaan. Pada percobaan pertama yang dilakukan menggunakan kecepatan 100 mm/s, pada percobaan kedua yang dilakukan menggunakan kecepatan 50 mm/s, Untuk percobaan ketiga yang dilakukan menggunakan kecepatan 20 mm/s yang merupakan parameter optimal yang digunakan pada pencetakan *soft mold*. Rata-rata kecepatan untuk *printing* menggunakan filamen PLA dan ABS yaitu hingga mencapai 100 mm/s sehingga waktu pengerjaan menjadi lebih cepat namun hal itu juga didukung dengan filamen PLA dan ABS yang mudah untuk didorong menuju *nozzle* sedangkan filamen fleksibel sulit karena kekuatan kolom yang rendah.

5. *Support*

Support digunakan untuk menompang bentuk produk yang akan dibuat jika bagian tersebut tidak bersentuhan dengan *bed 3D printer*. Pada gambar 4- 6 memperlihatkan bentuk *soft mold* sebelum dilakukan pemberian *support*. Produk dengan bentuk seperti yang terlihat tentu tidak dapat langsung dilakukan pencetakan, karena bagian tersebut melayang sehingga ketika dilakukan

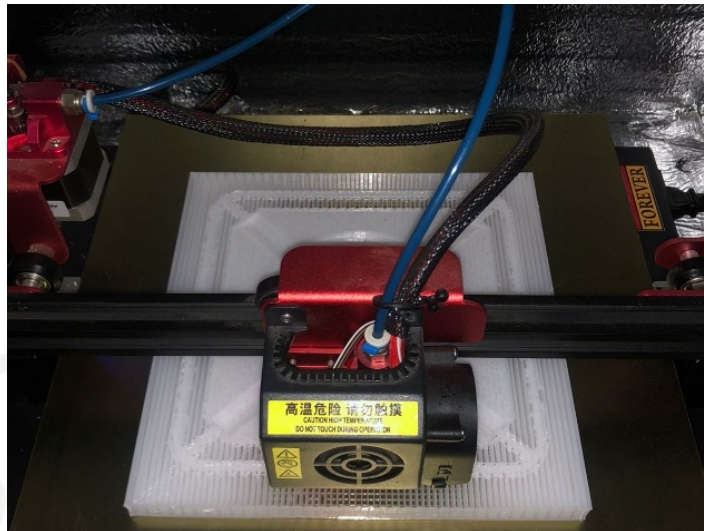
pencetakan, filamen akan terjatuh ke *bed 3D printer*. Oleh karena itu, diperlukan *support* untuk menompang bagian yang melayang tersebut agar produk yang dicetak berhasil.



Gambar 4- 6 Simulasi Bentuk *Soft Mold* Sebelum Pemberian *Support*

4.1.3 Proses Pengerjaan *3D printing*

Proses *printing soft mold* dilakukan menggunakan mesin *3D print* Creality CR-10S Pro yang dapat dilihat pada gambar 3- 2. Proses pencetakan *soft mold* memerlukan waktu selama 4 hari hal ini dikarenakan filamen yang digunakan adalah filamen fleksibel. Proses kecepatan *printing* yang digunakan adalah 20 mm per detik, hal ini dikarenakan pada percobaan pertama dan kedua jika menggunakan kecepatan yang lebih tinggi dapat mengakibatkan filamen yang keluar dari *nozzle* tidak lancar sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan *printing*.



Gambar 4- 7 Proses *Printing Soft Mold*

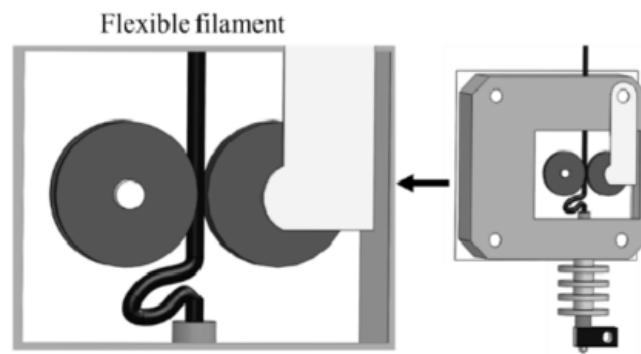
4.2 Kendala *Printing Menggunakan Flexible Filament (TPU)*

Proses pencetakan filamen *flexible* dengan menggunakan teknologi *Fused Deposition Modelling (FDM)* masih memerlukan studi mendalam. Pada penelitian ini menggunakan filamen *Thermoplastic polyurethane (TPU)*. Dari hasil penelitian, terdapat beberapa kendala dalam proses *printing* menggunakan *flexible*.

Dari hasil penelitian, beberapa hal Salah satu permasalahan pada teknologi *3D printing Flexible Filament* yaitu banyaknya mesin *3D printing* yang mengalami kesulitan pada saat mencetak produk atau komponen karena *jam extruder* (macet pada *ekstruder*).

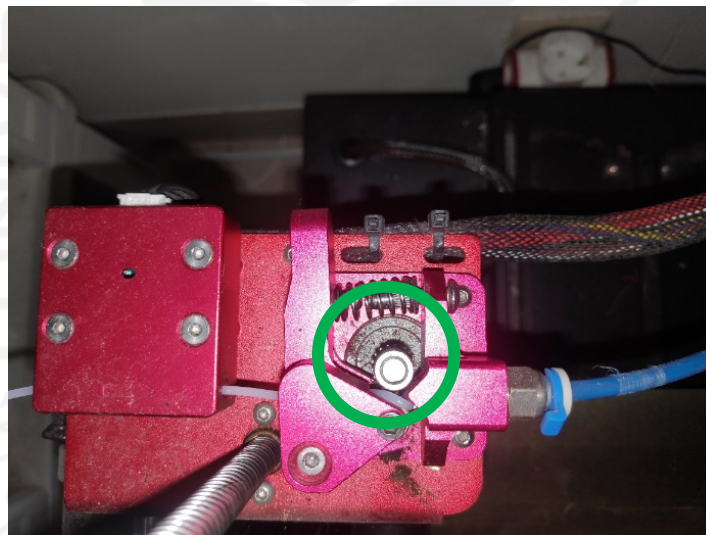
4.2.1 *Buckling*

Flexible filament memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan material seperti PLA dan ABS. *Buckling* terjadi ketika *roller* menarik filamen untuk menuju *nozzle* namun filamen memiliki kekuatan kolom yang rendah sehingga terjadi *buckling* dan filamen tidak dapat masuk menuju *nozzle* seperti yang terlihat pada gambar 4- 8.



Gambar 4- 8 *Buckling Pada Extruder*

Lebih lanjut, viskositas lelehan filamen TPU yang tinggi memerlukan kekuatan yang besar untuk mendorong filamen ke dalam *nozzle* dibandingkan dengan bahan polimer lainnya, yang tidak dapat dipenuhi karena kekuatan kolom yang rendah. Kedua sifat ini saling bertentangan. Kendala ini membuat sistem FDM komersial tidak kompatibel untuk memproses filamen fleksibel. Namun demikian, modifikasi pada sistem pengumpanan FDM yang ada dapat menimbulkan masalah dalam pemrosesan bahan polimer lainnya seperti ABS dan PLA, dll.



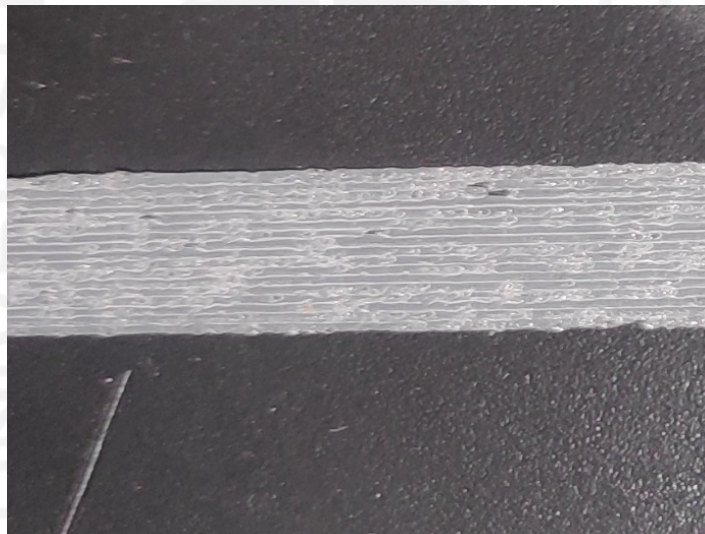
Gambar 4- 9 *Buckling Pada Extruder*

Pada gambar 4- 9 di lingkaran berwarna hijau terlihat filamen tersedat dan tidak dapat masuk menuju *nozzle*. Fenomena tersebut terjadi dinamakan *buckling* di mana filamen keluar dari jalur yang seharusnya dilalui. Hal itu dikarenakan pegas menekan terlalu keras lalu *roller* terus berputar mendorong filamen masuk menuju *nozzle* sedangkan filamen memiliki kekuatan kolom yang rendah sehingga filamen tertekuk di *roller*.

4.2.2 Hasil *Printing* Yang Kasar

Mencetak suatu produk menggunakan material fleksibel memiliki banyak tantangan yang perlu disesuaikan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Suatu produk yang memiliki kualitas yang rendah tentu tidak diinginkan. Pada pembuatan *soft mold* diperlukan kualitas permukaan yang baik dan halus. Untuk mendapatkan kualitas produk yang halus tidak hanya dengan melakukan pengaturan strategi pada aplikasi Ultimaker Cura.

3D printing yang dalam membentuk suatu produk yang diinginkan dengan cara *layer-by-layer* perlu untuk dikontrol untuk dapat menghasilkan hasil *layering* yang baik. Pada gambar 4- 10 dapat dilihat kualitas *layer* yang kurang baik yaitu terdapat bercak-bercak ekstrusi filamen.



Gambar 4- 10 Permukaan Produk Kasar

Hasil yang didapatkan kegagalan proses printing yang terlihat pada gambar 4- 10 dengan menggunakan temperatur *nozzle* 200° dan 230° C pada percobaan pertama dan kedua, serta dengan menggunakan kecepatan pencetakan 100 mm/s yang dapat dilihat pada gambar 4- 11 dan kecepatan pencetakan 50 mm/s.. Kecepatan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan, filamen fleksibel tidak dapat dipaksa menuju *nozzle* seperti filamen PLA atau ABS. Filamen fleksibel dibiarkan masuk menuju *nozzle* dengan perlahan untuk menghindari *buckling* pada *roller extruder*. Sehingga ketika kecepatan *printing* lebih tinggi dari kecepatan filamen menuju *nozzle* dan proses pelelehan maka

filamen yang keluar dari *nozzle* akan terhambat sehingga hasilnya kurang bagus seperti pada gambar 4- 10.



Gambar 4- 11 *Display* Layar 3D printer Percobaan Pertama

Pada gambar 4- 12 yang merupakan percobaan *printing* memiliki hasil yang rapuh dan terdapat rongga-rongga yang tidak terisi oleh lelehan filamen. Selain dari permasalahan ekstrusi filamen, hal lain yang mempengaruhi hasil *printing* menggunakan filamen fleksibel yaitu filamen lembap.

Pada gambar 4- 12 rongga-rongga yang tidak terisi filamen diakibatkan oleh gelembung-gelembung air yang berasal dari filamen yang lembap lalu dipanaskan di dalam *nozzle*. Akibat dari gelembung-gelembung tersebut berpengaruh pada kekuatan dan kualitas permukaan dari produk yang dicetak sehingga produk dinyatakan gagal.



Gambar 4- 12 Terdapat Bagian Produk Yang Tidak Terisi Filamen

4.3 Solusi Kendala *Printing*

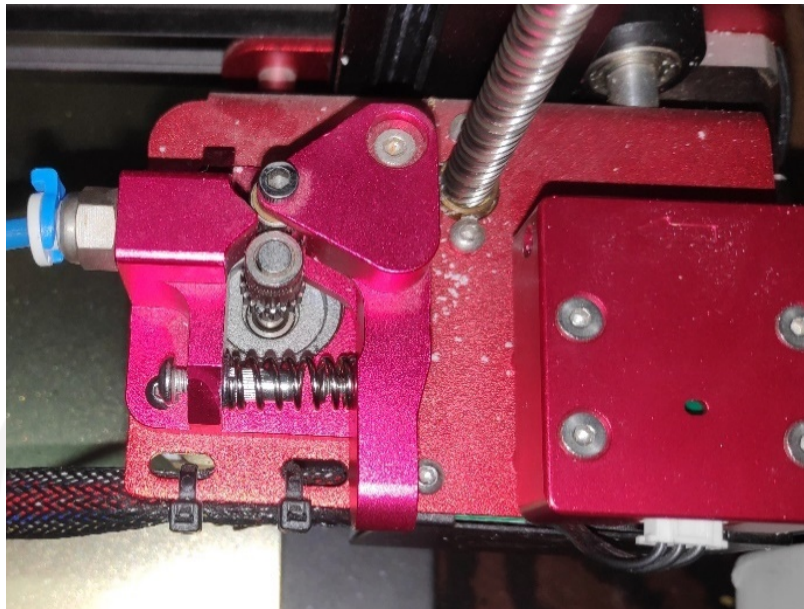
Dari beberapa permasalahan yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2 terdapat beberapa solusi yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

4.3.1 Solusi untuk *Buckling* Filamen

Buckling merupakan suatu kondisi di mana filamen tidak dapat masuk menuju *nozzle* dan tertekuk akibat *roller* yang terus mendorong menuju *nozzle*. Untuk mengatasi solusi *buckling*, dilakukan modifikasi *extruder* agar dapat digunakan untuk mencetak produk menggunakan filamen fleksibel. Pada gambar 4- 13 memperlihatkan *extruder* yang belum dilakukan modifikasi.

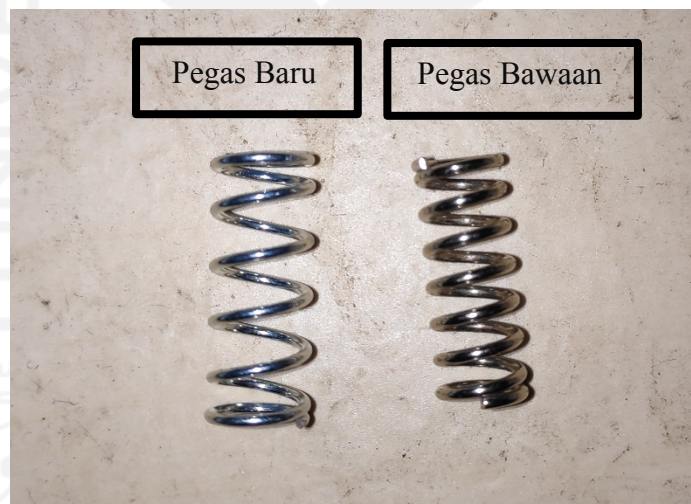
Permasalahan pada *extruder* yang sudah ada yaitu *roller* penjepit filamen terlalu kuat hal ini disebabkan oleh pegas yang digunakan terlalu kuat sehingga filamen fleksibel mendapatkan tekanan yang terlalu besar sehingga mengalami kesulitan ketika masuk menuju *nozzle*.

Maka dari itu, dilakukan modifikasi dengan mengganti pegas dengan pegas yang lebih lunak atau mekanisme lain yang lebih lunak. Sehingga filamen fleksibel dapat lebih mudah masuk menuju *nozzle*.

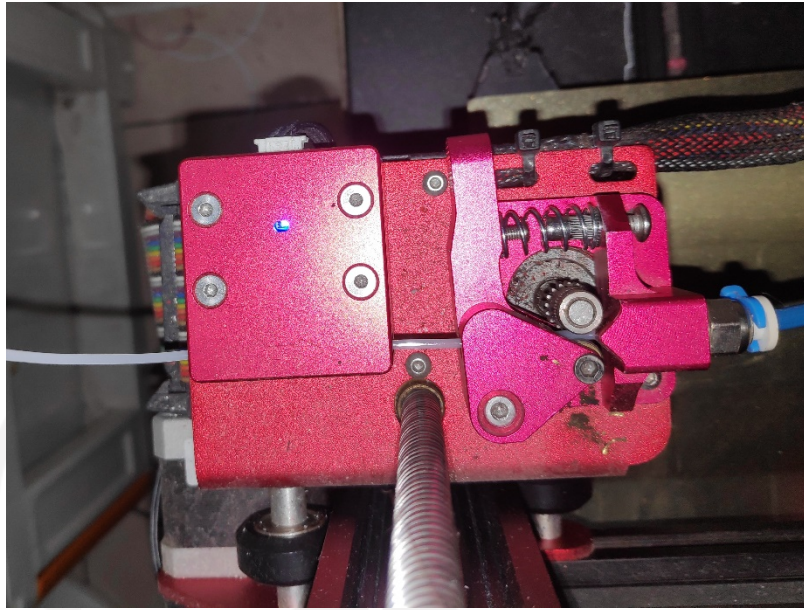


Gambar 4- 13 *Extruder*

Gambar 4- 15 merupakan hasil modifikasi yang dilakukan. Penggunaan pegas yang memiliki elastisitas lebih tinggi sulit untuk dicari dan memakan banyak waktu sehingga mencari solusi alternatif yang lebih murah dan mudah namun cukup aman digunakan selama proses *printing*.



Gambar 4- 14 Pegas



Gambar 4- 15 Pegas Diganti Menggunakan Pegas Yang Lebih Lunak

4.3.2 Solusi Untuk Kelembapan Filamen

Kelembapan filamen merupakan suatu kondisi di mana dalam proses *3D printing* menggunakan filamen TPU yang dapat mempengaruhi hasil dari pencetakan produk yang akan dicetak. Dalam hal ini dibutuhkan *food dehydrator* yang dapat dilihat pada gambar 4- 16 yang berfungsi menjaga kelembapan dari filamen TPU, filamen TPU yang akan digunakan harus diletakkan dalam *food dehydrator* selama 6 jam dan dengan suhu $45^{\circ}C$ sebelum proses *printing* agar filamen tidak lembap dan selama proses *printing* berlangsung filamen tetap diletakkan di dalam *food dehydrator* agar filamen tetap terjaga sehingga dapat menghasilkan kualitas yang baik.



Gambar 4- 16 Filamen Diletakkan Dalam *Food Dehydrator*

4.3.3 Suhu Ruangan

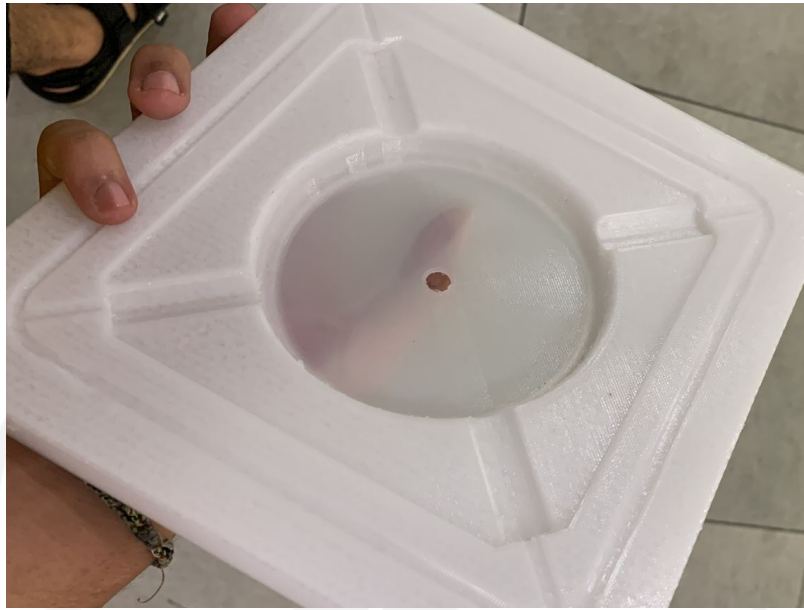
Beberapa jenis filamen fleksibel *3D printing* terutama TPU sangat rentan terhadap perubahan suhu dan kelembapan pada saat proses *printing*. Karena filamen memiliki sifat higroskopis, sifat higroskopis merupakan sifat material yang sensitif terhadap lingkungan sekitar. Gambar 4-17 merupakan lemari mesin *3D printer* dalam proses *printing* untuk menjaga suhu lingkungan agar tetap terjaga kelembapannya dalam proses *printing* agar produk yang dihasilkan dapat maksimal.



Gambar 4- 17 Lemari Mesin 3D printer

4.4 Hasil Printing Soft Mold

Dapat dilihat pada gambar 4- 18 hasil dari proses *printing soft mold* sesuai dengan kondisi ideal yang diinginkan yaitu tidak terlalu kaku namun tetap fleksibel untuk penggunaan proses *vaccum infusion*. Pada hasil printing *soft mold* percobaan ketiga merupakan parameter optimal yang digunakan pada proses *printing soft mold* menggunakan fleksibel filamen TPU dengan *shore A95*.



Gambar 4- 18 Hasil *Printing Soft Mold*

4.5 Penerapan *Soft Mold* Pada Proses *Vacuum Infusion*

Setelah dilakukan proses *printing*, dilakukan percobaan *vacuum infusion* dengan menggunakan *soft mold*. Pada percobaan *vacuum infusion* untuk pertama kali dilakukan tanpa menggunakan *vacuum bag*. Sehingga peran *soft mold* pada proses tersebut yaitu sebagai pengganti *vacuum bag*.

Untuk dapat menggantikan peran *vacuum bag*, hal yang paling penting yaitu *soft mold* dapat merekayasa kondisi *vacuum* pada cetakan ketika proses *vacuum infusion*. Maka dari itu, digunakan *infill density* sebesar 50% dan jenis *infill line*, sehingga *soft mold* memiliki kerapatan yang tinggi.

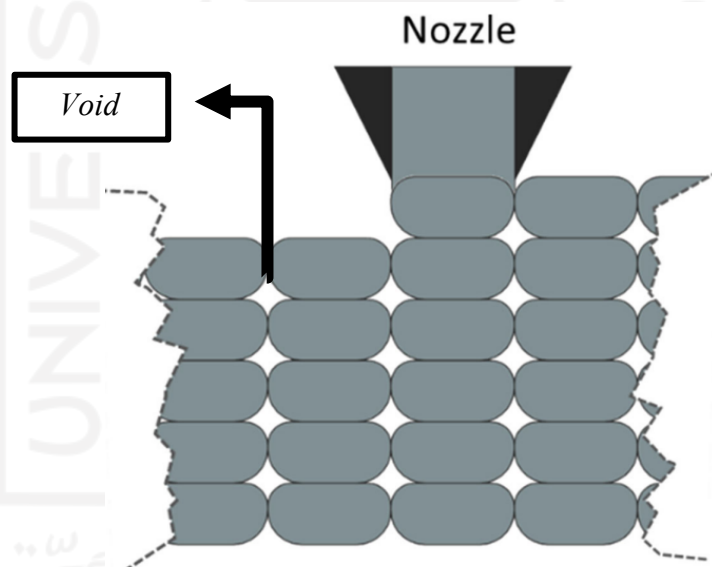
4.5.1 Percobaan Tanpa Menggunakan *Vacuum Bag*

Langkah-langkah percobaan yang dilakukan pada percobaan tanpa menggunakan *vacuum bag*, yaitu sebagai berikut:

1. Pelapisan *release agent* pada cetakan.
2. Peletakan serat gelas pada cetakan.
3. *Soft mold* dipasangkan pada cetakan.
4. Pada bagian tepi cetakan diberi *plastisin*.
5. Menghidupkan mesin vakum.

6. Setelah tekanan di dalam sudah negatif tekanan atmosfer, resin yang sudah dicampur dengan katalis dimasukkan ke dalam cetakan.
7. Pompa vakum terus dinyalakan hingga kondisi resin sudah menjadi gel karena cetakan yang masih terdapat kebocoran kecil.
8. Setelah resin sudah menjadi gel, cetakan dibiarkan selama sehari agar resin menjadi keras dan kering.
9. Melepas *soft mold* dan mengangkat produk yang dihasilkan, lalu dilakukan analisis terkait hasil dan penyebab kegagalan pada percobaan tanpa *vacuum bag*.

Pada percobaan tanpa menggunakan *vacuum bag*, *soft mold* tidak dapat peran dari *vacuum bag* yaitu menciptakan kondisi *vacuum* di dalam cetakan. penambalan menggunakan plastisin tidak mampu untuk menahan udara terisap melalui rongga-rongga antar *layer soft mold*.



Gambar 4- 19 *Void* Dari Proses *3D printing*

Gambar 4- 19 memperlihatkan *void* atau rongga-rongga yang terisi oleh filamen yang terekstrusi dari *nozzle*. Rongga-rongga tersebut menjadikan ikatan antar *layer 3D print* menjadi lemah.

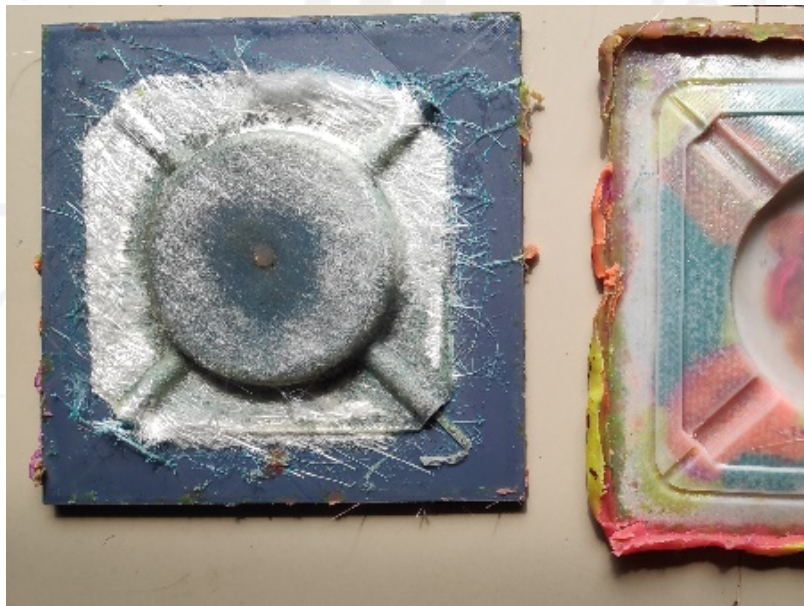
Untuk mengatasi kebocoran yang terjadi pada *soft mold* untuk dapat menciptakan kondisi *vacuum* di dalam cetakan yaitu dengan menambal *soft mold*

menggunakan plastisin. Penambalan terutama pada bagian sudut atau tepian bentuk produk yang akan dicetak yang dapat dilihat pada gambar 4- 19.



Gambar 4- 20 *Soft Mold* Dilapisi Plastisin Untuk Mengatasi Kebocoran

Namun, dengan pelapisan menggunakan plastisin kebocoran udara melalui *soft mold* tidak dapat dihindari. Plastisin hanya dapat membantu mengurangi kebocoran yang ada.



Gambar 4- 21 Hasil Proses *Vacuum Infusion* Tanpa Menggunakan *Vacuum Bag*

Gambar 4- 21 memperlihatkan hasil proses *vacuum infusion* produk yang dicetak. Resin tidak menyebar dengan sempurna di seluruh bagian cetakan. Resin hanya mengalir menuju titik terdekat dengan *outlet* resin hal tersebut karena tidak digunakannya *infusion mesh* sebagai media untuk meratakan tekanan di dalam cetakan.

4.5.2 Percobaan Dengan Menggunakan *Vacuum Bag*

Langkah-langkah pada percobaan kedua, yaitu sebagai berikut:

1. Cetakan dan *soft mold* dilapisi dengan *release agent*
2. Peletakan serat gelas pada cetakan.
3. Meletakkan *infusion mesh* pada *soft mold*.
4. Meletakkan *peel ply* di atas *infusion mesh* yang sudah diletakkan pada *soft mold*.
5. Menggabungkan *soft mold* dan cetakan menjadi 1 cetakan utuh.
6. Menimbang berat *vacuum bag* lalu cetakan dimasukkan ke dalam *vacuum bag*.
7. Menghidupkan mesin vakum hingga tekanan di dalam cetakan negatif tekanan atmosfer.
8. Setelah itu, pompa vakum dimatikan dan *vacuum bag* didiamkan selama 10 menit untuk mengecek jika terdapat kebocoran.
9. Jika tidak terdapat kebocoran, pompa vakum dihidupkan kembali dan dilakukan *infusion* resin dari selang *inlet* hingga resin mengisi seluruh bagian cetakan yang ditandai resin keluar dari selang *outlet*.
10. *Vacuum bag* didiamkan selama 1 hari untuk proses pengeringan resin.
11. Pada hari berikutnya, dilakukan pembongkaran dengan menggunting bagian tertentu untuk mengeluarkan cetakan dari *vacuum bag*.
12. Bagian *vacuum bag* yang terpotong ditimbang untuk mengetahui pengurangan beratnya.
13. Produk hasil *vacuum infusion* dilepaskan dari cetakan, dan dilakukan proses *finishing*.
14. Membersihkan cetakan dari sisa resin yang menempel untuk persiapan percobaan berikutnya.

Pada percobaan dengan *vacuum infusion* tanpa menggunakan *vacuum bag* didapatkan hasil bahwa *soft mold* tidak dapat menggantikan peran *vacuum bag* untuk menciptakan kondisi vakum pada cetakan. Gambar 4- 22 memperlihatkan penggunaan *vacuum bag* sebagai media vakum cetakan.



Gambar 4- 22 Percobaan *Vacuum Infusion* Dengan Menggunakan *Vacuum Bag*

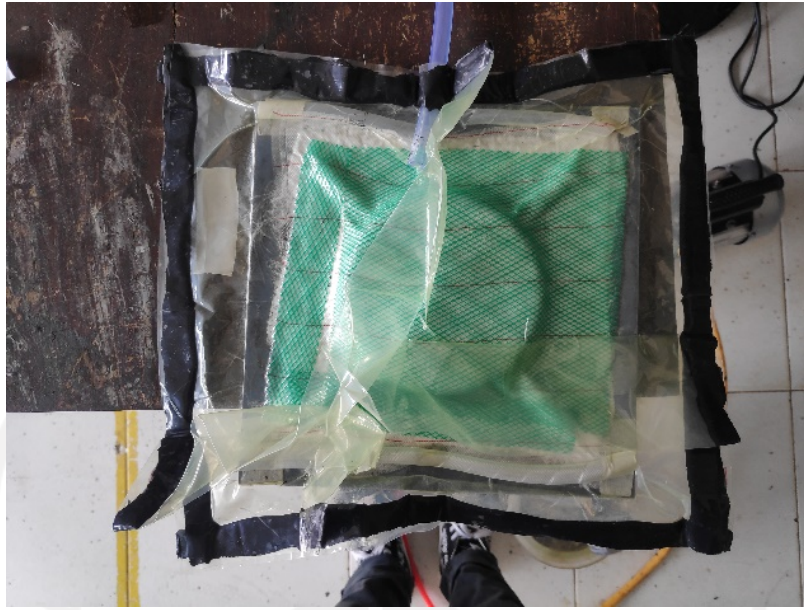
Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, bahwa proses *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold* dapat digunakan untuk pembuatan produk komposit. Gambar 4- 23 memperlihatkan hasil produk komposit yang dibuat dengan resin dapat melapisi seluruh *filler* mengikuti bentuk cetakan.

الجمهورية العربية السورية
الجامعة العربية السورية
الكلية الهندسية
الهندسة المعمارية



Gambar 4- 23 Produk Hasil *Vacuum Infusion* Dengan Penambahan *Soft Mold*

Limbah *vacuum bag* yang dihasilkan dari percobaan *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold* yaitu rata-rata 25,3 gram untuk sekali proses pembuatan produk. Percobaan *vacuum infusion* tanpa menggunakan *soft mold* pada cetakan yang sama seperti yang terlihat pada gambar 4- 24 menghasilkan limbah *vacuum bag* sebesar rata-rata 85,3 gram untuk sekali proses pembuatan produk komposit. Sehingga penggunaan *soft mold* dapat menghemat plastik lebih kurang 70% untuk sekali pembuatan produk komposit.



Gambar 4- 24 Percobaan *Vacuum Infusion* Tanpa Menggunakan *Soft Mold*

4.6 Analisa dan Pembahasan

3D printing merupakan teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pempuatan produk menggunakan filamen yang dilelehkan sebagai materialnya. Pada dasarnya prinsip kerja *3D printing* dengan cara ekstrusi filamen yang dilelehkan pada *nozzle* dan kemudian *nozzle* digerakkan menggunakan kode yang deprogram menggunakan aplikasi *slicer* seperti Ultimaker Cura. Pada perangkat lunak *slicer*, desain yang akan dicetak diubah menjadi *layer-layer* yang akan menjadi gerak dari *nozzle*. *Nozzle* akan bergerak mengikuti kode yang sudah terprogram yang secara bersamaan filamen yang meleleh dikeluarkan dari *nozzle*.

Pada umumnya, material yang biasa digunakan dalam pembuatan produk menggunakan teknologi *3D printing* yaitu PLA dan ABS. Namun seiring berkembangnya teknologi, material yang dapat digunakan menjadi lebih bervariasi. Salah satu filamen yang dapat digunakan yaitu *flexible filament* bermaterial *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) dan *Thermoplastic Elastomer* (TPE). *Flexible filament* merupakan filamen yang memiliki elastisitas sehingga produk yang dihasilkan memiliki sifat elastis.

Pembuatan produk menggunakan *flexible filament* memerlukan studi lebih lanjut dikarenakan banyak mesin *3D printing* yang kesulitan dalam proses pembuatan produk menggunakan filamen tersebut (Pristiansyah et al., 2019b).

Setiap jenis material yang dapat digunakan pada teknologi *3D printing* memiliki pengaturan dan perlakuan yang berbeda-beda sehingga perlu dilakukan penyesuaian dengan percobaan untuk mendapatkan parameter yang tepat yang diatur melalui perangkat lunak *slicer*.

Pada penelitian ini menggunakan filamen bermaterial *Thermoplastic Polyurethane* (TPU). Terdapat beberapa kendala yang ditemukan ketika dilakukan proses *printing* yaitu *buckling* dan hasil permukaan produk yang tidak halus. *Buckling* merupakan kondisi filamen yang keluar dari jalur terutama pada *roller extruder* dikarenakan *roller* menjepit filamen terlalu keras. *Roller* berfungsi untuk mendorong filamen masuk menuju *nozzle* untuk dipanaskan. *Roller* yang menekan terlalu keras menjadikan filamen tertekuk sehingga tidak dapat dorong menuju *nozzle*. Penyebab lain yaitu, filamen TPU memiliki sifat lebih fleksibel jika dibandingkan dengan material PLA. Secara fisik dapat dilihat pada gambar 4-13. *Extruder* pada *3D printer* yang digunakan memiliki pegas yang berfungsi untuk mendorong *roller* menjepit filamen. Pegas tersebut diganti menggunakan pegas yang lebih lunak agar filamen tidak mendapatkan tekanan yang tinggi.

Flexible filament bermaterial TPU dapat digunakan untuk menghasilkan produk dengan permukaan yang baik ketika filamen dalam keadaan kering. Kelembapan pada filamen dapat mempengaruhi hasil produk yang dicetak yaitu kondisi permukaan yang tidak halus dan terdapat bintik-bintik pada hasil *layering*. Proses pengeringan filamen menggunakan *food dehydrator* selama 6 jam sebelum proses *printing* untuk memastikan bahwa filamen dalam keadaan tidak lembap. Di sisi lain, ketika proses *printing*, mesin *3D printer* diletakkan pada lemari mesin *3D Printer* untuk menjaga kondisi filamen tetap terjaga.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uraian pada penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Strategi optimal yang digunakan pada proses *3D printing* menggunakan filamen TPU SUNLU *shore A95* yaitu *Layer Height* diatur sebesar 0,1 mm, *infill density* yang digunakan yaitu 50% dengan jenis *infill lines*, suhu *nozzle* 210° C, suhu *bed* 53° C, kecepatan *printing* 20 mm/s, dan penambahan *support*.
2. Permasalahan yang terjadi pada saat proses *printing* menggunakan fleksibel filamen TPU *shore A95* yaitu *buckling* dan hasil permukaan yang kasar.
3. Untuk mengatasi kendala dan masalah yang dihadapi yaitu dengan memodifikasi ekstruder dari mesin *3D printer*, modifikasi yang dilakukan yaitu dengan mengganti pegas menggunakan pegas yang lebih lunak. Lalu, untuk mengatasi kendala hasil permukaan yang kasar yaitu dengan cara mengeringkan filamen menggunakan *food dehydrator* dan proses *printing* dilakukan menggunakan lemari mesin *3D printer* untuk menjaga suhu lingkungan.
4. Pada proses *vaccum infusion soft mold* dapat digunakan namun masih membutuhkan *vacuum bag* untuk merekayasa kondisi vakum udara pada cetakan.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Pada penelitian selanjutnya, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian menggunakan parameter pada penelitian ini dengan material fleksibel filamen yang berbeda untuk melihat perbedaan hasil yang didapatkan.
2. Dilakukan penelitian lebih dalam terkait kebocoran yang terjadi pada *soft mold* dan solusi yang dapat diberikan menggunakan teknologi *3D printing* sehingga dapat mengurangi limbah hasil *vacuum infusion*.



DAFTAR PUSTAKA

- Gibson, R. F. (1994). *Principles Of Composite Material Mechanics*.
- Hidayat, S. (2020, Desember 17). Aplikasi Perangkat Vacuum Infusion Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.
- Attaran, M. (2017). *The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing*. 12.
- Gojzewski, H., Guo, Z., Grzelachowska, W., Ridwan, M. G., Hempenius, M. A., Grijpma, D. W., & Vancso, G. J. (2020). Layer-by-Layer Printing of Photopolymers in 3D: How Weak is the Interface? *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7.
- Hasdiansah & Herianto. (2018). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan. *Departemen Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*.
- Kumar, N., Jain, P. K., Tandon, P., & Pandey, P. M. (n.d.). *3D PRINTING OF FLEXIBLE PARTS USING EVA MATERIAL*. 9.
- Martin, D. J., Osman, A. F., Andriani, Y., & Edwards, G. A. (2012). Thermoplastic polyurethane (TPU)-based polymer nanocomposites. In *Advances in Polymer Nanocomposites* (pp. 321–350). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096241.2.321>
- Pratama, J., & Adib, A. Z. (2022). Pengaruh Parameter Cetak Pada Nilai Kekerasan Serta Akurasi Dimensi Material Thermoplastic Elastomer (TPE) Hasil 3D Printing. *Jurnal Ilmiah Giga*, 25(1), 35. <https://doi.org/10.47313/jig.v25i1.1712>

- Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Sugiyarto, S. (2019a). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 33–40. <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>
- Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Sugiyarto, S. (2019b). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 33–40. <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>
- Satyanarayana, B., & Prakash, K. J. (2015). Component Replication Using 3D Printing Technology. *Procedia Materials Science*, 10, 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.049>
- Ultimaker. (2017a). *Technical Data Sheet TPU 95A*.
- Ultimaker. (2017b). *Ultimaker 3 Installation and User Manual*.
- Ultrafuse. (2021). *Technical Data Sheet Ultrafuse TPU 95A*.