

**UJI KETELITIAN CETAK PRODUK LENGKUNG 3D
PRINTER ANET A8**

(Skripsi)

Oleh :

MADE GITA ARYA CANDRA



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

UJI KETELITIAN CETAK PRODUK BERBENTUK LENGKUNG 3D PRINTER ANET A8

Oleh

MADE GITA ARYA CANDRA

Salah satu proses manufaktur yang mengalami kemajuan pesat beberapa tahun terakhir yaitu teknologi 3D *Printing*. Salah satu dasar yang penting dalam 3D *Printing* yaitu keakuratan cetak produk. Penelitian ini bertujuan mengetahui keakuratan dari 3D Printer Anet A8 dalam mencetak produk berbentuk lengkung dengan faktor *faktor infill speed*, *print speed* dan *layer height* agar mendapatkan hasil yang optimal dan mengetahui parameter yang paling berpengaruh dalam mencetak produk berbentuk lengkung menggunakan 3D Printer Anet A8. Metode yang digunakan dalam uji ketelitian cetak produk 3D *Printing* ini adalah *Taguchi* L9. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa parameter proses yang paling optimal untuk akurasi dimensi diameter spesimen yaitu secara berturut turut terhadap keakurasian yaitu *layer height* (0,3000 mm), *infil speed* (50 mm/s) dan *layer speed* (30 mm/s) kemudian parameter proses yang paling optimal untuk akurasi dimensi lengkung spesimen yaitu secara berturut turut terhadap keakurasian yaitu *layer height* (0,2000 mm), *infil speed* (50 mm/s) dan *layer speed* (40 mm/s). Hasil analisis ANOVA parameter yang paling berpengaruh dalam pencetakan spesimen lengkung dengan dimensi diameter adalah *layer height* dan untuk dimensi lengkung adalah *infil speed*.

Kata kunci : 3D *Printing*, Parameter, Keakuratan, Dimensi.

ABSTRACT

PRINTING ACCURACY TEST OF ANET A8 3D PRINTER CURVED PRODUCTS

By

MADE GITA ARYA CANDRA

One of the manufacturing processes that has experienced rapid progress in recent years is 3D printing technology. One of the most important basics in 3D printing is the accuracy of the printed product. This study aims to determine the accuracy of the Anet A8 3D Printer in printing curved products with the infill speed, print speed and layer height factors in order to obtain optimal results and determine the most influential parameters in printing curved products using the Anet A8 3D Printer. The method used in testing the accuracy of printing 3D printing products is Taguchi L9. From this study it can be concluded that the most optimal process parameters for the accuracy of the dimensions of the specimen diameter are successively for accuracy, namely layer height (0.3000 mm), infil speed (50 mm/s) and layer speed (30 mm/s) then the most optimal process parameters for the accuracy of the curved dimensions of the specimen are successively for accuracy, namely layer height (0.2000 mm), infil speed (50 mm/s). s) and layer speed (40 mm/s). The results of the ANOVA analysis show that the most influential parameter in printing curved specimens with the diameter dimension is the layer height and the curved dimension is the infill speed.

Keywords :3D Printing, Parameters, Accuracy, Dimensions.

**UJI KETELITIAN CETAK PRODUK LENGKUNG 3D
PRINTER ANET A8**

Oleh:

MADE GITA ARYA CANDRA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **UJI KETELITIAN CETAK PRODUK
LENGKUNG 3D PRINTER ANET A8**

Mahasiswa : Made Gita Arya Candra

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815021039

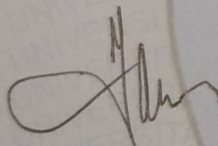
Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

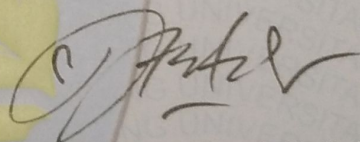
Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

NIP. 196405062000031001



Achmad Yahya Teguh P, S.T. M.T.

NIP. 198002052005011002

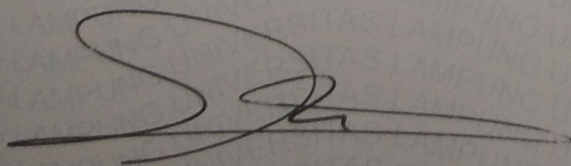
MENGETAHUI

Ketua Jurusan

Teknik Mesin

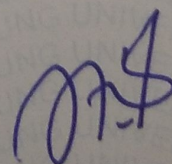
Ketua Program Studi

S1 Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331199903 1 003



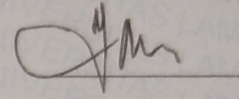
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 197011041997032001

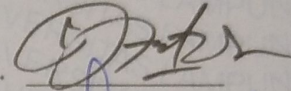
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

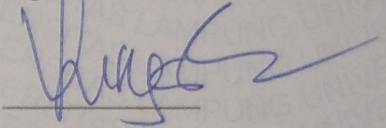
Ketua : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



Anggota Penguji : Achmad Yahya Teguh Panuju, S.T. M.T.

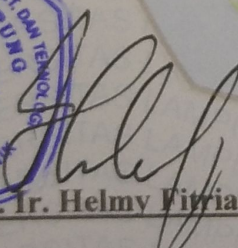


Penguji Utama : Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. 

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 1 Desember 2022

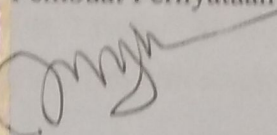
LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
No. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, 14 Desember 2022

Pembuat Pernyataan




Made Gita Arya Candra

NPM 1815021039

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Made Gita Arya Candra. Lahir pada tanggal 29 Maret 2000, di Lampung Selatan dan beragama Hindu. Penulis merupakan anak dari pasangan Bapak Ketut Swar Edi Candra dan Ibu Yasnawati. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Kakak perempuan pertama bernama Wayan Viska Arilia Candra dan adik perempuan bernama Nyoman Amelia Candra. Alamat rumah penulis berada di Dusun 7, Balisidoagung, Desa Sidoharjo, Kecamatan Way Panji, Kabupaten Lampung Selatan.

Penulis memasuki bangku pendidikan formal yakni di SD Negeri 2 Sidoharjo pada tahun 2006 hingga tahun 2012. Kemudian, melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Way Panji, pada tahun 2012 hingga tahun 2015. Kemudian melanjutkan kembali di SMK Negeri 2 Kalianda jurusan Teknik Permesinan, pada tahun 2015 hingga 2018. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perkuliahan yakni di Universitas Lampung, Fakultas Teknik, dengan Program Studi Teknik Mesin.

Organisasi tingkat Universitas yang penulis ikuti diantaranya adalah menjadi kepala bidang organisasi dan kaderisasi UKM Hindu Universitas Lampung, dan menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin bidang kerohanian.

Pada tahun 2017, penulis mengikuti Praktik Kerja Lapangan (PKL) di CV. Berkah Kedaton, Bandar Lampung. Pada tahun 2021, penulis mengikuti Kerja Praktik (KP) di PT. Suri Tani Pemuka (Japfa), Lampung Selatan. Penulis menjadi asisten praktikum proses produksi pada tahun 2020 hingga tahun 2022.

MOTTO

Manusia hendaknya mulai dari detik ini juga mengusahakan dengan tidak pernah jemu untuk memahami hakekat Kebajikan/kebenaran, Kekayaan, Kesenangan, dan Kebebasan. Manusia adalah Sang Raja bagi dirinya sendiri, ia adalah pemimpin dari tubuhnya, ia adalah penguasa dari pikirannya ; maka dari itu, berusaha untuk memahami hakekat penjelmaan ini.

(Kitab Sarasamucaya 1)

Seorang manusia sejati dan berbudi luhur keadaannya bagaikan seekor ular yang membuang kulitnya, demikian pulalah orang yang sabar senantiasa meninggalkan kemarahan dari dalam hatinya.

(Kitab Sarasamucaya 95)

"Aku tidak hebat tapi doa ibuku yang kuat"

(Made)

PERSEMBAHAN

Teriring Doa Dan Rasa Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa
Karena Atas Rahmat Dan Hidayahnya Telah Melimpahkan Karunianya
Kepada Kita Semua.

Kupersembahkan skripsi ini kepada :

Bapak dan Mamak

Ketut Swar Edi Candra dan Yasnawati sebagai orang tua tercinta yang membesarkan, mendidik dan membimbing penulis serta selalu memberikan semangat, dukungan moral maupun materi, kasih sayang yang tulus dan memberikan doa yang tidak pernah putus pada setiap langkah yang penulis lewati.

Saudariku

Wayan Viska Arilia Candra dan Nyoman Amelia Candra

Yang selalu menjadi patokan semangat serta motivasi penulis untuk menjadi teladan, serta selalu membuat penulis berfikir maju untuk memikirkan masa depan yang jauh lebih baik dari sekarang.

Niluh Wayan Asmara Ratih

Yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian skripsi.

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah, serta lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar. Skripsi ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu dibidang produksi dan manufaktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi yang membaca dan yang mengutip serta dapat dijadikan acuan untuk studi-studi selanjutnya. Selesaiannya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T., sebagai Pembimbing I Penulis atas kesediaannya dengan sabar untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi.

6. Achmad Yahya Teguh Panuju, S.T. M.T., sebagai Pembimbing II Penulis atas kesediaannya dengan sabar untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi.
7. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T., sebagai Pembahas Penulis yang telah bersedia untuk mengoreksi serta memberikan saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi.
8. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
9. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah banyak membantu penulis selama menjadi mahasiswa.
10. Wayan Viska Arilia Candra dan Nyoman Amelia Candra kedua saudari penulis yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian skripsi.
11. Niluh Wayan Asmara Ratih yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian skripsi.
12. Paguyuban black cobra, Risqy, Gilang, Sahid, Pengkik, David, Tebu sebagai tim sukses yang telah mendukung serta membantu penyelesaian skripsi ini.
13. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2018 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
14. Teman-teman UKM Hindu UNILA, yogo, wayan aldi, bom-bom yang telah ada menemani semasa kuliah, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Definisi 3D Printer	6
2.2 Aplikasi Produk 3D Printer	9
2.3 Jenis-Jenis 3D Printer	16
2.4 Bagian-Bagian 3D Printer	19
2.5 Filamen	24
2.6 Parameter Pada 3D Printer	27
2.7 Uji Jalan 3D Printer	29
2.8 Profil Proyektor	30
2.9 Komponen Profil Projector	32
2.10 Prinsip Kerja Profil Proyektor	33

2.11 Stereolithography	35
2.12 Metode Taguchi	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.2 Alat dan Bahan	42
3.3 Alur Penelitian	45
3.4 Desain Dimensi Penelitian	46
3.5 Prosedur Penelitian	47
3.6 Metode Penelitian	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Hasil Pengukuran	58
4.2 Analisis Parameter Variabel 3D Printing	71
4.3 Pembahasan	76
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Organ jantung yang dicetak melalui 3D Printer	9
Gambar 2. Gigi palsu yang dicetak melalui 3D Printer	10
Gambar 3. Miniatur pesawat yang dicetak melalui 3D Printer	11
Gambar 4. <i>Prototype</i> roda gigi yang dicetak melalui 3D Printer	12
Gambar 5. Karya seni yang dicetak melalui 3D Printer	12
Gambar 6. Miniatur rumah yang dicetak melalui 3D Printer	13
Gambar 7. Perhiasan yang dicetak melalui 3D Printer	14
Gambar 8. Pembuatan fashion yang dicetak melalui 3D Printer	15
Gambar 9. Printer 3D Direct	16
Gambar 10. Printer 3D Binder	17
Gambar 11. Printer 3D Potopolimerization	18
Gambar 12. Printer 3D Sintering	19
Gambar 13. Bed heater pada 3D Printer	20
Gambar 14. Ekstruder pada 3D Printer	21
Gambar 15. Nozzle pada 3D Printer	22
Gambar 16. <i>Motor stepper</i> pada 3D Printer.....	23
Gambar 17. <i>Frame</i> pada 3D Printer	23
Gambar 18. Filamen pada 3D Printer	24
Gambar 19. <i>Layer height</i> pada produk 3D printer	28
Gambar 20. <i>Infil</i> pada produk 3D printer.....	28

Gambar 21. Perbedaan speed pada produk 3D printer.....	29
Gambar 22. Skema optomekanik profil proyektor.....	34
Gambar 23. Prinsip kerja alat ukur optomekanik	35
Gambar 24. Ketebalan lapisan pada CAD design	37
Gambar 25. 3D Printer Anet A8	42
Gambar 26. Profil Proyektor Multitoyo PJ 3000	42
Gambar 27. Laptop	43
Gambar 28. Filamen PLA	44
Gambar 29. Flowchart	45
Gambar 30. Desain gambar lengkung.....	46
Gambar 31. Format file STL	47
Gambar 32. Proses slice parameter sebelum dicetak	48
Gambar 33. Pengukuran dimensi diameter spesimen	49
Gambar 34. Profil proyektor pada sumbu 0	49
Gambar 35. Hasil pengukuran diameter	50
Gambar 36. Pengukuran dimensi jari-jari spesimen	50
Gambar 37. Titik 0 pada dimensi jari-jari	51
Gambar 38. Hasil pengukuran dimensi jari-jari	51
Gambar 39. Hasil pengukuran dimensi lengkung	52
Gambar 40. Titik 0 pada dimensi lengkung	52
Gambar 41. Hasil pengukuran dimensi lengkung.....	53
Gambar 42. Desain taguchi	53
Gambar 43. Plot dimensi diameter	68

Gambar 44. Plot dimensi jari-jari	68
Gambar 45. Plot dimensi lengkung	69
Gambar 46. Grafik S/N Ratio dimensi diameter	73
Gambar 47. Grafik S/N Ratio dimensi lengkung	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik material filamen	27
Tabel 2. Spesifikasi profile projector Multitoyo PJ 3000	43
Tabel 3. Nilai parameter dan level	56
Tabel 4. Variasi parameter penelitian	56
Tabel 5. Tabel ukuran riil.....	58
Tabel 6. Spesimen A1 50X pembesaran	59
Tabel 7. Spesimen A2 50X pembesaran	60
Tabel 8. Spesimen A3 50X pembesaran	61
Tabel 9. Spesimen B1 50X pembesaran	62
Tabel 10. Spesimen B2 50X pembesaran	63
Tabel 11. Spesimen B3 50X pembesaran	64
Tabel 12. Spesimen C1 50X pembesaran	65
Tabel 13. Spesimen C2 50X pembesaran	66
Tabel 14. Spesimen C3 50X pembesaran	67
Tabel 15. Deviasi dimensi spesimen A 50 kali perbesaran	69
Tabel 16. Deviasi dimensi spesimen B 50 kali perbesaran	70
Tabel 17. Deviasi dimensi spesimen C 50 kali perbesaran	70
Tabel 18. Hasil pengukuran dimensi spesimen	72

Tabel 19. S/N Ratio dimensi diameter	72
Tabel 20. Analisis of Variance parameter proses pencetakan spesimen	73
Tabel 21. S/N Ratio dimensi lengkung	74
Tabel 22. Analisis of Variance parameter proses pencetakan spesimen	76

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan proses manufaktur 50 tahun terakhir telah berdampak pada kepesatan dan kesinambungan di industri manufaktur (Lauwerset al, 2014), Teknologi 3D Printer merupakan salah satu contoh proses manufaktur yang terkena dampak kemajuan yang pesat. Kehadirnya teknologi 3D Printer membawa perubahan besar pada dunia manufaktur, utamanya dikalangan industri(Attaran, 2017).

Efisiensi proses dan ketepatan atau akurasi dimensi dari suatu produk menjadi perhatian paling penting, hal ini disebabkan persaingan yang sangat ketat dalam industri tersebut. Oleh karenanya untuk mendapatkan produk yang berkualitas dengan proses yang efisien, hal tersebut memberikan pengaruh yang sangat signifikan. Sebelum mencetak atau membuat produk jadi, maka diperlukan prototipe produk guna mengetahui bentuk dan dimensinya. Pembuatan prototipe yang cepat dan efisien menggunakan mesin pencetak tiga dimensi (Lubis dkk, 2016).

Printer 3D atau cetak tiga dimensi merupakan suatu teknologi dibidangmanufaktur kecanggihannya dibidangnya. Mesin 3D Printer memiliki keunggulan,yang mana benda yang akan dicetak dapat sama persis dengan gambar atau bentuk *disoftfile*. Proses pencetakan dengan 3D Printer melibatkan metode, bahan, dan peralatan, yang telah dikembangkan dan memiliki kemampuan untuk mempermudah proses manufaktur dan logistik.

Additive Manufacturing banyak dimanfaatkan diberbagai bidang industri, termasuk konstruksi, kesehatan, *prototyping* dan biomekanik (Ngo, dkk., 2018).

Additive Manufacturing (AM) juga dikenal sebagai manufaktur aditif, pencetakan 3D, komponen langsung manufaktur, manufaktur berlapis, dan fabrikasi bentuk bebas didefinisikan sebagai proses penyambungan bahan untuk membuat objek dari data model tiga dimensi (3D), biasanya lapis demi lapis, sebagai lawan dari metodologi manufaktur subtraktif seperti permesinan. Ada banyak teknologi AM yang berbeda misalnya, stereolitografi, laser sintering, pencetakan multi-jet, 3D printing, dll. Tujuan utama dari artefak uji adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem secara kuantitatif. Artefak uji standar dapat berfungsi sebagai metode untuk verifikasi kinerja antara pengguna sistem dan vendor, serta menyediakan platform bagi vendor untuk menunjukkan peningkatan dalam sistem *Additive Manufacturing* (Moylean, 2014).

Teknologi 3D Printer diklasifikasikan atau dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bahan yang digunakan dalam mencetak serta mekanisme dalam proses pencetakannya. Penelitian Hasdiansyah dan Herianto (2018) mengungkapkan bahwa FDM (*Fused Deposition Modelling*) merupakan salah satu jenis teknologi 3D Printer yang paling banyak dipergunakan karena alasan penggunaan biaya paling murah dalam operasionalnya. *Fused Deposition Modeling* adalah metode pencetakan 3D Printer melalui proses pelelehan material berupa termoplastik yang menggunakan mekanisme *ekstruder* dengan proses lapis demi lapis (Noorani, 2006).

Gebisa dkk. (2019) menjelaskan bahwa kinerja 3D Printer dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti waktu pembuatan, kualitas permukaan, akurasi dimensi dan karakteristik mekanis dari bagian yang dibuat. Tidak hanya sampai disitu pada saat pencetakan, layer yang terbentuk juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan gerak printer (*print speed*), faktor

layer height sebagai pengatur ketinggian dan ketebalan dari setiap layer, serta terakhir faktor *printing temperature* (Ivandiaz, 2020).

Akurasi dimensi objek hasil *3D printing* menjadi fokus banyak peneliti yang melakukan investigasi. Dalam penelitian Iuliano dkk, (1995) melakukan penelitian terhadap akurasi objek hasil FDM (*Fused Deposition Modelling*) dan ditemukan bahwa terdapat penyimpangan dimensi objek sebesar 0,7 mm. Dalam penelitian Mahesh dkk, (2004) menemukan penyimpangan dimensi sebesar 5-15%. Bahkan terdapat dalam satu kasus tertentu, terjadi penyimpangan geometri sebesar 2,5mm. Dalam penelitian sebelumnya (Andriyansyah dkk, 2021), menjelaskan bahwa pencetakan objek menggunakan *3D Printer* DIY mengalami deviasi pada posisi dan dimensi geometri. Deviasi geometri bervariasi dari -0,08 mm sampai +0,14 mm. Sementara deviasi posisi berada di rentang -0,08 mm sampai +0,12 mm. Pembentukan objek dengan akurasi yang maksimal dapat dilakukan dengan proses perakitan komponen dengan mudah dan sesuai peruntukannya

Berdasarkan penelitian di atas data deviasi yang dihasilkan dari perbandingan tersebut, maka pencetakan objek *3D printing* dapat menyesuaikan dengan simpangan masing-masing. Hal ini sangat penting untuk mendapatkan hasil dari objek dengan akurasi yang maksimal. Maka dari itu, sampai sekarang data tentang hasil akhir pencetakan produk *3D Printer* seperti nilai keakurasian serta nilai lainnya masih terbilang sangat minim. Yang mana data-data tersebut penting sekali untuk diketahui. Jadi untuk itu perlu dilakukan sebuah pengujian pada cetak produk *3D Printer* untuk mengetahui tingkat keakurasiannya. Dari masalah tersebut maka penulis tertarik melakukan penelitian “Uji Performansi Cetak Produk Lengkung *3D Printer* Anet A8”. Tujuannya agar dapat mengetahui kemampuan kerja dari mesin *3D Printer* Anet A8 dengan beberapa parameter yang digunakan dalam mencetak produk dengan biaya yang rendah dengan kualitas yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan faktor faktor parameter 3D Printer dengan keakurasian bentuk dan dimensi lengkung sehingga mendapatkan hasil yang optimal saat melihat melalui profile projector?
2. Bagaimana menentukan keakurasian hasil cetak produk lengkung3D Printer ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui performansi dari 3D Printer Anet A8 dalam mencetak produk berbentuk lengkung dengan faktor faktor *infill speed*, *print speed* dan *layer height* agar mendapatkan hasil yang optimal.
2. Mengetahui parameter yang paling berpengaruh dalam mencetak produk berbentuk lengkung menggunakan 3D Printer Anet A8.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat mengetahui kemampuan kerja mesin 3D Printer Anet A8 dalam mencetak produk dengan berbagai variasi parameter.
2. Dapat mengetahui keakurasian kerja mesin 3D Printer Anet A8 dalam mencetak produk berbentuk lengkung.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Temperature maximal extruder pada mesin 3D Printer sebesar 260 °C.
2. Temperature maximal bed pada mesin 3D Printer sebesar 110 °C.
3. Untuk dimensi panjang, lebar dan tinggi yang bisa dicetak pada 3D Printer Anet A8 adalah 220 mm, 220 mm dan 295 mm.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. PENDAHULUAN
Berisikan, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika dari penelitian yang dilakukan.
2. TINJAUAN PUSTAKA
Berisikan tentang teori-teori yang berkaitan dan mendukung pembahasan tentang masalah yang dipilih
3. METODOLOGI PENELITIAN
Berisikan tentang metode-metode yang dipergunakan untuk mengumpulkan informasi, tempat dan waktu penelitian, serta menerangkan tentang alur penelitian serta alur atau proses pengambilan data yang dilakukan.
4. DATA DAN PEMBAHASAN
Berisikan tentang data pengamatan dan pembahasan data dari proses pengujian.
5. PENUTUP
Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan serta saran yang dapat diberikan oleh penulis.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisikan berbagai sumber dari literatur yang dimuat dalam laporan penelitian.

7. LAMPIRAN

Berisikan data seperti dokumentasi dan data yang mendukung laporan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi 3D Printer

Charles Hull menciptakan teori Pada tahun 1984 yaitu teori stereolithography. Teori tersebut menjelaskan bagaimana cara yang memungkinkan pencetakan objek secara 3D dari data digital. Teori stereolithography sempat populer sampai akhir era 1980an. 3D Printer merupakan suatu teknologi manufaktur aditif yang mana mesin mencetak suatu benda yang berbentuk tiga dimensi atau 3D dengan proses meletakkan suatu lapisan material secara berturut-turut. Mesin Printer 3D atau dikenal *Additive Manufacturing* (AM), mengacu pada kendali komputer untuk membuat objek tiga dimensi yang membentuk lapisan material. Gambar benda bisa hampir mirip dengan bentuk atau geometri karena diciptakan dengan sumber dari data model digital dari model 3D atau file elektronik seperti file *Additive Manufacturing File* (AMF).

Manufaktur aditif (AM) juga dikenal sebagai manufaktur aditif, pencetakan 3D, komponen langsung manufaktur, manufaktur berlapis, dan fabrikasi bentuk bebas didefinisikan sebagai proses penyambungan bahan untuk membuat objek dari data model tiga dimensi (3D), biasanya lapis demi lapis, sebagai lawan dari metodologi manufaktur subtraktif seperti permesinan. Ada banyak teknologi AM yang berbeda misalnya, stereolitografi, laser sintering, pencetakan multi-jet, dll. Standar Internasional ASTM dokumen terminologi untuk AM mengelompokkan teknologi ini ke dalam tujuh kategori proses yang berbeda: binder

pengaliran, deposisi energi terarah, ekstrusi material, pengaliran material, fusi unggun bubuk (PBF), lembaran laminasi, dan fotopolimerisasi tong. Parameter pemrosesan adalah input ke mesin yang mengatur proses (misalnya, daya laser dalam laser sintering).

Dalam metrologi manufaktur, ada dua pendekatan utama untuk mengevaluasi kinerja suatu sistem: melalui serangkaian pengukuran langsung dari komponen atau karakteristik sistem, dan melalui pengukuran artefak uji yang diproduksi. Kemudian saat meneliti dan pengembangan metode pengukuran untuk karakterisasi langsung mesin AM sedang berlangsung, semakin baik pendekatan untuk karakterisasi kinerja, setidaknya dalam jangka pendek, adalah melalui artefak uji. Pembuatan artefak uji memungkinkan pengujian komposit karena sebagian besar kesalahan dalam sistem bergabung menjadi berkontribusi pada kesalahan di bagian. Kerugian dari tes komposit adalah bahwa menghubungkan kesalahan bagian tertentu ke sumber kesalahan sistem tertentu seringkali sulit. Namun, keuntungan dari artefak uji adalah bahwa memproduksi bagian secara langsung selaras dengan tujuan sistem saat ini dan peralatan pengukur khusus adalah Biasanya tidak diperlukan karena peralatan yang diperlukan adalah umum untuk pembuatan suku cadang terpisah. Tujuan utama dari artefak uji adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem secara kuantitatif itu manfaat yang jelas dari artefak standar adalah bahwa sistem yang berbeda yang menghasilkan artefak standar yang sama dapat dengan mudah. Artefak uji standar dapat berfungsi sebagai metode untuk verifikasi kinerja antara pengguna sistem, serta menyediakan platform untuk menunjukkan peningkatan dalam sistem AM mereka.

Sementara banyak dari kualitas ini memang merupakan pertimbangan penting dalam merancang artefak uji, yang ideal artefak tidak hanya akan mengungkapkan sebagian besar kesalahan dan keterbatasan sistem, tetapi juga akan menghubungkannya kesalahan dan keterbatasan dengan aspek tertentu dari sistem. Menurut (Kruth, 2005) mencatat bahwa tes artefak seharusnya tidak hanya mengevaluasi batasan sistem, tetapi juga harus

menyertakan fitur untuk memungkinkan iteratif optimasi parameter pemrosesan. Menurut (Scaravetti, 2008) mengambil ide ini selangkah lebih maju, dengan menyatakan bahwa kualifikasi prosedur harus memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengukur cacat, tetapi juga menentukan sumber cacat. Untuk melakukan ini, artefak uji harus:

1. Memiliki bentuk geometris sederhana, memungkinkan definisi sempurna dan kontrol geometri yang mudah.
2. Tidak memerlukan pasca perawatan atau intervensi manual (misalnya, tidak boleh ada struktur pendukung).
3. Memungkinkan pengukuran pengulangan.

Karena berbagai kondisi dapat mengakibatkan kesalahan sistematis yang berbeda pada lokasi yang berbeda dalam volume build, ini mengarah pada perbedaan bentuk fitur yang dihasilkan di dalamnya posisi. Oleh karena itu, jika beberapa artefak diproduksi oleh sistem dengan pengulangan yang sempurna, fitur diproduksi di posisi yang sama dalam volume build akan persis sama, tetapi mungkin masih cacat.

STereoLithography (STL) merupakan file yang dapat dibaca oleh printer 3D yang umum digunakan. Dalam membuat suatu objek memerlukan gambar model 3D digital yang dipindai melalui satu set model 3D, atau dibuat menggunakan sebuah program 3D desain misalnya melalui program AutoCAD, program 3dMax, program SketchUp, Inventor dan lain-lain. Dan dapat juga didownload dari internet.

Mesin 3D Printer adalah suatu alat cetak yang efektif digunakan pada era revolusi industri 4.0. sebenarnya, alat ini sudah dikembangkan sedari lama. Mulanya penciptaan mesin 3D Printer (3D Printing) tepatnya pada tahun 1980 yang ditemukan oleh Dr.Kodama, seorang ilmuwan yang berkebangsaan Jepang. Alat yang diciptakan pertama kali yaitu alat yang dapat mencetak sebuah produk yang berbentuk tumpukan lapisan-lapisan yang dihasilkan dari gambar dalam bentuk file digital (Shears, 2016).

2.2 Aplikasi Produk 3D Printer

Aplikasi produk mesin 3D Printer banyak merambah diberbagai bidang, diantaranya prosthesis, kesehatan, otomotif, seni, *aerospace*, industri dental konstruksi, makanan, perhiasan, fashion, dan pendidikan. Berikut adalah penjelasan lebih detail antara lain :

1. Kesehatan

Penerapan mesin 3D Printer dalam dunia kesehatan digunakan dalam pencetakan replika organ tubuh manusia. Pembuatan replika tubuh manusia dalam bidang kesehatan dimanfaatkan untuk proses pemahaman, baik pada saat pendidikan atau digunakan untuk menjelaskan mengenai kondisi organ kepada pasien. mesin 3D Printer dapat dengan sangat rinci atau detail dan dapat mencetak produk sampai di titik terkecil sehingga sangat bermanfaat untuk dunia kesehatan. Pembuatan produk ini diharapkan mampu memberi pemahaman yang jelas kepada orang lain mengenai produk yang dibuat. Proses penjelasan di dunia kesehatan harus disertai produk nyata agar mudah dipahami.



Gambar 1. Organ jantung yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (T. P. Mpofo, C. Mawere, dan Mukosera, 2014).

2. Prosthesis

Prosthesis adalah penggantian dari suatu bagian tubuh yang hilang atau tidak berfungsi dengan menggunakan perangkat buatan. Prosthesis inilah salah satu contoh pemanfaatan teknologi mesin cetak 3D. Pembuatan bagian tubuh mesti sangat sesuai dengan ukuran dari ukuran tubuh manusia yang menggunakan prosthesis, sehingga bervariasi. Pencetakan tubuh dengan mesin 3D Printer dapat menggunakan ukuran yang berbeda-beda. bentuk bagian tubuh hanya perlu disesuaikan ukurannya dan dilakukan pencetakan ulang.

3. Industri Dental

Mesin 3D Printer mulai dimanfaatkan untuk industri kedokteran gigi. mesin cetak 3D digunakan untuk mencetak duplikat atau gigitubuh. Masalahnyaposisi gigi serta bentuk gigi yang berbeda-beda sangatmenyulitkan dalam produksi gigi buatan.. Selainbentuk dan posisi yang berbeda-beda, konstruksi gigi dari setiappasien juga berbeda. Oleh karena itu, pembuatan gigi buatan dengan mesin 3D Printer akan jauh lebih mudah untuk dilakukan. Berikutcontoh produk cetak gigi buatan dengan mesin cetak 3D.



Gambar 2. Gigi palsu yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (H. Sawhney and A. A. Jose, 2018).

4. Aerospace

Aerospace adalah cabang keilmuan tentang pesawat terbang. Perkembangan pesawat terbang ternyata tidak lepas juga dari pemanfaatan mesin cetak tiga dimensi. Pemanfaatan mesin 3D yakni untuk pembuatan *secondary structure*. Bagian pendukung ini biasanya berupa sparm skin, rib dan lain sebagainya. Alasan penggunaan mesin 3D adalah waktu yang untuk pembuatan komponen menjadi lebih efisien, efektif, bersih, dan aman. Banyaknya material yang tersedia dalam mesin cetak 3D ternyata juga mampu mereduksi berat sebuah pesawat terbang sampai dengan 25%.



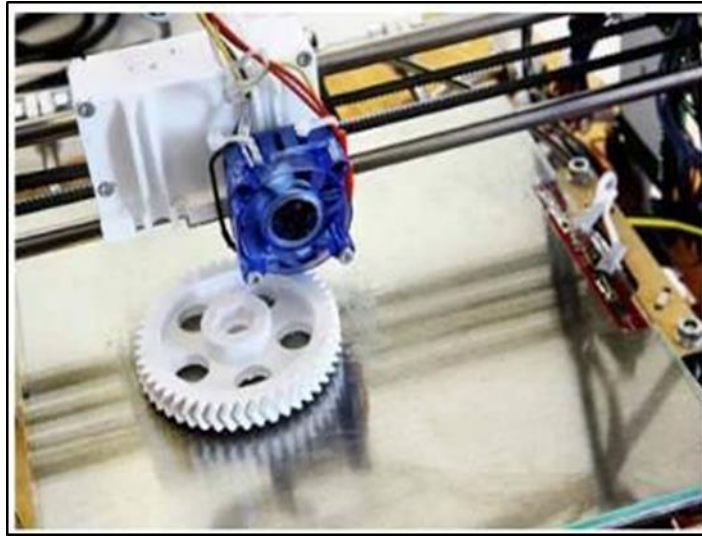
Gambar 3. Miniatur pesawat yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (A. Nugroho and R. Ardiansyah, 2018).

5. Otomotif

Perkembangan otomotif yang semakin pesat menuntut adanya perkembangan teknologi dalam pembuatannya. Teknologi mesin serta teknologi desain juga harus mengikutinya. Perkembangan desain diharuskan sampai dengan pencetakan *prototype*. Pada tahap ini seringkali desainer menemui kesulitan dalam pencetakan produk. Tetapi, pada saat ini menggunakan mesin 3D Printer mampu mengatasinya semua masalah tersebut. Kelebihan dari mesin 3D ini yakni kecepatan dalam pencetakan *prototype*, keakurasian, dan biaya

saat pencetakan sangat berbeda dengan metode manual. Oleh sebab itu, mesin 3D Printer sangat membantu pada proses pembuatan *prototype*.



Gambar 4. *Prototype* roda gigi yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (A. Gif, B. Gangula, and P. Illinda, 2014).

6. Seni

Karya seni saat ini juga sudah bisa dibuat menggunakan cetak 3D. Dengan bantuan mesin 3D, dapat membuat sebuah karya seni yang indah. Contoh dari karya seni yang dapat dihasilkan yaitu hiasan dinding. Berikut contoh gambar aplikasi karya seni yang dicetak dengan mesin cetak 3D.

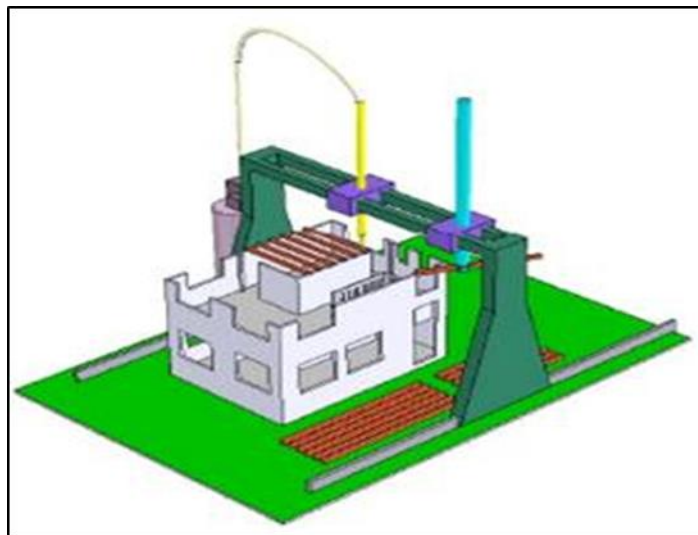


Gambar 5. Karya seni yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (<http://blogunik.com>).

7. Konstruksi

Mesin 3D Printer juga sering dipergunakan dalam dunia konstruksi. Mesin ini digunakan untuk mencetak bidang yang tidak beraturan sehingga dapat mengefisienkan proses pembangunan serta mengurangi limbah hasil perakitannya. Mesin 3D Printer masih dikembangkan di laboratorium dan belum dikembangkan secara nyata untuk umum. Sebenarnya menggunakan aplikasi mesin 3D Printer ini dapat memotong biaya produksi dari segi pekerja dan limbah yang dihasilkan saat pembangunan sebuah konstruksi. Proses mesin 3D Printer dilakukan untuk pembangunan sebuah bangunan dengan konsep sebagai berikut.



Gambar 6. Miniatur rumah yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (Bosscher, Williams & Bryson, 2007).

8. Perhiasan

Terdapat keunggulan mesin 3D Printer untuk penyetakan produk dengan bentuk yang bebas dan dengan tingkat kerumitan serta kompleksitas. Apabila desain dibuat menggunakan mesin tradisional, memerlukan waktu serta biaya yang cukup tinggi. Oleh sebab itu, dengan adanya bantuan Mesin 3D pembuatan perhiasan dapat dilakukan seperti dengan harapan. Desain perhiasan kerap kali berbeda agar terlihat kesan eksklusif dan mewah. Pembuatan produk yang

selalu berbeda-beda bentuk sangat menyulitkan dalam proses produksi. Tetapi, dengan menggunakan bantuan mesin 3D Printer kesulitan tersebut menjadi tidak berarti. Pencetakan produk dapat dilakukan mirip dengan desain yang dicetak. Oleh karena itu, kelebihan dari mesin cetak 3D dapat membuat berbagai produk dengan desain sama atau berbeda dengan lama. Jika menggunakan cara tradisional, membuat berbagai produk dengan bentuk yang sama dan desain yang berbeda akan memerlukan waktu yang lama dan biaya yang dibutuhkan mahal. Berikut contoh hasil perhiasan yang dicetak dengan mesin 3D.



Gambar 7. Perhiasan yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (Y. L. Yap and W. Y. Yeong, 2014).

9. *Fashion*

Bidang *fashion* mempunyai kesamaan dengan perhiasan. Produk sengaja dibuat berbeda-beda agar terkesan eksklusif. Pencetakan produk yang berbeda-beda dengan menggunakan konsep tradisional, akan memerlukan biaya yang tinggi oleh karenanya dengan bantuan mesin 3D Printer akan sangat membantu mengefisienkan produksinya. Bahan yang dibutuhkan pada produk fashion sangatlah variatif oleh karenanya dengan memanfaatkan mesin cetak 3D, akan sangat membantu dalam proses pembuatannya.



Gambar 8. Pembuatan fashion yang dicetak melalui 3D Printer .

Sumber : (Y. L. Yap and W. Y. Yeong, 2014).

10. Makanan

Mesin 3D Printer Sebenarnya sudah banyak dikembangkan untuk industrimakanan, tetapi adabanyak kendala atau kekurangan. Kendala yang paling sering dijumpai pada aplikasimesin 3D Printer dalam bidang makanan yakni adanya keberagamanjenis bahan makanan disatu hidangan. Haltersebutlah yang sampai saat ini belum terpecahkan. mesin 3D Printer dalam saat ini hanya masih dikembangkanuntuk memberikan variasi tampilan makanan, namun hal tersebut belum sampai 100 persen pembuatan makanan dibuat menggunakan mesin cetak 3D.

11. Pendidikan

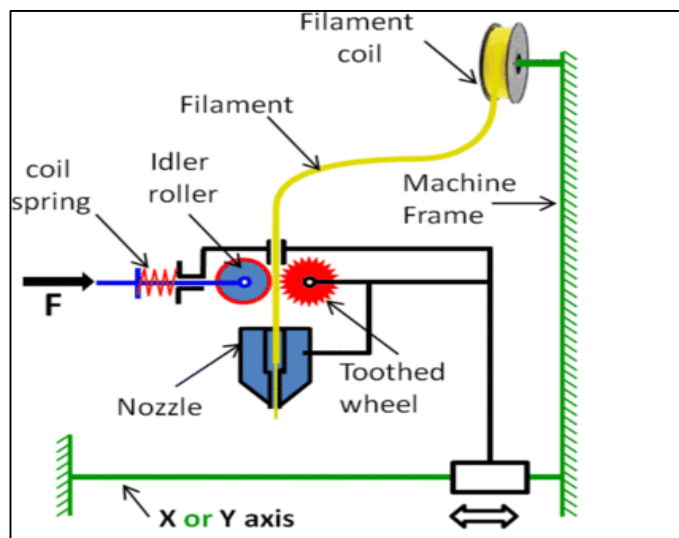
Dunia pendidikan seringkali membutuhkan gambaran pembelajaran secara nyata, contohnya saja seperti susunan molekul.Jika dibuat secara manual, membutuhkanwaktu dan biaya yang tinggi. Dengan menggunakan mesin 3D dapat dibuat secara efektif dan efisien. Selain itu,bentuk tengkorak dan tulang manusia akan sulit dibuatsecara manual. Dengan bantuan mesin cetak 3D, bentuktersebut dapat dibuat sesuai dengan desain yang sudahdibuat.

2.3 Jenis-Jenis 3D Printer

Adapun jenis-jenis 3D Printer antara lain :

1. Printer 3D Direct

Printer 3D merupakan direct yang mempunyai cara kerja menggunakan teknologi *inkjet*. Pada tahun 1960 teknologi tersebut juga digunakan pada printer 2D. Cara kerja teknologi *inkjet* yang digunakan dalam printer 3D hampir sama dengan printer 2D. Dimana cara kerja *inkjet* bergerak maju mundur dengan mengeluarkan cairan. Sedangkan yang membedakan antara printer 2D *inkjet* yaitu bergerak secara horizontal atau maju mundur, dan printer 3D *inkjet* bergerak secara vertikal maupun diagonal dengan mengeluarkan cairan, namun cairan tersebut berupa lilin dan polimer plastik bukan tinta seperti pada printer 2D (Nugroho, 2018).



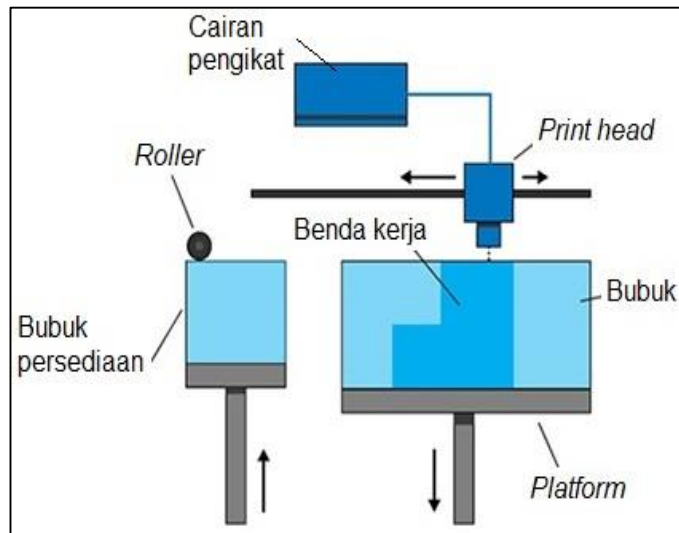
Gambar 9. Printer 3D Direct.

Sumber : (<https://www.hwlibre.com/>).

2. Printer 3D Binder

Printer 3D binder sering digunakan dalam membentuk lapisan, akan tetapi printer 3D ini mempunyai perbedaan dengan jenis direct. Jenis binder yang digunakan untuk melakukan pencetakan menggunakan dua bahan yang terpisah yaitu bubuk kering dan lem cair. Dimana cara

kerjanya yaitu yang pertama bubuk kering dituangkan kemudian ditambahkan dengan lem cair agar mampu mengikat. Begitu seterusnya hingga seluruh proses selesai (Nugroho, 2018).

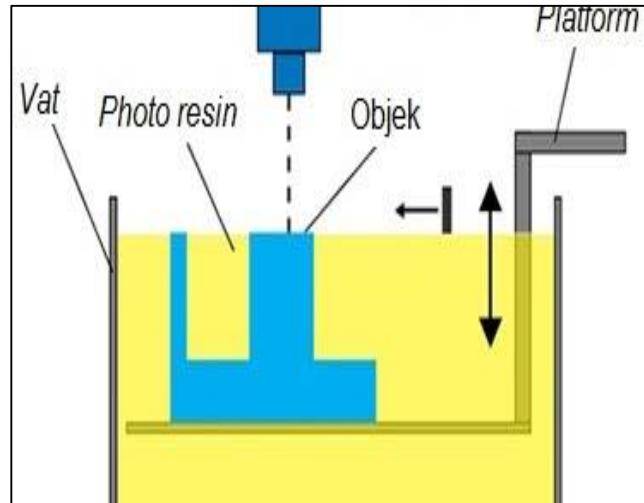


Gambar 10. Printer 3D Binder.

Sumber : (<https://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/>).

3. Printer 3D *Photopolymerization*

3D Printer *Photopolymerization* berasal dari kata Photo yang memiliki arti cahaya dan polimer yang mempunyai arti senyawa kimia plastik. Maka dapat dikatakan sebagai jenis printer 3D yang mempunyai cara kerja yaitu dengan meneteskan cairan plastik kemudian diberikan penyinaran laser berupa ultraviolet, dan saat proses penyinaran mampu merubah cairan menjadi padat (Nugroho, 2018).

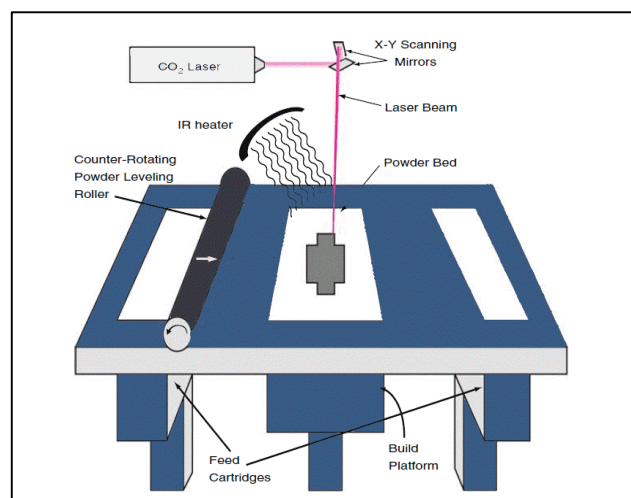


Gambar 11. Printer 3D Photopolymerization.

Sumber : (<https://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/>).

4. Printer 3D Sintering

Printer 3D ini merupakan jenis printer yang melibatkan partikel padat lalu yang diberikan penyinaran.. Proses tersebut dinamakan *Selective Laser Sintering (SLS)* yaitu proses printer 3D untuk mencairkan bubuk plastik dengan menggunakan laser, kemudian bubuk tersebut akan mencair dan kembali beku membentuk lapisan cetak. Sintering mampu bekerja mencetak benda-benda yang berasal dari logam. Penggunaan proses sintering menghasilkan keuntungan berupa tingkat presisi yang tinggi (Nugroho, 2018).



Gambar 12. Printer 3D Sintering.

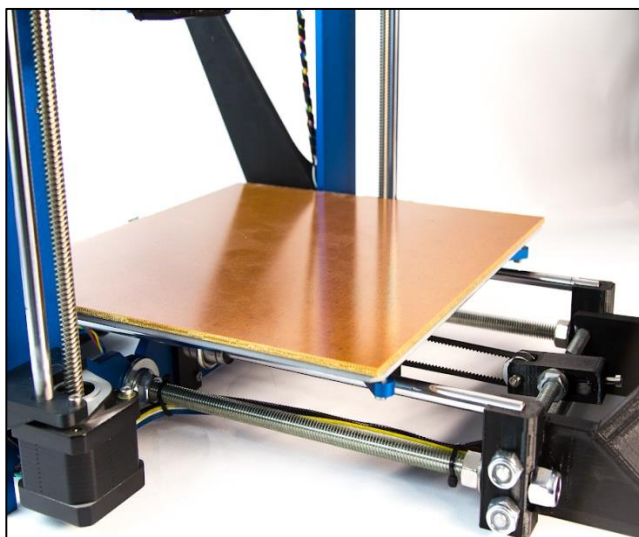
Sumber : (<https://xometry.eu/en/>).

2.4 Bagian-Bagian 3D Printer

Pada mesin 3D Printer printer mempunyai beberapa komponen utama. Komponen penyusunan tersebut secara umum sebagai berikut.

1. *Bed*

Print bed adalah lapisan yang digunakan sebagai dasar pada saat proses cetak 3D. Selain itu, *print bed* mempunyai fungsi sebagai pemegang benda yang dicetak agar dalam proses mencetak posisi produk tidak berubah. Jika posisi *print bed* dan produk selama proses mencetak berubah, maka akan berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Mesin 3D Printer selama proses pencetakan selalu menggunakan patokan awal, dari titik awal berupa pencairan lelehan filamen dari nozzle. Komponen *print bed* harus dapat menahan beban dari produk serta dapat menahan panas hingga 120 derajat, hal tersebut merupakan salah satu syarat dari *print bed* itu sendiri. Beberapa jenis filament menggunakan panas tinggi untuk *bed* agar produk yang dibuat tetap menempel pada landasan (Andy, 2019).

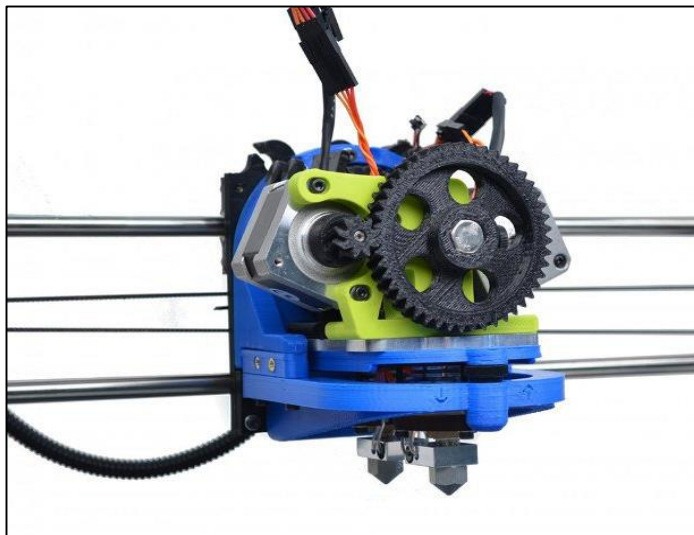


Gambar 13. Bed heater pada 3D Printer .

Sumber : (<https://instrutables.com>).

2. Ekstruder

Ekstruder adalah komponen yang memiliki tugas dalam menyuplai kebutuhan filamen dari rol menuju nozzle. Cara kerja Ekstruder ini berlandaskan pada perintah dari ECU mesin cetak 3D. Pada saat nozzle membuat produk lapisan 1, ekstruder akan mengalir secara terus menerus. Pada saat mesin 3D Printer memindahkan nozzle dari satu titik ke titik lain, terkhusus pada bagian yang tidak diberi aliran filamen, ekstruder akan menarik filamen agar lelehan filamen tidak mengalir keluar dari nozzle. Apabila ekstruder tidak bekerja dengan baik maka akan berdampak pada hasil dari produk 3D, yaitu hasil produk 3D menjadi tidak merata karena suplai kurang atau berlebihan sehingga menyebabkan produk rusak (Andy, 2019).



Gambar 14. Ekstruder pada 3D Printer .

Sumber : (<https://3dsourced.com>).

3. Nozzle

Nozzle adalah komponen pokok pada mesin cetak 3D. Nozzle berfungsi untuk melelehkan filamen dan mengarahkan lelehan tersebut untuk membentuk bidang yang sesuai desain yang akan dicetak. Lelehan yang dihasilkan oleh nozzle berasal dari suhu panas yang ada pada bagian nozzle oleh pemanas elektrik. Proses kerja dari nozzle yakni saat filamen plastik ditekan oleh ekstruder menuju

nozzle, nozzle sudah dalam posisi panas sesuai dengan pengaturan yang ada di dalam file. Dalam waktu yang bersamaan, filamen yang berbentuk plastik padat akan terkena suhu panas yang ada di nozzle sehingga filamen plastik akan meleleh dan keluar dari ujung nozzle. Ukuran dari setiap diameter ujung nozzle ini yang membedakan antara nozzle satu dengan yang lain. Semakin besar diameter ujung nozzle, semakin banyak juga filamen yang meleleh keluar dari ujung tersebut. Jika diameter kecil, maka jumlah lelehan filamen yang keluar akan sedikit pula (Andy, 2019).



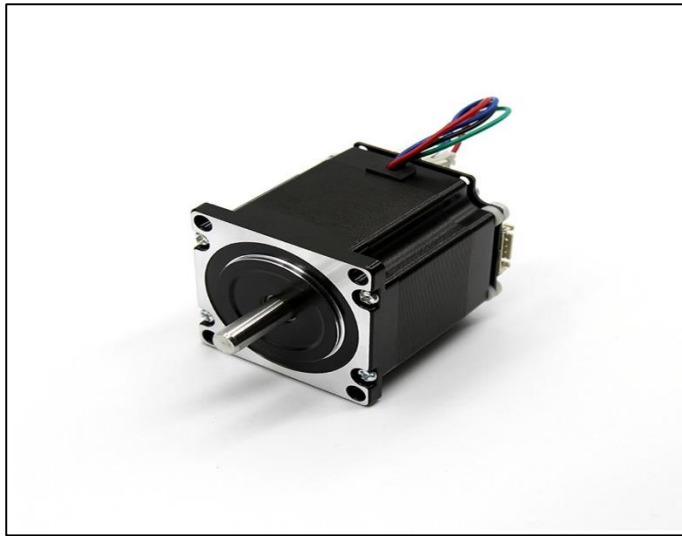
Gambar 15. Nozzle pada 3D Printer .

Sumber : (<https://tridimake.com>).

4. *Motor stepper*

Motor stepper adalah motor penggerak yang kecepatan penggerakannya dikontrol secara elektronik. Kerapatan dari *motor stepper* sangat kecil maka kelebihan motor model stepper yaitu dapat bergerak dengan rentang yang kecil. Pergerakan dengan jarak dan perputaran yang kecil mampu dilakukan oleh *motor stepper* sehingga motor dengan jenis ini cocok digunakan pada mesin printer 3D. Pada mesin 3D Printer kegunaan *motor stepper* yaitu sebagai penggerak *bed* untuk sumbu Y, penggerak nozzle untuk sumbu X, penggerak *bed* untuk sumbu Z, dan untuk ekstruder filamen. Tipe dari *motor stepper*

yang digunakan pada mesin 3D Printer mempunyai tipe yang sama (Andy, 2019).



Gambar 16. *Motor stepper* pada 3D Printer .

Sumber : (<https://all3dp.com>).

5. *Frame*

Komponen rangka mempunyai tugas untuk menggabungkan seluruh komponen yang dibutuhkan untuk menjadi mesin cetak 3D. Sebagian besar *frame* terbuat dari bahan alumunium, akan tetapi saat ini sudah berkembang jenis *frame* dari bahan akrilik.



Gambar 17. *Frame* pada 3D Printer .

Sumber : (<https://ubuy.com>).

6. Filamen

Bahan filamen adalah bahan plastik yang sudah dibentuk menggulung agar mempermudah dalam penggunaannya. Diameter standar yang digunakan pada tipe filamen ini yaitu 1.75 mm. Terdapat beberapa bahan yang tersedia untuk mesin 3D Printer saat ini yakni bahan dari ABS, PLA, dan *Nylon*.



Gambar 18. Filamen pada 3D Printer .

Sumber : (<https://tridiku.com>).

2.5 Filamen

Filamen sebagai bahan baku utama model 3D memiliki berbagai jenis material. Material-material tersebut antara lain

1. Polylactic Acid (PLA)

PLA adalah salah satu bahan yang lebih umum untuk pencetakan 3D. Biasanya terbuat dari jagung atau bahan terbarukan serupa bahan dan dapat terurai secara hayati. Itu dapat diekstrusi pada suhu yang relatif rendah (sekitar 210 C) yang berarti kurang menarik untuk membuat ekstruder cetak PLA dibandingkan bahan lainnya. Mencetak PLA tidak memerlukan *bed* heater dengan suhu yang tinggi. Kelemahannya

adalah menjadi lunak pada suhu yang terlalu panas. PLA adalah bahan yang sangat serbaguna yang umumnya cukup mudah untuk dicetak. Banyak mesin 3D Printer yang memiliki kipas kecil untuk mendinginkan PLA saat mencetak untuk meningkatkan kualitas cetak. PLA hadir dalam banyak warna dan opasitas, dan bahkan dalam versi yang berubah warna dari putih menjadi ungu cerah saat terkena sinar UV (seperti sinar matahari). Ada beberapa campuran bahan eksklusif yang eksotis yang akan dicetak dengan pengaturan seperti untuk PLA. Ini adalah termoplastik yang diresapi dengan bahan lain untuk memberikan sifat bahan cetak yang menarik (Horvath, 2014).

2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

ABS adalah bahan filamen 3D Printer konsumen umum lainnya. Anda mungkin tahu yang terbaik karena plastik yang digunakan untuk membuat banyak mainan (termasuk potongan lego). ABS adalah plastik yang keras dan tahan lama dan tetap kuat pada suhu yang lebih tinggi daripada PLA. Namun, cenderung melengkung saat didinginkan dan sulit untuk dicetak tanpa *bedheater* dengan suhu tinggi. ABS juga merupakan pilihan yang baik untuk suku cadang yang membutuhkan banyak support, karena support biasanya akan terlepas dengan lebih bersih di ABS daripada di bahan umum lainnya.

3. Nylon

Nylon adalah bahan serbaguna karena struktur *nylon* tipis fleksibel tetapi lebih tebal dan kaku. *Nylon* seringkali merupakan pilihan yang baik untuk bagian fungsional, tetapi harus berhati-hati untuk arah lapisan dan bagian mana yang paling lemah. *Nylon 618* dan *nylon 645* adalah dua formulasi yang tersedia (angkanya mengacu pada struktur molekul formulasi tertentu). Dengan *nylon*, sangat penting untuk memastikan bahwa Anda mendapatkan filamen printer 3D. Filamen *nylon* sangat rentan untuk menyerap kelembaban dari udara. *Nylon* biasanya datang dalam filamen berwarna putih. *Nylon* membutuhkan nozzle dengan suhu yang tinggi dan permukaan platform khusus yang tidak dipanaskan misalnya, garolite dan sebagainya.

4. PET

PET adalah plastik bening yang biasa digunakan pada kemasan botol air mineral. Selain itu, material PET adalah bahan yang sangat transparan, bagian yang dicetak 3D tidak akan terlihat jelas di semua arah karena garis-garis lapisan, tetapi akan tembus cahaya, terutama pada benda berdinding tipis. PET memiliki titik leleh yang relatif rendah, dengan demikian PET tidak boleh digunakan untuk bagian yang akan berada di lingkungan yang panas.

5. Polycarbonate

Polycarbonate adalah bahan yang sangat kuat tetapi masih agak eksperimental untuk penggunaan pencetakan 3D konsumen. Oleh karena itu sulit untuk menempel pada *platform build*. Polycarbonate adalah bahan pengembangan yang harus diperhatikan untuk masa depan dan baik untuk bahan-bahan industri.

6. Thermoplastic Elastomers (TPE)

Elastomer adalah kombinasi dari termoplastik dan karet. Cetakan yang dibuat dengan TPE bersifat kuat dan fleksibel. Namun, cetakan harus dibuat sangat lambat untuk menghindari peregangan berlebihan pada filamen selama pencetakan. Karena filamen yang lebih tipis cenderung melentur dan sulit untuk diolah. Hal ini karena filamen TPE mungkin terlalu banyak melentur di antara roda gigi dan nozel. Namun, kualitas unik material TPE akan memungkinkan banyak hal baru untuk pencetakan 3D. Cetakan TPE memiliki sifat tipis dan berdinding lebih tebal cetakan seperti sol sepatu keras namun fleksibel (Horvath, 2014).

Pada saat akan melakukan pencetak 3D menggunakan bahan tertentu maka harus memperhatikan 3 pengaturan utama berikut yaitu, suhu ekstruder, suhu *bed* pemanas, dan kecepatan pencetakan. Nilai-nilai karakteristik bahan filamen terdapat pada tabel 1 berikut ini.

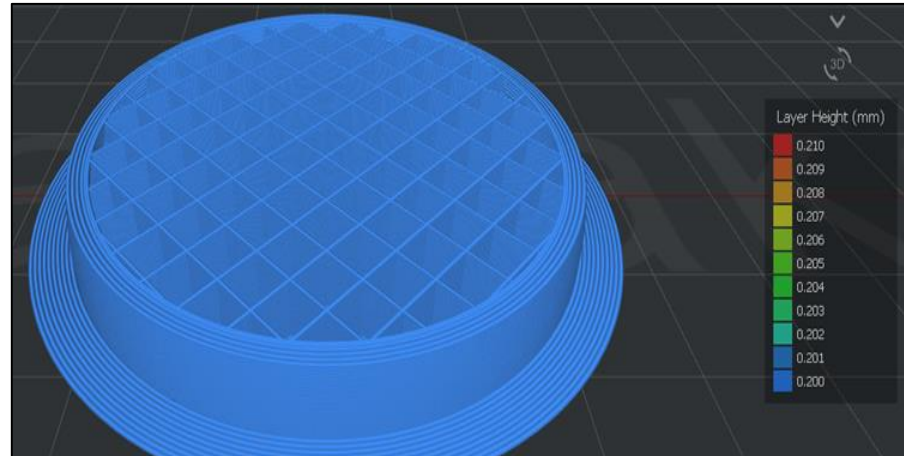
Tabel 1. Karakteristik material filamen.

Material	Ekstruder temperatur (°C)	Bed temperatur (°C)	Kecepatan (mm/s)
PLA	210	60	Normal
ABS	240	115	Normal
Nylon 618	240	100	Normal
Hips	240	115	Normal
Elastomer	210-225	100	Sangat lambat
PET	212-224	80	Lambat
Polycarbonate	>270	Sangat tinggi	Normal

2.6 Parameter Pada 3DPrinter

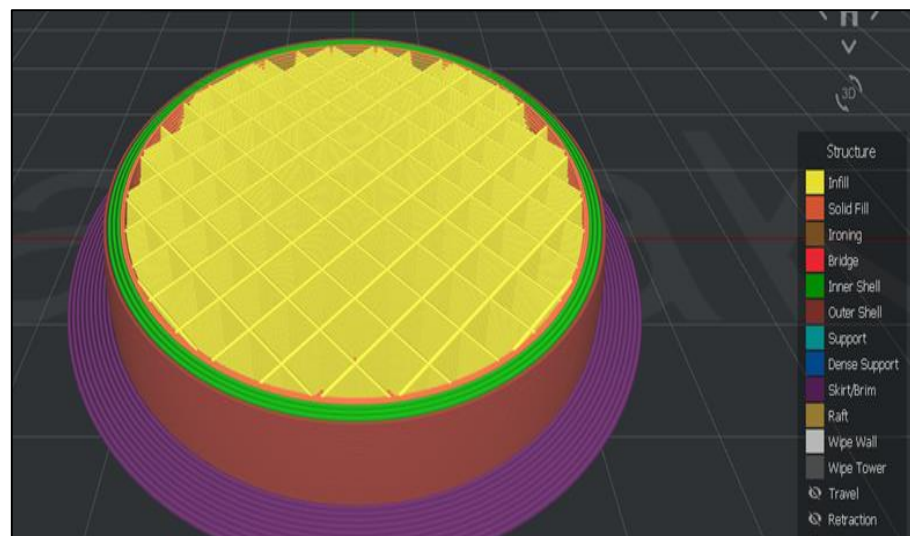
Parameter merupakan referensi yang dapat digunakan dalam mengatur nilai pada mesin untuk mendapatkan hasil yang diinginkan saat proses. Dalam mesin cetak 3D, parameter dimasukkan ke dalam perangkat lunak slicer untuk menghasilkan bahasa pemrograman yaitu G-code, mesin akan membaca perintah untuk mencetak. Adapun parameter yang terdapat pada mesin 3D Printer yaitu:

1. Temperatur *nozzle* merupakan panas yang memiliki fungsi dalam memanaskan filamen pada *nozzle* menjadi bahan semi padat yang kemudian dapat dicetak.
2. *Layer height* merupakan ketebalan setiap lapisan, di bawah ini dapat dilihat perbedaan ketebalan lapisan dari perbedaan warnanya mulai dari 0,200 mm sampai dengan 0,210 mm. Warna biru menunjukkan ketebalan lapisan terkecil mulai dari 0,200 mm dan warna merah menunjukkan ketebalan lapisan terbesar yaitu 0,210 mm.



Gambar 19. *Layer height* pada produk 3D Printer .

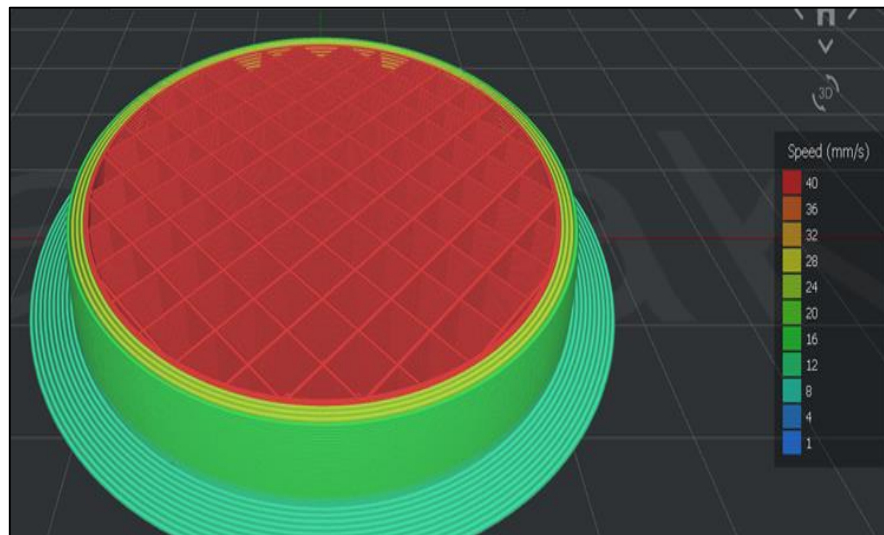
3. Pola pengisian (*infil*) adalah pola pengisian inti objek. Pola pengisian umumnya *rectangular*, *line* and *honeycomb*. *Infil* dapat diatur pada aplikasi Idea Maker atau aplikasi 3D Printer lainnya, *infil* sendiri dapat diatur kerapatannya mulai dari 0% sampai dengan 100% sesuai dengan kebutuhan. Kerapatan *infil* (*infil density*) nantinya akan mempengaruhi dari kekuatan spesimen yang akan dicetak, semakin rapat maka spesimen akan semakin kuat.



Gambar 20. *Infil* pada produk 3D Printer .

4. *Bed temperature* merupakan suhu yang digunakan pada papan atau pelat yang memiliki fungsi untuk tempat menempelkan bahan atau spesimen yang akan dicetak.
5. *Speed* merupakan kecepatan pada saat proses mencetak objek. Kecepatan tersebut dapat mempengaruhi kerja dari 3D Printer .

Semakin rendah kecepatan pencetakan maka hasil cetakan akan semakin halus dan dapat mengurangi kecacatan saat proses pencetakan (Marbun, 2020).



Gambar 21. Perbedaan speed pada produk 3D Printer .

2.7 Uji Jalan 3D Printer

Model cetak 3D dapat dibuat dengan bantuan paket desain CAD (*Computer Aided Design*) menggunakan aplikasi Autocad dan Idea Maker. Sebelum mencetak model 3D dari file stl (*StereoLithography*), harus diproses oleh perangkat lunak menggunakan slicer yang mengubah model 3D menjadi serangkaian lapisan tipis, dapat mengatur ukuran, parameter dan menghasilkan file G-code dari file stl (*StereoLithography*) yang berisi instruksi ke printer. Ada beberapa program perangkat lunak slicer yang open source yang ada, termasuk, Slic3r, KISSlicer, Cura dan IdeaMaker. Printer 3D mengikuti instruksi G-code untuk meletakkan lapisan berturut-turut dari bahan cair, bubuk, atau lembaran untuk membangun model dari serangkaian penampang model. Lapisan-lapisan ini, yang sesuai dengan penampang virtual dari model CAD, bergabung atau menyatu untuk membuat bentuk akhir model.

Pada aplikasi pengolahan desain menjadi G-code seperti Idea Maker kita dapat mengatur parameter yang akan digunakan pada produk yang akan dicetak, seperti *infill print speed, layer height dan layer speed, temperature bed and extruder, etc.* Setelah pengolahan data desain yang akan dicetak pada aplikasi Idea Maker kemudian mesin 3D Printer haruslah dikalibrasi antara ekstruder dengan bed. Hal ini bertujuan agar tidak terdapat kemiringan pada saat pencetakan produk dan mengurangi kegagalan produksi. Selain itu temperatur yang ada pada ekstruder haruslah dicek juga agar tidak terdapat kesalahan yang dapat mengakibatkan filamen tidak dapat meleleh atau mencair. Setelah semua dipastikan tidak ada masalah maka produk yang diinginkan dapat diproduksi atau dicetak. Dalam proses pencetakan perhatikan juga temperatur pada ekstruder dan bed tidak mengalami penurunan temperatur karena jika hal tersebut terjadi maka proses pencetakan akan gagal karena filamen tidak keluar dari ekstruder dan produk tidak menempel sempurna pada bed mesin.

2.8 Profil Projector

Profil projector sering disebut sebagai proyektor optik adalah perangkat yang menerapkan prinsip optik untuk pemeriksaan suku cadang yang diproduksi. Dalam komparator, siluet yang diperbesar dari suatu suku cadang adalah diproyeksikan pada layar, dan dimensi dan geometri bagian diukur terhadap batas yang ditentukan. Ini juga digunakan untuk inspeksi dan perbandingan yang sangat kecil bagian, yang memainkan peran yang sangat penting dalam struktur sistem sebagai penerapan kualitas. Proyektor profil dapat mengungkapkan ketidaksempurnaan seperti bur goresan, lekukan, dan talang yang tidak diinginkan yang baik mikrometer dan kaliper tidak dapat memperlihatkan.

Profil proyektor disebut juga komparator optik karena dalam proses perbesaran bayangannya menggunakan lensa untuk melakukan

perbesaran pada bayangan benda kerja yang diukur. Perbesaran yang terjadi bergantung pada lensa yang digunakan dalam proses pengukuran. Pada layar profil proyektor ini memiliki grid dan dapat di putar sejauh 360° . Sehingga bisa sejajar lurus dari bagian mesin untuk memeriksa ataupun *measure*. Layar profil proyektor ini menampilkan hasil perbesaran dari benda kerja yang sedang diukur menggunakan profil proyektor ini. Besar dari hasil perbesarannya tergantung pada jenis lensa yang digunakan. Sebagaimana telah operator ketahui ada beberapa jenis lensa profil proyektor ini. Semakin besar perbesaran yang digunakan maka akan semakin detail pula bayangan yang ditampilkan pada layar utama.

Penyinaran dilakukan oleh lampu utama dan diteruskan ke kondensor dan dilanjutkan ke layar utama. Sehingga bayangan yang terbentuk sesuai benda kerja yang diletakkan pada meja eretan yang disinari lampu utama tersebut. Sehingga letak dari benda kerja diantara lensa dan kondensor. Bayangan yang ditampilkan pada layar jika garis tepi dari benda ukur tersebut tidak jelas maka operator bisa mengatur fokus pada profil proyektor ini dengan cara mendekatkan lensa atau menjauhkan dengan benda kerja yang diukur.

Profil projector sendiri biasa digunakan untuk melakukan pengukuran benda kerja dalam berbagai bentuk. Salah satu bentuk yang akan diuji kali ini adalah berbentuk lengkung. Dalam pengukuran sudutnya adapun cara yang dilakukan yaitu spesimen yang mau di ukur diletakan di atas preparat, lalu dilanjutkan dengan menghidupkan mesin profile projector, lalu anterproyeksi bayangan sudut pada benda kerja, lalu kita akan mengukur bayangan benda kerja tersebut dengan cara mensejajarkan garis putus – putus dengan garis sudut awal pada sudut proyeksi bayangan, kemudian memutar garis putus - putus sehingga nanti akan sejajar dengan sudut lainnya, ukur hasil pengukurannya dengan cara melihat skala utama dan skala nonius, kemudian catat hasil pengukuran sudutnya.

2.9 Komponen Profil Proyektor

Dalam profil proyektor memiliki komponen pokok yang tersusun hingga menjadi sebuah rangkaian serta memiliki bentuk seperti profil proyektor ini. Pada profil proyektor CNC maupun konvensional isi komponennya sama akan tetapi hanya terdapat perbedaan pada cara pengoperasiannya. Perbedaan tersebut berada pada penggerak meja utama alat ini. Komponen-komponen profil proyektor di antaranya sebagai berikut.

1. Lampu

Lampu terletak pada dibagian depan profil proyektor yang mengarah ke proyektor, serta terdapat kondensor agar cahaya dapat diarahkan ke proyektor. Lampu digunakan sebagai sumber cahaya pada sistem optiknya. Lampu merupakan komponen yang memiliki peran sangat penting pada profil proyektor, karena pada profil proyektor jika tidak memiliki lampu maka alat tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik. Faktor pencahayaan pada alat ini merupakan hal paling penting untuk membentuk bayangan dari benda kerja yang akan dilakukan pengukuran.

2. Proyektor

Proyektor digunakan dalam memproyeksikan cahaya ke cermin yang kemudian diteruskan kelayar. Proyektor merupakan benda yang sangat penting, jika tidak ada proyektor, bayangan benda kerja tidak akan dapat di tayangkan di layar utama. Proyektor memiliki berbagai macam perbesaran, yaitu 10X, 25X, 50X.

3. Layar

Layar merupakan proses penerima cahaya yang merupakan hasil dari pemroyeksian melalui proyektor. Pada layar terdapat garis silang untuk memposisikan bayangan benda ukur. Piringan layar dapat diputar 360° agar dapat membaca sudut bayangan.

4. Meja

Pada alat ukur profil proyektor terdapat meja yang digunakan untuk meletakkan kedudukan suatu benda ukur. Meja ini mempunyai

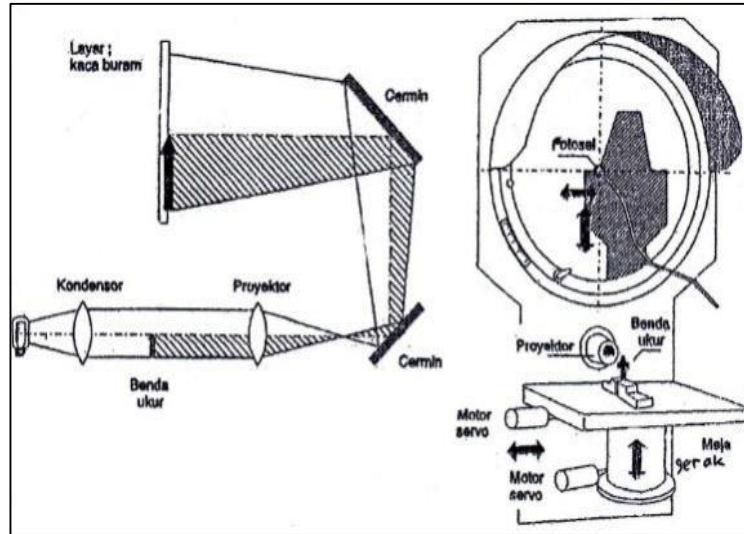
permukaan yang datar serta tidak terdapat kecacatan sedikitpun. Meja diposisikan diantara kondensor dan proyektor.

5. Alat Ukur

Dalam profil proyektor terdapat tiga alat ukur berjenis vernier digital yang digunakan dalam membaca panjang, lebar, tinggi, dan sudut. Ketika operator menggeser eretan maka secara otomatis angka dari alat ukur akan berubah mengikuti besar perubahan yang terjadi. Upaya yang dapat dilakukan dalam mempermudah penghitungan, seharusnya operator selalu mengkalibrasi alat ukur sebelum dilakukan proses pengukuran.

2.10 Prinsip Kerja Profil Proyektor

Profil proyektor memiliki prinsip kerja pengubah optomekanik (gabungan sistem optik dan sistem mekanik). Sistem mekanik pada profil proyektor terdapat pada meja ukur. Gerakan dari Xaxis *fine motion assembly* bergerak meja searah sumbu X (horizontal), dan gerakan Y axis *fine motion assembly* menggerakkan meja searah sumbu Y (vertikal). Sistem optik yang terdapat pada profil proyektor terdapat pada lampu yang memberi bayangan pada kaca buram. Cara kerja optik pada profil proyektor adalah berkas cahaya dari lampu diarahkan oleh kondensor menuju objek yang diletakkan diantara kondensor dan proyektor. Karena benda ukur tidak tembus cahaya, jadi hanya sebagian berkas cahaya yang diteruskan dan diproyeksikan kelayar buram. Sehingga bayangan benda ukur yang gelap dengan latar belakang yang terang.



Gambar 22. Skema optomekanik profil proyektor.

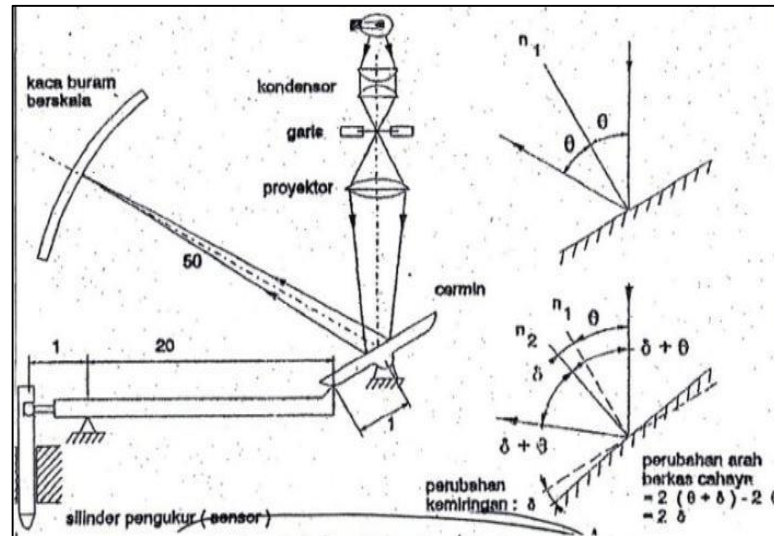
Sumber : (Rochim, 2006).

Terdapat beberapa alat ukur perbandingan yang menggunakan prinsip kerja gabungan yakni pengubah mekanik dan optik. Pengubah mekanik berupa sistem kinematik yang memiliki fungsi dalam memperbesar perubahan silinder pengukur (sensor) sesuai perbandingan jarak diantara kedua ujung batang terhadap engselnya. Sistem mekanik digabungkan dengan sistem optik melalui cermin yang kemiringannya dapat diubah. Sementara cermin memiliki fungsi sebagai pemantul berkas cahaya dalam sistem pengubah optik. Pengubah optik dapat berupa sistem pembentuk bayangan berupa garis yang diproyeksikan pada layar kaca buram pada mana tercantum skala (dibalik) bayangan skala diproyeksikan pada kaca buram yang memiliki garis indeks. Jika perbandingan jarak diantara kedua ujung batang kinematik terhadap engselnya 30:1, sedangkan perbandingan radius skala dengan jarak antara engsel dengan ujung cermin pemantul adalah 50:1, maka perbesaran total alat ukur yaitu:

Perbesaran mekanik : $1 \times 30 \times 1 = 30$ satuan.

Perbesaran optik : $50 \times 2 = 100$ satuan.

Perbesaran total : $30 \times 100 = 3000$ satuan.



Gambar 23. Prinsip kerja alat ukur optomekanik.

Sumber : (Rochim, 2006).

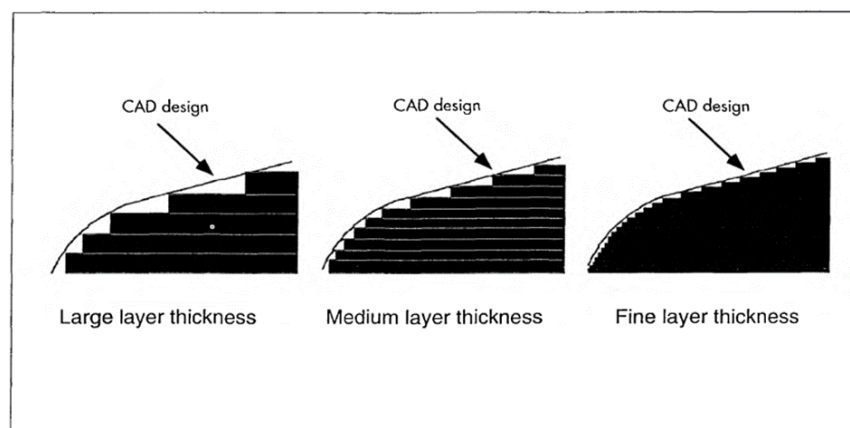
Hal tersebut berarti, apabila jarak perubahan sensor sebesar $1\mu\text{m}$ dirancang menyebabkan pergeseran garis indeks pada skala dengan jarak antara garis 2 mm , hal ini sama dengan merancang kecermatan sebesar $0,001\text{ mm}$. Faktor perbesaran sebesar $2X$ dalam sistem optik merupakan salah satu pengaruh perubahan kemiringan cermin pemantul. Pemeriksaan bayangan benda ukur (pengukuran atau perbandingan dengan contoh bentuk standar) dilakukan dari balik layar yang terbuat dari kaca buram. Sama halnya pada mikroskop, benda ukur dicekam pada meja geser (Koordinat X-Y) yang menyebabkan bayangan benda ukur dapat digerakkan relatif dengan garis silang yang terdapat pada layar. Jarak yang dilalui oleh gerakan bayangan dapat dibaca dalam skala kepala micrometer dengan meja posisi digerakkan arah X dan Y.

2.11 Stereolithography

Pada tahun 1987 aplikasi yang baru dari desain berbantuan komputer (CAD) dikembangkan. Stereolithography, atau pencetakan 3 dimensi adalah proses aditif lapisan pertama yang tersedia secara komersial untuk memungkinkan pembuatan objek fisik secara cepat dan langsung dari basis data CAD.

Proses stereolithography (STL) dimulai dengan pembuatan model CAD dari objek yang diinginkan. File STL perangkat lunak ini menghasilkan deskripsi objek tessal yang dikenal sebagai file STL atau StereoLithography. File ini pada dasarnya terdiri dari koordinat X, Y, dan Z dari tiga simpul dari setiap segitiga permukaan, serta indeks yang menggambarkan orientasi normal permukaan. Segitiga yang lebih kecil menghasilkan resolusi permukaan lengkung yang lebih halus dan akurasi bagian yang ditingkatkan melalui pengurangan deviasi akord, sementara segitiga yang lebih besar meminimalkan kebutuhan penyimpanan sistem, dengan mengorbankan akurasi. Fitur terakhir diperlukan untuk memastikan bahwa perbedaan yang jelas dibuat antara permukaan dalam dan luar.

Setelah file STL dihasilkan dari deskripsi CAD asli dari suatu objek, langkah selanjutnya melibatkan pemotongan file itu atau slicing. Hasilnya adalah file SLI atau SLIce, yang mewakili serangkaian penampang 2 dimensi yang berjarak dekat dari objek 3 dimensi, masing-masing pada nilai koordinat Z yang sedikit berbeda. Ketebalan irisan yang paling umum adalah 0,020 inci (0,5 mm). Karena SL mencapai presisi yang lebih baik dan akurasi yang ditingkatkan, nilai ketebalan slicing telah menurun ke titik di mana lapisan 0,004 inci (100 mikron). Hal ini penting karena ketebalan lapisan yang terbatas menyebabkan kesalahan langkah pada sumbu Z, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Saat ketebalan lapisan berkurang, objek yang dihasilkan dapat lebih tepat mendekati maksud desain, dan kualitas permukaan juga meningkat (Jacobs, 1995).



Gambar 24. Ketebalan lapisan pada *CAD design*.

2.12 Metode Taguchi

Metode taguchi merupakan metodologi terbaru pada bidang teknik yang memiliki tujuan memperbaiki kualitas produk, proses, dan dapat menekan biaya resources sedemikian mungkin. Metode Taguchi membuat produk atau proses bersifat kokoh (robust) dari faktor gangguan (noise), sehingga metode ini disebut sebagai perancangan kokoh (robust design). (Soejanto, 2009). Dalam metode Taguchi terdapat beberapa keunggulan-keunggulan. Keunggulan tersebut seperti berikut.

1. Desain eksperimen Taguchi bersifat efisien karena terdapat peluang untuk melakukan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen Taguchi memberikan peluang berupa diperolehnya suatu proses untuk menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).
3. Metode Taguchi memberikan kesimpulan mengenai tanggapan faktor-faktor kontrol yang menghasilkan tanggapan optimum.

Pada metode Taguchi juga memiliki kekurangan-kekurangan sama dengan metode lain. Kekurangan tersebut diantaranya adalah rancangan metode

Taguchi memiliki struktur yang sangat kompleks, dalam struktur tersebut terdapat rancangan yang memberikan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Dalam upaya mengatasinya perlu diadakan penyeleksian rancangan percobaan sesuai dengan tujuan penelitian (Soejanto, 2009).

Beikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan metode Taguchi dalam sebuah eksperimen yaitu:

1. Merancang tujuan dari proses atau target value untuk mengukur performansi dari suatu proses.
2. Menentukan banyaknya desain yang memberikan efek kepada proses.
3. Membuat *orthogonal arrays* untuk desain parameter yang menunjukkan jumlah dan kondisi dari masing-masing eksperimen.
4. Menghubungkan eksperimen yang ditunjukkan pada array yang telah selesai untuk mengumpulkan data pada efek dari pengukuran performansi.
5. Melengkapi data analisis dalam upaya penentuan efek dari berbagai parameter berbeda pada pengukuran performansi.

Kemudian Setelah didapatkan data dari hasil percobaan, maka dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik. Berikut ini merupakan tahap dari analisis taguchi:

1. Analisis Varians Taguchi
Analisis varians merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis data secara statistik yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen. Analisis ini memanfaatkan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh total parameter yang ingin diteliti. Untuk analisis varian dua arah merupakan data eksperimen yang terdiri dari dua parameter atau lebih dan dua level dari parameter atau lebih.
2. Rasio S/N
Tahap ini meliputi pengumpulan dan pengolahan data. Untuk perhitungan manual dan pengujian data statistik dilakukan pada data

hasil percobaan. S/N Ratio(Signal to Noise Ratio) merupakan salah satu tahapan analisis. Signal to Noise Ratio(SNR) dalam metode Taguchi digunakan untuk mengetahui nilai level faktor yang berpengaruh dan optimal bagi karakteristik kualitas dari hasil eksperimen. Karakteristik kualitas pada SNR terdiri seperti berikut :

a. Smaller is Better

Smaller is better atau semakin kecil semakin baik merupakan karakteristik kualitas dengan ketentuan nilai nol dan non-negatif, nilai yang mendekati nol merupakan nilai yang diinginkan.

b. Nominal is Best

Nominal is best atau tertuju pada nilai tertentu merupakan karakteristik kualitas dengan nilai bukan nol dan terbatas, nilai yang mendekati nilai yang telah ditentukan merupakan yang terbaik.

c. Larger is Better

Larger is better atau semakin besar semakin baik merupakan karakteristik kualitas dengan tingkatan nilai yang tidak terbatas dan non-negatif, nilai besar merupakan nilai yang diinginkan.

3. Analisis Variansi dan Uji Hipotesis F

Analisis variansi digunakan untuk mengetahui dan mencari besarnya suatu proses parameter kendali pengaruh secara signifikan terhadap suatu respon. Pengujian untuk mengetahui pengaruh dari faktor atau parameter bebas terhadap percobaan dilakukan dengan uji hipotesis F. Hipotesis merupakan dugaan yang bersifat sementara dalam suatu proses yang masih lemah kebenarannya dari parameter dalam populasi, yang digunakan dalam upaya mendapatkan suatu keputusan, apakah diterima atau ditolak sebuah hipotesis tersebut. Dalam penelitian ini taraf signifikansi α yang digunakan sebesar 5% atau 0,05. Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Adapun kriteria pengujian sebagai berikut :

- a. Jika nilai uji F Test (hitung) $<$ nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh perlakuan terhadap kekuatan tarik dengan kata lain H_0 diterima dan H_1 ditolak.
 - b. Jika uji F Test (hitung) $>$ nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan terhadap kekuatan tarik dengan kata lain H_0 ditolak dan H_1 diterima.
4. Persen kontribusi
- Upaya untuk mengetahui besarnya kontribusi yang dapat diberikan oleh masing-masing parameter dan interaksi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut ini tempat serta waktu penelitian :

1. Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium CNC dan Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. Waktu

Lama waktu penelitian kurang lebih selama tiga bulan (April 2022- Juni 2022). Adapun uraian waktu kegiatan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

3.2 Alat dan Bahan

Alat serta bahan yang digunakan selama penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat Penelitian

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. 3D Printer

Mesin 3D Printer yang digunakan selama penelitian ini berjenis *Fused Deposition Modeling* (FDM). Mesin 3D Printer yang digunakan termasuk jenis Anet A8 dengan printing area sumbu XYZ 220 x 220 x 295 mm. 3D Printer ini memiliki layer

thickness berkisar 0,1 sampai 0,3 mm dan membutuhkan daya sebesar 24V AC. Ditunjukkan pada gambar 25 berikut.



Gambar 25. 3D Printer Anet A8.

b. Profile Projector

Profile proyektor yang digunakan bermodel Multitoyo PJ 3000. Adapun gambar di bawah ini gambar 26 profil proyektor.



Gambar 26. Profil Proyektor Multitoyo PJ 3000.

Adapun spesifikasi dari profile projector Multitoyo PJ 3000 dapat dilihat dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Spesifikasi profile projector Multitoyo PJ 3000.

Layar busur derajat	Diameter efektif	306mm/12in
	Tampilan angel (LED)	1 atau 0,01 dan 370 ⁰
Lensa proyeksi	10X sampai dengan 100X	
Ketelitian	0,0001 mm	
Akurasi perbesaran	Penerangan kontur	0,1% atau kurang
	Penerangan permukaan	0,15% atau kurang
Penerangan kontur	Sumber cahaya	Bohlam halogen (24V, 150W)
	Sistem optik	Sistem telesentrik
Penerangan permukaan	Sumber cahaya	Bohlam halogen (24V, 150W)
	Sistem optik	Penerangan vertikal dengan cermin refleksi
<i>Power supply</i>	120V AC, 50/60 Hz	

c. Laptop

Laptop yang digunakan bermodel ASUS X441U yang digunakan untuk menjalankan software desain dan analisis.



Gambar 27. Laptop.

- d. Software Autodesk Inventor 2016
Software ini digunakan untuk proses desain atau merancang spesimen yang akan dicetak.
- e. Software Ideamaker
Software ini digunakan untuk proses setting parameter spesimen yang akan dicetak.
- f. Software Minitab 17
Software ini digunakan untuk proses analisis taguchi dan ANOVA.

2. Bahan Penelitian

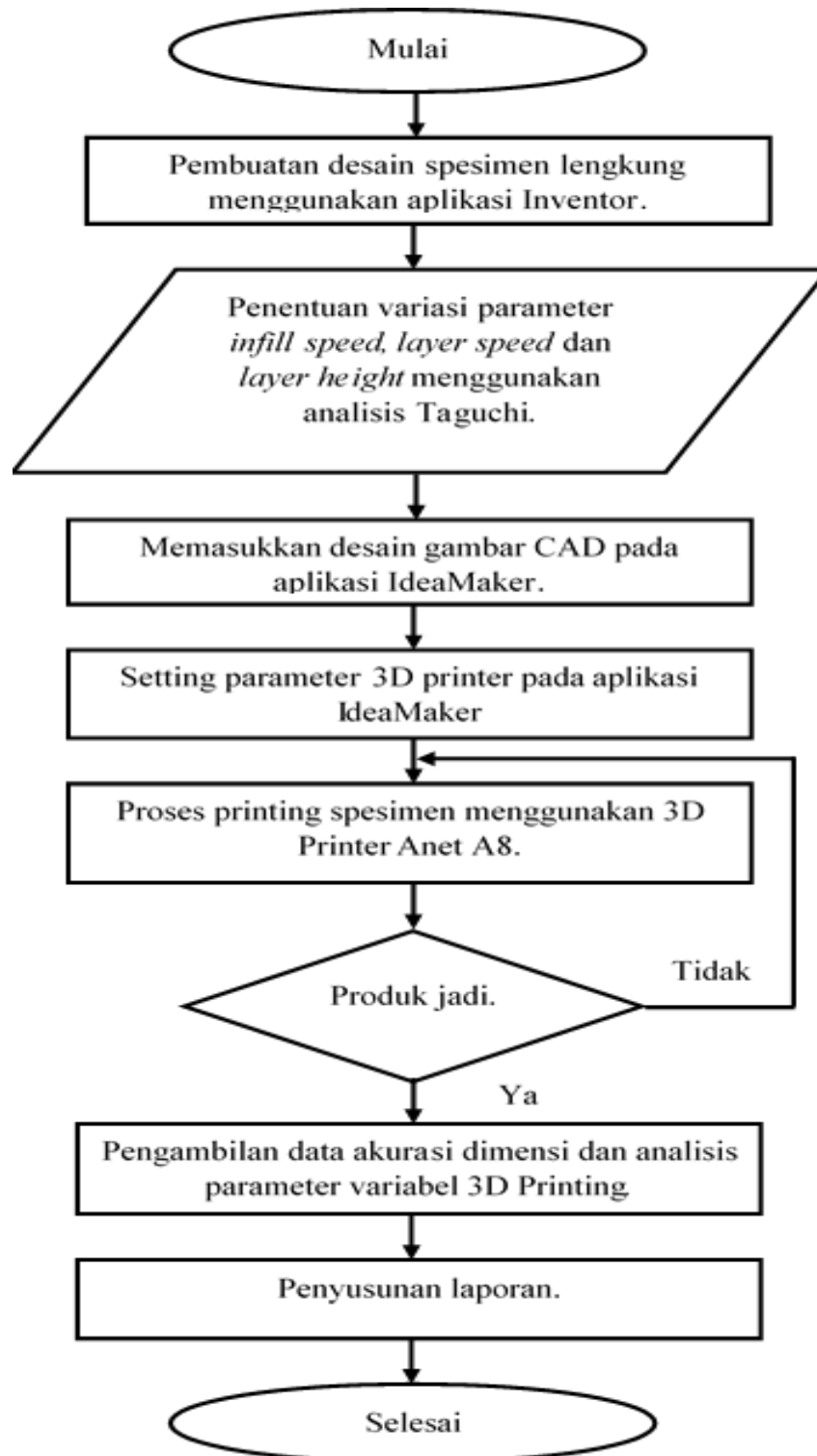
Bahan utama yang dipergunakan pada penelitian ini adalah *Filament Polylactic acid (PLA)*. PLA merupakan bahan cetak 3D yang berasal dari bahan plastik *biodegradable thermoplastic aliphatic polyester* yang terbentuk dari campuran tepung jagung tapioka, atau tebu. Filament PLA ini memiliki ukuran diameter 1,75mm. *Filament PLA* dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat diprint pada suhu 190°C sampai 220°C. Dapat dilihat pada Gambar 28 berikut.



Gambar 28. Filamen PLA.

3.3 Alur Penelitian

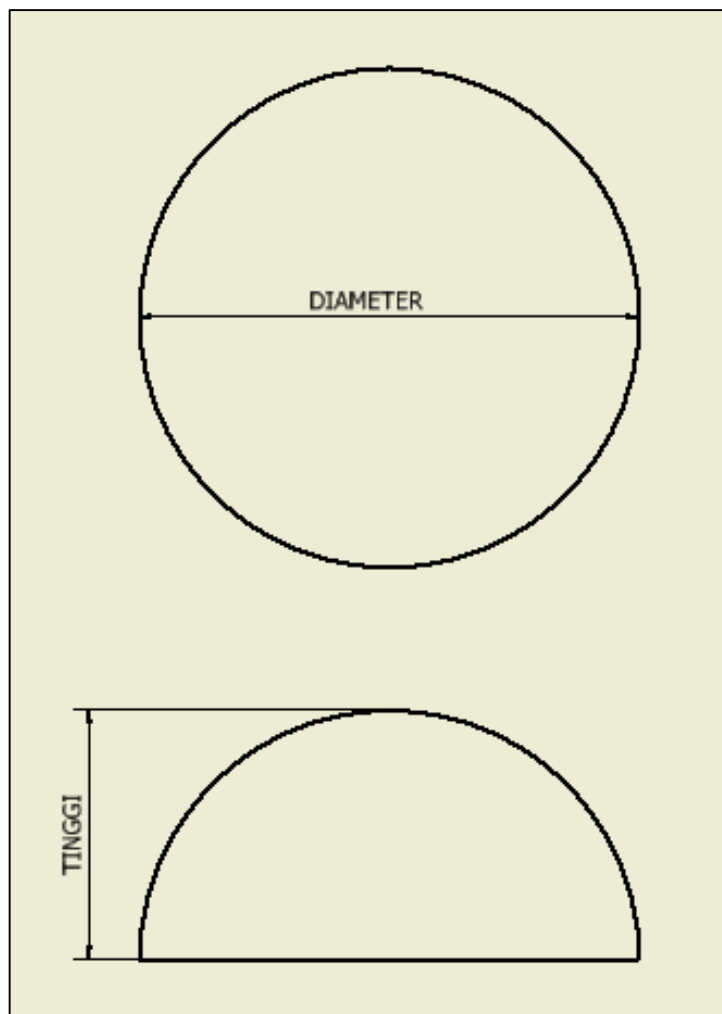
Berikut merupakan *flowchart* pelaksanaan penelitian dari awal sampai :



Gambar 29. *Flowchart*.

3.4 Desain Dimensi Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan desain produk 3D berbentuk lengkung dengan dimensi panjang diameter sebesar 50 mm dan dengan tinggi sebesar 25 mm. Berikut gambar 30 di bawah ini adalah desain gambar lengkung :



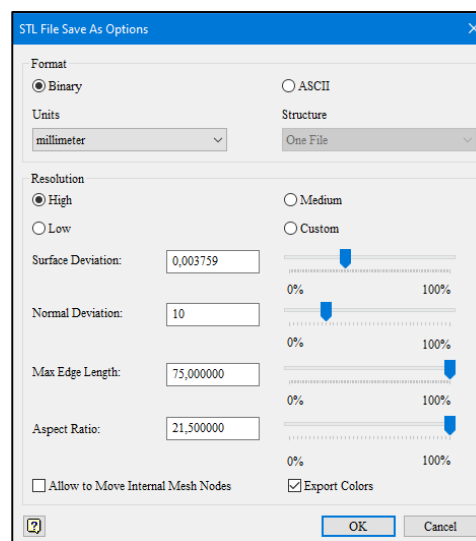
Gambar 30. Desain gambar lengkung.

Selain itu adapun variasi ukuran yang dipergunakan dalam penelitian ini berupa *layer height*, *infil speed* dan *layer speed*. Berikut adalah tabel 4 variasi yang digunakan dalam penelitian.

3.5 Prosedur Penelitian

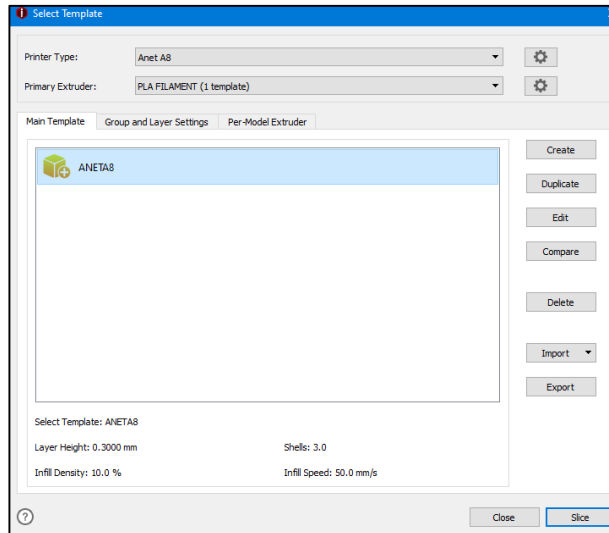
Berikut ini adalah prosedur penelitian:

1. Pertama melakukan perancangan desain berbentuk lengkung dengan dimensi diameter 50 mm dan tinggi 25mm menggunakan aplikasi Autocad Inventor.
2. Kemudian setelah melakukan pembuatan desain *save* desain menggunakan format STL (StereoLithography) dengan resolusi high agar hasil dari proses printing dapat optimal.



Gambar 31. Format file STL.

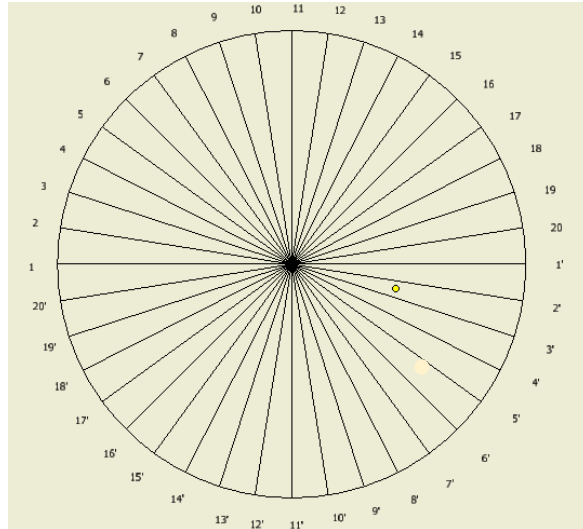
3. Setelah itu melakukan edit parameter 3D Printer menggunakan aplikasi Idea Maker.
4. Kemudian edit parameter menggunakan aplikasi Idea Maker pada menu *start slicing* kemudian klik *setting*.
5. Edit parameter yang akan digunakan yaitu *layer height*, *infil speed* dan *layer speed* sesuai dengan yang ditentukan.
6. Kemudian edit parameter sesuai yang ditentukan menggunakan aplikasi ideamaker.
7. Setelah semua parameter di edit sesuai dengan ketentuan kemudian di *save*.



Gambar 32. Proses slice parameter sebelum dicetak.

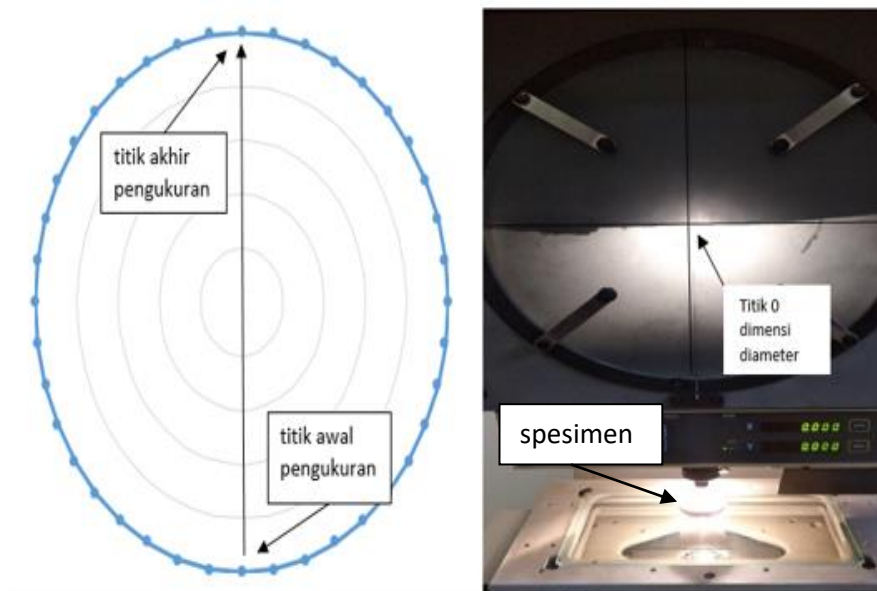
8. Kemudian pindahkan file tersebut ke dalam SD Card untuk selanjutnya dilakukan proses printing.
9. Kemudian lakukan proses printing dengan menghidupkan mesin 3D Printer Anet A8.
10. Untuk melakukan printing mula-mula cek kalibrasi sumbu-sumbu pada mesin 3D Printer dengan memilih menu *setting* lalu klik *manual home*. Kemudian pilih menu *SD Card* lalu pilih menu *print* lalu pilih file yang akan dilakukan printing.
11. Kemudian tunggu proses printing sampai selesai.
12. Lakukan langkah 10 sampai 11 untuk printing spesimen lainnya.
13. Setelah semua spesimen selesai dicetak lakukan pengecekan ukuran dan dimensi menggunakan *profile projector*.
14. Nyalakan profil *projector*.
15. Atur posisi spesimen sehingga berada ditengah proyeksi dengan cara mengeset sumbu *X axis fine motion assembly* dan *Y axis motion assembly*.
16. Atur fokus lensa sehingga bayangan benda kerja kelihatan jelas pada layar (*screen*) dengan mengatur *lens focus assembly*.
17. *Reset vernier caliper* arah sumbu *X* dan *Y* serta *angle caliper* sehingga *display* nya menunjukkan angka 0,00.

18. Untuk penilaian dimensi diameter dilakukan dari titik nomor 1 menuju ke titik 1'. Kemudian hal yang sama dilakukan sebanyak 20 kali percobaan dapat dilihat pada gambar 33.



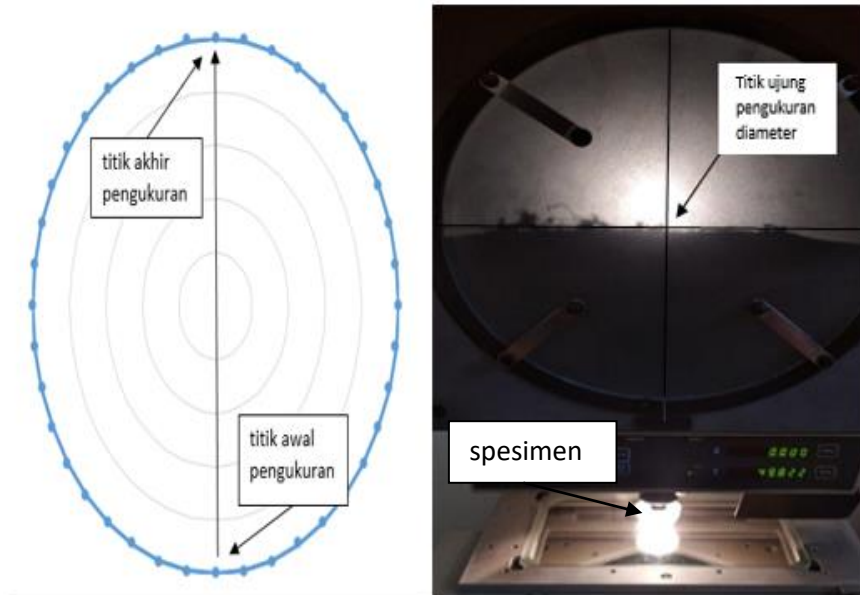
Gambar 33. Pengukuran dimensi diameter spesimen.

19. Kemudian untuk pengukuran dimensi diameter menggunakan profil proyektor dilakukan dengan mengatur titik 0 pada dimensi diameter yaitu sejajar dengan titik tengah pada sumbu layar, dapat dilihat pada gambar 34 berikut.



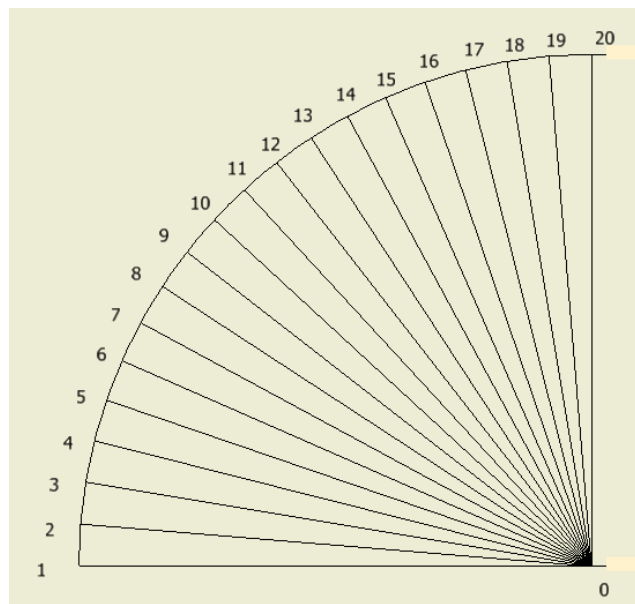
Gambar 34. Titik 0 pada dimensi diameter.

20. Kemudian memutar eretan sumbu Y dari titik 0 menuju ke ujung lingkaran. Untuk hasilnya pengukurannya bisa dilihat pada gambar 35 berikut ini.



Gambar 35. Hasil pengukuran diameter.

21. Untuk pengukuran dimensi jari-jari dilakukan dari titik nomor 1 menuju ke titik pusat lingkaran. Kemudian hal yang sama dilakukan sebanyak 20 kali percobaan dapat dilihat pada gambar 36.



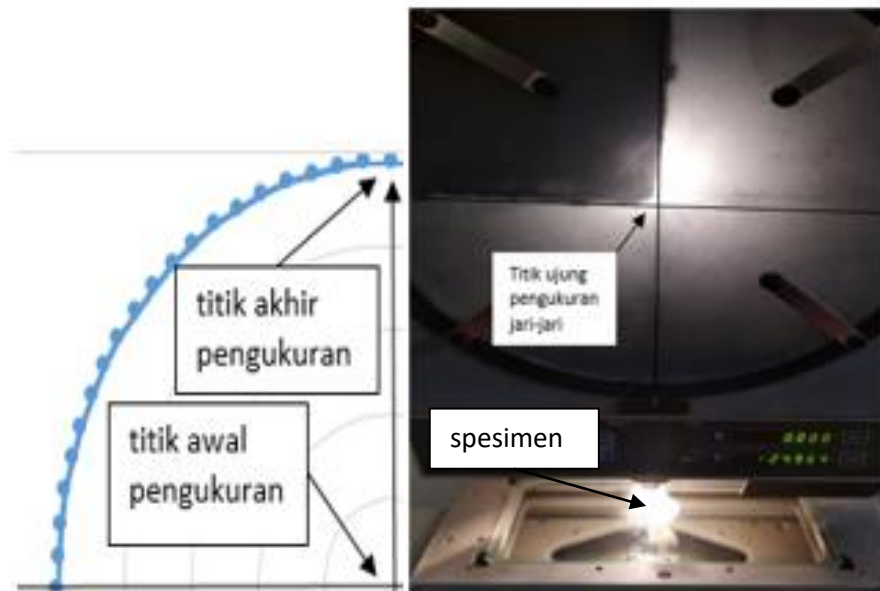
Gambar 36. Pengukuran dimensi jari-jari spesimen .

22. Kemudian untuk pengukuran dimensi jari-jari dengan cara memutar eretan sumbu Y dari titik 0 atau sejajar dengan titik sumbu pada layar menuju ke ujung lingkaran. Berikut gambar 37 menunjukkan titik 0 pada dimensi jari-jari.



Gambar 37. Titik 0 pada dimensi jari-jari.

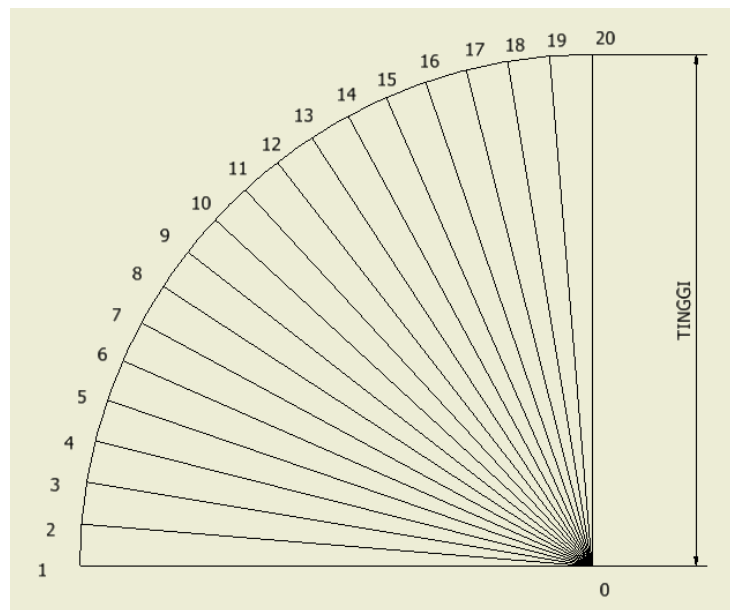
23. Untuk hasilnya pengukurannya bisa dilihat pada gambar 38 berikut ini.



Gambar 38. Hasil pengukuran dimensi jari-jari.

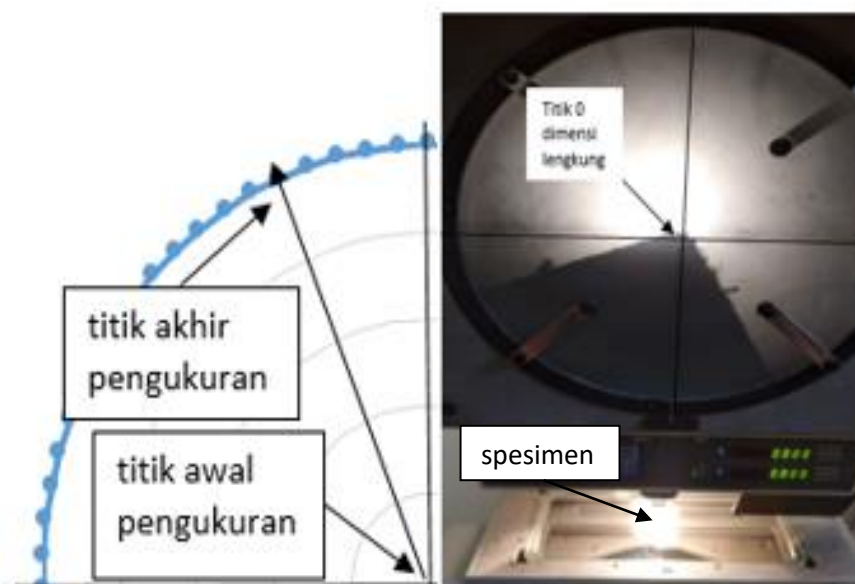
24. Untuk pengukuran dimensi lengkung dilakukan dari titik 1 menuju ke titik 0. Kemudian hal yang sama dilakukan sebanyak 20 kali

percobaan. Kemudian untuk dimensi tinggi pengukuran dilakukan dari titik atas lingkaran menuju ke titik 0 dapat dilihat pada gambar 39.



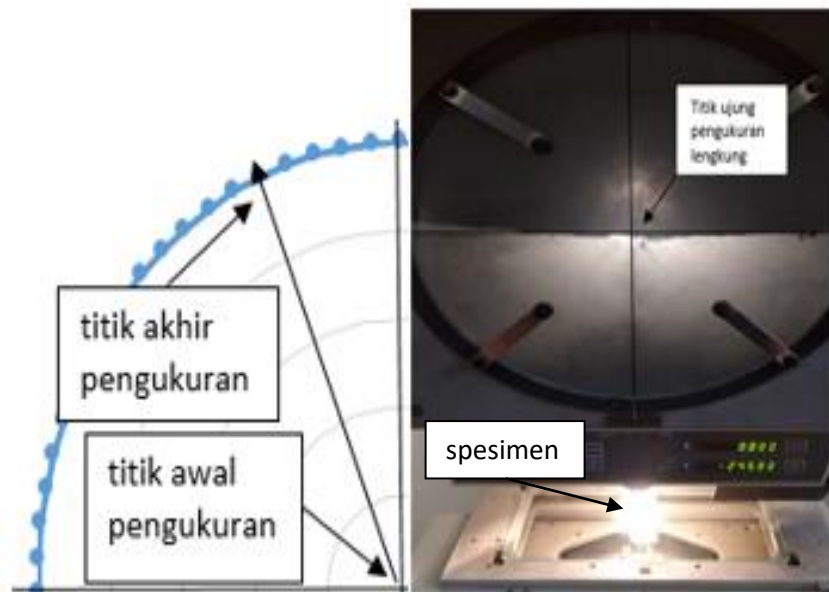
Gambar 39. Pengukuran dimensi lengkung.

25. Kemudian untuk pengukuran dimensi lengkung dilakukan dengan cara memutar eretan sumbu Y dari titik 0 atau sejajar dengan titik tengah sumbu pada layar menuju ke ujung lingkaran. Berikut gambar 40 menunjukkan titik 0 pada dimensi lengkung.



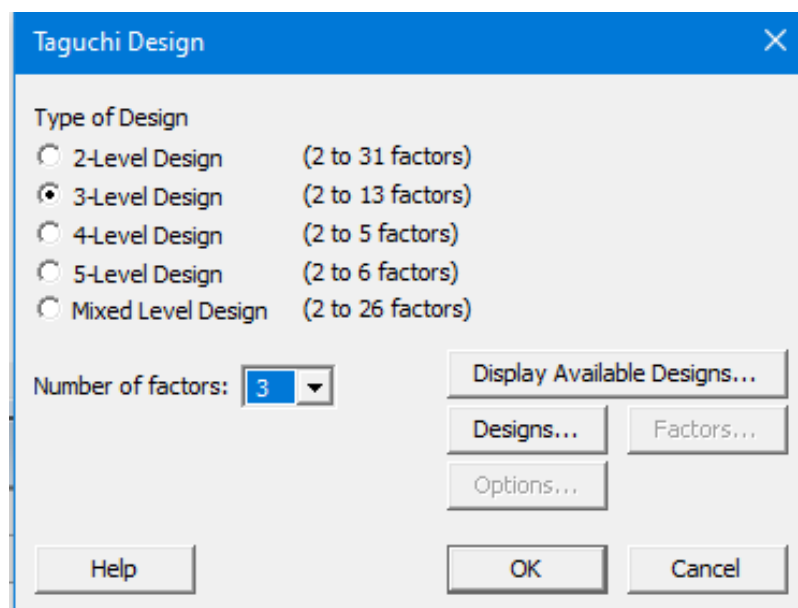
Gambar 40. Titik 0 pada dimensi lengkung.

26. Untuk hasilnya pengukurannya bisa dilihat pada gambar 41 berikut ini.



Gambar 41. Hasil pengukuran dimensi lengkung.

27. Kemudian setelah mendapatkan hasil pengukurannya catat hasil pengukurannya pada monitor.
28. Kemudian setelah didapatkan hasil pengukuran dilakukan analisis taguchi menggunakan software Minitab17.
29. Desain taguchi yang digunakan adalah 3 faktor dengan 3 level dapat dilihat pada gambar 42.



Gambar 42. Desain taguchi.

30. Kemudian masukan data-data hasil pengukuran dan melakukan analisis taguchi dan didapatkan tabel nilai S/N Ratio.
31. Setelah itu melakukan analisis ANOVA untuk mendapatkan nilai parameter yang paling bagus atau optimal.

3.6 Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Tahap Pengukuran

Material filament yang digunakan dalam penelitian ini adalah Polylactic Acid (PLA) dengan massa jenis 1.24 g/cm^3 . Filament PLA merupakan salahsatu material yang yang sering digunakan pada proses 3D Printer FDM. Diameter nominal filament yang digunakan adalah 0.4 mm dengan warna putih. Filament Polylactic Acid (PLA) adalah termoplastik biodegradable, terbuat dari pati jagung. Selain penggunaan untuk filament 3D, PLA juga digunakan sebagai implan medis, kemasan makanan dan peralatan makanan sekali pakai. Keunggulan lebih dari PLA adalah mudah dicetak. Filament PLA dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat di print pada suhu 120°C sampai 210°C , dengan suhu alas printer bed memiliki panas 60°C . Kelebihan PLA adalah tidak perlu cemas mengenai hasil cetak pada printer bed saat dilepaskan pecah dan melengkung atau mengalami penyusutan. PLA agak sedikit lebih rapuh dibandingkan dengan plastik lainnya. Spesimen uji yang dicetak menggunakan 3D Printer mempunyai geometri berupa lengkung setengah bola, dimana masing-masing geometri spesimen terdiri dari besar diameter 50 mm dan tinggi 25 mm. Desain spesimen kemudian dipindahkan kedalam *software* Idea Maker agar dapat dicetak menggunakan mesin 3D Printer .

Ukuran nominal spesimen dibandingkan dengan ukuran riil ketika spesimen telah dicetak untuk mendapatkan data simpangan/ toleransi. Data simpangan tersebut nantinya akan digunakan sebagai pedoman dalam pembuatan desain spesimen sehingga didapatkan ukuran spesimen yang mendekati ukuran nominal. Spesimen cetak kemudian diukur dimensi riilnya untuk dibandingkan dengan dimensi nominal. Untuk pengukuran dimensi lengkung dilakukan dengan mengukur jari-jari spesimen, dimana spesimen dikatakan lengkung apabila panjang setiap jari-jari adalah sama yaitu $R_1=R_2=R_3$. Pengukuran lengkung nantinya dilakukan menggunakan beberapa sampel jari-jari untuk mengetahui panjang dari jari-jari tersebut apakah sama atau tidak. Pengukuran dimensi riil spesimen cetak dilakukan menggunakan profile projector dengan lensa 50X perbesaran. Masing-masing dimensi dalam notasi diukur sehingga didapatkan nilai deviasi antara dimensi nominal dengan dimensi riil spesimen cetak.

2. Tahap Analisis

Pada tahapan ini yaitu pengumpulan dan pengolahan data dilakukan, tahap ini meliputi berbagai hal. Selanjutnya data hasil percobaan dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik. Berikut ini adalah tahap analisis :

a. Parameter proses

Parameter proses yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Layer Height (mm), infil speed (mm/s), layer speed (mm/s). Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi pustaka. Penelitian ini menggunakan desain Taguchi L9. Ortogonal Array dengan tiga faktor dan tiga level. Nilai parameter dan level yang telah ditetapkan dan ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai parameter dan level.

Faktor	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Layer Height	0,1000	0,2000	0,3000
B	Infil Speed	70	60	50
C	Layer Speed	40	30	20

Adapun desain eksperimen seperti pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Variasi parameter penelitian.

Nama spesimen	<i>Layer height</i> (mm)	<i>Infill speed</i> (mm/s)	<i>Layer speed</i> (mm/s)
A1	0,1000	70	40
A2	0,1000	60	30
A3	0,1000	50	20
B1	0,2000	70	30
B2	0,2000	60	20
B3	0,2000	50	40
C1	0,3000	70	20
C2	0,3000	60	40
C3	0,3000	50	30

b. Analisis varian taguchi

Analisis varian merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis data secara statistik yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen. Analisis ini memanfaatkan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh total parameter yang ingin diteliti. Untuk analisis varian dua arah merupakan data eksperimen yang terdiri dari dari dua parameter atau lebih dan dua level dari parameter atau lebih.

c. Rasio S/N

Tahap ini meliputi pengumpulan dan pengolahan data. Untuk perhitungan manual dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil percobaan. S/N Ratio (Signal to Noise Ratio)

merupakan salah satu tahapan analisis. Signal to Noise Ratio (SNR) dalam metode Taguchi digunakan untuk mengetahui nilai level faktor yang berpengaruh dan optimal bagi karakteristik kualitas dari hasil eksperimen. Large is better atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai yang tak terbatas dan non-negatif, dimana nilai semakin besar merupakan nilai yang diinginkan.

d. Analisis of Varian (ANOVA)

Analisis varian merupakan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh (total) varian atas bagian-bagian yang diteliti. Untuk analisis varian dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian adapun kesimpulan yang didapat pada penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Dari hasil pengukuran dan hasil analisis software nilai parameter proses yang paling optimal untuk akurasi dimensi diameter spesimen yaitusecara berturut turut terhadap keakurasian yaitu layer height (0,3000 mm), infil speed (50 mm/s) dan layer speed (30 mm/s) kemudian parameter proses yang paling optimal untuk akurasi dimensi lengkung spesimen yaitusecara berturut turut terhadap keakurasian yaitu layer height (0,2000 mm), infil speed (50 mm/s) dan layer speed (40 mm/s).
2. Hasil analisis ANOVA parameter yang paling berpengaruh dalam pencetakan spesimen lengkung dengan dimensi diameter adalah layer height dan untuk dimensi lengkung adalah infil speed.

5.2 Saran

Saran yang bisa disampaikan pada penelitian ini untuk penelitian selanjtnya antara lain sebagai berikut :

1. Disarankan untuk menganalisa parameter proses dengan berbagai level yang lebih banyak pada proses cetak produk agar didapatkan

parameter proses yang lebih optimal untuk mendapatkan keakurasian dimensi yang semakin baik.

2. Disarankan untuk menggunakan material filamen jenis lain untuk memperoleh akurasi dimensi yang semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Shears. 2016. “ 3D Printer Raised Relief/Topographic Maps: A Cartographically Sound Method”
- Andriyansyah Deni, Sriyanto, Agus Jamaldi, Ikhwan Taufik. 2021. “EVALUASI AKURASI DIMENSI PADA OBJEK HASIL 3D PRINTING”. Surakarta. Vol 5, No. 1 (pp 2598-7380)
- Bert Lauwers, Fritz Klocke, Andreas Klink, A. Erman Tekkaya, Reimund Neugebauer, Don McIntosh, 2014. “Hybrid process in manufacturing”, *CIRP Annals*, 63(2), 561-583.
- Boscher P., *Et al.* 2006. “Cable-Suspended Robotic Contour Crafting System”. Ohio. University Ohio.
- D. Scaravetti, P. Dubois, and R. Duchamp. 2008. “Qualification of rapid prototyping tools: proposition of a procedure and a test part”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 38
- Giffi, Craig A., Bharath Gangula, and Pandarinath Illinda. 2014. "3D opportunity in the automotive industry." *Additive manufacturing hits the road: Deloitte University Press* : 24.
- H. Sawhney and A. A. Jose. 2018. “ 3D Printer in Dentistry – Sculpting the Way It Is” *J. Sci. Tech. Res.*
- Hasdiansah, Herianto. 2018. “Pengaruh Parameter Proses 3D Printer Terhadap Elastisitas Produk yang Dihasilkan”. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi. Prosiding SEMNAS INOTEK, Vol. 02, No. 1 (pp 187–192). Kediri: Innovation of Green Technology for Smart City- UN PGRI Kediri.*
- Ivandiaz. 2020. “Analisis Parameter 3D Printing Material ABS Terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi”. *Malang: Skripsi Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya.*

- J.-P. Kruth, B. Vandenbroucke, J. V. Vaerenbergh, and P. Mercelis. 2005. "Benchmarking of different SLS/SLM processes as rapid manufacturing techniques" Int. Conf. Polymers & Moulds Innovations (PMI). Gent, Belgium. Paper 525.
- Joan Horvath. 2014. "Mastering 3D Printing". California. APress.
- M. Mahesh, Y.S. Wong, J.Y.H.Fuh, H.T. Loh. 2004. *Benchmarking for comparative evaluation of RP systems and processes, Rapid Prototyp. J. 10 (2) 123–135.*
- Manoj Prabhakar, M., Saravanan, A. K., Haiter Lenin, A., Jerin Ieno, I., Mayandi, K., & Sethu Ramalingam, P. 2021. A short review on 3D Printer methods, process parameters and materials. *Materials Today: Proceedings, 45*, 6108–6114.
- Marbun Frince, Richard A. M., Napitupulu. 2020. "Desain dan Pembuatan Prototype Piston Honda MEGAPRO FI Menggunakan 3D Printing". Medan. Universitas HKBP Nommensen. 1 (2), 81-91.
- Mohsen Attaran. 2017. "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing", *business Horizons*, 60(5), 677-688.
- Ngo, T.D., *Et all.* 2018. "Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges". *Composite Part B: Engineering Science Direct, Volume 143, pages 172-196.*
- Noorani, R. 2006. "*Rapid Prototyping Principles and Applications*". New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nugroho, A., & Ardiansyah, R. 2018. "Pembuatan Komponen LSU (Lapan Surveillance Uav) Dengan Menggunakan 3D Printer (Lapan Surveillance Uav (LSU) Part Manufacturing With 3D Printer)". *Berita Dirgantara.*
- Onery Andy Saputra. 2019. "Pengoperasian Mesin Cetak 3D". Surakarta. Politeknik Indonusa Surakarta.
- Paul F. Jacobs, Richard P. Fadchenko. 1995. "Stereolithography and other RPM Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling" California.
- R. Ippolito, L. Iuliano, A. Gatto. 1995. *A benchmarking of rapid prototyping techniques in terms of dimensional accuracy and surface finish, CIRP Ann. 44 (1) 157–160.*

- Redwood Ben, Filemon Schoffer, Brian Garret. 2017. *The 3D Printing Handbook*. Amsterdam. 3D Hubs B.V.
- Rochim Taufiq. 2006. “Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometrik”. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Seprianto, D. 2021. Pengaruh Diameter Nozzle dan Tebal Layer Terhadap Ketelitian Objek Printer 3D. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(1), 40–46.
- Shawn Moylan, John Slotwinski, April Cooke, Kevin Jurrens, and M. Alkan Donmez. 2014. “*An Additive Manufacturing Test Artifact*”. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 119, 429-456.
- Sobron Lubis, Sofyan Djamil, Yolanda. 2016. “Pengaruh Orientasi Objek pada Proses 3D Printer Bahan Polymer PLA dan ABS terhadap Kekuatan Tarik dan Ketelitian Dimensi Produk”, *Sinergi*, 20(1), 27-35.
- Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- T. P. Mpofu, C. Mawere, and M. Mukosera. 2014. “The Impact and Application of 3D Printer Technology” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 2148–2152.
- Y. L. Yap and W. Y. Yeong. 2014. “Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review” *Virtual Phys. Prototyp.* 9(3), 195-201.