

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1 3D Printing

3D *printing* adalah teknologi mencetak menggunakan mesin *printing* khusus sehingga hasil yang didapatkan berbentuk 3D. Mesin *printing* tersebut memiliki kecanggihan khusus, yakni mampu mencetak benda, yang sama persis dengan gambar soft file-nya, dalam bentuk 3D (tidak lagi sebatas mencetak gambar diatas kertas saja). 3D printing merupakan konsep dimana suatu objek dibuat dengan diawali dari hal kosong dan menambah material satu lapisan tiap waktu hingga mendapat objek akhir. Biasanya untuk membuat 3D printing beberapa bahan yang biasa digunakan adalah *Arcylonitrile Butadiene Styrene (ABS)* dan *Polylactic Acid (PLA)*. kedua material ini berasal dari kelompok *thermoplastik* yang memiliki sifat mudah dibentuk ketika dipanaskan dan menjadi padat kembali ketika di dinginkan. (Herda Agus Pamasaria, dkk. 2020)

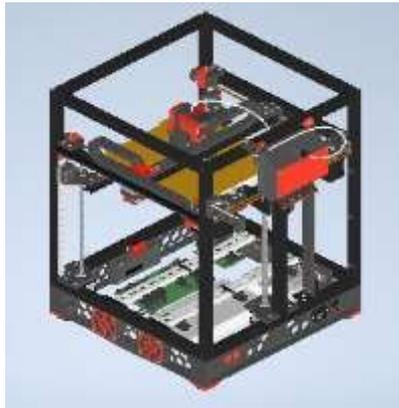
3D *Printer* merupakan suatu mesin pencetak yang mencetak objek secara 3D yang dapat dilihat, dipegang serta memiliki *volume*. Suatu model 3D dibentuk lapis demi lapis yang proses pembuatan barang padat 3D dari file digital. Penciptaan objek 3D dicetak dengan memakai proses *aditif* yang dalam prosesnya sesuatu objek terbuat dengan meletakkan susunan yang berurut dari bahan hingga segala objek terbuat. (Deni Andriansyah, dkk. 2021)

3D *Printer*, juga dikenal sebagai *Additive Manufacturing (AM)*, mengacu pada proses yang digunakan untuk membuat sebuah objek tiga dimensi di mana lapisan material dibentuk di bawah kendali komputer untuk membuat suatu objek tersebut. Benda bisa mirip sama bentuk atau geometri dan biasanya di produksi

dengan menggunakan data model digital dari model 3D maupun dari sumber data elektronik lainnya seperti file *Additive Manufacturing File (AMF)*.

Terdapat beberapa komponen utama pada mesin 3D *printing* berbasis *FDM* bagi Hovart. Berikut adalah bagian-bagian mesin 3D *Printing* :

- a. *Frame* adalah struktur utama untuk menompang mesin 3D *printing*. *Frame* harus kaku dan kokoh sehingga cetakannya bisa terbentuk dengan akurat.



Gambar 2.1 Frame 3D *Printing Core XY*

- b. *Print head* merupakan bagian dari *printing* yang berguna untuk melelehkan dan menggerakkan filamen. *Print head* terdiri dari *nozzle*, *heater*, dan *fan*.



Gambar 2.2 *Print Head*

- c. *Nozzle* merupakan bagian untuk menghasilkan bahan yang berupa semi-solid sehabis melewati *heater*. *Nozzle* memastikan keahlian bahan bisa dicairkan dengan benar. *Nozzle* bermutu baik bisa menyuplai bahan



Gambar 2.3 *Nozzle*
(Sariteknologi, 2023)

- d. *Build platform* atau *bed* adalah permukaan datar untuk mencetak. Beberapa printing memiliki bed yang dapat dipanaskan untuk memungkinkan pencetakan bahan yang perlu dijaga temperaturnya selama proses cetak.



Gambar 2.4 *Build Platform*
(Sariteknologi, 2023)

- e. *Bowden* berfungsi untuk mengatur filamen saat didorong atau ditarik oleh motor.



Gambar 2.5 *Bowden*
(Sariteknologi, 2023)

- f. *Moving Parts* adalah kombinasi motor stepper yang terpasang pada sekrup, kabel, belt, dan sistem lain yang menempel pada *pulley*. Motor untuk *printing* 3D biasanya memiliki 200 *step per revolution*. Setidaknya ada 5 motor *stepper* pada 3D *printing*.



Gambar 2.6 *Moving Parts*
(Sariteknologi, 2023)

- g. *Electronics Control* terdiri dari mikroprosesor dan sebuah board sebagai kontrol untuk program pada mesin 3D *printing*. Sebagian besar *printing* 3D adalah sistem loop terbuka.



Gambar 2.7 *Electronic Control*
(Sariteknologi, 2023)

2.1.2 Computer Aided Design (CAD)

Computer-Aided Design (CAD) adalah penggunaan sistem komputer (*workstation*) untuk membantu dalam pembuatan, modifikasi, analisis, atau *optimalisasi* desain. Perangkat lunak CAD digunakan untuk meningkatkan produktivitas *desainer*, meningkatkan kualitas desain, meningkatkan komunikasi melalui dokumentasi dan membuat *database* untuk *manufaktur*. *Output CAD* dalam bentuk file *elektronik* untuk pencetakan, permesinan, atau operasi *manufaktur* lainnya. Istilah CAD (*Computer Aided Design*) juga lazim digunakan. CAD dapat digunakan untuk mendesain kurva dan gambar dalam ruang dua dimensi (2D) atau kurva, permukaan, dan benda padat dalam ruang tiga dimensi (3D). CAD adalah seni dalam industri yang penting dan banyak digunakan dalam banyak aplikasi, termasuk industri otomotif, pembuatan kapal, kedirgantaraan, desain industri, arsitektur, prosthetics dan banyak lagi. CAD juga banyak digunakan untuk memproduksi animasi komputer untuk efek khusus dalam film, periklanan dan manual teknis, yang sering disebut pembuatan konten digital D. CAD merupakan modernisasi dengan bantuan komputer berarti dalam implementasinya bahkan botol parfum dan dispenser dirancang menggunakan teknik CAD yang belum pernah dilakukan sebelumnya oleh para insinyur tahun 1960-an (*infemech Technology*, 2023).

CAD yang merupakan singkatan dari *Computer Aided Design* merupakan *software* komputer yang digunakan untuk mendesain sebuah produk di fase desain selama proses *engineering*. Fasilitas dalam aplikasi ini meliputi pemilihan material, proses, dimensi, dan toleransi. Desain yang digambar dapat berupa 2 dimensi ataupun 3 dimensi dan dapat dilihat dari berbagai sudut pandang. Penggunaan CAD mampu meningkatkan kualitas desain, *produktivitas engineer*, dan meningkatkan komunikasi antara desainer dengan pembacanya.

Software CAD merupakan terobosan bagi para *engineer* dalam mendesain produk. Melalui aplikasi ini para *engineer* tidak lagi menggambar manual cukup melalui komputer.

Peran *CAD* ini juga dapat digunakan untuk memproduksi animasi spesial efek pada industri broadcasting yang biasanya disebut dengan *Digital Content Creation (DCC)*. (Seprianto, 2022).

2.1.3 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling adalah teknologi *manufacturing* aditif yang biasa digunakan untuk pemodelan, prototipe, dan aplikasi produksi. Proses *Fused Deposition Modeling* membangun objek tiga dimensi dari data *CAD* 3-D. Proses *Fused Deposition Modeling* dimulai dengan mengimpor *file STL* model ke perangkat lunak pra-pemrosesan. Model ini berorientasi dan secara matematis diiris menjadi lapisan *horizontal* yang bervariasi dari 0,127- 0,254 mm. Sistem beroperasi dalam sumbu X, Y dan Z menggambar model satu layer pada satu waktu. Kepala *ekstruksi* yang dikontrol suhu diberi material bahan pemodelan *thermoplastik* yang dipanaskan dalam keadaan semi-cair. Kepala mengekstruksi dan mengarahkan material dengan presisi dalam lapisan *ultrathin* ke dasar *fixtur*es.

Berdasarkan standar klasifikasi teknik atau proses *Additive Manufacturing* yang diterbitkan oleh *ASTM*, *Fused Deposition Modeling* termasuk dalam kategori material *extrusion*. Material yang digunakan berupa *filament* (berbahan *polimer - thermoplastik* ataupun logam). *filament* tersebut dilelehkan dengan cara dipanasi, lalu dikeluarkan secara paksa melalui *extruder* dengan diameter yang lebih kecil. Selanjutnya *filament* tersebut dibentuk dan diendapkan selapis diatas *platform* atau meja kerja mesin 3D Printing (Deni Andriansyah, dkk. 2021).

2.1.4. Parameter dalam Printer 3D

Terdapat beberapa parameter yang harus diatur ketika akan melakukan pencetakan dengan menggunakan 3D printer diantaranya yaitu :

a. *Infill Parameter*

Infill adalah nilai yang biasanya diwakili dalam persentase (*infill percentage*) yang menunjukkan berapa banyak model yang *solid* harus diisi dengan bahan yang dicetak dan bentuk *infill* itu sendiri (*infill geometry*).

b. *Number of shells*

Number of shells adalah nilai yang menetapkan jumlah garis tepi yang tercetak pada setiap lapisan objek, semakin banyak cangkang semakin kuat objek yang dicetak, jadi pengaturan jumlah yang lebih tinggi pada dasarnya cangkang membuat bagian tercetak dengan lebih padat dinding luar.

c. *layer thickness (ketebalan lapisan)*

Ketebalan lapisan dalam pencetakan 3D adalah ukuran ketinggian lapisan setiap penambahan bahan berturut-turut dalam pembuatan *aditif* atau proses pencetakan 3D dimana lapisan ditumpuk. Ini adalah salah satu karakteristik teknis penting dari setiap printer 3D , ketinggian lapisan pada dasarnya adalah *resolusi vertikal sumbu z* (sandy, 2019).

d. *Extruder/ temperature*

Extruder temperature adalah suhu dimana *extruder* mencairkan *filament* yang diperlukan saat mencetak. Suhu yang tepat ini tergantung pada bahan yang digunakan, nilai standar 230⁰C biasanya digunakan untuk mencetak menggunakan filament *PLA* atau *ABS* , namun *filament fleksibel* biasanya menggunakan suhu *extruder* yang lebih rendah.

e. *Bed Temperature*

Bed temperature adalah temperatur pada papan/plat dimana objek menempel saat dicetak

f. *Print speed*

Kecepatan pencetakan adalah kecepatan dimana kepala cetak bergerak saat mengekstruksi *filamen* untuk menciptakan *representasi* fisik model 3D.

2.1.5 Slicing (Ultimaker Cura)

Membuat file CAD merupakan bagian awal dari proses pencetakan 3D. Langkah berikutnya merupakan lintasan cetak yang di sebut *slicing* wajib memperhitungkan bentuk dari *printer* tersebut serta geometri model yang ingin di cetak. Proses *slicing* yang ada pada 3D *printing* butuh memastikan beberapa pengaturan semacam bahan, *temperatur*, waktu buat mengekstrusi bahan, serta pengaturan lain yang ada pada tiap-tiap program *slicer*. Pembuatan pola lintasan mesin *rapid prototyping* bertujuan agar pergerakan dapat dilakukan secara robotik pada bidang XYZ.

2.1.6 Polylactid Acid (PLA)

Teknologi 3D *Printing* FDM (Fused Deposition Modelling) ialah teknologi 3D *Printing* yang memakai material plastik (polimer). Banyak tipe plastik digunakan. Tipe plastik yang digunakan salah satunya jenis *filamen PLA* (*Polyactid Acid*).

PLA (Polylactid Acid) adalah material filament yang paling banyak digunakan untuk keperluan 3D *Printing* saat ini. PLA terbuat dari bahan dasar biji jagung yang diekstraksi dan dimurnikan , sehingga membuat material ini lebih ramah lingkungan secara umum PLA memiliki karakteristik data sheet sebagai berikut.

MATERIAL DATA SHEET			PRINTING PARAMETERS	
Base Material	PLA	PLA	unit	
Diameter	1.75		mm	
Tolerance	±0.03		mm	
Specific Gravity	1.25		g/cm ³	
Tensile Strength	58		Mpa	
Impact Strength	>3		KJ/m ² Izod	
Surface	Glossy		n/m	
Transparency	Opaque		n/m	
Processibility	Fair		n/m	
The data are intended as general guide only and do not necessarily represent results that may be obtained elsewhere.				
Diameter : 1.75mm Tolerance : ±0.03mm Net Weight : 1kg Print Temperature : 185-210°C Bed : 0-50°C				
Material	PLA			
Printer Type	Makerbot,FlashForge,Monoprice,Ultimeker,XYZprinting,ALUNAR,Creativity3D and other desktop printer			
Extruder Type	Direct Drive/Bowden Tube			
Layer Height	0.1-0.3 mm			
Fill Density	>0.4 mm			
Print Speed	30-60 mm/s			
Printing Temperature	190-220 °C			
Build Bed Temperature	0-50 °C			
Retraction Speed	20-50 mm/s			
Above information just for reference,Pls adjust according to yours.				

Gambar 2.1 Data sheet PLA(Cctree, 2023)

2.2. Kajian Pustaka

Dicky Seprianto, dkk. (2021). melakukan penelitian tentang “ Penyimpangan dimensi proses *gear* dengan menggunakan teknologi *DLP (Digital light processing) 3D Printing* ”. untuk mendapatkan analisis pengaruh parameter proses pencetakan objek terhadap ukuran dimensi, maka pada penelitian ini dilakukan analisis data dengan *analysis of variance (ANOVA)*. mendapatkan presentase penyimpangan dan hasil dari pengukuran dimensi diameter dan ketebalan spesimen yaitu target yang diharapkan untuk ukuran dimensi diameter adalah 40mm dan rata-rata sentral dimensi diameter adalah 40,0289 mm dengan penyimpangan maksimum dan persentase penyimpangan senilai 0,018 mm dan 0,047%. Sementara itu, target yang diharapkan untuk ukuran dimensi tebal adalah 3,20 mm dan rata-rata sentral dimensi tebal adalah 3,226 mm dengan penyimpangan maksimum dan persentase penyimpangan senilai 0,026 mm dan 0,80%.

Herda Agus Pamasaria, dkk. (2020). melakukan penelitian tentang “ Optimasi keakuratan dimensi produk cetak *3D Printing* berbahan plastik PP daur ulang dengan menggunakan metode Taguchi ”. terdapat 3 *parameter* terukur yang diteliti untuk mendapatkan bentuk spesimen yang optimal, yaitu *printing temperature, layer height, dan printing speed*. Setiap *parameter* ditentukan 3 *level (minimum, middle, dan maksimum)*, dan penentuan *level* didasarkan rekomendasi dari karakter material plastik daur ulang PP.

Banyaknya percobaan yang dipilih dalam *Orthogonal Array* harus lebih besar atau setidaknya sama dengan banyaknya percobaan yang diperoleh dari hasil perhitungan derajat bebas. Dari perhitungan didapatkan derajat kebebasan (DOF) sebesar 6, maka jumlah eksperimen yang harus diambil minimal berjumlah 6, sehingga penelitian ini menggunakan *Orthogonal Array L9* yang memiliki jumlah eksperimen berjumlah 9.

Malinda Christiliana, dkk. (2021). Penelitian ini menggunakan bahan *filament PLA food grade* yang dimana filament ini berasal dari tanaman seperti tepung jagung, akar tapioka dan tebu. *Filament* ini mempunyai sifat yang dapat

terurai secara hayati dan secara mekanis dapat didaur ulang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *eksperimen*. Metode *eksperimen* digunakan untuk mendapatkan parameter proses yang optimal terhadap keakurasian dimensi *spesimen*.

Deni Andriyansyah, dkk. (2021). Metode *manufaktur 3D printing* (cetak 3 dimensi) merupakan metode *manufaktur* baru yang bekerja dengan menumpuk lapisan-lapisan material sehingga termasuk pada kategori *additive manufacturing*. Teknologi ini pada awalnya hanya digunakan untuk membuat *prototype*. Namun perkembangannya yang pesat membuat teknologi *3D printing* mulai diaplikasikan pada pembuatan produk-produk final. Aplikasi teknologi *3D printing* sangat luas, meliputi bidang *manufaktur, aeronautika, medis, 3D modelling*, dan lain sebagainya.

Hasdiansah dan Herianto. (2018). Penelitian dengan menggunakan *filamen TPU* untuk melihat pengaruh parameter proses *3D Printing* terhadap tingkat *elastisitas* produk telah dilakukan. Melalui penelitian ini diperoleh bahwa parameter proses yang disetting pada *slicing software* mempengaruhi tingkat elastisitas produk. Semakin kecil nilai yang ditunjukkan oleh neraca digital, maka semakin tinggi tingkat *elastisitas* produk tersebut. Semakin besar nilai yang ditunjukkan pada neraca digital, maka semakin rendah tingkat *elastisitas* atau semakin rigid produk tersebut.

Ahmad F.H., dkk (2022) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *Temperature* dan *Sudut Screw* terhadap waktu *ekstruksi* dari bahan *High Density Polyethylene* dengan menggunakan mesin *Ekstruksi Single Screw*. Pada penelitian ini akan menggunakan 2 faktor, yaitu variasi *Temperature* dan variasi *sudut screw* dimana *temperature* tersebut 160⁰ C, 170⁰C, dan 180⁰C.

Triawan C.H., dkk (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh proses *3D Printer* teknologi *digital light processing* terhadap geometris poros. Hasil yang di dapat faktor yang berpengaruh terhadap keselindrisan poros, yaitu *layer thickness* : 41 %, *exposure time*: 1%, interaksi *layer thickness* dan *exposure time* : 52%.

Pristiansyah, dkk (2019) melakukan penelitian tentang *Optimasi parameter* proses *3D Printing FDM* terhadap akurasi dimensi menggunakan *filament Eflex* dapat diambil kesimpulan yaitu bahwa nilai *parameter* proses optimal untuk untuk mendapatkan keakuratan dimensi X adalah *flowrate* 110%, *Layer Thickness* 0,10 mm, *nozzle temperature* 210 C , *Print speed* 40 mm/s, *overlap* 50% dan *fan speed* 50 %.

Herda agus Pamasria, dkk (2019) penelitian tentang pengaruh *parameter* proses *3D printing tipe FDM (Fused deposition Modeling)* terhadap kualitas hasil produk. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat satu unit mesin *3D printing FDM cartesian Ender 3*, *filament PLA*, *Software Slicing*, *Software* desain, 1 unit komputer dan alat ukur produk. Setelah melakukan penelitian dan analisis data hasil pengukuran maka dapat disimpulkan bahwa perubahan parameter suhu *nozzle* dan kecepatan cetak cukup berpengaruh pada dimensi produk dan kekasaran permukaan produk, sedangkan penyimpangan geometri tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan suhu *nozzle* dan kecepatan cetak yang terjadi .

Tabel 2.2 Referensi

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Kesimpulan
1	Optimasi keakuratan dimensi produk cetak 3D Printing berbahan plastik PP daur ulang dengan menggunakan metode Taguchi	Herda Agus Pamasaria, dkk. (2020)	Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode Taguchi dengan pemilihan SNR adalah smaller is better, menunjukkan bahwa parameter printing temperature 260 ⁰ C, Layer height 0,16 mm dan Print speed 20 mm/s merupakan parameter optimum untuk mesin 3D printing dengan jenis FDM dengan material plastik daur ulang PP. Dalam mencetak produk dengan dimensi 20 x 20 x 20 mm.

2	Penyimpangan dimensi proses <i>gear</i> dengan menggunakan teknologi <i>DLP (Digital light processing) 3D Printing</i>	Dicky Seprianto,dkk. (2021).	melakukan penelitian tentang “ Penyimpangan dimensi proses <i>gear</i> dengan menggunakan teknologi <i>DLP (Digital light processing) 3D Printing</i> ”. untuk mendapatkan analisis pengaruh parameter proses pencetakan objek terhadap ukuran dimensi, maka padapenelitian ini dilakukan analisis data dengan <i>analysis of variance (ANOVA)</i> . mendapatkan presentase penyimpangan dan hasil dari pengukuran dimensi diameter dan ketebalan spesimen yaitu target yang diharapkan untuk ukuran dimensi diameter adalah 40mm dan rata-rata sentral dimensi diameter adalah 40,0289 mm dengan penyimpangan maksimum dan persentase penyimpangan senilai 0,018 mm dan 0,047%. Sementara itu, target yang diharapkan untuk ukuran dimensi tebal adalah 3,20 mm dan rata-rata sentral dimensi tebal adalah 3,226 mm dengan penyimpangan maksimum dan persentase penyimpangan senilai 0,026 mm dan 0,80%.
3	Analisa pengaruh Temperature dan sudut screw terhadap waktu ekstruksi pada mesin ekstruksi single screw dari bahan recycle high density of polyethylene (HDPE).	Ahmad Faresy Hamidi, dkk. (2022).	melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh Temperature dan sudut Screw terhadap waktu ekstruksi dari bahan High Density Polyethylene dengan menggunakan mesin ekstruksi Single Screw. Pada penelitian ini akan menggunakan 2 faktor, yaitu variasi Temperature dan variasi sudut screw dimana temperature tersebut 160 ⁰ C, 170 ⁰ C, dan 180 ⁰ C

4	Optimasi Parameter proses pada 3D Printing FDM terhadap akurasi dimensi filamen PLA food grade	Malinda Christiliana , dkk. (2021).	Berdasarkan hasil analisa di dapatkan nilai <i>parameter</i> proses optimal untuk akurasi dimensi tinggi spesimen yaitu <i>nozzle temperature</i> (185 ⁰ C), <i>Layer Thickness</i> (0.20 mm), <i>Print speed</i> (40 mm/s), <i>infill rate</i> (8 %) dan <i>temperature based plate</i> (40 ⁰ C).
5	Evaluasi Akurasi dimensi pada objek hasil 3D Printing	Deni Andriyansyah, dkk (2021)	Metode <i>manufaktur 3D printing</i> (cetak 3 dimensi) merupakan metode <i>manufaktur</i> baru yang bekerja dengan menumpuk lapisan-lapisan material sehingga termasuk pada kategori <i>additive manufacturing</i> . Berdasarkan hasil data deviasi yang dihasilkan dari perbandingan diatas, maka pembuatan objek 3D Printing dapat disesuaikan dengan simpangan masing-masing.
6	Optimasi Akurasi dimensi hasil cetakan proses 3D Printing yang terbuat dari <i>Filamen Nylon</i> menggunakan metode <i>Taguchi</i>	Hasdiansyah dan Herianto. (2018)	Melalui penelitian ini diperoleh bahwa parameter proses yang disetting pada <i>slicing software</i> mempengaruhi tingkat elastisitas produk. Semakin kecil nilai yang ditunjukkan oleh neraca digital, maka semakin tinggi tingkat <i>elastisitas</i> produk tersebut. Semakin besar nilai yang ditunjukkan pada neraca digital, maka semakin rendah tingkat <i>elastisitas</i> atau semakin rigid produk tersebut.
7	<i>Optimasi parameter</i> proses <i>3D Printing FDM</i> terhadap akurasi dimensi menggunakan <i>filament Eflex</i>	Pristiansyah, dkk. (2019)	melakukan penelitian tentang <i>Optimasi parameter</i> proses <i>3D Printing FDM</i> terhadap akurasi dimensi menggunakan <i>filament Eflex</i> dapat diambil kesimpulan yaitu bahwa nilai <i>parameter</i> proses optimal untuk untuk mendapatkan keakuratan dimensi X adalah <i>flowrate</i> 110%, <i>Layer Thickness</i> 0,10 mm, <i>nozzle</i>

			<i>temperature 210 C , Print speed 40 mm/s, overlap 50% dan fan speed 50 %.</i>
9	pengaruh <i>parameter</i> proses <i>3D printing tipe FDM (Fused deposition Modeling)</i> terhadap kualitas hasil produk.	Herda agus Pamasaria,dkk. (2019)	penelitian tentang pengaruh <i>parameter</i> proses <i>3D printing tipe FDM (Fused deposition Modeling)</i> terhadap kualitas hasil produk. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat satu unit mesin <i>3D printing FDM cartesian Ender 3, filament PLA, Software Slicing, Software</i> desain, 1 unit komputer dan alat ukur produk. Setelah melakukan penelitian dan analisis data hasil pengukuran maka dapat disimpulkan bahwa perubahan parameter suhu <i>nozzle</i> dan kecepatan cetak cukup berpengaruh pada dimensi produk dan kekasaran permukaan produk, sedangkan penyimpangan geometri tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan suhu <i>nozzle</i> dan kecepatan cetak yang terjadi .
10	Peningkatan Akurasi Dimensi hasil dan Tingkat Kekerasan pada Filamen Esteel dengan pendekatan Metode Taguchi	Ievan Apriansyah., dkk. (2021).	3D Printing merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi. Terobosan ini sangatlah populer di seluruh belahan dunia, terutama di kalangan akademis dan industri. Munculnya teknologi 3D Printing sangat berpengaruh pada beberapa bidang industri, terutama dari segi ekonomi.

2.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Anova adalah sebuah analisis statistik yang menguji perbedaan rerata antar grup. Grup disini bisa berarti kelompok atau jenis perlakuan. Anova ditemukan dan diperkenalkan oleh seorang ahli statistik bernama Ronald Fisher. Anova merupakan singkatan dari *Analysis of variance*. Merupakan prosedur uji statistik yang mirip dengan *t test*. Namun kelebihan dari Anova adalah dapat menguji perbedaan lebih dari dua kelompok. Berbeda dengan independent sample *t test* yang hanya bisa menguji perbedaan rerata dari dua kelompok saja.

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antara kelompok. Hasil akhir dari analisis ANOVA adalah nilai F test atau F hitung. Nilai F Hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel f. Jika nilai f hitung lebih dari f tabel, maka dapat disimpulkan bahwa menerima H1 dan menolak H0 atau yang berarti ada perbedaan bermakna rerata pada semua kelompok.

2.3.1 Anova satu jalur (One Way – Anova)

Anova jenis ini merupakan analistik statistik yang apabila variabel bebas dan variabel terikat jumlahnya satu.

$$F_{\text{hitung}} = \frac{V_A}{V_D} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{JK_A/db_A}{JK_D/db_D} = \frac{\text{Varian antar grup}}{\text{Varian dalam grup}}$$

Varian dalam grup dapat juga disebut varian galat, dan dirumuskan sebagai :

$$JK_A = \sum \frac{(\sum X_A)^2}{n_A} - \frac{(\sum X_T)^2}{N} \text{ untuk } db_A = A - 1$$

$$JK_D = \sum X_T^2 - \sum \frac{(\sum X_A)^2}{n_A} \text{ untuk } db_D = N - A$$

di mana,

$$\frac{(\sum X_T)^2}{N} = \text{faktor koreksi}$$

N = Jumlah keseluruhan sampel

A = Jumlah keseluruhan grup sampel.

2.3.2 Langkah-langkah pengujian ANNOVA satu jalur

1. Sebelum ANOVA dihitung , data harus bersifat random dala pengambilannya , berdistribusi normal, dan memiliki varian homogen
2. Tentukan *Hipotesa* (H_0 dan H_1) dalam bentuk kalimat
3. Tentukan *Hipotesa* (H_0 dan H_1) dalam bentuk *statistik*
4. Buat daftar stasistik induk
5. Melakukan uji *Normalitas Wilk*
6. Melakukan uji *homogenitas*
7. Melakukan uji *One Way Anova*
8. Setelah hasil F hitung di dapatkan tentukan F tabel dengan menggunakan tabel statistika.
9. Tentukan kriteria Pengujian : jika F hitung $>$ F tabel maka H_1 diteima
10. Ambil kesimpulan dari perhitungan.

