

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 3D printing

3D *Printing* merupakan salah satu teknologi terbaru di dunia percetakan, dimana mudahnya teknologi percetakan 3D dalam melakukan pencetakan dan pengembangan solid produk dengan teknologi 3D *Printing* ini. (Cahya Persada et al., 2020)

3D *Printing* adalah sebuah mesin pencetak yang mencetak objek secara 3 dimensi yang bisa dilihat, dipegang dan mempunyai volume. Sebuah model 3D dibangun lapis demi lapis yang proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari file digital. Penciptaan objek 3D dicetak dengan menggunakan proses aditif yang dalam prosesnya suatu objek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurutan dari bahan sampai seluruh objek terbuat (Kumara et al., 2018)

Salah satu teknologi 3D *Printing* yang paling terkenal dan murah adalah FFF (*Fused Filament Fabrication*) teknologi tersebut juga dikenal *Fused Deposition Modelling* (FDM), prinsip kerja FDM adalah dengan cara *ekstrusi thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya part dibuat *layer by layer*. Dua material yang paling umum digunakan adalah ABS dan PLA sehingga sangat penting mengetahui akurasi dimensi produk. (Apriansyah et al., 2021)

Printer 3D, juga dikenal sebagai *Additive Manufacturing* (AM), mengacu pada proses yang digunakan untuk membuat objek tiga dimensi di mana lapisan material dibentuk di bawah kendali komputer untuk membuat objek. Benda bisa hampir sama bentuk atau geometri dan biasanya diproduksi dengan menggunakan data model digital dari model 3D atau sumber data elektronik lainnya seperti file *Additive Manufacturing File* (AMF).

Stereo Lithography (STL) adalah salah satu jenis file paling umum yang dapat dibaca oleh *printer* 3D. Dengan demikian, tidak seperti material yang dikeluarkan dari persediaan dalam proses pemesinan konvensional, pencetakan 3D atau AM membangun objek tiga dimensi dari model CAD dibantu dengan menambahkan lapisan demi lapis secara berturut-turut.

Istilah “pencetakan 3D” awalnya mengacu pada proses yang menyimpan bahan pengikat ke tempat tidur bedak dengan kepala *printer inkjet* berlapis-lapis. Baru-baru ini, istilah ini digunakan dalam bahasa vernakular populer untuk mencakup beragam teknik pembuatan aditif. Amerika Serikat dan standar teknis global menggunakan istilah resmi manufaktur aditif untuk pengertian yang lebih luas ini.

Pembuatan model 3D memerlukan waktu beberapa jam samai beberapa hari, tergantung dari metode yang digunakan dan ukuran serta kompleksitas model. Sistem aditif biasanya dapat mengurangi waktu ini untuk beberapa jam, meskipun bervariasi tergantung pada jenis mesin yang digunakan dan ukuran serta jumlah model yang diproduksi secara bersamaan. *Printer* 3D memberikan kemudahan bagi designer dan tim pengembangan konsep untuk memproduksi komponen dan model konsep menggunakan *printer* 3D sebagai *prototype*, dibandingkan menggunakan mesin *Injection Molulding* untuk produksi massal. Serta juga berguna untuk meminimalisir kesalahan dalam desain produk sebelum diproduksi secara banyak.

Untuk menciptakan sebuah objek membutuhkan model 3D secara digital yang didapatkan dengan memindai satu set model 3D/objek, atau menggambar dengan menggunakan program 3D desain seperti misalnya program *AutoCAD*, *3dsMax*, *Sketch Up*, dan lainnya, serta juga dapat dengan mengunduh dari internet. Model 3D digital biasanya disimpan dalam format STL (*Stereo Lithography*) dan kemudian dikirim menggunakan *SD Card*. File STL perlu diproses oleh *software* yang disebut sebuah “*Slicer*” yang mengubah model menjadi serangkaian lapisan tipis dan menghasilkan file *G-Code* yang berisi instruksi disesuaikan dengan jenis tertentu dari *printer* 3D. File *G-Code* ini kemudian dapat dicetak dengan *software printer* 3D (yang memuat *G-Code* dan menggunakannya untuk menginstruksikan *printer* 3D selama proses pencetakan 3D) (Kumara et al., 2018)

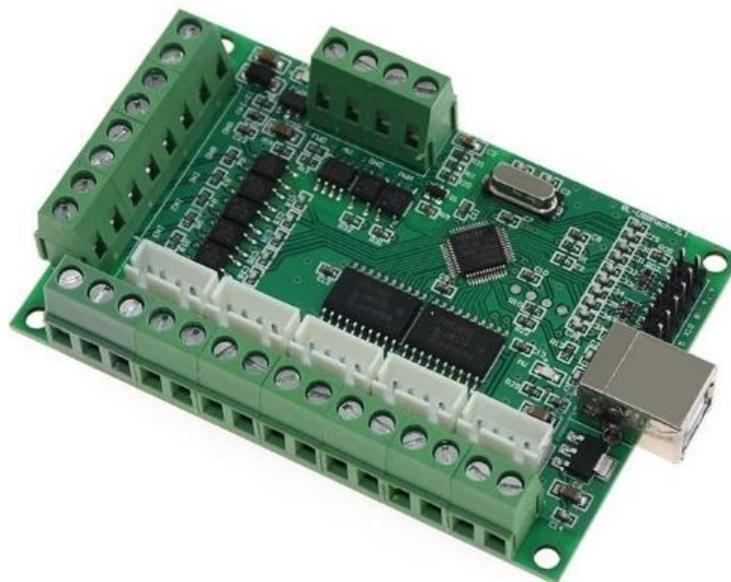
1.1.2 Bagian-bagian mesin 3D *printing*

Berikut ini adalah beberapa komponen yang terdapat dalam mesin *printer* 3D beserta fungsinya (Furqoni, 2022)

1. Papan *controller*

Papan *controller* dari mesin cetak 3D ini disebut juga sebagai *motherboard* atau sebuah papan utama yang menjadi otak dari mesin cetak 3D. Fungsi dari benda ini adalah sebagai inti dari pengoperasian mesin cetak 3D. Selain itu, papan *controller* ini juga menggerakkan langsung komponen lainnya berdasarkan perintah dari komputer.

Perintah yang diberikan komputer ini kemudian diterima oleh sensor-sensor yang terdapat pada papan *controller*. Kemudian, papan *controller* menerjemahkan perintah yang diterima dari sensor tersebut menjadi sebuah kerja untuk melakukan pencetakan objek yang diharapkan. Kualitas dari papan *controller* ini memberikan efek yang sangat besar pada performa keseluruhan dari mesin cetak 3D. Meski mesin memiliki bagian berkualitas tinggi mulai dari atas hingga bawah, tidak akan bisa melakukan pencetakan dengan baik bila papan *controller*-nya berkualitas buruk.



Gambar 2.1 Papan *Controller*
(Aliexpress, 2022)

2. Filamen

Filamen pada mesin pencetak 3D ini merupakan material yang digunakan untuk mencetak objek atau sama dengan tinta pada mesin cetak 2D. Komponen filamen ini terdiri dari kumparan yang terletak pada sebuah *spool holder* pada sebuah mesin cetak 3D. Pada bagian ujungnya, filamen ini dimasukkan ke dalam sebuah *extruder*. Ada beberapa jenis filamen yang masing-masing memiliki sifat tersendiri dengan segala kelebihan dan kekurangannya. Filamen memiliki sifat-sifat tertentu yang membuat tidak semua *printer* 3D bisa menggunakan filamen tersebut. Ada mesin 3D yang berkualitas sehingga mampu menggunakan semua jenis filamen. Namun, ada juga mesin *printer* 3D yang didesain hanya mampu menggunakan jenis filamen tertentu. Jenis filamen yang paling banyak digunakan adalah jenis PLA yang bisa digunakan pada sebagian besar mesin cetak 3D. Ada juga mesin yang hanya mampu menggunakan beberapa jenis filamen tertentu. Namun umumnya, mesin cetak 3D ini menggunakan filamen yang berdiameter kurang lebih 1,75 mm.

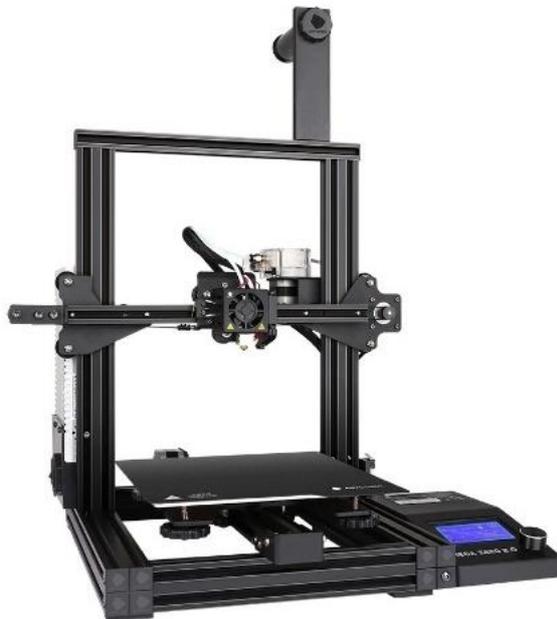
Mesin printer 3D jenis FDM pada umumnya menggunakan filamen berbahan PLA. PLA salah satu jenis filamen yang memudahkan, sehingga sering digunakan. Tetapi realitanya, ABS secara ketahanan lebih baik jika dibandingkan dengan PLA. (Karuniawan et al., 2022)



Gambar 2.2 Filamen
(Aliexpress, 2022)

3. *Frame*

Frame merupakan salah satu kerangka atau komponen dalam mesin cetak 3D yang bertugas untuk menahan komponen lain secara bersamaan. Dengan kata lain, fungsi *frame* sangat penting untuk stabilitas dan daya tahan dari mesin *printer* 3D. Saat ini, *printer* 3D menggunakan *frame* yang terbuat dari metal atau akrilik. Mesin cetak 3D yang menggunakan *frame* terbuat dari metal merupakan mesin yang paling banyak direkomendasikan. Alasannya, *frame* yang terbuat dari metal tersebut membuat mesin menjadi lebih stabil dan memiliki daya tahan yang baik. Beberapa mesin cetak 3D memiliki sebuah penutup *frame*. Penutup *frame* ini berfungsi untuk melindungi *frame* dari debu dan partikel lembut lainnya, termasuk juga dari penggunaannya. Perlindungan ini sangat penting untuk membuat bagian pencetakan memiliki suhu yang terjaga dan melindungi tangan dari luka akibat panas yang ditimbulkan.

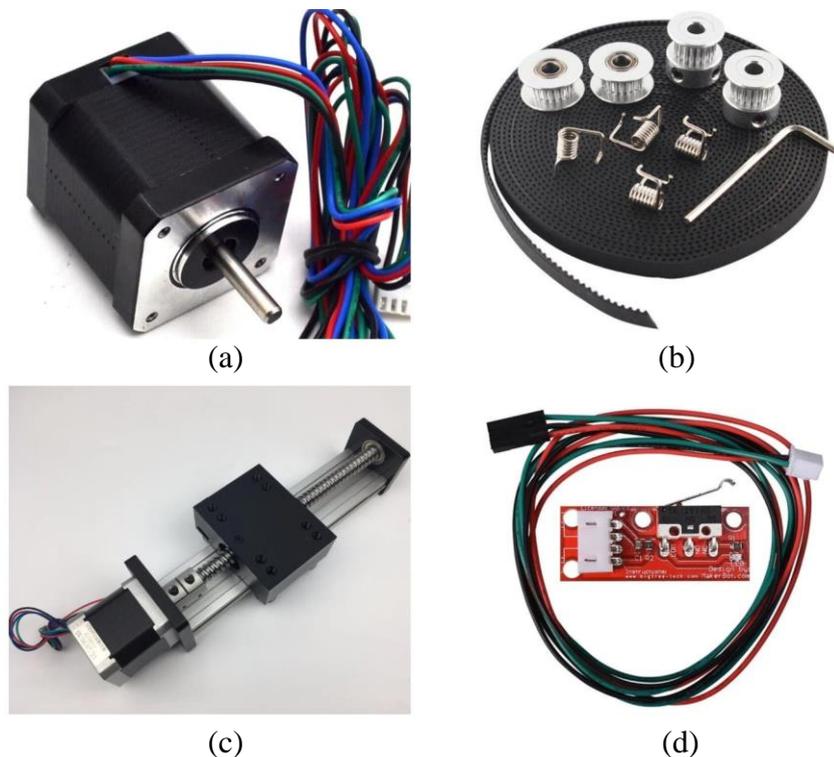


Gambar 2.3 *Frame*
(Aliexpress, 2022)

4. Komponen penggerak

Komponen penggerak pada mesin cetak 3D terdiri atas beberapa bagian: *Stepper Motors*, *Belts*, *Threaded Rods*, dan *End Stops*. Keberadaan dari komponen penggerak ini bertanggung jawab pada pergerakan mesin cetak dalam tiga sumbu

XYZ. Komponen penggerak ini bergerak berdasarkan perintah dari papan *controller*. *Stepper Motors* merupakan kunci dari pergerakan mesin secara mekanis dan menghubungkan ketiga sumbu XYZ. Komponen ini langsung menggerakkan *Print Head*, dan *Threaded Rods*. Sementara itu, *Belts* yang terkoneksi dengan motor menggerakkan *printer* ke dalam dua sumbu kartesian X dan Y. *Threaded Rods* berfungsi untuk menggerakkan *printer* pada sumbu Z dan menjadi bagian yang membedakan dari *printer* 2D. Terakhir ada *End Stops* yang bertanggung jawab untuk melindungi mesin cetak untuk melakukan pergerakan melebihi jangkauan. Adanya komponen ini dapat mencegah mesin mengalami kerusakan, terutama pada bagian perangkat kerasnya.



Gambar 2.4 (a) *Stepper Motors*, (b) *Belts*, (c) *Threaded Rods*, (d) *End Stops* (Aliexpress, 2022)

5. *Power supply unit*

Sebagai salah satu alat elektronik, mesin cetak 3D tentu memiliki bagian untuk menyuplai tenaga atau yang sering disebut sebagai *Power Supply Unit*. Sama

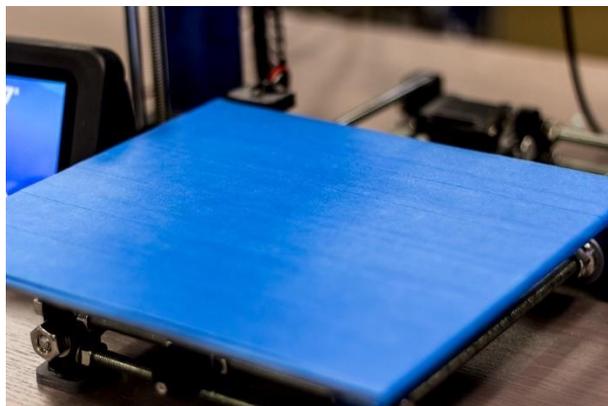
seperti alat-alat elektronik lainnya, komponen ini menjadi sumber tenaga listrik yang menghubungkan antara mesin dengan sumber listrik.



Gambar 2.5 *Power Supply Unit*
(Aliexpress, 2022)

6. *Print bed*

Print bed pada mesin cetak 3D menjadi komponen tempat proses pencetakan dilakukan dan tersusun atas beberapa bagian. Bagian-bagian dari *print bed* ini antara lain kaca, elemen pemanas dan beberapa jenis lapisan. Lapisan-lapisan ini nantinya akan membantu saat proses pencetakan. *Print bed* ini menjadi bagian penting dalam proses pencetakan.



Gambar 2.6 *Print Bed*
(Matterhackers, 2016)

7. *Print bed surface*

Print bed surface atau permukaan pada *print bed* ini membantu objek yang dicetak agar tetap berada pada tempatnya selama proses pencetakan. Komponen ini

juga membantu proses pemindahan objek yang telah selesai dicetak. *Print bed surface* ini memiliki beberapa tipe dan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.



Gambar 2.7 *Print Bed Surface*
(Aliexpress, 2022)

8. *Print head*

Komponen ini menjadi komponen terakhir dalam mesin *printer* 3D. Komponen *print head* ini menjadi bagian yang mencetak filamen menjadi model 3D. *Print head* ini terdiri dari dua bagian yaitu *Cold End* dan *Hot End*. Bagian *Cold End* bertugas untuk merekatkan filamen dan mendorongnya pada bagian *Hot End*. Sementara *Hot End* bertugas untuk mencairkan filamen dan membentuknya ke dalam model 3D.



Gambar 2.8 *Print Head*
(Aliexpress, 2022)

2.1.3 Parameter Pada Mesin 3D Printing

Parameter merupakan suatu acuan yang digunakan untuk mengatur suatu nilai pada mesin untuk dapat memberikan hasil yang diinginkan pada saat proses. Pada mesin 3D *printing* parameter dimasukkan melalui sebuah *software slicer* untuk menghasilkan bahasa program yaitu *G-Code*, selanjutnya akan dibaca oleh mesin sebagai perintah untuk proses mencetak. Berikut parameter-parameter yang ada pada mesin 3D *printing*.

1. *Nozzle temperature* adalah *temperature* pada saat filamen diekstrusi.
2. *Bed temperature* adalah *temperature* pada papan atau plat dimana objek menempel saat dicetak.
3. *Layer height* adalah ketebalan setiap lapisan.
4. *Extrusion width* adalah lebar pada material yang telah ekstrusi. Besar nilai *extrusion width* harus lebih besar dari *layer height*.
5. *Perimeters* adalah jumlah minimum *shell vertikal* (dinding) yang akan dicetak.
6. *Fill density* adalah tingkat kerapatan pada bagian inti dari objek yang akan dicetak. *Fill density* berkisar 0 sampai 100%.
7. *Fill pattern* adalah pola pengisian pada bagian inti objek. Namun *fill pattern* hanya dapat dilakukan dengan *fill density* kurang 100%. Memilih *fill pattern* tergantung pada jenis model, kekuatan struktural yang diinginkan, dan kecepatan cetak. Pola *infill* pada umumnya berbentuk *rectilinear*, *line*, dan *honeycomb*.
8. *Raster angle* adalah sudut pola *infill* (*infill pattern*).
9. *Raft layers* berfungsi menambahkan lapisan tambahan di bawah model pada saat awal pencetakan yang berguna untuk menopang bagian *layer* yang mengambang. *Raft* memerlukan proses tambahan untuk menghilangkannya.
10. Kecepatan adalah kecepatan gerak pada saat mencetak. Pada pengaturan *default* hanya ada tiga pengaturan kecepatan yang perlu dipertimbangkan: *Perimeters Speed* adalah kecepatan *outline* pada model. Proses cetak yang sedikit lebih lambat dapat membuat *outline* cetakan memiliki sisa material ekstrusi yang lebih sedikit.

11. *Brim width* berfungsi untuk menambahkan parameter lebih ke lapisan pertama sebagai dasar, yang berguna untuk memberi area permukaan lebih banyak agar dapat menempel pada bed dan mengurangi *warping* (sudut cetak terlepas dari *bed*).

2.1.4 *Computer Aided Design (CAD)*

Saat ini, industri dituntut untuk melakukan efisiensi dengan otomatisasi di semua proses produksinya agar tetap dapat bertahan menjalankan usahanya. Pembuatan gambar teknik merupakan salah satu bagian dalam *engineering design*. Proses pembuatan gambar teknik semula dilakukan secara manual tetapi saat ini harus dilakukan dengan perangkat lunak *Computer Aided Design (CAD)*. Merek dagang perangkat lunak tersebut, diantaranya AutoCAD, ProEng, Solidworks, CATIA, Autodesk Inventor, Bently, Maya, dan lain sebagainya (Saputra Hadi, 2019)

Menurut (Akhmadi & Budhi Hendrawan, 2019) menjelaskan AutoCAD suatu aplikasi yang dapat untuk membuat gambar pada bidang rekayasa desain. Aplikasi ini dapat digunakan untuk membuat gambar denah, mobil, dan objek yang lain dengan tampilan 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D).

2.1.5 *Slicing (Pembuatan Lintasan)*

Membuat file CAD merupakan bagian awal dari proses pencetakan 3D. Langkah berikutnya merupakan lintasan cetak (*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, *temperature*, waktu buat mengekstrusi bahan, serta pengaturan lain yang ada pada tiap-tiap program *licer*.

Pembuatan pola lintasan mesin *rapid prototyping* bertujuan agar pergerakan dapat dilakukan secara robotik pada bidang XYZ. Proses-proses ini membutuhkan pengaturan dalam pembuatan lintasan yang berbeda.

pendekatan-pendekatan pengaturan untuk proses *slicing* dikategorikan:

1. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan yang seragam (*uniform*).
2. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan *layer adaptive*.
3. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan *adative*.

4. Metode *slicing* dengan perhitungan kontur yang tepat.

Model *slicing* ketebalan *layer* seragam dimana seluruh *layer* memiliki ketebalan yang sama sebaliknya tata cara *slicing* ketebalan *layer adaptive*, ketebalan *layer* bermacam-macam bagi kompleksitas geometri. Proses pembuatan lintasan pada saat *slicing* dapat mempengaruhi kualitas permukaan, kekuatan, kekakuan, dan waktu pembuatan produk.

2.1.6 *Polyactic Acid* (PLA)

Beberapa plastik jenis thermoplastik yang biasa digunakan sebagai bahan filamen 3D printing diantaranya yakni PLA, ABS, PETG, TPU, PP, dan Nilon (O'Connell, 2020) Diantara jenis – jenis filamen 3D *printing*, yang paling banyak digunakan yakni jenis PLA (*polyactic Acid*). Menurut (Casalini et al., 2019) PLA merupakan *biopolymer* atau polimer yang dihasilkan dari bahan alami yang tentunya bersifat *biodegradable* atau dapat dengan mudah diuraikan. Polimer ini biasa diaplikasikan untuk bidang biomedis seperti pembuatan benang jahit, sekrup fiksasi tulang, dan perangkat untuk pengiriman obat.

Menurut (V, 2019) pengaplikasian PLA dalam dunia 3D *printing* diantaranya yakni untuk kebutuhan *prototype* atau model benda, industri makanan, dan objek-objek yang tidak memerlukan ketahanan mekanik tinggi. Kepopuleran filamen PLA dalam dunia 3D *printing* tidak terlepas dari kemudahan filamen jenis ini untuk dicetak atau diproses. Filamen ini tidak membutuhkan temperatur *nozzle* yang tinggi untuk proses cetaknya. Tidak seperti filamen ABS yang membutuhkan temperatur *nozzle* diatas 230°C, filamen PLA ini sudah dapat dicetak dengan rentang temperatur *nozzle* 190-220°C. Selain itu dari harga filamen jenis PLA cenderung lebih murah dari filamen jenis lain, sehingga filamen ini cenderung banyak digunakan.

Menurut (Setyawan & Ngadiyono, 2022) berbagai kelebihan yang ada pada filamen PLA membuat filamen ini digunakan oleh banyak orang untuk berbagai keperluan dan tidak mementingkan faktor kelemahan dari filamen jenis ini. Seperti yang sudah dijelaskan bahwa filamen ini memiliki sifat *higroskopis* atau dapat menyerap kelembaban udara. Hal ini juga dijelaskan oleh Carfagna et al. dalam Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y., bahwa sifat *higroskopis* yang ada pada polimer

akan menyebabkan efek plastisasi (*plasticization effect*) yang nantinya akan menurunkan kekuatan mekanik dari hasil pemrosesan polimer tersebut, mengingat PLA juga merupakan salah satu dari berbagai jenis polimer yang ada. Efek plastisasi (*plasticization effect*) yang terjadi pada polimer adalah suatu perubahan sifat mekanik pada suatu polimer yang ditandai dengan penurunan tingkat kekakuan pada temperatur ruang dan semakin mudahnya polimer tersebut terdeformasi.

2.1.7 Variasi bentuk benda kerja

Bentuk benda kerja atau geometris benda kerja ialah salah satu pernyataan terkait bentuk, posisi *relative* sebuah benda, pandang ruang, dan lain sebagainya. Dimana posisi benda kerja atau geometris benda kerja diukur menggunakan alat ukur seperti jangka sorong dan mikrometer, dalam penelitian ini hasil cetak 3D printing memiliki bentuk dan ukuran yang sama.

2.1.8 Metode *Analysis of variance* (ANOVA)

(Fitrayuda et al., 2020) Statistika merupakan suatu ilmu yang terdiri dari teori dan metode yang merupakan cabang dari matematika terapan dan membicarakan tentang bagaimana mengumpulkan data, bagaimana meringkas data, mengolah data dan menyajikan data, bagaimana menarik kesimpulan dari hasil analisis, serta bagaimana menentukan keputusan dalam batas-batas resiko tertentu berdasarkan strategi yang ada, metode statistika yang banyak digunakan dalam menganalisis suatu hasil penelitian maupun observasi adalah metode *analysis of variance* (ANOVA).

(Marpaung et al., 2017) Uji Anova adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. Metode analisis ini dikembangkan oleh R.A Fisher. Uji Anova adalah bentuk uji hipotesis statistik dimana kita mengambil kesimpulan berdasarkan data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji anova adalah data simple random dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi mean dan varians yang sama.

2.2 Kajian Pustaka

Menurut (Lubis & Sutanto, 2014) dari hasil pengamatan saat proses 3D *printing*, penentuan orientasi penting dalam proses *Rapid Prototyping* untuk mengoptimalkan efisiensi. Efisiensi yang dimaksud adalah lamanya waktu pengerjaan, jumlah material yang digunakan dan kualitas dari permukaan objek. Orientasi horizontal terhadap bidang luas penampang terluas benda menghasilkan kualitas permukaan yang paling baik daripada orientasi lainnya. Permukaan sisi benda yang memiliki kontur juga dapat dibentuk dengan baik sehingga dapat meminimalkan terjadinya distorsi kekasaran permukaan.

Penggunaan variasi bahan antara PLA dan ABS juga mempengaruhi kualitas objek yang dihasilkan. Karakteristik dari masing-masing material membuat proses 3D *print* setiap material berbeda. Suhu titik leleh PLA lebih tinggi daripada ABS dan ketahanan termal PLA juga lebih tinggi daripada ABS. Apabila suhu tidak merata maka objek akan melengkung dan kekuatannya akan berkurang karena serat-serat yang dihasilkan kurang merekat satu sama lain. per-bandingan kualitas produk (dimensi produk) antara bahan polymer PLA dan ABS untuk masing-masing orientasi dimana menggunakan penjumlahan dari panjang, lebar luar, lebar dalam, dan tebal spesi-men. Apabila ukuran yang dihasilkan semakin mendekati dengan ukuran rujukan maka benda tersebut semakin presisi.

Menurut (Sobron & Sutanto, 2016) berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa proses 3D *printing* dengan posisi orientasi horizontal menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik yang dicapai lebih besar dibandingkan pada posisi vertikal. Hal ini terkait ketika proses *slicing* material polymer bergerak membentuk serat-serat berlapis dengan arah yang lebih memanjang sehingga ketika serat tersebut mulai mengalami perubahan fasa menjadi padat, lebih merekat sehingga membentuk serat padat yang lebih kuat dibandingkan proses vertikal.

Secara keseluruhan dari analisa yang dilakukan dapat diketahui bahwa bahan polymer PLA menghasilkan kekuatan tarik yang lebih besar berbanding bahan polymer ABS. Nilai kekuatan tarik yang lebih besar diperoleh pada posisi horizontal. diketahui bahwa kekuatan tarik yang lebih tinggi dihasilkan ketika proses 3D *printing* dilakukan dengan posisi orientasi secara vertikal. Namun

demikian ada juga spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik yang kecil seperti pada spesimen B posisi orientasi vertikal.

Menurut (Budiman et al., 2016) Perbedaan metode pengukuran waktu proses tiap metode menyebabkan perbedaan waktu pada saat proses print dimulai, dimana perhitungan pada *timer 3D printer* termasuk menghitung waktu ekstruder dipanaskan (*extruder heating*), dan pengeluaran filament awal (*filamentt extrusion*), sedangkan *stopwatch* mulai menghitung saat *printer* membuat *raft* dan tidak menghitung waktu ekstruder panas. Pengukuran waktu proses pada *timer* dan *stopwatch*. Panjang layer tidak berpengaruh secara signifikan terhadap waktu proses *print*. Apabila tidak hanya jumlah layernya tetapi besar *Raft*, *Fill* dan adanya *support* maka waktu proses *print* tiap orientasi akan berbeda.

Untuk material PLA dan ABS dilihat dari pengukuran waktu proses *timer* dan *stopwatch*. Untuk orientasi 1 waktu proses lebih rendah dari orientasi 2 karena tidak ada *support* meskipun memiliki *raft* paling besar, sedangkan orientasi 2 waktu proses *printnya* paling lama karena *raft* yang besar dan adanya *support*. Orientasi yang waktu prosesnya paling cepat adalah orientasi 3 karena *raft* yang dibuat kecil dan tidak ada *support*.

Menurut (Lubis et al., 2016) spesimen yang dihasilkan dari proses 3D printing kemudian dilakukan pengukuran dimensinya dengan menggunakan alat ukur jangka sorong. Pengukuran dilakukan terhadap dimensi dari panjang, lebar luar, lebar dalam, dan tebal dari spesimen. Hasil pengukuran tersebut dibandingkan terhadap ukuran dari data ASTM dimana untuk masing-masing dimensi yaitu panjang keseluruhan (Lo) 165 mm, lebar luar (Wo) 19 mm, lebar dalam (W) 13 mm, dan tebal (t) 7 mm.

Proses *printing* dengan orientasi vertikal membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan orientasi horizontal. Material ABS merupakan material dengan efisiensi waktu *printing* yang lebih baik dibandingkan dengan PLA. Pada posisi orientasi vertikal, nilai kesalahan akurasi material ABS lebih kecil dibanding PLA.

Material PLA memiliki kecendrungan penurunan kesalahan akurasi ketika tebal layer 0.4 mm. Pada posisi objek orientasi horizontal diketahui bahwa nilai

kesalahan akurasi material ABS lebih kecil dibanding material PLA. Pada posisi orientasi vertikal, nilai kesalahan akurasi material ABS lebih kecil dibanding PLA. Peningkatan tebal layer menunjukkan peningkatan nilai kesalahan pada kedua jenis material tersebut.

Menurut (Zamheri et al., 2020) Hasil pengujian penyusutan dimensi produk aktual dengan desain eksperimen yang digunakan adalah *Orthogonal Array* $L_9(3)^4$. Pada pengujian *Signal Noise to Ratio* (SN Ratio) variabel repon penyusutan menggunakan karakteristik *Smaller is better* yang hasil perhitungan SN Ratio untuk respon penyusutan. *Analysis of Varians Signal to Noise* (SN) menggunakan bantuan aplikasi *Minitab* 19. Hasil perhitungan ANOVA menggunakan aplikasi *Minitab* 19 untuk respon penyusutan. Dari hasil perhitungan ANOVA yang dibantu dengan *software Minitab* 19 bahwa ρ Contribution yang terbesar yaitu *Layer Height* dengan nilai 33,051% kontribusi.

Menurut (Widiyanto & Setyani, 2020) dari ketiga variabel yaitu *internal infill angle offset* dan *external infill angle offset* diatur pada sudut 0° , 45° , dan 90° didapatkan hasil kekuatan tarik yang berbeda-beda. Pada spesimen uji tarik dengan *internal infill angle offset* dan *external infill angle offset* diatur pada sudut 0° didapatkan hasil kekuatan tarik (*tensile strength*) maksimal pada spesimen 0° sebesar 38.505 MPa. Penambahan panjang spesimen (*elongation percentage*) pada titik kekuatan maksimal (*peak*) sebesar 27.223%.

Pada spesimen uji tarik dengan *internal infill angle offset* dan *external infill angle offset* diatur pada sudut 45° didapatkan hasil kekuatan tarik (*tensile strength*) maksimal pada spesimen 45° sebesar 35.998 MPa. Penambahan panjang spesimen (*elongation percentage*) pada titik kekuatan maksimal (*peak*) sebesar 27.140%.

Pada spesimen uji tarik dengan *internal infill angle offset* dan *external infill angle offset* diatur pada sudut 90° didapatkan hasil kekuatan tarik (*tensile strength*) maksimal pada spesimen 90° sebesar 33.169 MPa. Penambahan panjang spesimen (*elongation percentage*) pada titik kekuatan maksimal (*peak*) sebesar 27.159%.

Dari hasil pengujian ketiga spesimen didapatkan perbandingan hasil yang menunjukkan gaya (beban) terbesar terjadi pada spesimen dengan arah *nozzle* sudut 0° dan gaya terkecil terjadi pada *specimen* dengan arah *nozzle* sudut 90° . Kekuatan

tarik (*tensile strenght*) terbesar terjadi pada pada spesimen dengan arah *nozzle* sudut 0° dan kekuatan tarik terkecil terjadi pada *specimen* dengan arah *nozzle* sudut 90° . Penambahan panjang yang terjadi pada ketiga *specimen* didapatkan nilai yang hampir sama yaitu sebesar sekitar 27%.

Menurut (Al Hafiz et al., 2022) Dari proses pengujian, dibuat beberapa potongan dari mold agar bisa di uji kekasaran pada permukaan mold. Maka, mold dibagi menjadi beberapa bagian yaitu permukaan atap perahu, permukaan badan perahu dan permukaan lambung perahu. Uji kekasaran dilakukan sebanyak 3x pengulangan secara vertikal dan horizontal. pengujian dilakukan terhadap 3 titik vertikal dan horizontal dari 9 potongan sampel yang berbeda yaitu 3 potongan atap dari *mold low, standard, high*.

Agar dapat mengidentifikasi analisis pengaruh parameter terhadap kekasaran molding, maka perlu dilakukan analisis data hasil pengukuran dengan *analysis of variance* (ANOVA). Disini peneliti akan melakukan perhitungan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistic 26 untuk mempermudah perhitungan *Analysis of variance* (ANOVA) dengan metode “*One Way*”. Adapun hipotesa (H0) yang diuji yaitu tidak ada pengaruh dari faktor terhadap kekasaran *molding* dan (H1) yang di uji berpengaruh dari faktor terhadap kekasaran *Molding*.

Menurut (Setiawan et al., 2022) Pemodelan 3D roda gigi heliks menggunakan *script* pada *software* Autodesk Fusion 360® berhasil dilakukan. Dari hasil analisis perbandingan volume menggunakan *software* Solidworks®, untuk 3D model hasil *script* A yang paling optimum adalah *script* dengan jumlah *face* 7 dan jumlah titik *involute* 5. Sedangkan 3D model hasil *script* B yang paling optimum dengan jumlah *face* 3 dan jumlah titik *involute* 5,15, dan 25.

Dari hasil analisis *best fit alignment* menggunakan *software* Geomagic®, untuk 3D model hasil *script* A yang paling optimum adalah *script* dengan jumlah *face* 7 dan jumlah titik *involute* 15. Sedangkan 3D model hasil *script* B yang paling optimum dengan jumlah *face* 3 dan jumlah titik *involute* 25. Dari kedua analisis yaitu dengan perbandingan volume dan *best fit alignment*, didapatkan bahwa untuk pembentukan 3D model menggunakan *Script* A yang paling optimum adalah dengan menggunakan jumlah *face* 7. Sedangkan pembentukan 3D model

menggunakan *Script B* yang paling optimum adalah dengan menggunakan jumlah *face 3*.

Menurut (Seprianto et al., 2021) adapun metode Two Way ANOVA 3 level *factorial design* merupakan parameter proses untuk mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap keakurasian dan kepresisian dimensi objek 3D printer diperlukan. Pengukuran dimensi diameter dan tebal dilakukan secara random dengan 3 kali replikasi serta mengacu pada matrik rancangan pengukuran sehingga jumlah spesimen yang harus diuji berjumlah 27.

Untuk mengidentifikasi analisis pengaruh parameter proses pencetakan objek terhadap ukuran dimensi, maka perlu dilakukan analisis data hasil pengukuran dengan *analysis of variance* (ANOVA). Dari hasil perhitungan ANOVA menggunakan *software design expert* dapat dibuktikan bahwa diketahui bahwa nilai $F_{Tabel} < F_{Hitung}$ yang membuat H_0 ditolak, dengan besar keyakinan 95% ($\alpha=0.05$) yang dipengaruhi dari faktor *exposure time* dan *layer thickness* terhadap dimensi diameter spesimen uji.

Dapat dihitung nilai persentase kontribusi dari masing-masing faktor yang mempengaruhi. Dari perhitungan persentase kontribusi didapat faktor yang paling berpengaruh terdapat pada *layer thickness* senilai 21%, sementara itu faktor *exposure time* senilai 13% dan faktor interaksi dari kedua faktor senilai 8%. Dari perhitungan persentase kontribusi didapat faktor yang paling berpengaruh terdapat pada *layer thickness* senilai 42%, sementara itu faktor *exposure time* senilai 37% dan faktor interaksi dari kedua faktor senilai 4%. Berdasarkan desain eksperimen 3 level *factorial* dengan metode ANOVA yang dibuat menggunakan *software design expert* diperoleh nilai optimal dari faktor *exposure time* dan *layer thickness*.

Hasil data-data yang dijabarkan menggunakan ANOVA dan telah dijelaskan diatas menunjukkan bahwa *additive manufacturing SLA DLP 3D* memiliki memiliki keakurasian dan ketelitian yang lebih tinggi serta tingka penyimpangan dimensi yang rendah dibanding 3D printer lainnya.

Tabel 2.1 Referensi

No.	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Kesimpulan
1.	Pengaturan Orientasi Posisi Objek pada Proses <i>Rapid Prototyping</i> Menggunakan 3D Printer Terhadap Waktu Proses dan Kualitas Produk	Lubis, S., & Sutanto, D. (2014)	Setelah dilakukan pengujian dan analisis data maka dapat disimpulkan bahwa waktu proses untuk pembuatan spesimen PLA dan ABS lebih singkat pada orientasi posisi objek horizontal yaitu 53 menit. Posisi orientasi horizontal menghasilkan kondisi permukaan spesimen yang lebih halus berbanding orientasi vertikal. Proses <i>printing</i> posisi orientasi vertikal memerlukan support agar pada proses slicing spesimen yang dihasilkan bentuknya tidak miring. Bahan polymer PLA dengan orientasi posisi horizontal lebih sedikit mengalami penyimpangan dimensi. Orientasi menentukan kualitas permukaan, efisiensi waktu proses dan dimensi. Karakteristik material mempengaruhi hasil bentuk benda kualitas permukaannya.
2.	Pengaruh Posisi Orientasi Objek Pada Proses <i>Rapid Prototyping</i> 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Material Polymer	Prayoga, Hussein Ihsan & Etik Puspitasari (2021)	Dalam proses 3D print dan uji tarik, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut. Pertama, orientasi posisi spesimen memberi pengaruh terhadap karakteristik material yang dihasilkan. Kemudian, karakteristik material tersebut mempengaruhi hasil bentuk benda dan kekuatan tariknya. Selain itu, kekuatan tarik bahan polymer PLA yang tertinggi adalah sebesar 14.97 N/mm ² yang terjadi pada proses 3D <i>printing</i> dengan posisi orientasi spesimen horizontal. Selain itu, kekuatan tarik bahan polymer PLA lebih tinggi dibanding bahan spesimen ABS karena

			<p>suhu pemanasan ABS yang tidak merata sehingga serat seratnya tidak menempel dengan sempurna. Dalam proses 3D <i>print</i> dan uji tarik, dapat diberi beberapa saran sebagai berikut . Agar memperhatikan suhu pemanasan yang merata ketika melakukan 3D <i>printing</i> untuk material ABS. Selain itu, perlu dipastikan penjepit spesimen pada proses uji tarik telah dilakukan dengan baik. Hal ini dikarenakan untuk menganalisa struktur mikro pada bidang putus material polymer PLA dan ABS hendaknya dapat dilakukan kajian dengan menggunakan mikroskop.</p>
3.	<p>Pengaruh Orientas Obyek Hasil <i>Fused Deposition Modeling</i> pada Waktu Proses</p>	<p>Budiman, W., Anggono, J., & Tanoto, Y. (2016)</p>	<p>Orientasi obyek yang waktu proses printnya paling cepat adalah orientasi no 3 dengan lama waktu proses <i>print</i> 2486 detik (<i>stopwatch</i>), sedangkan yang paling lama adalah orientasi no 2 dengan lama waktu proses <i>print</i> 2846 detik (<i>stopwatch</i>). Lama waktu proses dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut, semakin besar <i>raft</i> dan <i>support</i> yang dibuat semakin lama waktu prosesnya. Untuk perbedaan waktu proses antar ABS dan PLA dapat disebabkan karena perbedaan karakter dari material terutama <i>shear rate</i> dan <i>thermal sensitivity</i> yang berpengaruh pada viskositas polimer saat diekstrusi.</p>
4.	<p>Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D <i>Printing</i> Bahan Polymer Pla dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik</p>	<p>Lubis, S., Djamil, S., & Yolanda, Y. (2016)</p>	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan maka dapat dibuat beberapa kesimpulan. Pertama posisi orientasi objek dan tebal layer pada proses <i>printing</i> menentukan</p>

	Dan Ketelitian Dimensi Produk		<p>kualitas permukaan, efisiensi waktu proses dan kekuatan dari produk yang dihasilkan. Nilai kesalahan akurasi dimensi spesimen produk <i>printing</i> berbanding lurus terhadap besar layer yang digunakan. Kemudian, nilai kesalahan akurasi dimensi terkecil dengan nilai 0.42 mm terjadi pada orientasi objek horizontal dan tebal layer 0.1 mm pada <i>printing</i> material ABS. Sedangkan jumlah kesalahan akurasi terbesar dengan nilai 1.3 mm terjadi posisi orientasi objek vertikal dan tebal layer sebesar 0.4 mm pada <i>printing</i> material ABS. Produk material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal memiliki kualitas dimensi yang paling baik. Jumlah kesalahan akurasi material ini tidak melebihi 1 mm pada setiap layer. Selain itu, material ABS dengan posisi orientasi objek vertikal dan tebal layer sebesar 0,10 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik yang terkecil sebesar 8,62 MPa dan material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal dengan dan tebal layer sebesar 0,40 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik terbesar 35,57 MPa.</p>
5.	<p>Pengaruh Arah Cetakan 3D <i>Printing</i> Tipe FDM Bahan Polymer ABS Terhadap <i>Tensile Strength</i> Produk Yang Dihasilkan</p>	<p>Widiyanto, W., & Setyani, T. I. (2019)</p>	<p>Berdasarkan uraian hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa arah cetakan <i>nozzel</i> pada mesin 3D <i>printing</i> jenis FDM mempengaruhi kekuatan tarik produk yang dihasilkan. Kekuatan tarik terbesar didapatkan pada produk dengan arah <i>nozzel</i> sudut 0° sebesar 38.505 MPa, sedangkan terkecil pada produk dengan arah</p>

			<p><i>nozzel</i> sudut 90° sebesar 33.169 MPa. Tetapi persentase penambahan panjang ke tiga produk (<i>elongation percentage</i>) pada titik kekuatan maksimal (<i>peak</i>) yaitu sama, sebesar 27.159%. Produk 3D <i>Printing</i> jenis FDM dengan arah cetakan <i>nozzel</i> dengan pengaturan <i>internal infill angle offset</i> dan <i>external infill angle offset</i> diatur pada sudut 0° dapat menghasilkan kekuatan tarik (<i>tensile strength</i>) terbesar.</p>
--	--	--	--