

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Basavaraj dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses 3D *printing* berbasis FDM terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik pada bahan *nylon* menggunakan metode taguchi. Parameter yang diujikan meliputi *layer thickness* dengan 0.1 mm, 0,2 mm, dan 0,3 mm, *orientation angle* dengan sudut 0°, 15°, dan 30° dan *shell thickness* dengan nilai 0.4 mm, 0.8 mm, dan 1.2 mm. hasil penelitian menunjukkan bahwa *layer thickness* merupakan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi produk dan sifat mekanik kekuatan tarik, karena ketebalan *layer* yang lebih tipis akan menghasilkan kekuatan ikatan lapisan serta mampu memberikan pembuatan aksial yang lebih baik. Parameter optimal untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimum sebesar 25.48 MPa terhadap pada kombinasi parameter *layer thickness* 0,1 mm, *orientation angle* 30° , dan *shell thickness* 1,2 mm sedangkan untuk mendapatkan nilai akurasi dimensi terbaik terdapat pada kombinasi parameter *layer thickness* 0,1 mm, *orientation angle* 30°, dan *shell thickness* 0,8mm .

Mahardika, (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap respon akurasi dimensi dan kuatan tarik pada material PLA menggunakan metode taguchi. Parameter proses yang diujikan meliputi *nozzle temperature* dengan nilai 205°C, 210°C, dan 215°C, *extrusion width* dengan nilai 0,3 mm, 0,35 mm, dan 0,4 mm, *infill density* dengan nilai 25%, 50%, dan 75% dan *infill pattern* dengan pola *honeycomb*, *grid*, dan *triangles*. Hasil penelitian menunjukkan, pemberian variasi pada parameter proses mempengaruhi nilai respon akurasi dimensi produk dan sifat mekanik kekuatan tarik pada setiap spasimennya. *Infill density* dan *nozzle temperature* menjadi parameter proses paling berpengaruh terhadap respon kuat tarik dengan nilai kontribusi sebesar 40.78% dan 14.17%. parameter optimal ditunjukkan pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 215°C, *extrusion width* 0,35mm, *infill density* 75% dan pola *honeycomb* yang menghasilkan spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi sebesar 30,52 Mpa.

Tymark dkk, (2014) melakukan penelitian pada *tensile strength* dan elastic modulus dari produk hasil pencetakan dengan menggunakan kondisi bagi pengguna umum *3D printing open-source*. Untuk menentukan sifat mekanik dan variabilitas dari produk *3D printing* digunakan parameter pencetakan dan *slicing* yang berbeda. Penelitian tersebut mempelajari hubungan antara orientasi pencetakan dan *layer hight* terhadap kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas. Bahan yang digunakan untuk filamen adalah PLA dan ABS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *3D printing open-source* jenis RepRap memiliki biaya proses produksi yang lebih murah, dan dapat berfungsi secara baik pada kualitas sifat mekanik produk dalam aplikasi seperti yang dilakukan industri.

Christiyan dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses *3D printing* terhadap sifat mekanik pada bahan komposit ABS. desain spesimen mengikuti standar ASTM D638 dan ASTM D760 untuk melakukan uji tarik dan iju lentur. Pada penelitian ini 2 parameter yang diujikan adalah ketebalan lapisan dengan variasi 0,2 mm, 0,25 mm, dan 0,3 mm dan kecepatan cetak dengan variasi 30mm/s, 40 mm/s, dan 50 mm/s. hasil penelitian menunjukkan spasimen dengan parameter ketebalan lapisan 0,2 mm dan kecepatan cetak 30 mm/s menghasilkan kekuatan tarik maksimal sebesar 28,5 MPa dan beban lentur maksimal sebesar 43 N sedangkan untuk kekuatan terik terendah sebesar 17 MPa dan beban lentur terendah sebesar 22 N ditunjukkan pada spesimen dengan parameter ketebalan lapisan 0,3 mm dan kecepatan cetak 50 mm/s. hal ini membuktikan bahwa menurunkan kecepatan cetak dan mengurangi ketebalan lapisan akan menghasilkan ikatan lapisan yang lebih baik sarta manghasilkan kekuatan tarik dan beban lentur maksimum.

Vicente dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter *infill* terhadap kuat tarik pada produk *3D printing* menggunakan filamen ABS. Dalam penelitian tersebut zona *infill* dilakukan modifikasi. Parameter yang dievaluasi dalam penelitian ini adalah parameter kepadatan (*density*) dan pola *infill* (*infill pattern*). Pada parameter proses *infill density* diterapkan tiga level untuk dievaluasi yaitu 20%, 50%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kepadatan yang sama, pola sarang lebah (honeycomb) memiliki kekuatan tarik yang lebih baik, walaupun perbedaan antar parameter pola kurang dari 5%. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh variasi jumlah plastik yang diekstrusi untuk setiap pola. Hal ini

berdampak pada ikatan antar lapisan menjadi sangat berbeda antara pola sarang lebah dan bujur sangkar (*rectilinear*). Pada kasus tersebut dapat menjelaskan sebab terjadinya perbedaan pada *modulus elastisitas*. Namun penelitian lebih lanjut mengenai topik tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter *infill* secara mendalam.

Johansson, (2016) melakukan penelitian tentang parameter proses 3D *printing* berbasis *fused filament fabrication* (FFF) terhadap karakteristik sifat tarik dan ikatan lapisan pada bahan ABS, PET, dan PLA. Empat parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *nozzle temperature*, *flow rate*, *layer thickness*, dan *printing speed* dengan masing masing nilai parameter yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik dengan kecepatan uji yang direkomendasikan sesuai standar ISO 527-2 sebesar 1 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang jelas pada kekuatan tarik untuk ketiga bahan. PLA menjadi bahan yang paling kuat dengan kekuatan tarik sebesar 51 MPa disusul PET dengan kuat tarik sebesar 40 MPa dan ABS menunjukkan kuat tarik terendah yaitu sebesar 34 MPa. Dari perilaku tegangan-regangan dapat disimpulkan bahwa PLA merupakan bahan yang memiliki kecenderungan sifat *elastisitas* paling tinggi sedangkan PET memiliki sifat *elastisitas* yang paling rendah. Parameter *nozzle temperature*, *layer thickness*, dan *printing speed* merupakan parameter proses yang berpengaruh terhadap ikatan lapisan yang dicetak dengan *nozzle temperature* 250°C tujuh kali lebih baik dari pada spesimen yang dicetak pada *temperature* 190°C. lapisan yang dicetak dengan *layer thickness* 0,1 mm menunjukkan peningkatan kapasitas beban sebesar 91% dibandingkan dengan *layer thickness* 0,4 mm sedangkan *printing speed* dengan nilai 10 mm/s menunjukkan kinerja ikatan lapisan 95% lebih baik dari pada *printing speed* 130 mm/s.

Sukindar dkk, (2017) melakukan penelitian menggunakan 3D *printing open source* yang dikembangkan oleh perangkat lunak *Repetier-Host* dengan bahan PLA dan variasi tiga level untuk tiga parameter meliputi ketebalan lapisan (0.2 mm, 0.34 mm), ketebalan *shell* (0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm), dan kecepatan cetak (30 mm/s, 60 mm/s, 90mm/s). Tiga parameter telah dianalisis dengan menggunakan analisis variasi (ANOVA) dan ketebalan *shell* menunjukkan parameter yang paling dominan dari dua parameter lainnya. Spesimen dengan tebal *layer* 0.3 mm, tebal *shell* 1.2 mm dan kecepatan cetak 30 mm/s memberikan kekuatan tarik tertinggi

dengan nilai 33,06 MPa. Hasil dari ANOVA menunjukkan bahwa ketebalan *shell* memberikan hasil yang signifikan ($p = 0,037$) dalam mempengaruhi hasil uji kekuatan tarik. Sedangkan untuk kecepatan cetak ($p = 0,393$) dan ketebalan *shell* ($p = 0,418$) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik. Hal ini membuktikan bahwa dengan peningkatan ketebalan *shell* dari 0.4 mm menjadi 1.2 mm akan meningkatkan kekuatan tarik spesimen.

Tanoto dkk, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh perbedaan orientasi pada FDM polimer ABS pada waktu proses, akurasi dimensi, dan kekuatan tarik. Penelitian ini mempelajari hubungan antara parameter proses mesin 3D *printing* dengan menggunakan teknologi FDM dan respon yang dihasilkan. Tiga orientasi yang berbeda dalam pencetakan polimer ABS adalah XY (orientasi pertama), YX (orientasi kedua), dan ZX (orientasi ketiga). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pencetakan dengan orientasi ketiga adalah proses pencetakan tercepat diikuti oleh orientasi satu dan dua. Pada penyimpangan ukuran ketebalan spesimen terkecil dari standar ukuran pada dimensi lebar adalah orientasi pertama (0.13 mm). Pada uji tarik menunjukkan pencetakan dengan ketiga orientasi tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada sampel dari deposisi orientasi kedua, yaitu 7,66 MPa diikuti oleh produk orientasi pertama dan ketiga, yaitu 6,8 MPa dan 3,31 MPa.

Tontowi dkk, (2017) melakukan penelitian tentang optimalisasi parameter proses 3D *printing* untuk meningkatkan kualitas produk dengan bahan *polylactic acid* (PLA). Pada penelitian ini terdapat tiga parameter proses yang digunakan meliputi *layer height* (0.05, 0.1 dan 0.15 mm), *temperature nozzle* (195, 200 dan 205 ° C) dan sudut *raster* (-45°, 0°, dan 60°) dimana digunakan analisis metode Taguchi dan *Response Surface Method*. Metode taguchi yang digunakan adalah *array ortogonal* (OA) L9 dengan 3 level dan diasumsikan bahwa setiap parameter memiliki efek independen atau tidak ada efek interaksi satu sama lain. Analisis respon optimum yang dilakukan menggunakan SNR (Signal to Noise Ratio) menunjukkan bahwa terdapat variasi nilai level pada masing-masing parameter untuk semua respon dimensi error. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *raster angle* merupakan parameter penting yang berpengaruh pada kesalahan dimensi, sedangkan *layer height* lebih berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

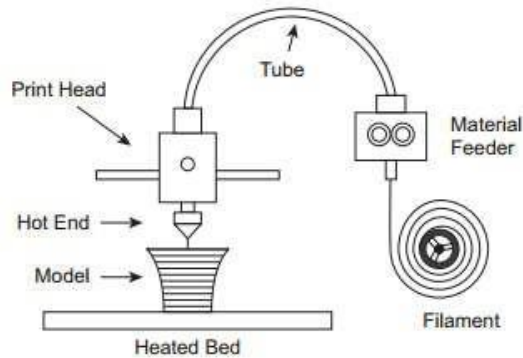
Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, belum ada penelitian khusus tentang optimasi parameter proses 3D *printing* pada bahan *nylon 6* sedangkan parameter yang belum dilakukan dalam penelitian yaitu *infill density* dan parameter yang masih perlu dilakukan dalam penelitian yaitu *layer thickness*. Sehingga pada penelitian ini perlu menggunakan kombinasi parameter tersebut dengan parameter lain yang berpengaruh terhadap kuat tarik produk berbahan *nylon 6* diantaranya *nozzle temperature*, *infill density*, dan *layer thickness*. Desain eksperimen menggunakan metode taguchi dan hasil pengujian tarik dianalisis menggunakan ANOVA dan SNR.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah metode *Rapid Prototyping* yang proses fabrikasinya berbeda dengan metode yang lainnya, metode ini tidak menggunakan laser, namun dengan *nozzle* yang dipanaskan. Material filamen termoplastik yang digunakan dipanaskan pada *heater*. Temperatur diset lalu dipertahankan oleh *heater* dapat menciptakan material yang *semi-solid* agar dapat diekstrusi. Beberapa material yang seringkali digunakan menjadi bahan baku filamen adalah *polylactic acid* (PLA), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polycarbonate* (PC), *nylon*, dan *Investment Casting Wax*.

Proses pembentukan benda tiga dimensi manufaktur FDM menggunakan teknik lapis demi lapis (*layer by layer*). Material leleh diekstrusi melalui *nozzle* yang kemudian akan mengeras secara cepat membentuk lapisan. Ketebalan lapisan (*infill density*) dapat diatur berkisar antara 0,1mm – 0,5mm dan lebar lapisan (*extrusion width*) berkisar antara 0,2 mm – 0,7 mm. dua parameter ini menyesuaikan pada besar diameter *nozzle* yang digunakan.



Gambar 2.1. Bagian-bagian pada mesin FDM (Thomas dkk, 2016)

Ketika mesin *Rapid Prototyping* ini mulai beroperasi, material filamen (*liquefier*) dilelehkan oleh *heating system*, selanjutnya material dikeluarkan melalui *nozzle* dengan pengaturan laju *feeder* oleh *drive wheel* dengan motor DC sebagai penggerakannya. Setelah mencapai *temperature* yang sesuai, *drive wheel* akan berputar (saklar *feeder* akan *on* pada saat program *G-code* berjalan) dan *nozzle* akan menekan keluar material untuk diendapkan. Gerakan *nozzle* diarahkan sesuai dengan perintah program *G-code* yang sebelumnya telah dibuat. Setelah *layer* pertama terbentuk, *nozzle* bergerak ke atas untuk membentuk *layer* selanjutnya (Sumantri, 2012).

2.2.2. Bagian- Bagian Mesin 3D Printing

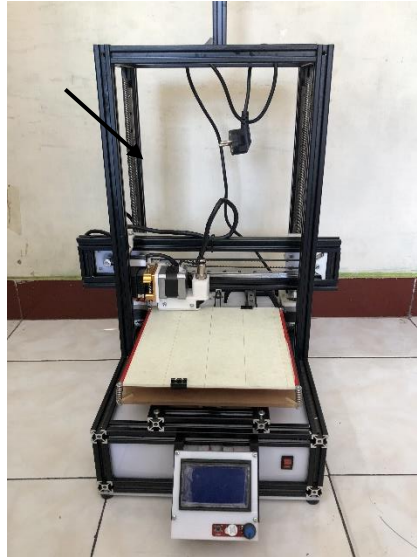
Menurut Hovart, (2014) mesin 3D *printing* yang berbasis FDM memiliki beberapa komponen, yaitu:

- A. Filamen adalah material yang dipanaskan sampai menjadi material leleh (*semi-solid*) yang selanjutnya diekstrusi untuk membuat suatu produk. Filamen ditunjukkan pada gambar 2.2.



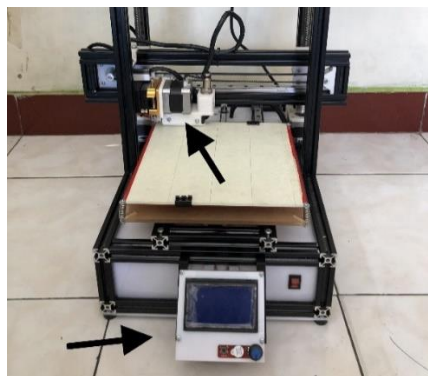
Gambar 2.2. Filamen

- B. *Frame* adalah struktur utama sebagai penopang mesin dan untuk menyatukan komponen 3D *printing*. *Frame* harus terbuat dari bahan yang kuat dan kokoh karena saat beberapa komponen (*print head* atau *heat bed*) bergerak, mesin akan bergetar sehingga mempengaruhi akurasi dan kualitas produk. *Frame* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Frame* 3D printer

- C. *Print head* adalah bagian 3D printer yang berfungsi untuk menggerakkan dan melelehkan filamen secara bersamaan. *Print head* bergerak pada sumbu x dan z. Komponen ini terdiri dari sensor suhu, koil pemanas, *nozzle* dan kipas. *Print head* ditunjukkan pada Gambar 2.4

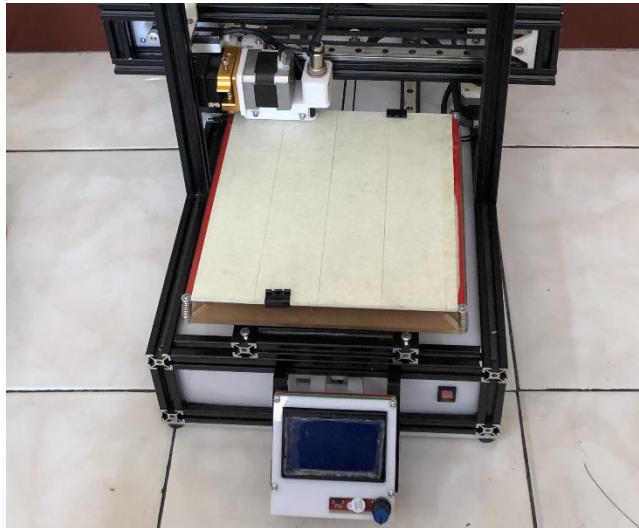


Gambar 2.4. *Print head*

- D. *Nozzle* adalah bagian untuk mendorong material leleh (*semi-solid*) setelah melewati proses pemanasan diheater. Kuningan merupakan jenis material

yang paling umum digunakan untuk *nozzle*. *Nozzle* berbahan kuningan dapat digunakan untuk mencetak PLA, ABS, PETG, PVA, PC, Nilon dan lain lainnya. *Nozzle* ditunjukkan pada Gambar 2.4.

- E. *Build Platform* atau *bed* adalah permukaan datar sebagai alas cetak. *Bed* umumnya terbuat dari kaca atau aluminium yang mampu menyebarkan panas lebih baik di seluruh area *bed*. Ukuran *bed* bervariasi mulai dari 100mm² hingga 200mm². Beberapa mesin 3D *printing* memiliki *bed* yang dapat dipanaskan dan diatur suhunya sehingga mampu mengurangi penyusutan yang tidak merata selama proses pencetakan dan menciptakan adhesi yang lebih baik antara lapisan pertama dan permukaan *bed*. *Bed* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Bed* atau *build platform*

- F. *Bowden* adalah komponen yang berfungsi untuk mendorong filamen dengan mekanisme memutar. *Bowden* ditunjukkan pada Gambar 2.6



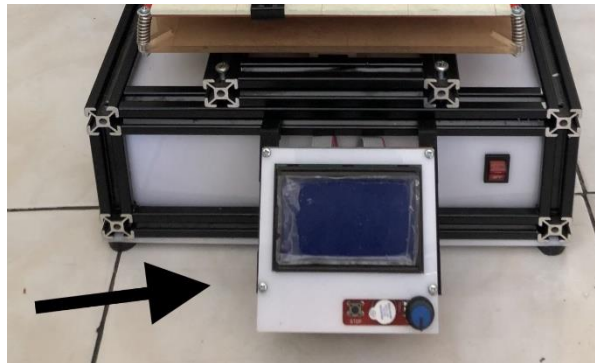
Gambar 2.6. *Bowden*

- G. *Moving Parts* adalah komponen gerak pada mesin 3D *printing* yang terdiri dari sabuk, kabel, sekrup dan *pulley* yang terpasang pada motor stepper. Motor *stepper* pada 3D *printing* biasanya memiliki 200 *step per revolution*. Setidaknya ada 5 motor *stepper* pada satu rangkaian mesin 3D *printing* untuk menggerakkan *Print head* dan *bed* (sumbu x,y dan z). *Motor stepper* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Motor Stepper*

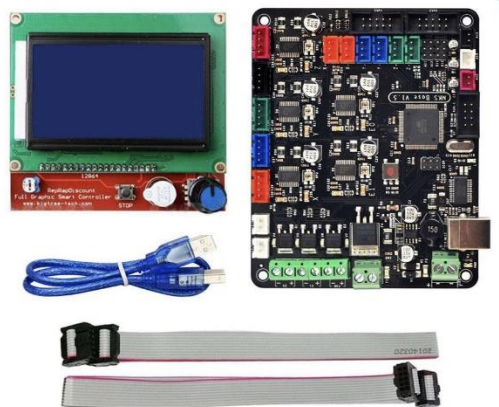
- H. Indikator adalah layar informasi yang menampilkan perincian terpenting, seperti suhu nozzle, suhu bed, feed rate, waktu pencetakan dan posisi axis. Indikator ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Controller Board*

- I. *Control board* merupakan komponen utama yang berperan sebagai otak 3D *printer*. Komponen ini berfungsi mengubah program dari G-code yang diterima menjadi sinyal listrik yang akan menggerakkan motor, *print head*, memanaskan *extruder*, *bed*, dan menggerakkan komponen *printer* lainnya.

Sebagian besar 3D printing menggunakan sistem loop terbuka. *Control board* ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9. *Control board*

2.2.3. Parameter Pada Mesin 3D Printing

Parameter adalah suatu acuan yang digunakan untuk mengatur suatu nilai pada mesin untuk dapat memberikan hasil yang diinginkan pada saat proses. Pada mesin 3D printing parameter yang dimasukkan melalui sebuah *software slice* untuk menghasilkan bahasa program yaitu G-code, yang kemudian akan dibaca oleh mesin sebagai perintah untuk proses mencetak. berikut parameter-parameter yang ada pada mesin printer 3D :

- A. *Nozzle temperature* adalah temperature pada saat filamen diekstrusi.
- B. *Bed temperature* adalah temperatur pada papan/plat dimana objek menempel saat dicetak.
- C. *Layer height* adalah ketebalan setiap lapisan
- D. *Extrusion width* adalah lebar material yang telah ekstrusi. Besar nilai *extrusion width* harus lebih besar dari *layer height*
- E. *Perimeters* adalah jumlah minimum *shell* vertical (dinding) yang akan dicetak.
- F. *Fill density* adalah tingkat kerapatan pada bagian inti dari objek yang akan dicetak *fill density* berkisar 0 sampai 100%
- G. *Fill pattern* adalah pola pengisian pada bagian anti objek. Namun *fill pattern* hanya dapat dilakukan dengan *fill density* kurang 100% memilih *fill pattern* tergantung pada jenis model, kekuatan structural yang diinginkan, dan

kecepatan cetak. Pola *infill* pada umumnya berbentuk *rectilinear*, *line* dan *homeycomb*.

- H. *Raster angle* adalah sudut pola *infill* (*infill pattern*).
- I. *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.
- J. Kecepatatan adalah Kecepatan gerak ketika sedang proses mencetak. Pada pengaturan *default* hanya ada tiga pengaturan kecepatan yang perlu dipertimbangkan:
 - a. *Perimeters speed* adalah kecepatan *outline* pada model. Proses cetak yang sedikit lebih lambat dapat membuat *outline* cetakan memiliki sisa material ekstrusi yang lebih sedikit.
 - b. *infill speed* adalah kecepatan pada pola dari inti objek 3D. kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan ekstrusi yang lebih tipis, dan hal ini dapat mempengaruhi ikatan antara bagian yang ekstrusi.
 - c. *Travel speed* adalah gerakan *nozzle* untuk berpindah pada saat tidak melakukan proses cetak.
- K. *Brim width* berfungsi untuk menambahkan *perimeter* 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*).
- L. *Air gap* adalah ruang antara dua lapisan yang berdekatan ketika *filament* leleh dicetak. Besar nilai celah udara mempengaruhi kekuatan spesimen.
- M. *Feed rate* adalah parameter untuk mengubah konfigurasi kecepatan pencetakan secara keseluruhan. Nilai *feed rate* dinyatakan dalam satuan persen.

2.2.4. Slicing (Pembuatan lapisan)

Membuat file CAD adalah bagian pertama dari proses pencetakan 3D. Langkah selanjutnya adalah membentuk litasan cetak yang disebut dengan *slicing*. Program *slicing* harus memperhitungkan karakteristik fisik *printer* dan geometri model yang sedang dicetak. Langkah ini adalah untuk membuat *file* G-code. Proses *slicing* yang terdapat pada *3D printing* perlu menentukan sejumlah pengaturan

seperti bahan, *temperature*, waktu untuk mengekstrusi bahan, dan pengaturan lain yang terdapat pada masing-masing program *slicer* (Hovart, 2014: 47).

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. Menurut Sumantri, (2012) pendekatan-pendekatan pengaturan untuk proses *slicing* dikategorikan ke dalam empat kelompok meliputi

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

Model *slicing* ketebalan *layer* seragam dimana semua *layer* memiliki ketebalan yang sama sedangkan metode *slicing* ketebalan *layer adaptive*, ketebalan *layer* bervariasi menurut kompleksitas geometri. Proses pembuatan lintasan pada saat *slicing* dapat mempengaruhi kualitas permukaan, kekuatan, kekakuan, dan waktu pembuatan produk.

Penelitian ini menggunakan salah satu program *slicing open source* yaitu Slic3r. Program Slic3r adalah program *slicing* yang dapat diunduh secara gratis (di slic3r.org) yang berguna untuk melakukan pengaturan pada proses *slicing*. Slic3r pada pengaturannya berdasarkan pada pengaturan dari pengguna sebagai perintah G-code yang akan dijalankan oleh *printing*. Slic3r dapat diakses baik sebagai program yang berdiri sendiri atau disematkan pada program lain (*host*) seperti pada Repetier-Host.

2.2.5. Nylon 6

Menurut mardiyah dkk, (2013) *nylon* adalah kopolimer kondensasi dibentuk dengan mereaksikan bagian yang sama dari sebuah diamina dan asam dikarboksilat, sehingga amida yang terbentuk pada kedua ujung masing-masing monomer dalam proses analog dengan *polipeptida biopolimer*. Elemen kimia yang termasuk adalah karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen. Akhiran numerik menentukan jumlah karbon yang disumbangkan oleh monomer-monomer, sedangkan diamina pertama dan kedua diacid. Varian yang paling umum adalah nilon 6-6 yang mengacu pada fakta bahwa diamina (heksametilena diamina, IUPAC Nama: heksana-1, 6-

diamina) dan diacid (asam adipat, IUPAC Nama: asam hexanedioic) masing-masing menyumbangkan 6 karbon untuk rantai polimer. Seperti lainnya kopolimer seperti poliester dan poliuretan, terdiri dari satu monomer, sehingga mereka bergantian dalam rantai tersebut. Karena setiap monomer dalam kopolimer ini memiliki sama kelompok reaktif pada kedua ujungnya, arah dari ikatan amida membalikkan antara masing-masing monomer.



Gambar 2.10. *nylon*

Sumber: www.wikipedia.org

1. Karakteristik *nylon*

- Variasi kilau: nilon memiliki kemampuan untuk menjadi sangat berkilau, semilustrous
- Durabilitas: serat yang tinggi keuletan digunakan untuk sabuk pengaman, ban tali, kain balistik dan penggunaan lainnya
- Elongasi tinggi
- Ketahanan abrasi yang baik
- Membuka jalan untuk memudahkan perawatan pakaian
- Resistensi tinggi
- Digunakan dalam karpet dan sroking nilon
- Mencair bukan terbakar
- Digunakan dalam aplikasi militer
- Spesifik kekuatan baik
- Transparan terhadap cahaya inframerah

Poliamida (*nylon*) merupakan serat yang kuat. Nilon yang cukup mahal ialah supernilon yang dapat ditenun menjadi kain-kain yang indah, baik yang menyerupai tweed maupun yang menyerupai brokad emas atau sutera.

2. Sifat sifat *nylon*

Sifat fisik dan mekanik dari bahan nylon adalah sebagai berikut:

Titik lebur	:363-367 ⁰ F
Kekerasan Rockwell	:106
Konduktivitas termal	:2,01 BTU di/fth ⁰ F
Panas laten difusi	:35,98 BTU/lb
Koefisien ekspansi linier	:5,055 x 10 ⁻⁵ /OF
Koefisien gesekan	:0,10-0,30
Kepadatan	:1,15 g/cm ³
Konduktivitas listrik	:10-12 S/m

3. Sifat kimia bahan nilon

- Kuat dan tahan gesekan.
- Daya mulurnya besar, kalau diregang sampai 8% benang akan kembali pada panjang semula, tetapi kalau terlalu regang, bentuk akan berubah.
- Kenyal tidak mengisap lengas atau air sehingga mudah kering
- Tahan alkali dan tidak tahan klor

4. Aplikasi penggunaan nylon

- Industry benang
Dengan ketahanan tarik tinggi kekuatan, kelelahan dan ketangguhan, satu aplikasi utama untuk nylon 6 adalah dalam pembuatan benang industri. Adhesi unggul untuk karet membuat sebuah media yang ideal untuk memproduksi kain ban kabel, media untuk memperkuat bias-ply ban bus dan truk. Terlebih lagi, dapat dicampur dengan polietilena (PE), polimer lebih murah, untuk menghasilkan biaya rendah benang industri tanpa secara signifikan menurunkan kualitas produk akhir.
- Tekstil
Nylon 6 digunakan secara luas dalam industri tekstil untuk memproduksi kain non-woven. Kain yang terbuat dari nylon 6 adalah warna-warni dan

ringan namun kuat dan tahan lama. Contoh pakaian :kemeja, gaun, Kaus kaki, Pakaian dalam wanita, Jas hujan, Pakaian Ski, Jaket, Pakaian renang, dll

- Penyerapan UV

Nylon 6 film plastik sering diproduksi dengan kapasitas serapan UV, sebuah properti yang bermanfaat signifikan dalam pengendalian penyakit virus menular .Industri lain yang menggunakan nilon 6 film untuk serapan UV yang meliputi rekayasa, medis, dan pertanian

- Perlengkapan rumah

Alas tidur, karpet, atap dan perkakas rumah lainnya.

- Peralatan industry

Tali Ban, Pipa karet, Alat pengangkutan Dan Ikat pinggang di pesawat, Parasut, Dawai-Dawai Raket, Tali temali dan jaring, kantong tidur, kain terpal, tenda, benang, bulu sikat gigi.

- Manufaktur

Nylon 6 merupakan bahan sintetik serbaguna yang dapat dibentuk menjadi serat, lembaran, filamen atau bulu. Ini pada gilirannya dapat digunakan dalam produksi kain, benang dan pintal. Sebagai contoh, baik filamen nilon 6 yang digunakan dalam pembuatan kaus kaki, rajutan pakaian dan parasut. Nylon 6 bulu yang digunakan untuk memproduksi sikat gigi dan sisir sikat. Sebagai komposit dengan polimer lain, nilon 6 juga digunakan dalam produksi produk cetakan seperti mobil mainan, skate-board roda dan frame pistol.

5. Sifat nylon

- Sangat kuat
- Elastis
- Tidak mudah terkikis
- Mengkilap
- Mudah dibersihkan
- Tidak mudah rusak karena minyak dan bahan kimia
- Dapat diwarnai dengan cakupan warna yang luas

- Lentur
- Daya serap terhadap air rendah
- Tahan lama

Serat *nylon* adalah serat yang dihasilkan dengan unsur pembentuk serat adalah suatu rantai panjang polyamida sintetik, dimana kurang dari 85% ikatan amida mengikat secara langsung (-CO-NH-) dua gugus alifatik. Istilah nylon mengacu pada suatu *polymers* yaitu *polyamida linier*. Ada dua metode umum bagaimana membuat nylon untuk aplikasi serat. Pada metode pertama, molekul dengan suatu gugus asam (COOH) bereaksi dengan molekul yang mengandung gugus amina (NH₂). Menghasilkan nylon yang dinamai berdasarkan banyaknya atom karbon yang memisahkan dua gugus asam dan dua gugus amina. Nylon 6,6 yang secara luas digunakan untuk serat dibuat dari asam adipat dan hexametilen diamin. Kedua senyawa tersebut membentuk suatu garam, yang dikenal sebagai nylon, dengan perbandingan asam dan basa 1:1. Garam ini kemudian dikeringkan dan dipanaskan untuk menghilangkan air dan membentuk polimer. Metode kedua, suatu senyawa yang mengandung suatu amina pada satu sisi dan suatu asam di sisi lainnya dipolimerisasi untuk membentuk rantai dengan unit pengulangan NH-[CH₂]_n-CO-)x. Jika n=5, nylon dikenal sebagai nylon 6, begitupun dengan jenis polimer lain. Produksi komersial dari nylon 6 menggunakan caprolactam untuk polymerisasi.

2.2.6. Design of Experiment (DOE)

Design of experiment atau DOE adalah suatu rancangan percobaan yang didefinisikan pada setiap langkah dan tindakan dengan benar-benar untuk mengumpulkan informasi yang berhubungan dengan persoalan yang sedang diteliti. Proses desain eksperimen bertujuan sebagai langkah awal yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan supaya data yang semestinya dapat diperoleh. Pada desain percobaan informasi yang sebanyak-banyaknya diperoleh atau dikumpulkan kemudian digunakan selama proses penelitian. Ada beberapa jenis dari desain percobaan antara lain desain pra-eksperimental, desain eksperimental semu dan desain percobaan. Dalam penggunaan metode DOE proses desain rancangan dapat dibantu oleh *software* seperti Minitab dan SPSS.

2.2.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metodologi pada bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dengan secara bersamaan untuk menekan biaya dan sumber-sumber sekecil mungkin. Metode Taguchi bertujuan untuk mencapai suatu sasaran tersebut dengan menjadikan produk atau proses yang tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009:273). Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

1. Merancang suatu produk/merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan.
2. Merancang/mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
3. Meminimalkan variasi di sekitar target.

Metode Taguchi mempunyai beberapa keunggulan yaitu desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor. Desain eksperimen Taguchi memiliki suatu proses yang menghasilkan produk konsisten dan kokoh terhadap faktor yang sulit dikontrol. Metode Taguchi juga menghasilkan faktor yang mengenai respon yang optimal.

Metode Taguchi juga mempunyai kekurangan dari metode yang lain diantaranya yaitu metode ini mempunyai struktur yang kompleks. Untuk mengatasi

kekurangan itu diperlukan rancangan percobaan yang lebih hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut Matriks orthogonal. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter (Soejanto, 2009:17).

2.2.8. *Signal to Noise ratio* (SNR)

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep SNR (*Signal to Noise ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. SNR diformulasikan untuk memilih nilai level faktor untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Oleh karenanya metode perhitungan SNR tergantung pada karakteristik kualitas, apakah respon semakin kecil, semakin baik, semakin besar semakin baik, atau tertuju pada nilai tertentu (Soejanto, 2009: 141). Berikut adalah Rasio S/N menurut tipe karakteristik yang dituju pada penelitian.

1. *Smaller is better* (S.T.B)

Smaller the better atau semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dimana pada nilai *defect* atau cacat yang diinginkan adalah nol. Sehingga SNR STB dapat dihitung dengan rumus 2.1 sebagai berikut:

$$SN_{STB} = - 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

keterangan:

- n : jumlah pengulangan dari suatu percobaan
- yi : data pengamatan ke-i

2. *Larger is better* (L.T.B)

Larger is better atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dengan nilai target yang diharapkan adalah selain nol atau tertuju pada nilai yang sebesar mungkin. Pada SNR LTB dapat dihitung dengan rumus 2.2 sebagai berikut:

$$SN_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

keterangan:

n : jumlah pengulangan eksperimen

y_i : data pengamatan ke-i

3. *Nominal is best* (N.T.B)

Nominal the best atau tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dengan nilai target yang diharapkan adalah selain nol dan memiliki bilangan yang terbatas atau tertuju pada nilai tertentu. Sehingga SNR NTB dapat dihitung dengan rumus 2.3 sebagai berikut:

$$SN_{NTB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

keterangan:

μ : *mean*

σ : deviasi

2.2.9. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Menurut Soejanto, (2009) ANOVA atau analisis varians adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika. Analisis ini merupakan teknik yang analisisnya dilakukan dengan menguraikan seluruh varians atas bagian-bagian yang diteliti. Penggunaan ANOVA bertujuan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi suatu faktor sehingga dapat diketahui perkiraan akurasi pada suatu model.

Analisis varian pada *orthogonal array* dilakukan dengan perhitungan yang berdasarkan jumlah kuadrat (*sum of square*) pada masing masing-kolom. Rumus perhitungan jumlah kuadrat pada analisis varians adalah sebagai berikut:

1. Jumlah Kuadrat Total (Sq_T)

Sum of Squares total atau jumlah kuadrat total adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu melalui beberapa level faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.4 sebagai berikut:

$$Sq_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

keterangan:

N : jumlah percobaan

y : data yang diperoleh dari percobaan.

2. Jumlah Kuadrat Faktor (Sq_A)

Sum of Squares faktor atau jumlah kuadrat faktor adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu pada level suatu faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.5 sebagai berikut:

$$Sq_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.5)$$

keterangan:

A_i : level ke i pada faktor A

n_{A_i} : jumlah percobaan untuk level ke i pada faktor ke A

3. Jumlah Kuadrat *Error* (Sq_e)

Sum of Squares total faktor atau jumlah kuadrat *error* adalah hasil penjumlahan nilai kuadrat *error* pada lapisan *output* setiap data dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.6 sebagai berikut:

$$Sq_e = Sq_T - Sq_A \dots \dots \dots (2.6)$$

keterangan:

Sq_T : *Sum of Squares* total

Sq_A : *Sum of Squares* faktor ke A

4. Jumlah Kuadrat Rata-Rata (Sq_m)

Sum of Squares rata-rata atau jumlah kuadrat rata-rata adalah jumlah kuadrat dari nilai rata-rata data yang diperoleh dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.7 sebagai berikut:

$$Sq_m = n \times \hat{y}^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

keterangan:

n : jumlah percobaan

y : rata-rata data hasil percobaan

5. Jumlah Kuadrat Total Faktor (St)

Sum of Squares total faktor atau jumlah kuadrat total faktor adalah hasil penjumlahan nilai kuadrat dari semua faktor yang digunakan dan faktor *error*, dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.8 sebagai berikut:

$$S_t = Sq_A + Sq_e \dots\dots\dots (2.8)$$

keterangan:

Sq_m : jumlah kuadrat karena rata-rata

Sq_A : jumlah kuadrat karena faktor ke A

2.2.10. Persen Kontribusi

Persen kontribusi merupakan porsi masing-masing faktor dan atau interaksi faktor yang signifikan terhadap total varian yang diamati. Persen kontribusi ini merupakan fungsi dari *sum of squares* dari masing-masing faktor signifikan yang merupakan indikasi kekuatan sebuah faktor dan atau interaksi faktor. Rumus perhitungan persen kontribusi adalah sebagai berikut perhitungan 2.10:

$$Sq'_A = SS_A - (Mqe \times DfA) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\rho = \frac{Sq'_A}{S_t} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

keterangan:

Sq'_A : jumlah kuadrat murni untuk faktor A

Sq_A : *sum of squares* faktor A

Mqe : mean squares error

DfA : derajat kebebasan faktor A

S_t : *sum of squares* total faktor

ρ : persen kontribusi

Jika persen kontribusi *error* $\leq 15\%$ maka berarti tidak ada faktor berpengaruh yang diabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* $\geq 50\%$ artinya bahwa terdapat faktor berpengaruh diabaikan dan terdapat nilai *error* pada percobaan yang terlalu besar (Soejanto, 2009: 30).

2.2.11. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk menguji hasil kombinasi faktor optimum yang telah didapat pada analisis SNR. Pada eksperimen konfirmasi langkah-langkah pengujiannya adalah:

1. Merancang kondisi yang optimum untuk parameter proses dan level signifikan.
2. Melakukan *pooling-up* faktor yang tidak signifikan.
3. Menentukan tingkat kepercayaan (α) yang akan digunakan.
4. Menghitung rata-rata prediksi (μ) berdasarkan data hasil kombinasi parameter optimum yang diperoleh.
5. Menghitung Interval kepercayaan.

Setelah dilakukan langkah-langkah seperti di atas, selanjutnya dilakukan analisis. Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jika nilai hasil mendekati nilai prediksi dan berada pada kisaran nilai interval kepercayaan.

2.2.12. Uji Tarik

Pengujian tarik banyak dilakukan bertujuan yaitu melengkapi suatu informasi kekuatan dasar bahan dan digunakan untuk data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada pengujian tarik benda di uji dengan diberi beban gaya tarik sumbu yang secara terus bertambah, di waktu yang sama dilakukan pengamatan perpanjangan benda yang sedang di uji. Dalam pengujian menggunakan standar ASTM D638 tipe 1, untuk tegangan tarik dapat dihitung dengan rumus 2.11 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{f}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

keterangan:

- σ : Tegangan Tarik (MPa)
- f : Beban Tarik Maksimum (N)
- A : Luas Penampang (mm²)

Sesuai dengan standar ASTM D638 tipe I, perlu diperhatikan kecepatan saat pengujian tarik karena berpengaruh terhadap waktu dan besaran regangan yang terjadi. Adapun kecepatan uji tarik ini adalah 5 mm/min karena tingkat ketelitiannya akurat dan sesuai dengan standar ASTM D638 tipe I. Kecepatan yang berbeda berpengaruh pada saat pengujian terutama pada regangan yang ditunjukkan. Tabel 2.1 menunjukkan kecepatan pengujian tarik untuk setiap tipe dan klasifikasi standar ASTM D638.

Tabel 2.1. Kecepatan pengujian tarik ASTM (ASTM Internasional, 2002)

<i>Classification</i>	<i>Specimen Type</i>	<i>Speed of Testing, mm/min (in./min)</i>	<i>Nominal Strain Rate at Start of Test, mm/mm- min (in./in.-min)</i>
<i>Rigid and Semi rigid</i>	I, II, III <i>rods and tubes</i>	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10%	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10%	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25%	1
		100 (5) ± 25 %	10
		500 (20) ± 10 %	10