

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Abbas, (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh ketebalan *layer thickness* terhadap kekuatan iMPak pada produk 3D *printing* menggunakan bahan PLA. Variasi *layer thickness* yang digunakan yaitu (0.1, 0.15, 0.2, 0.25 and 0.3 mm) Parameter *default* yang digunakan pada penelitian ini meliputi Print speed: 100 mm/s, *infill density*: 80%, *Shell thickness*: 1.2 mm, dan *part orientation* 45°, standar pengujian menggunakan iso 180. Hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan iMPak terbesar didapat pada *layer thickness* 0.1 dengan nilai 16.7 (kg/m) dan kekuatan terendah dihasilkan pada parameter *layer thickness* 0.3 dengan nilai 13.9 (kg/m), waktu proses terlama dihasilkan pada *layer thickness* 0.1 dengan waktu 25 menit dan waktu tercepat dihasilkan pada *layer thickness* 0.3 dengan waktu proses selama 9 menit. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi *layer thickness* yang digunakan pada proses 3D *printing* memberikan pengaruh terhadap waktu proses dan kekuatan iMPak produk.

Mahardika, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap kekuatan tarik dan respon akurasi dimensi filament yang digunakan PLA menggunakan metode taguchi dan dianalisa menggunakan ANOVA. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi *nozzle temperature* 205 °C, 210 °C dan 215°C, *Extrusion width* dengan nilai 0,3 mm, 0,35 mm dan 0,4 mm, *infil density* yang digunakan 25%, 50%, dan 75%, dan *infil pattern* menggunakan pola *honeycomb*, *grid* dan *triangle*. Hasil penelitian ini menunjukkan, variasi yang digunakan pada parameter proses memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan respon akurasi dimensi, pada penelitian ini parameter yang paling berpengaruh yaitu *infil density* dan *nozzle temperature* dengan nilai sebesar 40,78% dan 14,17%. Parameter optimum ditunjukkan pada kombinasi *nozzle temperature* 215 °C, *extrusion width* 0,35 mm, *infil*

density 75% dan pola *honeycomb* yang menghasilkan spesimen dengan kekuatan tarik sebesar 30,52 MPa,

Lubis, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh proses 3D *printing* bahan polymer PLA dan ABS terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk. Pada penelitian ini variasi parameter yang digunakan pada proses *printing* yaitu ketebalan *layer* 0,10 mm, 0,20 mm dan 0,40 mm dengan variasi orientasi objek *vertical* dan *horizontal*, penelitian uji tarik menggunakan standard ASTM D 638-IV. Hasil penelitian ini menunjukkan pada material PLA dengan posisi *horizontal* memiliki kualitas dimensi yang paling baik dan jumlah kesalahan akurasi dimensi pada material ini tidak melebihi 1 mm pada proses *printing*. Material ABS dengan posisi objek *vertical* dan tebal *layer* 0,10 mm menghasilkan kekuatan tarik terkecil yaitu 8,62 MPa dan material PLA dengan posisi objek *horizontal* dan tebal 0,40 mm memiliki kekuatan tarik terbesar 35,57 MPa.

Menderes dkk, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh struktur pola pengisi 3D *printing* terhadap kekasaran permukaan dan sifat mekanik bahan PETG. Parameter yang diujikan pada penelitian ini meliputi *infill pattern* dengan variasi pola yaitu *rectilinear*, *triangular*, dan *honeycomb* dengan kerapatan pengisi sebesar 50% dan kecepatan cetak 50 mm/s. Kemudian dilakukan uji tarik, uji kekerasan, dan pengukuran kekasaran permukaan produk cetak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 48,57 MPa terdapat pada produk dengan pola pengisi *rectilinear* sedangkan nilai kekuatan tarik minimum sebesar 29,25 MPa terdapat pada pola pada produk dengan pola pengisi *triangular*. nilai kekerasan maksimum sebesar 67 SD terdapat pada produk dengan pola pengisi *triangular* sedangkan nilai kekerasan minimum sebesar 55,4 SD terdapat pada produk dengan pola pengisi *honeycomb*. Nilai kekasaran permukaan maksimum sebesar 14.024 mikron terdapat pada produk dengan pola pengisi *honeycomb* sedangkan nilai kekasaran permukaan minimum sebesar 10.384 mikron terdapat pada produk dengan pola pengisi *triangular*. Dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa

penggunaan pola pengisi *rectilinear* lebih sesuai daripada pola pengisi lainnya karena mampu menghasilkan kekuatan tarik tertinggi.

Sukindar dkk, (2017) melakukan penelitian tentang analisis pengaruh parameter yang digunakan terhadap kekuatan tarik menggunakan 3D *printing* dengan material PLA yang dikembangkan oleh perangkat lunak ripitier host, metode penelitian menggunakan metode taguchi dan analisis ANOVA. Pengaturan parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi *printing* temperatur 220 °C, Bed temperatur 45 °C, dan *Raster angle* 45°. Variasi parameter yang digunakan meliputi *Layer thickness* 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, *Sheel thickness* 0,4 mm, 0,8 mm dan 1,2 mm, *Printing speed* 30 mm/s, 60 mm/s dan 90 mm/s. Hasil penelitian ini menunjukkan, variasi yang digunakan pada parameter proses memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik. Berdasarkan hasil analisis ANOVA pada penelitian ini urutan parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu *sheel thickness*, *printing speed* dan *layer thickness* dengan nilai masing-masing dari ketiga parameter ini yaitu *sheel thickness* $p = 0,37$ *print speed* $p = 0.393$ dan *layer thickness* $p = 0.418$. Parameter optimum ditunjukkan pada kombinasi variasi parameter *Layer thickness* 0,3 mm *Sheel thickness* 1.2 mm dan *printing speed* 30 mm/s dengan nilai kekuatan tarik sebesar 33,06 MPa dan nilai kekuatan tarik terendah diperoleh pada- variasi parameter *Layer thickness* 0,4 mm *Sheel thickness* 0,4 mm dan *printing speed* 90 mm/s.

Budiono (2015) melakukan penelitian tentang pengujian kuat tarik terhadap hasil produk yang dicetak menggunakan 3D *printing* dan Pencetakan manual menggunakan standar ASTM D638-02 dengan variasi *Layer Heigh* menggunakan bahan ABS. penelitian ini menggunakan dua variasi *Layer Heigh* yaitu 0,2 mm dan 0,3 mm dan menggunakan lima spesimen replikasi. Hasil penelitian ini menunjukkan spesimen dengan kekuatan tarik terbesar diperoleh dengan menggunakan *Layer Height* 0,3 mm dengan nilai rata-rata 18.9152 MPa. Sedangkan pada pembuatan spesimen dengan pencetakan manual didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 11.920 MPa. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pembuatan produk

dengan pencetakan 3D printing pada material ABS akan menghasilkan kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan pencetakan secara manual.

Basavaraj, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter pada proses FDM berbasis 3D *printing* terhadap kekuatan tarik dan akurasi dimensi menggunakan bahan nylon. Pada penelitian ini variasi parameter yang digunakan yaitu *layer thickness* 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 *orientation angle* 0°, 15°, 30° dan *shell thickness* 0,4 mm, 0,8 mm 1,2 mm. Berdasarkan hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa *layer thickness* merupakan parameter yang paling berpengaruh pada respon kekuatan tarik dan akurasi dimensi, semakin kecil nilai *layer thickness* yang digunakan akan menghasilkan ikatan dengan kekuatan yang lebih baik. Parameter optimum pada nilai kekuatan tarik diperoleh pada kombinasi variasi parameter 0.1 mm *layer thickness*, 30° *orientation angle* and 1.2 mm *shell thickness* dengan nilai kekuatan tarik 28,48 MPa, pada akurasi dimensi variasi parameter terbaik didapat pada kombinasi *layer thickness* 0.1 mm, *orientation angle* 30° and *shell thickness* 0.8 mm.

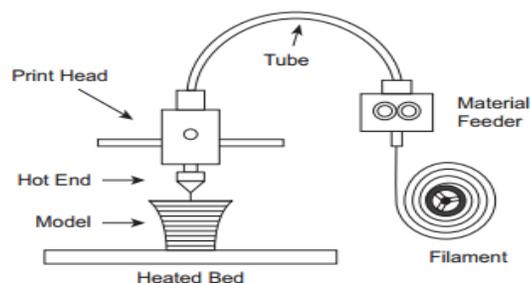
Christyan dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses pada *Mechanical Properties* 3D *printing* menggunakan bahan komposit ABS. pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji tarik dan uji lentur dengan menggunakan desain ASTM D638 dan ASTM D760. Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *layer thickness* dan *printing speed* dengan nilai variasi pada setiap parameter meliputi *layer thickness* 0.2 mm, 0.25 mm dan 0.3 mm, *printing speeds* 30 mm/s. 40 mm/s dan 50 mm/s. hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan tarik maksimal didapat pada variasi parameter dengan *layer thickness* 0,2 mm dan *printing speed* 30 mm/s menghasilkan kekuatan tarik 28,5 MPa dan nilai beban lentur 43 N. sedangkan nilai kekuatan tarik terendah didapat pada variasi parameter dengan *layer thickness* 0,3 mm dan *printing speed* 50 mm/s. Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menurunkan *printing speed* dan *layer thickness* pada proses *printing* akan meningkatkan nilai kekuatan tarik dan beban lentur pada spesimen komposit ABS.

Berdasarkan review beberapa penelitian diatas, belum dilakukan suatu penelitian tentang proses 3D *printing* menggunakan bahan PVA dengan parameter *layer heght* dan *feed rate*. Variasi parameter *layer heght* dan *feed rate* merupakan dua parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kecepatan waktu pembuatan produk menggunakan 3D *printing*. Oleh sebab itu, perlu dilakukan suatu penelitian tentang analisis pengaruh parameter proses 3D *printing* menggunakan bahan PVA dengan kombinasi parameter *Layer Height* dan *feed rate* terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Pada penelitian ini hasil uji tarik dan pengukuran dimensi akan dianalisis menggunakan metode Taguchi ANOVA.

2.1 Dasar Teori

2.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM adalah metode pembuatan prototipe dengan proses pelelehan material termoplastik menggunakan mekanisme ekstruder. Kemudian proses pembuatan dilakukan melalui proses lapis demi lapis (Tatsuaki, 2006). Material yang umumnya digunakan dalam FDM berbentuk Filament, Pada proses FDM material filamen yang telah diekstrusi akan mengeras secara cepat setelah dikeluarkan melewati *nozzle*. Ketebalan *layer (layer high)*- berkisar antara 0.1-0.5 mm atau menyesuaikan diameter *nozzle*. Lebar *layer (extrusion width)* bekisar antara 0.2 mm – 0.7 mm bergantung pada besar diameter *nozzle* dan tebal *layer*.



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

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

2.2.2. Bagian-bagian mesin 3D Printing

Beberapa komponen utama pada mesin 3D printing berbasis FDM diantaranya:

A. Filamen

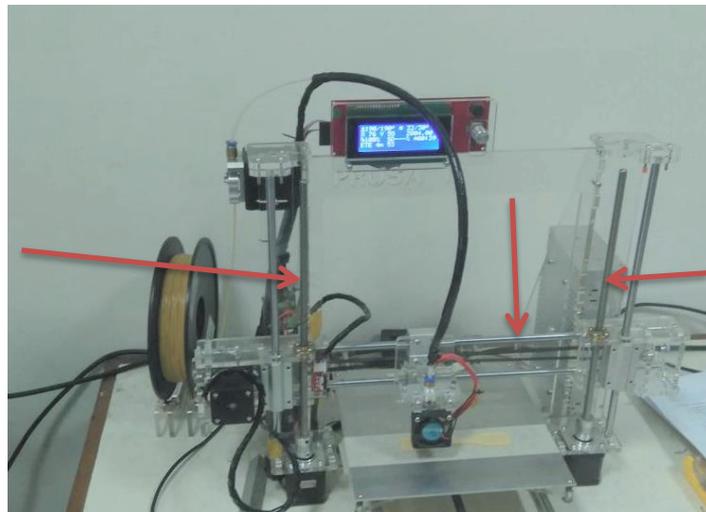
Filament adalah bahan yang dipanaskan sampai menjadi semi solid kemudian di ekstrusi untuk membuat suatu produk. Filamen ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2. Filamen

B. *Frame*

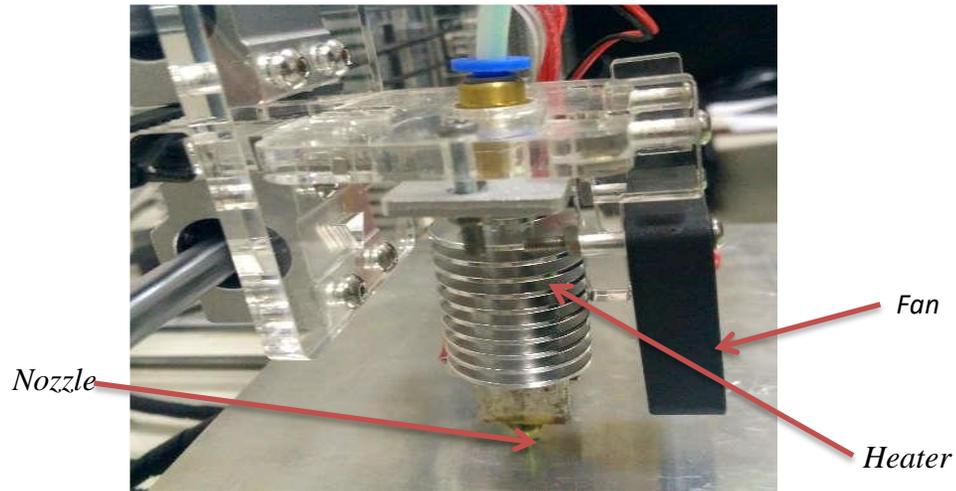
Frame adalah struktur yang berfungsi untuk menopang mesin 3D *printing*. *Frame* harus memiliki sifat yang kuat dan kaku agar hasil dari proses pencetakan 3D *printing* dapat terbentuk dengan akurat. *Frame* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Frame* 3D *printer*

C. *Print Head*

Print Head adalah komponen mesin 3D *printing* yang berfungsi untuk menggerakkan filament dan melelehkan filament. *Print Head* terdiri dari dua bagian yaitu *heater*, dan *fan*. *Print head* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



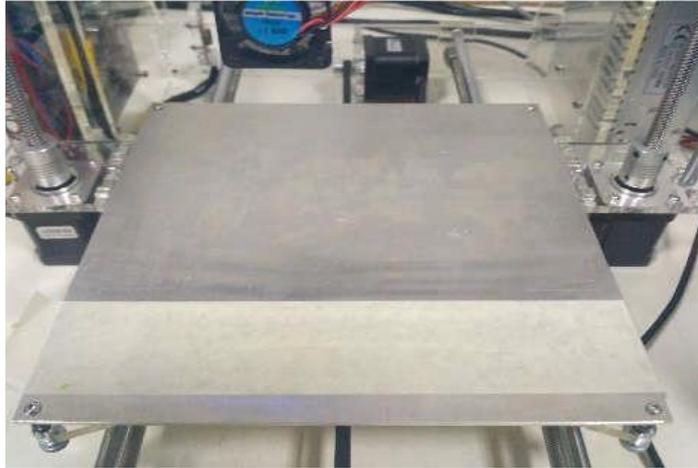
Gambar 2.4. *Print head*

D. *Nozzle*

Nozzle adalah komponen mesin 3D *printing* yang berfungsi untuk mengeluarkan filament setelah melewati *heater*, filament yang dikeluarkan melalui *nozzle* berbentuk semi solid. Kualitas *nozzle* dapat menentukan kemampuan filament untuk dicairkan dengan baik. *Nozzle* ditunjukkan pada Gambar 2.4

E. *Bed* atau *Build platform*

Bed atau *Build platform* adalah komponen 3D *printing* yang digunakan sebagai tempat untuk mencetak filament dan memiliki permukaan yang datar. *Bed* dapat dipanaskan untuk mencetak filament tertentu yang perlu dijaga temperaturnya selama proses cetak. *Bed* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Bed* atau *build platform*

F. *Bowden* *Bowden* adalah

Bowden adalah komponen *3D printing* yang berfungsi untuk mengatur filament saat ditarik atau didorong oleh motor. *Bowden* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



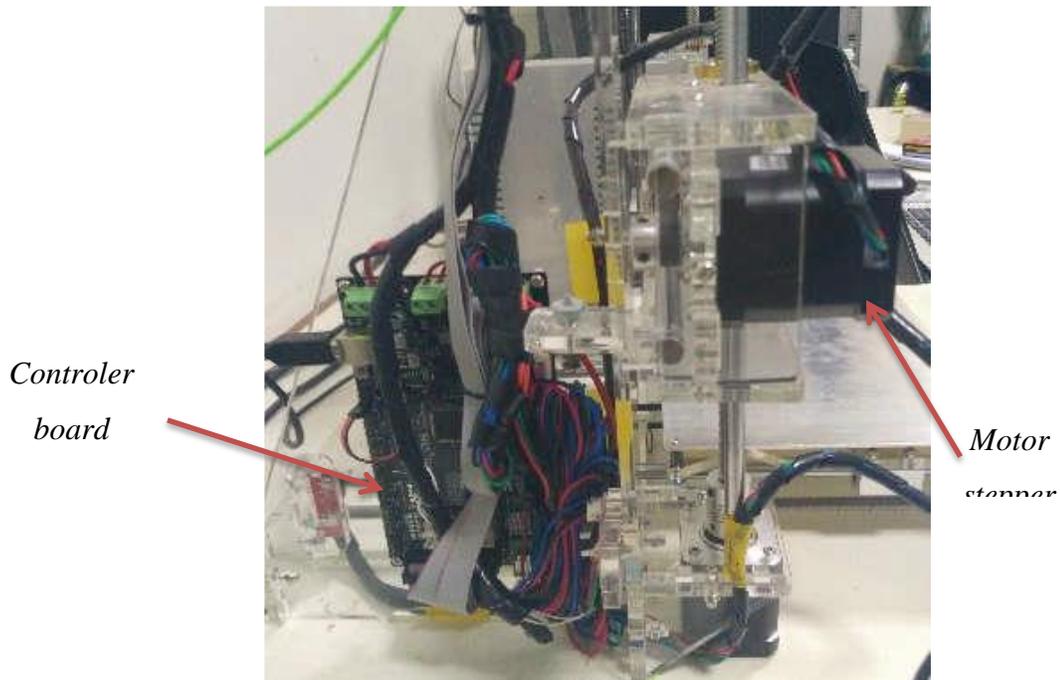
Gambar 2.6. *Bowden*

G. *Moving Parts*

Moving Parts adalah komponen 3D *printing* yang berupa kombinasi motor dan terpasang pada sekrup, *belt*, kabel, dan sistem lain yang menempel pada *pulley*. Motor untuk 3D *printing* biasanya memiliki 200 *step per revolution*. Setidaknya ada 5 *motor stepper* pada 3D *printing*. *Motor stepper* ditunjukkan pada Gambar 2.7.

H. *Electronics Control*

Electronics Control terdiri dari mikroprosesor dan sebuah *board* yang berfungsi sebagai kontrol untuk program pada mesin 3D *printing*. Sebagian besar 3D *printing* adalah sistem loop terbuka. *Electronics Control* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Controler Board*

2.2.3. Parameter Pada Mesin 3D *Printing*

Parameter adalah acuan yang digunakan untuk mengatur nilai pada mesin yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan pada saat proses. Pada mesin 3D *printing* menggunakan *software slicer* untuk memasukan parameter pada proses *printing* agar menghasilkan bahasa program berupa *G-code* yang

nantinya akan dibaca oleh mesin untuk proses pencetakan. Beberapa parameter yang terdapat pada mesin 3D *printing*, yaitu:

- A. *Nozzle temperature* adalah temperatur pada saat filamen diekstrusi untuk proses pencetakan.
- B. *Bed temperature* adalah temperatur pada papan dimana objek menempel saat proses pencetakan.
- C. *Layer thickness* adalah ketebalan pada setiap lapisan.
- D. *Extrusion width* adalah lebar pada material yang telah diekstrusi.
- E. *Perimeters* adalah jumlah minimum *shell* vertikal (dinding) yang akan dicetak.
- F. *Fill density* adalah tingkat kerapatan bagian inti dari objek yang akan dicetak. *Fill density* berkisar antara 0 sampai 100%.
- G. *Fill pattern* adalah pola/bentuk pengisian pada bagian inti objek. *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* umumnya berbentuk *line*, *rectilinear*, dan *honeycomb*.
- H. *Raster angle* adalah sudut pada pola *infill* (*infill pattern*).
- I. *Raft layers* digunakan untuk menambahkan lapisan tambahan di bawah model pada saat awal pencetakan yang berguna untuk menopang bagian *layer* yang mengambang.
- J. Kecepatan adalah kecepatan gerak pada saat pencetakan. Pada pengaturan *default* terdapat tiga pengaturan kecepatan yang perlu dipertimbangkan:
 - a. *Perimeters speed* adalah kecepatan *outline* pada model. Proses pencetakan 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 antar bagian yang ekstrusi.

- c. *Travel speed* adalah gerak perpindahan *nozzle* pada saat tidak melakukan proses pencetakan.
- K. *Brim width* berfungsi untuk menambahkan *perimeter* lebih ke lapisan pertama sebagai dasar, yang berguna untuk memberi area permukaan yang lebih banyak agar dapat menempel pada *bed* dan mengurangi adanya *warping* (sudut cetak terlepas dari *bed*).

2.2.4. *Slicing* (Pembuatan Lintasan)

Membuat file CAD adalah langkah pertama pada proses pencetakan 3D *printing*. Langkah selanjutnya adalah membentuk lintasan cetak yang disebut dengan *slicing*. Program *slicing* harus memperhitungkan karakteristik fisik *printer* dan model yang sedang dicetak. Langkah ini adalah untuk membuat *file G-code*. Proses *slicing* yang terdapat pada 3D *printing* perlu menentukan beberapa pengaturan seperti bahan, waktu, dan *temperature*, untuk mengekstrusi bahan, dan pengaturan lain yang terdapat pada masing-masing program *licer* (Hovart, 2014).

Pembuatan pola lintasan mesin *rapid prototyping* bertujuan mengatur pergerakan agar dapat dilakukan secara robotik pada bidang X, Y dan Z. 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 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 tepat

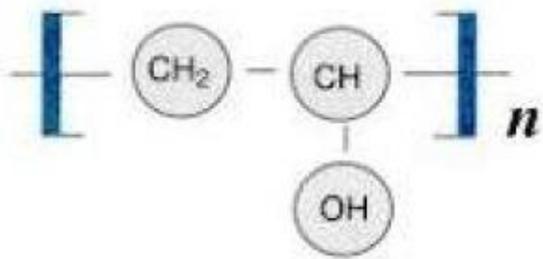
Model *slicing* ketebalan *layer* seragam adalah semua *layer* memiliki ketebalan yang sama sedangkan metode *slicing* ketebalan *layer adaptive*, ketebalan *layer* memiliki variasi berdasarkan kompleksitas geometri. Proses pembuatan lintasan pada

saat *slicing* dapat mempengaruhi kualitas kekuatan, kekakuan, permukaan dan waktu pada saat 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*. Program Slic3r menggunakan pengaturan dari pengguna sebagai perintah G-code yang akan dijalankan oleh *printing*. Slic3r dapat diakses sebagai program yang berdiri sendiri atau disematkan pada program lain seperti pada Repetier-Host.

2.2.5 Poli vinil alkohol (PVA)

Menurut Pamela, (2016) PVA (polivinil alkohol) adalah polimer sintetis yang dihasilkan melalui proses hidrolisis *Polyvynylacetate* yang mana *Polyvynylacetate* tersebut terbentuk dari penggabungan molekul-molekul dari monomer vinylacetate. PVA memiliki sifat larut dalam air, biodegradable, dapat membentuk film dengan baik, tidak beracun, dan *biocoMPatible*. Sifat tersebut berguna dalam banyak aplikasi seperti pelapis, perekat, sebagai komponen dari film kemasan yang fleksible dan biomedis PVA memiliki rumus kimia (C₂H₄O).



Gambar 2.8. struktur kimia PVA (Wiliastuti, 2006)

Polivinil alkohol juga banyak diaplikasikan sebagai bahan sekali pakai. Salah satu contoh pemanfaatannya adalah aplikasi PVA pada kantong laundry, kotoran hewan yang nantinya akan terurai setelah dibuang. Selain itu, PVA juga dapat digunakan pada material pembuatan bola golf, sehingga pegolf tidak perlu mencari bolanya

apabila bola tersebut jatuh ke air setelah dipukul karena bola tersebut akan terurai di alam. PVA dalam industri pangan digunakan sebagai bahan pelapis karena sifatnya kedap terhadap uap air. Polivinil alkohol mampu menjaga komponen aktif dan bahan lainnya yang terkandung di dalam bahan dari kontak dengan oksigen (Ogur 2005). Karakter fisik dari polivinil alkohol disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik umum dari *polivinil alcohol (sheet of E-sun)*

No	Karakteristik	Unit	Nilai
1	<i>Tensile Strength</i>	MPa	22
2	<i>Elongation break</i>	%	362
3	Titik leleh	°C	180-240
4	Titik didih	°C	228
5	Suhu penguraian	°C	180
6	Kerapatan volume	Kg/m ³	642

2.2.6 Design of Experience (DOE)

Design of experiment adalah suatu rancangan percobaan yang didefinisikan pada setiap langkah dan tindakan dengan benar untuk mengumpulkan informasi yang berhubungan dengan persoalan yang sedang diteliti. Tujuan proses desain eksperimen adalah sebagai langkah awal yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan supaya data yang semestinya dapat diperoleh. Pada desain percobaan informasi dikumpulkan sebanyak-banyaknya kemudian digunakan selama proses penelitian. Ada beberapa

jenis desain percobaan antara lain desain pra-eksperimental, desain percobaan dan desain eksperimental semu. Dalam penggunaan metode DOE proses desain rancangan dapat dibantu oleh software Minitab.

2.2.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas produk dan waktu dalam proses pembuatan produk yang secara bersamaan dapat menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin, (Soejanto, Irwan 2009). Metode Taguchi digunakan untuk mencapai suatu sasaran dengan menjadikan produk atau proses yang tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti material, tenaga kerja manusia, perlengkapan manufaktur dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

1. Merancang suatu produk/merancang proses sehingga memiliki kualitas kokoh terhadap kondisi lingkungan.
2. Merancang atau 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 kokoh dan komnsisten terhadap faktor yang sulit dikontrol. Metode Taguchi juga menghasilkan faktor mengenai respon yang optimal.

Metode Taguchi mempunyai kekurangan dari metode yang lain diantaranya 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 matriks khusus yang disebut dengan Matriks orthogonal. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin terhadap semua faktor yang memiliki pengaruh terhadap parameter (Soejanto, 2009)

2.2.8. SNR

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep SNR (*Signal to Noise ratio*) sebagai eksperimen yang melibatkan banyak faktor. SNR diformulasikan untuk memilih nilai level faktor yang bertujuan untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari suatu eksperimen. Oleh sebab itu, metode perhitungan SNR tergantung pada karakteristik kualitas, apakah respon semakin besar, semakin baik, semakin kecil semakin baik, atau tertuju pada nilai tertentu (Soejanto, 2009). Berikut adalah Rasio S/N berdasarkan 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, dan memiliki nilai non-negatif nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) yang mana pada nilai cacat atau *defect* yang diinginkan adalah nol. Sehingga SNR STB dapat dihitung dengan menggunakan 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, dan memiliki nilai non-negatif 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 menggunakan 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, dan memiliki nilai non-negatif 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 menggunakan 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 analisis yang dilakukan dengan menguraikan seluruh varians pada bagian-bagian yang diteliti. Tujuan penggunaan ANOVA adalah 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 tiap-tiap kolom. Rumus perhitungan jumlah kuadrat pada analisis varians adalah sebagai berikut:

1. Jumlah Kuadrat Total (S_{QT})

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 dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.5 sebagai berikut:

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

keterangan:

A_i : level ke i pada faktor A

n_{Ai} : 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 setiap lapisan *output* 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 telah 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*, dan 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 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 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
- Mqe : mean squares error
- Df_A : derajat kebebasan faktor A
- S_t : *sum of squares* total faktor
- ρ : persen kontribusi

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

2.11. Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985). Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik diperlukan untuk melakukan rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis.

Dalam pengujian menggunakan standar ASTM D638 tipe IV, 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 (mm)

2.12. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya, untuk Modulus Elastisitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

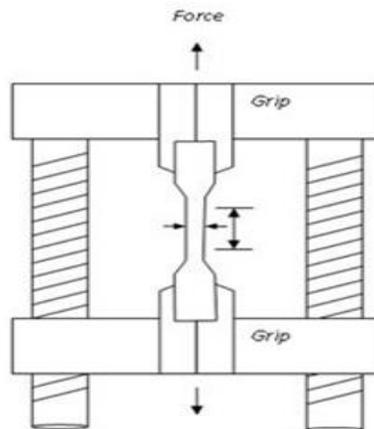
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Kekuatan tarik (MPa)

ε = Regangan.



Gambar 2.9 pemampatan material untuk *tensile strength*

(www.tensilestrengthindonesia.com)

Sesuai dengan standar ASTM D638 tipe IV, bahwa perlu diperhatikannya kecepatan saat pengujian tarik karena pengaruhnya terhadap besaran regangan dan waktu yang terjadi. Adapun kecepatan uji tarik ini adalah 50 mm/min sesuai dengan standar ASTM D638 tipe IV. Kecepatan yang berbeda berpengaruh pada saat pengujian terutama pada regangan yang ditunjukkan. Tabel 2.2 menunjukkan kecepatan pengujian tarik untuk setiap tipe berdasarkan standar ASTM D638.

Tabel 2.2. 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 rods and tubes	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