

BAB II

TINJAUAN PUSTAKAN DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tagami dkk, (2017) meneliti pengaruh variasi campuran ketebalan PVA terhadap penyebaran obat berbentuk tablet yang dicetak menggunakan *3D printing dual extruder*. Penelitian ini menggunakan *calcein* yang diasumsikan sebagai obat. Parameter yang digunakan print temperature 190 °C, *Bed temperature* 60 °C, *Print speed* 20 mm/s, *Fill density* 100 %, *Layer thickness* 0,2 mm. variasi ketebalan (*layer height*) yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0 mm, 1 mm dan 2 mm. Tablet yang telah dicetak kemudian diberi proses lanjutan yaitu diletakan pada wadah yang diisi dengan air 500 ml dengan suhu air dipertahankan pada temperatur 37 °C, kemudian dilakukan pengadukan pada tablet dengan kecepatan 250 rpm. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada ketebalan PVA 0 mm (tanpa campuran PVA) tablet dapat menyebar dalam waktu 15 menit, ketebalan PVA 1 mm membutuhkan waktu penyebaran 75 menit, dan pada ketebalan 2 mm membutuhkan waktu penyebaran terlalu lama yaitu 135 menit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketebalan (*layer height*) PVA yang digunakan pada pembuatan tablet memiliki pengaruh terhadap lama waktu penyebaran *calcein*, dimana semakin tebal PVA yang digunakan pada pencetakan tablet maka semakin cepat proses penyebaran *calcein*.

Mohanty dkk, (2015) melakukan penelitian pada pembuatan rekayasa sel tubuh manusia dengan *infill density* pada mould pada material PVA terhadap *porosity* dan *surface area*, pembuatan rekayasa sel menggunakan bahan *Polydimethylsiloxane* dan menggunakan bahan pengikat *2-hidroksietil metakrilat*. Pada mould pengaturan 3D Printing yang digunakan yaitu *infil patern Hexagonal*, *Nozzle temperature* 200 °C, *temperature bed* 40 °C dan *layer hight* 0,2 mm. variasi *infill density* yang digunakan yaitu 20%, 40%, 60% dan 80%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada *infill density* 20% memiliki *porosity* 20%, dan *surface area* 58 cm²/cm³, *infill density* 40% memiliki *porosity* 40% dan *surface area* 100 cm²/cm³, *infill density* 60% memiliki *porosity* 60%- dan *surface area* 120 cm²/cm³,

pada *infill density* 80% memiliki *porosity* 80% dan *surface area* 140 cm²/cm³. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar *infill density* yang digunakan pada mould maka akan memperbesar *porosity* dan *surface area* pada hasil pencetakan sel.

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* 1 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 dan sifat mekanik, 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, *infill density* 75% dan pola *honeycomb* yang menghasilkan specimen dengan kekuatan tarik sebesar 30,52 Mpa.

Tontowi dkk, (2017) meneliti tentang optimalisasi parameter pada proses 3D *printer* 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*. Dalam metode Taguchi digunakan *array ortogonal* (OA) L₉ dengan 3 level dan diasumsikan bahwa setiap parameter memiliki efek independen atau tidak ada efek interaksi satu sama lain.

Johansson, (2016) meneliti tentang pengaruh parameter proses 3D *printing* berbasis *Fused Filamen Fabrication* (FFF), penelitian dilakukan terhadap karakteristik sifat tarik & ikatan lapisan pada bahan ABS, PET dan PLA. Parameter yang digunakan yaitu *nozel temperature*, *flow rate*, *layer thickness*, dan *printing*

speed dengan nilai parameter yang berbeda-beda. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan pengujian kuat tarik dengan standar ISO 527-2 sebesar 1 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang jelas pada kekuatan tarik untuk ketiga bahan. Bahan yang paling kuat yaitu PLA dengan kekuatan tarik sebesar 51 MPa selanjutnya PET dengan kuat tarik sebesar 40 MPa dan ABS dengan kuat tarik terendah yaitu sebesar 34 MPa. Dari perilaku tegangan-regangan dapat disimpulkan bahwa bahan memiliki sifat elastisitas yang paling tinggi yaitu PLA, sedangkan PET memiliki sifat elastisitas yang paling rendah. Parameter *nozel temperature*, *layer thickness*, dan *printing speed* merupakan parameter proses yang berpengaruh terhadap ikatan lapisan. lapisan yang dicetak dengan *nozel temperature* 250°C tujuh kali lebih baik daripada spesimen yang dicetak pada temperatur 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 daripada *printing speed* 130 mm/s.

Christiyan dkk, (2016) meneliti pengaruh parameter proses 3D printing terhadap sifat mekanik dengan bahan ABS. Desain spesimen menggunakan Standar ASTM D638 dan ASTM D760 untuk melakukan uji tarik dan uji lentur. Penelitian ini menggunakan 2 yaitu ketebalan lapisan dengan variasi 0,2 mm, 0,25 mm, dan 0,3 mm dan kecepatan cetak dengan variasi 30 mm/s, 40mm/s, dan 50 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan spesimen 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 tarik 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. Dapat disimpulkan bahwa dengan menurunkan kecepatan cetak dan mengurangi ketebalan lapisan akan menghasilkan ikatan lapisan yang lebih baik serta menghasilkan kekuatan tarik dan beban lentur maksimum.

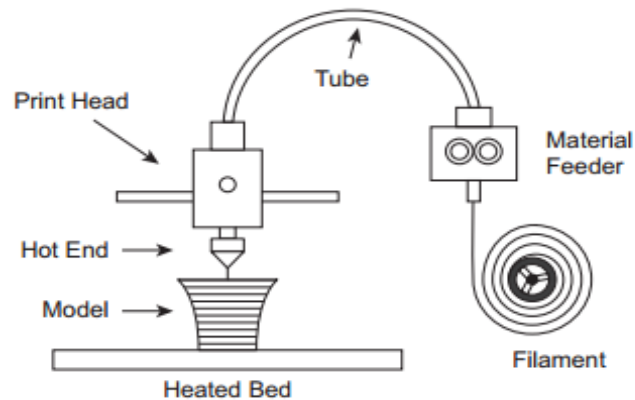
Berdasarkan tinjauan diatas, belum adanya penelitian tentang proses 3D *printing* menggunakan bahan PVA dengan parameter *extrusion width* dan *nozzle temperature*. Variasi parameter *extrusion width* dan *nozzle temperature* merupakan parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kecepatan waktu pembuatan produk menggunakan 3D *printing*. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian tentang analisis pengaruh parameter proses 3D *printing* menggunakan bahan PVA dengan kombinasi *extrusion width* dan *nozzle temperature* terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Pada penelitian ini hasil uji tarik dan pengukuran dimensi akan dianalisis menggunakan metode Taguchi ANOVA.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM) adalah salah satu rapid prototype yang memiliki metode yang berbeda dengan metode lainnya. Perbedaan tersebut terletak pada penggunaan nozzle yang di panaskan untuk melelehkan filament oleh heater tanpa menggunakan sinar laser pada proses fabrikasinya. Heater berfungsi untuk mengatur temperature pada nozzle sehingga dapat mengubah filament menjadi bahan semi solid agar mudah di ekstrusi. Ada beberapa material yang biasa digunakan untuk bahan baku filament yang digunakan, seperti *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polycarbonate* (PC), *Polyvinyl alcohol* (PVA), *nylon*, *polylactic acid* (PLA), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), dan *Investment Casting Wax*.

Proses pembentukan objek tiga dimensi yang digunakan dalam proses fabrikasi FDM adalah lapis demi lapis (*layer by layer*). Material filamen ekstrusi akan mengeras secara cepat setelah dikeluarkan melewati nozzle. Ketebalan layer (*layer high*) berkisar antara 0.1-0.5 mm atau menyesuaikan dengan diameter nozzle. Untuk lebar layer (*extrusion width*) berkisar 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)

Mesin *Rapid Prototyping* beroperasi dengan cara memanaskan material filament dengan *heating system* selanjutnya material akan keluar melalui *nozzle* dengan pengaturan laju *feeder* oleh *drive wheel* yang digerakkan oleh motor DC. Setelah *nozzle* mencapai *temperature* yang sesuai, *drive wheel* akan berputar (saklar *feeder* akan on pada saat program *G-code* berjalan) maka akan menyuplai dan menekan filament sehingga filament akan keluar melalui *nozzle*. *Nozzle* akan bergerak sesuai dengan program *G-code*. Setelah *layer* pertama terbentuk, *nozzle* bergerak ke atas untuk membentuk *layer* selanjutnya (Sumantri, 2012).

2.2.2 Bagian – Bagian Mesin 3D Printer

Menurut Hovart, (2014) ada beberapa komponen utama pada mesin 3D *printing* berbasis FDM. Berikut adalah bagian-bagian mesin 3D *printing*:

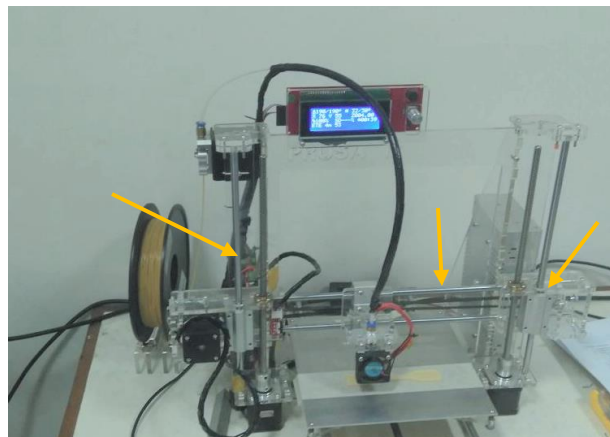
1. Filament



Gambar 2.2 Filamen

Filament adalah suatu material yang akan diekstrusi melalui *nozzle* yang berfungsi untuk bahan pembuatan suatu produk. Filament akan dipanaskan oleh *heater system* yang kemudian berubah menjadi bahan *semi-solid*.

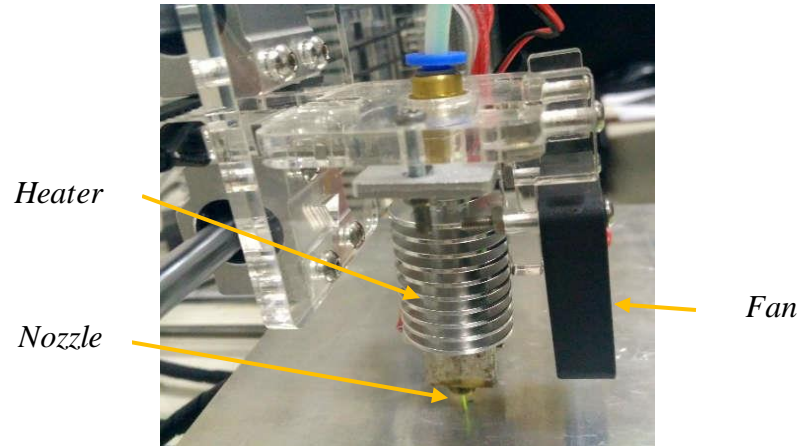
2. Frame



Gambar 2.3 Frame 3D printer

Frame adalah struktur utama untuk menopang mesin 3D *printing*. *Frame* harus kaku dan kokoh sehingga hasil cetakan akan terbentuk dengan akurat.

3. *Print head*



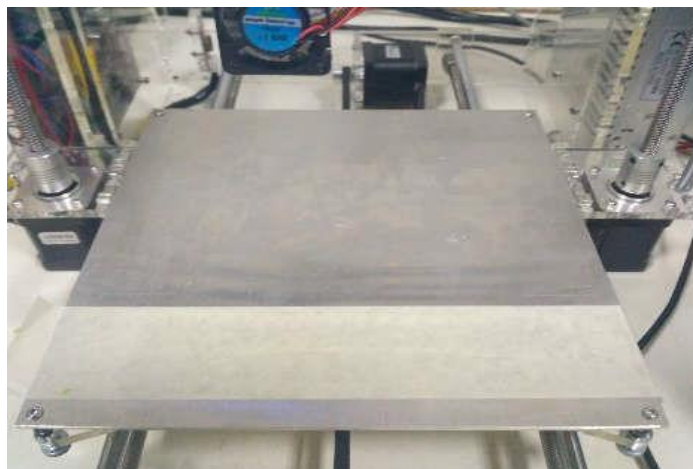
Gambar 2.4. Print head

Print head adalah bagian dari mesin 3D *printing* yang berfungsi untuk melelehkan dan mengekstrusi filament menjadi suatu produk. *Print head* sendiri terdiri dari *heater*, *nozzle* dan *fan*.

4. *Nozzle*

Nozzle adalah bagian yang berfungsi untuk mengekstrusi filament dalam bentuk *semi-solid* setelah filament di lelehkan oleh *heater*. *Nozzle* berkualitas baik dapat menyuplai bahan seperti polikarbonat, nilon, dan plastik suhu tinggi lainnya.

5. *Build platform* atau *Bed*



Gambar 2.5. *Bed* atau *build platform*

Build platform atau *Bed* adalah permukaan datar yang berfungsi untuk mencetak suatu produk. *Bed* biasanya akan di panaskan untuk menjaga temperatur pada objek tetap stabil.

6. *Bowden*



Gambar 2.6. *Bowden*

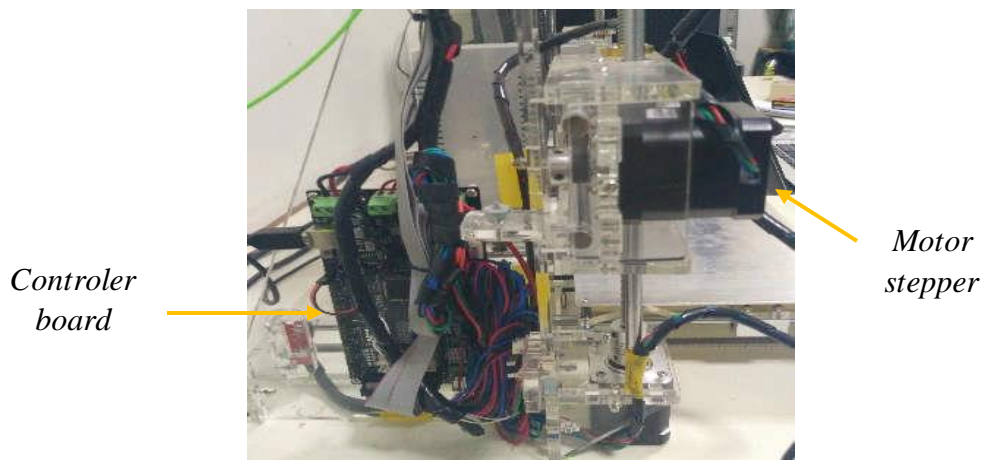
Bowden digerakan oleh dianamo DC yang berfungsi untuk mendorong dan menarik filament.

7. *Moving part*

Moving part adalah kombinasi dari *motor stepper* yang terpasang pada sekrup, kabel, *belt*, dan sistem lain yang menempel pada *pulley*. Motor untuk printer 3D biasanya memiliki 200 *step per revolusion*. Setidaknya ada 5 *motor stepper* pada 3D *printer*. *Motor stepper* ditunjukkan pada gambar 2.7.

8. *Electronics control*

Electronics control berfungsi untuk mengontrol pada program 3D *printing* yang terdiri dari mikroprosesor dan sebuah *board*. Sebagian besar *printer 3D* 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 merupakan salah satu acuan yang digunakan untuk mengatur nilai pada mesin agar mendapatkan hasil yang diinginkan pada saat proses. Pada mesin 3D *printing* parameter dimasukan melalui *software slicer* untuk menghasilkan bahasa program yaitu G-code, mesin akan membaca sebagai perintah untuk mencetak. Parameter yang terdapat pada mesin 3D *printing* yaitu:

1. *Layer height* adalah ketebalan pada setiap lapisan
2. *Extrusion width* adalah lebar material yang telah diekstrusi melalui *nozzle*. Besarnilai *extrusion width* harus lebih besar dari pada *Layer height*.
3. *Nozzle temperature* adalah temperatur yang berfungsi untuk memanaskan filament menjadi bahan *semi-solid*.
4. *Perimeters* adalah jumlah minimum *shell* vertical (dinding) yang akan di cetak.
5. *Fill pattern* adalah pola pengisian inti objek. Pengisian inti objek hanya dapat dilakukan apabila *fill density* kurang dari 100%. Pola *infill* pada umumnya berbentuk *rectilinier*, *line*, dan *honeycomb*.
6. *Fill density* adalah nilai kerapatan pengisian pada bagian inti objek. Nilai dari *fill density* berkisar 0-100%.
7. *Bed temperature* adalah temperatur yang digunakan pada papan/plat yang berfungsi sebagai tempat menempelnya material hasil dari ekstrusi.

8. *Raster angle* adalah sudut pola dari *infill*.
9. *Raft layers* adalah lapisan tambahan yang berfungsi untuk menopang layer yang mengambang pada saat awal pencetakan.
10. *Brim width* adalah lapisan yang berfungsi untuk menambahkan *perimeter* lebih ke lapisan pertama sebagai dasar. *Brim width* berguna untuk memberi area permukaan lebih agar objek dapat menempel pada *bed* dan menjaga sudut cetak tidak terlepas dari permukaan *bed*.
11. Kecepatan adalah kecepatan pada saat proses pencetakan suatu objek. Kecepatan pada pengaturan *default* memiliki tiga kecepatan yang harus diperhatikan, meliputi:
 - a. *Perimeters speed* adalah kecepatan *outline* pada pencetakan suatu objek. Jika proses pencetakan *outline* lebih lambat maka akan menimbulkan sedikitnya sisa dari hasil ekstrusi.
 - b. *Infill speed* adalah kecepatan ekstrusi pada inti objek. Penggunaan kecepatan tinggi akan membuat hasil ekstrusi menjadi tipis sehingga mempengaruhi ikatan antara bagian yang diekstrusi.
 - c. *Travel speed* adalah kecepatan perpindahangerak *nozzle* pada saat tidak *nozzle* tidak mencetak.

2.2.4 Slicing (Pembuatan Lintasan)

Langkah pertama dalam proses pencetakan 3D adalah membuat file CAD. Selanjutnya membuat lintasan cetak yang di sebut *slicing*. Pembuatan program *slicing* harus memperhitungkan karakteristik fisik dari *printer* dan geometri model yang akan dicetak. Langkah tersebut berfungsi untuk membuat *file* G-code. Proses *slicing* yang terdapat pada 3D *printer* perlu menentukan sejumlah pengaturan seperti bahan, *temperature*, waktu untuk mengekstrusi bahan, dan pengaturan lain yang terdapat pada masing-masing program *slicer* (Hovart, 2014: 47).

Pola lintasan mesin *rapid prototyping* dibuat agar dapat digerakkan secara robotik pada bidang XYZ. Proses-proses ini membutuhkan pengaturan dalam pembuatan lintasan yang berbeda. Menurut Sumentri, (2012) pendekatan-pendekatan pengaturan untuk proses *slicing* dikategorikan ke dalam empat kelompok meliputi:

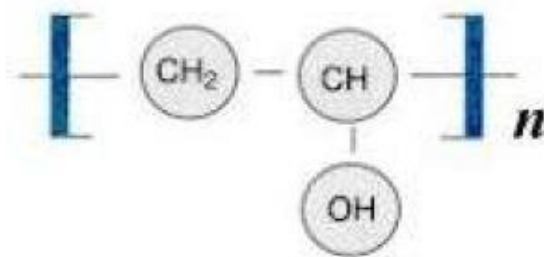
1. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan yang seragam (*uniform*)
2. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan *layer adaptive*
3. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan adaptive
4. Metode *slicing* dengan perhitungan kontur yang tepat

Penggunaan model *slicing* ketebalan *layer* seragam akan membuat *layer* memiliki ketebalan yang sama, sedangkan penggunaan metode *slicing* ketebalan *layer adaptive* akan membuat ketebalan *layer* bervariasi menurut kompleksitas geometrinya. Pembuatan lintasan pada *slicing* dapat mempengaruhi kualitas permukaan, kekuatan, dan waktu dari pembuatan suatu produk.

Dalam penelitian ini menggunakan salah satu program yang sudah *open source* dalam penggunaannya yaitu Slic3r. Program Slic3r adalah program yang dapat di unduh secara gratis yang berguna untuk melakukan pengaturan pada proses *slicing*. G-code yang akan menjalankan *printer* akan berjalan berdasarkan pengaturan pengguna pada saat pengaturan pada Slic3r. Slic3r dapat diakses baik sebagai program yang berdiri sendiri atau disematkan pada program lain (*host*) seperti pada Repetier-Host.

2.2.5 Polivinil alkohol (PVA)

Menurut Wiliastuti, (2006) PVA adalah bahan yang larut dalam air yang dihasilkan melalui proses polimerisasi vinil asetat menjadi polivinil asetat (PVAc) kemudian diikuti dengan hidrolisis PVAc menjadi PVA, PVA memiliki rumus kimia (C₂H₄O). Kualitas PVA yang baik ditentukan oleh derajat hidrolisis yang tinggi, yaitu di atas 98.5%. Derajat hidrolisis dan kandungan asetat dalam polimer akan berpengaruh terhadap sifat-sifat kimia, pengaruh tersebut akan berpengaruh pada tingkat kelarutan dan kristalinitas PVA, semakin tinggi derajat hidrolisis maka kelarutannya akan semakin rendah. PVA dengan derajat hidrolisis 98.5% atau lebih dapat dilarutkan dalam air pada suhu 70 °C.



Gambar 2.8. Struktur kimia PVA (Wiliastuti, 2006)

Polivinil alkohol banyak diaplikasikan sebagai bahan sekali pakai. Salah satu manfaat yang terdapat pada pemanfaatan PVA adalah sebagai pada kantong kotoran hewan yang nantinya akan terurai setelah dibuang. PVA juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan bola golf, sehingga bola golf yang jatuh ke air akan terurai dan tidak mencemari lingkungan. Penggunaan PVA pada dunia industri pangan digunakan sebagai bahan pelapis karena 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 Karakteristik fisik polivinil alkohol.

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 Desain of Experiment (DOE)

Desain of Experiment adalah suatu rancangan percobaan yang tiap langkahnya akan didefinisikan sehingga informasi yang berhubungan dengan persoalan yang sedang di teliti dapat dikumpulkan. Desain eksperimen adalah langkah yang perlu dilakukan sebelum eksperimen dilakukan agar data yang dibolehkan

memenuhi data yang semestinya. Tujuan dari desain percobaan berfungsi untuk mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dalam melakukan dalam penelitian untuk memecahkan suatu persoalan. Desain percobaan terdiri dari berbagai jenis antara lain:

1. Desain pra eksperimental

Desain pra eksperimental adalah desain percobaan yang tidak mencukupi syarat-syarat dari suatu desain percobaan yang sebenarnya.

2. Desain eksperimental semu

Desain eksperimental semu adalah desain percobaan yang belum sepenuhnya mempunyai sifat-sifat suatu percobaan sebenarnya. Desain percobaan ini mempunyai banyak kekurangan baik dalam masalah *random*, replikasi ataupun masalah control internal. Karena kekurangan-kekurangan ini penelitian harus mempunyai cukup syarat untuk disebut percobaan yang sebenarnya.

3. Desain percobaan

Desain percobaan sebenarnya adalah desain dimana aturan untuk menempatkan perlakuan pada *unit* percobaan dibuat sedemikian rupa. Sehingga memungkinkan membuat perbandingan antar kelompok dengan validitas tinggi dan dapat mengontrol sumber-sumber variasi pada percobaan tersebut. Rancangan percobaan dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi. Metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi pengaturan parameter proses yang optimal dengan bantuan *software Minitab*.

2.2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dan dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber-sumber seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti misalnya 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 dan jumlah. 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 S/N ratio

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep S/N ratio (*Signal to Noise ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Rasio S/N diformulasikan untuk memilih nilai level faktor, untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Oleh karena itu metode perhitungan rasio S/N 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 the best* (STB)

Smaller is the best 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 rasio S/N STB dapat dihitung dengan rumus :

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

Keterangan :

n : jumlah pengulangan dari suatu percobaan

yi : data pengamatan ke i

2. *Larger is the best* (LTB)

Larger is the best 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 rasio S/N LTB dapat dihitung dengan rumus :

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

Keterangan :

n : jumlah pengulangan dari suatu percobaan

yi : data pengamatan ke i

3. *Nominal is the best* (NTB)

Nominal is 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 rasio S/N NTB dapat dihitung dengan rumus :

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

Keterangan :

μ : *mean*

σ : nilai 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 matriks orthogonal dilakukan dengan perhitungan yang berdasarkan jumlah kuadrat (*sum of square*) pada masing 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:

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

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:

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

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 lapisan *output* setiap data dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

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

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:

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

keterangan:

n : jumlah percobaan

y^2 : rata-rata data hasil percobaan

5. Jumlah Kuadrat Total Faktor (S_t)

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:

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

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:

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

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

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 Kontribusi

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 diatas, 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 IV, untuk tegangan tarik dapat dihitung dengan rumus:

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

keterangan:

- σ : Tegangan Tarik (MPa)
- F : Beban Tarik Maksimum (N)
- A : Luas Penampang (mm^2)

Sesuai dengan standar ASTM D638 tipe IV, bahwa perlu diperhatikannya kecepatan saat pengujian tarik karena terpengaruhnya 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 IV. 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>I, II, III rods and tubes</i>	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ±10%	1
		500 (20) ± 10 %	10
	<i>IV</i>	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ±10%	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	<i>V</i>	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25%	1
		100 (5) ± 25 %	10
		500 (20) ± 10 %	10