

**OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D
PRINTING FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK
FILAMENT PLA FOOD GRADE MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI L₂₇**

*Optimization Of Process Parameters In FDM 3d Printing Towards The Strength
Of Filament PLA Food Grade Using Taguchi L₂₇ Method*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :
Muhammad Habib Bari
NPM : 1041751



OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D *PRINTING*
FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK *FILAMENT PLA*
FOOD GRADE MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI L_{27}

Penulis :
Muhammad Habib Bari
NPM : 1041751

Penguji :

1. Ketua : Pristiansyah S,ST.,M.Eng
2. Anggota : Zaldy Kurniawan, S.ST., M.T
3. Anggota : Angga Sateria, S.S.T., M.T

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 24 Februari 2021
Dan disahkan sesuai dengan ketentuan.

Pembimbing Utama,

Pristiansyah S,ST.,M.Eng
NIDN 0024018802

Pembimbing Pendamping,

Fajar Aswin, S.ST.,M.Sc
NIDN 0216038401

Ketua Jurusan,
Pristiansyah S,ST.,M.Eng
NIDN 0024018802

ABSTRAK

Salah satu teknologi yang sedang berkembang yaitu teknologi 3D Printer dengan pembuatan produk dilakukan dengan mudah, cepat dan mendetail. FDM merupakan teknik 3D Printing untuk mencetak produk menggunakan filament sebagai material. Penelitian ini bertujuan menggali informasi mengenai parameter optimum untuk menghasilkan objek cetak FDM dengan kuat tarik tertinggi menggunakan *filament* yaitu *Polylactic Acid (PLA) food grade*.

Metode Taguchi merupakan metodologi dalam bidang teknik untuk memperbaiki proses, karakteristik benda kerja dan dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Metode tersebut berprinsip terhadap kekuatan tarik *filament* PLA *food grade* dengan menganalisa nilai optimum kekuatan tarik menggunakan *filament* PLA *food grade*. Dalam kajian ini desain eksperimen yang digunakan adalah desain Taguchi dengan rancangan desain Orthogonal Array L_{27} , analisis *Signal to Noise Ratio* SNR untuk mengetahui parameter yang optimum pada kekuatan tarik *filament* PLA *food grade*.

Parameter proses digunakan dalam penelitian ini yaitu Suhu Ekstruder, Suhu meja, Ketebalan lapisan, Bentuk *infill*, Kecepatan deposisi. Hasil penelitian menunjukkan Nilai parameter proses optimal untuk uji tarik menggunakan *filament* PLA *food grade* yaitu Suhu Ekstruder (190°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Bentuk *Infill* (*Triangle*), dan Kecepatan Deposisi (60 mm/s). Kemudian parameter proses yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu Suhu meja, Ketebalan Lapisan, Bentuk *infill*, Kecepatan Deposisi, dan Suhu Ekstruder.

Kata Kunci: 3D Printing, *Fused Deposition Modelling* (FDM), PLA, uji tarik, metode Taguchi.

ABSTRACT

The developed 3D technology of the printer with the manufacture of the product is simple, fast and detailed. FDM is a 3D printing technique for printing products using filament as a material. The study aims to dig up information regarding the optimum parameters to produce the highest pitch FDM print object using a file called Polylactic Acid (PLA) food grade.

The taguchi method is the technical method for improving process, characteristic of objects and can reduce costs and resources to a minimum. The method is principled in the PLA food filament force by analyzing the value of optimum attraction using a PLA food grade filament. In this study the design of the experiment used is the taguchi design with the design Orthogonal Array L₂₇, the Signal to Noise Ratio SNR to know the optimum parameters on the filament PLA food grade.

The process parameters used in this study were extruder temperature, table temperature, layer thickness, infill shape, deposition rate. The results showed the optimal process parameter values for the tensile test using food grade PLA filaments, namely Temperature Nozzle (190 ° C), Temperature Bed (60 ° C), Layer Thickness (0.2 mm), Infill Pattern (Triangle), and Print Speed. (60 mm / s). Then the most influential process parameters are Temperature Bed, layer thickness, infill Pattern, Print Speed, and Temperature Nozzle.

Keyword: *3d Printing, Fused Deposition Modelling (FDM), PLA, Tensile Stength, Taguchi Method.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan penulis limpahan rahmat untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang **“Optimasi Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi L₂₇”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua yaitu Bapak Mohammadong dan Ibu Siti Fatimah, yang selalu mendoakan dan memberi dorongan motivasi selama ini,
3. Bpk Pristiansyah S,ST,.M.Eng, selaku dosen pembimbing utama Tugas Akhir, serta sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin POLMAN BABEL, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis.
4. Bpk Fajar Aswin, S.ST.,M.Sc. selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis,
5. Bpk Yuliyanto, S.ST., M.T, selaku Kepala Lab Material yang telah meminjamkan alat uji tarik kepada penulis.
6. Dosen – dosen Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, yang memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan D IV,
7. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Namun, penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi semua orang.

Sungailiat, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Batasan Masalah	I-2
1.5 Sistematika Laporan	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Mesin Printer 3D	II-1
2.1.1 Pengertian 3D <i>Printing</i>	II-1
2.1.2 Mekanisme Proses 3D <i>Printing</i>	II-2
2.2 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)	II-2
2.2.1 Proses FDM	II-3
2.2.2 Parameter Proses FDM	II-4
2.3 Uji Tarik	II-4
2.3.1 Pengertian Uji Tarik	II-4
2.3.2 Kekuatan Tarik	II-9
2.4 <i>Filament PLA (Polylactic Acid)</i>	II-12
2.5 Metode Taguchi	II-13
2.5.1 Pengertian Metode Taguchi	II-13
2.5.2 Langkah – langkah Metode Taguchi	II-14
2.5.3 Tahap Eksperimen	II-14

2.5.3.1 Tahap Perencanaan	II-14
2.5.3.2 Tahap Pelaksanaan	II-16
2.5.3.3 Tahap Analisis	II-17
2.6 Uji Konfirmasi	II-19

BAB III METODE PENYELESAIAN

3.1 Diagram Penelitian	III-1
3.2 Studi Literatur	III-2
3.3 Persiapan Alat dan Bahan	III-3
3.3.1 Peralatan Penelitian	III-3
3.3.2 Bahan Penelitian	III-4
3.4 Rancangan Percobaan	III-5
3.4.1 Parameter Respon	III-5
3.4.2 Parameter Proses	III-5
3.4.3 Parameter Konstan	III-6
3.5 Pemilihan Matriks Orthogonal	III-6
3.6 Proses Percobaan	III-9
3.6.1 Persiapan Penelitian	III-9
3.6.2 Desain Eksperimen	III-9
3.6.3 Slicing data CAD	III-9
3.6.4 Melakukan Pembuatan Spesimen	III-10
3.6.5 Melakukan Uji Tarik.....	III-10
3.7 Pengambilan Data Hasil Percobaan	III-11
3.8 Metode Analisis	III-11

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan	IV-1
4.2 Perhitungan Rasio S/N	IV-2
4.3 Analisis Varian Rasio S/N	IV-7

4.4 Persen Kontribusi	IV-14
-----------------------------	-------

4.5 Uji Konfirmasi	IV-16
--------------------------	-------

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	V-1
----------------------	-----

5.2 Saran	V-2
-----------------	-----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran 1	xi
------------------	----

Lampiran 2	xii
------------------	-----

Lampiran 3	xiii
------------------	------

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
2.1 Spesifikasi <i>Filament PLA food grade</i>	II-13
3.1 Nilai Parameter dan Level	III-6
3.2 <i>Orthogonal Array L₂₇</i>	III-7
3.3 Desain Eksperimen	III-8
4.1 Hasil Uji Tarik	IV-1
4.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk Respon	IV-5
4.3 Respon Rasio S/N Parameter	IV-6
4.4 Hasil Anova	IV-8
4.5 Keputusan Uji	IV-8
4.6 Persen Kontribusi Rasio S/N.....	IV-15
4.7 Kombinasi Awal	IV-16
4.8 Kombinasi Optimal	IV-16

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
2.1 Mesin 3D <i>Printing</i>	II-1
2.2 Ilustrasi Proses FDM	II-3
2.3 Mesin Uji Tarik dilengkapi ukuran spesimen standar	II-5
2.4 Standar ukuran ASTM D 638 tipe IV	II-6
2.5 Contoh kurva uji tarik	II-7
2.6 <i>Filament</i> PLA	II-12
3.1 Diagram Alir	III-1
3.2 Mesin 3D <i>Printing</i> REXYZ A1	III-3
3.3 Laptop	III-3
3.4 Alat Uji Tarik	III-4
3.5 <i>Filament</i> PLA <i>food grade</i>	III-5
3.6 <i>Taguchi</i> Desain	III-7
3.7 ASTM D 638 tipe IV	III-9
3.8 Proses pencetakan spesimen	III-10
3.9 Proses Uji Tarik	III-10
4.1 S/N Ratio.....	IV-7

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini salah satu teknologi yang sedang berkembang yaitu teknologi 3D Printer dengan mesin untuk pembuatan produk biasa dilakukan dengan mudah, cepat dan mendetail. 3D printer ini bisa mencetak, *modelling*, purwarupa/pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam 3 dimensi sehingga teknologi ini menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin lama semakin mutakhir (Putra, et al., 2018).

Salah satu metode yang cukup populer dalam pembuatan 3D printing yaitu *Fused Deposition Modeling* (FDM) dimana produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi untuk dapat bersaing dengan metode manufaktur konvensional (*injection moulding*). Hingga saat ini, metode FDM telah digunakan secara luas pada proses 3D printing karena penggunaan yang mudah, biayanya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih mudah dalam proses pengembangan produk, *prototyping* dan manufaktur.

Di lain sisi, produk yang dihasilkan menggunakan metode 3D printing FDM lazimnya memiliki sifat mekanik yang tidak lebih baik jika dibandingkan dengan proses *injection moulding* karena terdapat titik lemah diantara lapis – lapisnya. Serta penyusutan yang dialami oleh material termoplastik ketika proses pendinginan (Pambudi, 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Andriyansyah, et al., 2018), menggunakan parameter proses 4 faktor dan 3 level dengan desain faktorial L₉ mendapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi 18,7 MPa, untuk nilai kuat Tarik terendah 16,1 MPa, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Pambudi, 2017), menggunakan internal geometri *triangle* dan *honeycomb* mendapatkan hasil

kekuatan Tarik lebih baik pada *triangle* yang berukuran 9 mm dari pada *honeycomb* yang berukuran 2 mm. Sedangkan penelitian yang dilakukan (Setiawan, 2017) dengan parameter *setting A* yaitu *Print speed* 80 mm/s, *layer height* 0,15 mm dan temperatur ekstruder 220°C menghasilkan angka uji tarik spesimen tertinggi sebesar 27,81 MPa sehingga dapat diketahui kecepatan *print speed* mempengaruhi kekuatan tarik spesimen. Dengan penggabungan parameter dari hasil penelitian tersebut maka penulis menggunakan 5 faktor dan 3 level dengan faktorial L_{27} , maka hasil kekuatan tarik yang didapatkan akan memungkinkan meningkat dan lebih akurat. Dengan latar belakang ini maka mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul : **Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Kekuatan Tarik Filament PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi L_{27} .**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah di dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaturan nilai parameter optimum kekuatan tarik menggunakan *filament PLA food grade* dengan metode Taguchi?
2. Bagaimana menentukan parameter yang paling berpengaruh?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan perumusan masalah adalah

1. Untuk mengetahui nilai parameter optimum kekuatan tarik menggunakan *filament PLA food grade* dengan metode Taguchi.
2. Untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis mesin 3D *printing* yang digunakan yaitu mesin 3D Printing REXYZ A1 180×180×180 mm.

2. *Filament* yang digunakan adalah *filament* PLA *food grade* R3 Maker diameter 1,75 mm.
3. Parameter yang telah digunakan yaitu Suhu *Nozzle* (°C), Suhu meja (°C), Ketebalan lapisan (mm), Bentuk *infill*, Kecepatan *Print* (mm/s).
4. Pembuatan spesimen menggunakan standar ASTM D638 Tipe IV.
5. Proses uji tarik menggunakan alat uji tarik Zwick/Roell Z020.

1.5 Sistematika Laporan

Pembuatan sistematika laporan ini terdiri dari 5 bab pembahasan. Dalam hal ini akan dibahas secara terperinci pada sub-sub bab pada bawah ini, beserta keterangan dari sub-sub bab tersebut.

BAB I . Pendahuluan

Pada bab ini akan di deskripsikan tentang proses penelitian ini, yaitu pembuatan latar belakang penelitian, perumusan masalah dalam penelitian , tujuan penelitian, Batasan masalah penelitian serta sistematika penulisan laporan penelitian ini.

BAB II Tinjauan Pustaka

Untuk pembahasan pada bab ini akan di uraikan teori-teori dasar sebagai acuan dan pendukung dalam penelitian ini.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini terdapat uraian rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah, diagram alir, bahan atau materi TA, alat yang di pergunakan, dan proses penelitian.

BAB IV Proses, Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini menjelaskan tentang uraian hasil yang didapatkan setelah pengambilan data dan pembahasan mengenai data serta mengemukakan dan menganalisis data hasil penelitian

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisikan kesimpulan penelitian yang telah di lakukan serta saran guna memperbaiki penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin Printer 3D

2.1.1 Pengertian 3D *Printing*



Gambar 2.1 Mesin 3D *Printing*

Printer 3D adalah sebuah printer yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Melihat prospek ke depan printer 3D dan perkembangannya, aplikasi printer ini sudah mampu merambah ke segala lini. Saat ini terus dikembangkan bahan filament yang mencapai titik didih tinggi, dengan kekuatan yang ekstra kuat. Kalau itu sudah tercapai, aplikasinya bisa lebih banyak lagi (Setiawan, 2019).

Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan salah satu metode yang cukup populer dalam AM (*Additive Manufacturing*) dimana produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi untuk dapat bersaing dengan metode manufaktur konvensional (*injection moulding*). Aplikasi FDM sangat luas meliputi bidang medis, desain cetakan, hingga otomotif dan *aeronautics*. Hingga saat ini, metode FDM telah digunakan secara luas pada proses 3D *printing* karena penggunaannya yang mudah, biayanya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih mudah dalam proses pengembangan produk, *prototyping* dan manufaktur (Andriyansyah, et al., 2018).

2.1.2 Mekanisme Proses 3D Printing

1. Modelling Objek 3D

Model 3D *printing* ini dapat diciptakan menggunakan *software* khusus desain 3D. *Software* tersebut juga harus didukung oleh printer yang akan digunakan. *Software* tersebut antara lain *Tinkercad*, *solidworks*, *Catia*, *Delcam* dan lainnya. Untuk mendapatkan file CAD ini pengguna bisa menggunakan *scanner* 3D.

2. Proses Pencetakan

Setelah *file* desain 3D siap, selanjutnya menggunakan printer 3D. lamanya proses pencetakan tergantung pada dimensi model. Tahapan yang dilakukan adalah mesin printer membaca desain 3D selanjutnya menyusun lapisan berturut-turut sehingga menjadi model virtual yang otomatis digabungkan agar membentuk sebuah objek lengkap yang utuh.

3. Proses *Finishing*

Di tahap akhir ini, pengguna dapat menyempurnakan bagian yang dianggap kompleks yang mungkin mengalami perbedaan ukuran (*over-sized*). Teknik yang bertujuan menyempurnakan ini juga bisa bertujuan menyempurnakan ini juga bisa dilakukan dengan bahan yang berbeda (*multiple material*) dan warna berbeda (*multiple color*).

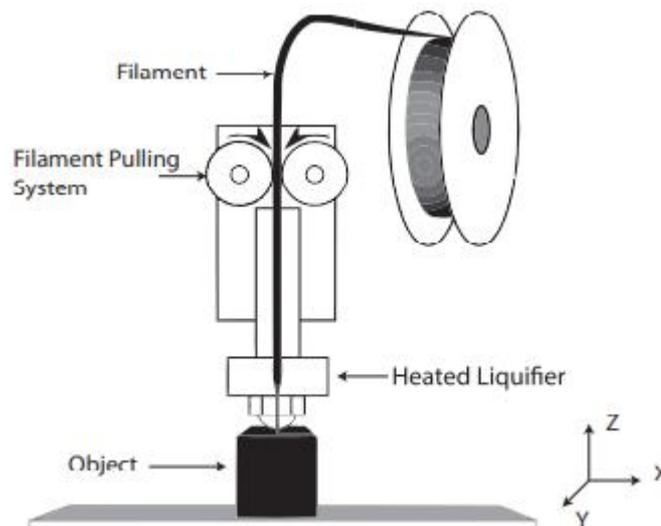
2.2 *Fused Deposition Modeling* (FDM)

FDM merupakan teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pemodelan, prototipe dan produksi. Dalam proses pencetakan FDM *filament* diekstrusi atau dilelehkan oleh *nozzle* (Alsoufi, et al., 2017). Teknologi ini sudah ada sejak lama. Metode *Fused Deposition Modelling* 3D *Printing* merupakan teknologi rapid *prototyping* yang dikembangkan oleh Stratasys menggunakan material termoplastik. Pengembangan terhadap teknologi ini terus dilakukan, sampai suatu perusahaan desain 3D berhasil menemukan sebuah material baru *nanocomposite* yang terdiri dari berbagai material plastik dan besi sampai saat ini bisa dirasakan. Saat ini, teknologi 3D *printing* mampu mengolah bahan yang bermacam – macam, dari bahan cair maupun padat (bahan cair akan dipadatkan

terlebih dahulu), dan bahan – bahan tersebut telah mengandung warna, sehingga memungkinkan para kreator atau pengguna untuk berinovasi langsung sesuai dengan kreatifitasnya pada produk akhir (O.S. Carniero, et al., 2015).

2.2.1 Proses FDM

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. Ketika mesin *Rapid Prototyping* ini mulai beroperasi, material *filament* (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.



Gambar 2.2 Ilustrasi Proses FDM

2.2.2 Parameter Proses FDM

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. Parameter yang ada pada mesin printer 3D FDM adalah sebagai berikut :

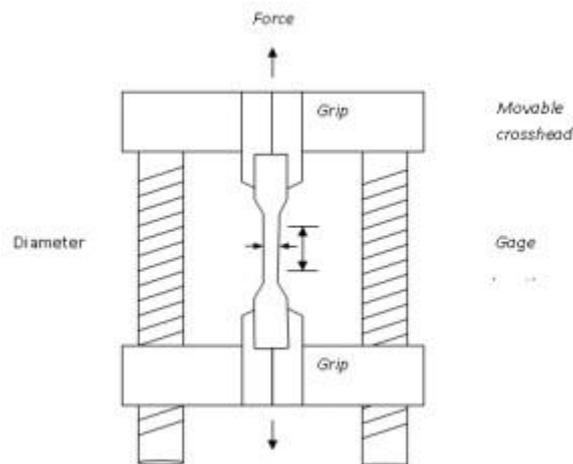
1. *Nozzle temperature* adalah *temperature* pada saat *filament* diekstrusi.
2. *Layer thickness* adalah ketebalan setiap lapisan.
3. *Temperature based plate* adalah temperatur pada papan/plat dimana objek menempel saat dicetak.
4. *Print speed* adalah kecepatan gerak ketika sedang proses mencetak.
5. *Infill pattern* adalah pola pengisian pada bagian anti objek.
6. *Infill density* adalah tingkat kerapatan pada bagian inti dari objek yang akan dicetak *infill density* berkisar 0% sampai 100%.
7. *Perimeter* adalah jumlah minimum *shell* vertikal (dinding) yang akan dicetak.
8. *Brim width* berfungsi untuk menambah *perimeter* lebih kelapisan pertama sebagai dasar, yang berguna untuk memberi area lebih banyak agar dapat menempel pada *bed* dan mengurangi *warping*.
9. *Fed rate* adalah parameter untuk mengubah konfigurasi kecepatan pencetakan secara keseluruhan.
10. *Raft layers* adalah berfungsi lapisan tambahan dibawah model pada saat awal pencetakan yang berguna untuk menompang bagian *layer* yang mengambang.

2.3 Uji Tarik

2.3.1 Pengertian Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. (Askeland, 1985). Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian

uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



Gambar 2.3 Mesin Uji Tarik Dilengkapi Spesimen Ukuran Standar.

Seperti pada gambar 2.3 benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya.

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah; bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan *grips* dan lain-lain.

1. Bentuk dan Dimensi Spesimen uji

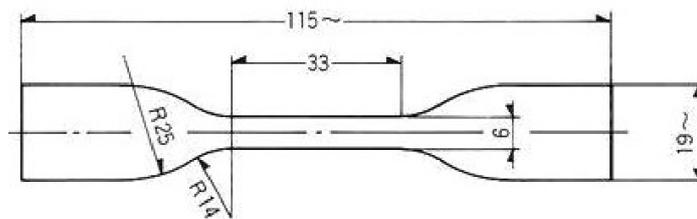
Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM D638. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya patah atau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari

bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah *gage length*.

2. *Grip and Face Selection*

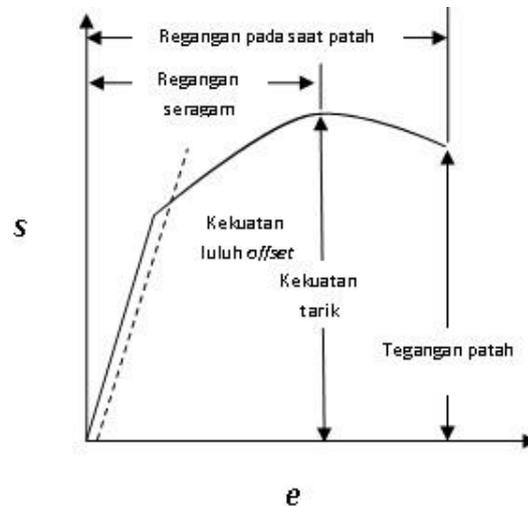
Face dan *grip* adalah faktor penting. Dengan pemilihan *setting* yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip atau bahkan pecah dalam daerah *grip* (*jaw break*). Ini akan menghasilkan hasil yang tidak valid. *Face* harus selalu tertutupi di seluruh permukaan yang kontak dengan *grip*. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *face*.

Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.



Gambar 2.4 Standar Ukuran ASTM D638 tipe IV

Kurva tegangan-regangan teknik dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan.



Gambar 2.5 Contoh Kurva Uji Tarik

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.1 berikut:

$$s = P/A \quad (2.1)$$

Keterangan ; s : besarnya tegangan (kg/mm^2)

P : beban yang diberikan (kg)

A_0 : Luas penampang awal benda uji (mm^2)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.2 berikut.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

Keterangan ; e : Besar regangan

L : Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L₀ : Panjang awal benda uji (mm)

Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, temperatur dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas. Dan parameter pertama adalah parameter kekuatan, sedangkan dua yang terakhir menyatakan keuletan bahan.

Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah elastis tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah remangan yang tidak menimbulkan deformasi apabila beban dihilangkan disebut daerah elastis. Apabila beban melampaui nilai yang berkaitan dengan kekuatan luluh, benda mengalami deformasi plastis bruto. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastik.

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan 2.3.

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.3)$$

Keterangan ; E : Besar modulus elastisitas (kg/mm²),

e : regangan

σ : Tegangan (kg/mm²)

Pada mulanya pengerasan regang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk mengimbangi penurunan luas penampang lintang benda uji dan tegangan teknik (sebanding dengan beban F) yang bertambah terus, dengan bertambahnya regangan. Akhirnya dicapai suatu titik di mana pengurangan luas penampang lintang lebih besar dibandingkan pertambahan deformasi beban yang diakibatkan oleh pengerasan regang. Keadaan ini untuk pertama kalinya dicapai pada suatu titik dalam benda uji yang sedikit lebih lemah dibandingkan dengan keadaan tanpa beban. Seluruh deformasi plastis berikutnya terpusat pada daerah tersebut dan benda uji mulai mengalami penyempitan secara lokal. Karena penurunan luas penampang lintang lebih cepat daripada pertambahan deformasi akibat pengerasan regang, beban sebenarnya yang diperlukan untuk mengubah bentuk benda uji akan berkurang dan demikian juga tegangan teknik pada persamaan (2.1) akan berkurang hingga terjadi patah.

Dari kurva uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian akan didapatkan beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain :

1. Kekuatan tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material
4. *Modulus elastic* dari material
5. Kelentingan dari suatu material
6. Ketangguhan.

2.3.2 Kekuatan Tarik

Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$S_u = \frac{P_{maks}}{A_0} \text{ di mana,} \quad (2.4)$$

S_u = Kuat tarik

P_{maks} = Beban maksimum

A_0 = Luas penampang awal

Tegangan tarik adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan. Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, di mana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Akan ditunjukkan bahwa nilai tersebut kaitannya dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya untuk tegangan yang lebih kompleks, yakni yang biasanya ditemui. Untuk berapalama, telah menjadi kebiasaan mendasarkan kekuatan struktur pada kekuatan tarik, dikurangi dengan faktor keamanan yang sesuai.

Kecenderungan yang banyak ditemui adalah menggunakan pendekatan yang lebih rasional yakni mendasarkan rancangan statis logam yang liat pada kekuatan luluhnya. Akan tetapi, karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dikenal, dan merupakan metode identifikasi bahan yang sangat berguna, mirip dengan kegunaan komposisi kimia untuk mengenali logam atau bahan. Selanjutnya, karena kekuatan tarik mudah ditentukan dan merupakan sifat yang mudah dihasilkan kembali (*reproducible*). Kekuatan tersebut berguna untuk keperluan spesifikasi dan kontrol kualitas bahan. Korelasi empiris yang diperluas antara kekuatan tarik dan sifat-sifat bahan misalnya kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Untuk bahan-bahan yang getas, kekuatan tarik merupakan kriteria yang tepat untuk keperluan perancangan.

Tegangan di mana deformasi plastik atau batas luluh mulai teramati tergantung pada kepekaan pengukuran regangan. Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastik menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan titik di mana deformasi plastik mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Telah digunakan berbagai kriteria permulaan batas luluh yang tergantung pada ketelitian pengukuran regangan dan data-data yang akan digunakan.

1. Batas elastik sejati berdasarkan pada pengukuran regangan mikro pada skala regangan 2×10^{-6} inci/inci. Batas elastik nilainya sangat rendah dan dikaitkan dengan gerakan beberapa ratus dislokasi.
2. Batas proporsional adalah tegangan tertinggi untuk daerah hubungan proporsional antara tegangan-regangan. Harga ini diperoleh dengan cara mengamati penyimpangan dari bagian garis lurus kurva tegangan-regangan.
3. Batas elastik adalah tegangan terbesar yang masih dapat ditahan oleh bahan tanpa terjadi regangan sisa permanen yang terukur pada saat beban telah ditiadakan. Dengan bertambahnya ketelitian pengukuran regangan, nilai batas elastiknya menurun hingga suatu batas yang sama dengan batas elastik sejati yang diperoleh dengan cara pengukuran regangan mikro. Dengan ketelitian regangan yang sering digunakan pada kuliah rekayasa (10^{-4} inci/inci), batas elastik lebih besar daripada batas proporsional. Penentuan batas elastik memerlukan prosedur pengujian yang diberi beban-tak diberi beban (*loading-unloading*) yang membosankan.

Statis Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan uniaxial sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah; bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM (*American Standard Testing and Material*) (Setiawan, 2019) . Untuk uji Tarik menggunakan bahan plastik menggunakan ASTM D638 sehingga penggunaan spesimen uji yang akan dilakukan berdasarkan *standard* ASTM D638 tipe IV.

2.4 Filament PLA (*Polylactic Acid*)



Gambar 2.6 Filament PLA

Poli (asam laktat) atau *polylactic acid* atau *polylactide* (PLA) adalah poliester alifatik termoplastik *biodegradable* dan bioaktif yang berasal dari sumber daya terbarukan. PLA berbeda dengan kebanyakan polimer termoplastik yang berasal dari distilasi dan polimerisasi cadangan minyak bumi yang tidak terbarukan, PLA dikenal sebagai bioplastik dan berasal dari biomassa, sumber daya terbarukan dan ramah lingkungan, seperti pati jagung atau tebu.

Kelebihan *Polylactic Acid* (PLA) yang bersifat *biodegradable* dan memiliki karakteristik yang mirip dengan *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), atau *polystyrene* (PS) yang biasa diproduksi dari peralatan manufaktur yang sudah ada sehingga bisa menekan biaya produksi (Setiawan, 2019).

Karakteristik dari polymer PLA tidak beracun, sehingga cocok digunakan untuk wadah plastik (contohnya cangkir, gelas dan piring) yang dapat digunakan untuk aplikasi pencetakan 3D *printing*. Namun disisi lain suhu transisi yang relatif rendah menjadikan material ini tidak cocok digunakan untuk aplikasi yang bersentuhan dengan cairan panas yang berlebihan. Yang paling menarik adalah PLA dapat mengalami degradasi atau pelapukan pada waktu tertentu, menurut beberapa literature waktu pelapukannya berkisar antara 6 hingga 24 bulan karena kelembaban, suhu, debu. Yang paling menarik adalah PLA dapat mengalami degradasi atau pelapukan pada waktu tertentu, menurut beberapa literatur waktu pelapukannya berkisar antara 6 hingga 24 bulan (Setiawan, 2019).

Untuk spesifikasi *Filament PLA food grade* dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi *Filament PLA food grade*

Material	PLA
Diamater	1.75 mm
<i>Diameter Tolerance</i>	0.02 mm
<i>Printing Temperature</i>	190 – 220 °C
<i>Bed Temperature</i>	<i>No Need</i>
<i>Tensile Strength</i>	45 – 65 MPa
<i>Print Speed</i>	50 – 100 mm/s
Berat Bersih	1.0 kg

2.5 Metode Taguchi

2.5.1 Pengertian Metode Taguchi

Metode taguchi adalah metodologi baru bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk, proses, dan dapat menekan biaya *resources* seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” terhadap berbagai faktor seperti misalnya material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*). (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi mempunyai beberapa keunggulan seperti :

1. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).
3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor control yang menghasilkan respon optimum.

Metode Taguchi juga memiliki kekurangan-kekurangan dibandingkan dengan metode lain diantaranya adalah rancangan metode Taguchi mempunyai struktur yang sangat kompleks, di mana terdapat rancangan yang mengorbankan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasinya perlu dilakukan pemilihan rancangan percobaan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian (Soejanto, 2009).

2.5.2 Langkah – Langkah Metode Taguchi

Adapun Langkah-langkah metode Taguchi dalam sebuah eksperimen adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tujuan dari proses atau lebih khususnya lagi target value untuk pengukuran performansi dari suatu proses.
2. Menentukan parameter desain yang memberikan efek terhadap proses.
3. Membuat *orthogonal arrays* untuk desain parameter yang mengindikasikan jumlah dan kondisi dari masing-masing eksperimen.
4. Menghubungkan eksperimen yang diindikasikan pada array yang sudah selesai untuk mengumpulkan data pada efek dari pengukuran performansi.
5. Melengkapi data analisis untuk menentukan efek dari berbagai parameter berbeda pada pengukuran performansi.

2.5.3 Tahap Eksperimen

Pada umumnya, desain eksperimen Taguchi memiliki tiga tahapan utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Tiga tahap tersebut adalah (Soejanto, 2009) :

2.5.3.1 Tahap perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut (Soejanto, 2009).

- a. Perumusan Masalah
Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.
- b. Tujuan eksperimen
Tujuan eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.
- c. Penentuan variabel tak bebas (variabel respon)
Variabel respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel respon yang akan diselidiki.
- d. Identifikasi faktor (variabel bebas)
Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada Langkah ini, akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.
- e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan
Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.
- f. Penentuan jumlah dan nilai level faktor
Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang akan dikeluarkan semakin besar.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

h. Pemilihan matriks *orthogonal*

Pemilihan matriks *orthogonal* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap-tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis matriks orthogonal yang dipilih.

i. Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam Matriks Ortogonal untuk memudahkan di kolom mana saja diletakkan interaksi faktor pada setiap matriks orthogonal, Taguchi menyatakan grafik linier dan Tabel Triangular untuk masing-masing matriks orthogonal.

2.5.3.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan percobaan mempunyai 2 hal (Soejanto, 2009), terdiri dari penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

1. Jumlah replikasi

Replikasi merupakan pengulangan kembali perlakuan pada kondisi percobaan yang sama guna bertujuan untuk memperoleh tingkat ketelitian yang tinggi, mengurangi kesalahan serta mendapatkan harga taksiran dari kesalahan.

2. Randomisasi

Dalam percobaan yang mempengaruhi hasil eksperimen adalah parameter-parameter lain yang tidak diinginkan. Pengaruh parameter-parameter tersebut dapat diperkecil dengan proses randomisasi (pengacakan) dari urutan suatu percobaan. Randomisasi dilakukan guna bertujuan untuk meratakan pengaruh dari parameter-parameter yang tidak dapat terkontrol pada semua percobaan, memberikan kesempatan yang sama pada semua percobaan untuk mendapatkan suatu perlakuan sehingga terdapat kehomogenan pengaruh dari perlakuan parameter yang sama serta bertujuan untuk memperoleh hasil pengamatan yang bebas terhadap satu sama lain. Jika replikasi bertujuan agar memungkinkan dilakukan uji signifikansi,

sedangkan randomisasi bertujuan agar memberikan kebenaran terhadap uji signifikansi dengan menghapuskan sifat bias.

2.5.3.3 Tahap Analisis

Pada tahapan ini yaitu pengumpulan dan pengolahan data dilakukan, tahap ini meliputi berbagai hal yaitu pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dengan desain yang dipilih. Selanjutnya data hasil percobaan dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik. Berikut ini adalah tahap analisis (Soejanto, 2009) :

1. Analisis Varians Taguchi

Analisis varians merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis data secara statistik yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen. Analisis ini memanfaatkan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh total parameter yang ingin diteliti. Untuk analisis varian dua arah merupakan data eksperimen yang terdiri dari dua parameter atau lebih dan dua level dari parameter atau lebih.

2. Rasio S/N

Tahap ini meliputi pengumpulan dan pengolahan data. Untuk perhitungan manual dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil percobaan. *S/N Ratio* (*Signal to Noise Ratio*) merupakan salah satu tahapan analisis. *Signal to Noise Ratio* (SNR) dalam metode Taguchi digunakan untuk mengetahui nilai level faktor yang berpengaruh dan optimal bagi karakteristik kualitas dari hasil eksperimen. Karakteristik kualitas pada SNR terdiri dari (Soejanto, 2009).

a. *Smaller is Better*

Smaller is better atau semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai nol dan non-negatif, dimana nilai yang mendekati nol merupakan nilai yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.5)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

b. *Nominal is Best*

Nominal is best atau tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas dengan nilai tidak nol dan terbatas, dimana suatu nilai yang mendekati nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.6)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

c. *Larger is Better*

Larger is better atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai yang tak terbatas dan non-negatif, dimana nilai semakin besar merupakan nilai yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2.7)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

3. Analisis Variansi dan Uji Hipotesis F

Analisis variansi digunakan untuk mengetahui dan mencari besarnya suatu proses parameter kendali pengaruh secara signifikan terhadap suatu respon. Pengujian bahwa adanya pengaruh faktor atau parameter bebas terhadap percobaan dibuktikan dengan uji hipotesis F. Hipotesis adalah dugaan sementara pada suatu proses yang masih lemah kebenarannya dari parameter dalam populasi, yang digunakan untuk mendapatkan suatu keputusan, yaitu menolak atau menerima hipotesis.

Pada penelitian ini taraf signifikansi α yang digunakan sebesar 5% atau 0,05. Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error.

- Hipotesis pengujian yaitu:
 H0 : tidak terdapat pengaruh perlakuan
 H1 : ada pengaruh perlakuan

- Kriteria Pengujian :
 - Jika nilai uji F Test (hitung) < nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh perlakuan terhadap kekuatan tarik dengan kata lain H0 diterima dan H1 ditolak.
 - Jika uji F Test (hitung) > nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan terhadap kekuatan tarik dengan kata lain H0 ditolak dan H1 diterima.

4. Persen kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing parameter dan interaksi, terlebih dahulu menghitung SS'_{faktor} :

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - MS_{error} (Vv) \quad (2.8)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\mu = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \quad (2.9)$$

2.6 Uji Konfirmasi

Percobaan konfirmasi merupakan percobaan yang dilakukan berdasarkan kombinasi parameter hasil optimasi. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisis, serta untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil secara aktual (Ross, 2008).

Langkah-langkah dalam eksperimen konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

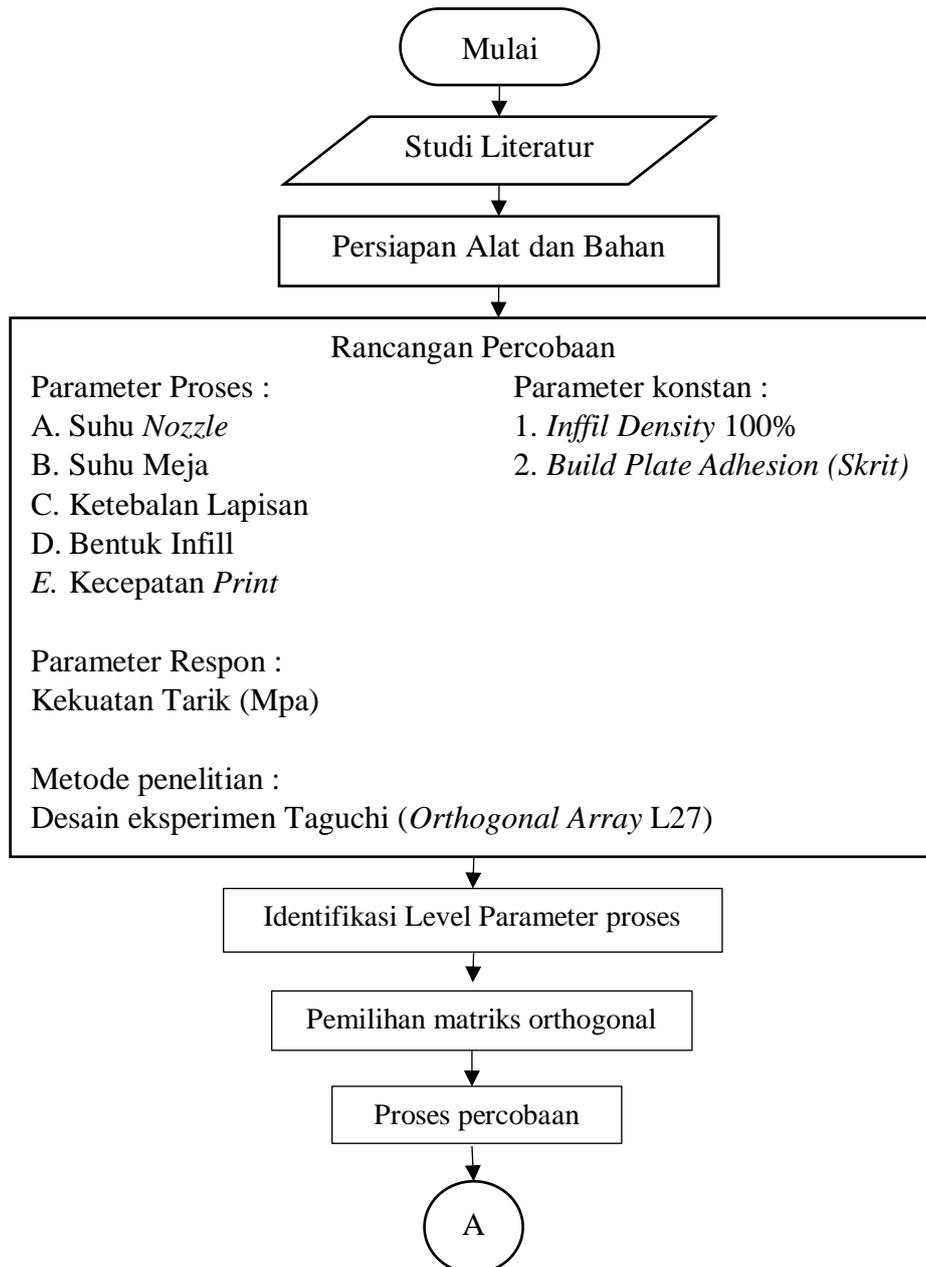
- a. Melakukan eksperimen berdasarkan kombinasi untuk respon optimum.
- b. Membandingkan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.

BAB III

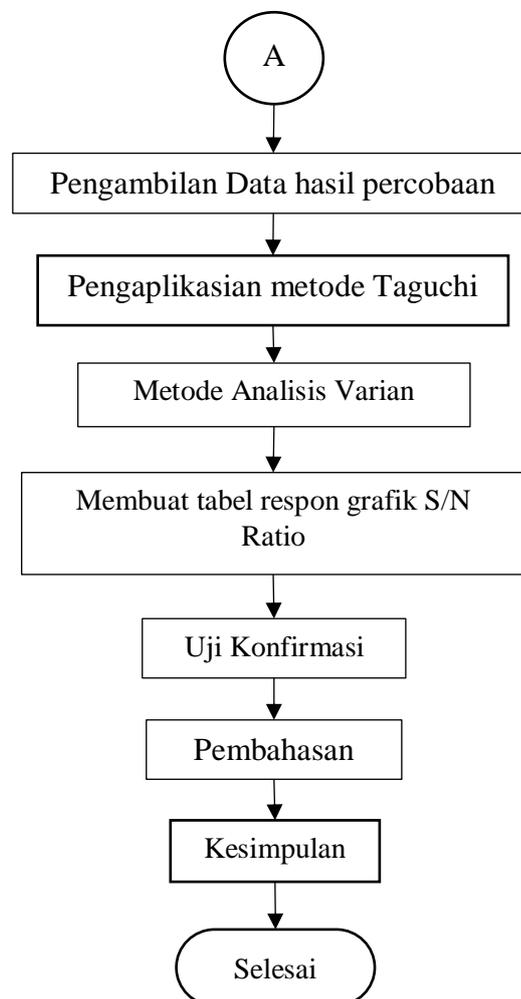
METODE PENYELESAIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori dengan kasus atau permasalahan yang telah ditentukan. Referensi ini dapat dicari dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel laporan penelitian, serta situs-situs internet. Studi literatur ini digunakan sebagai data pendukung dalam proses penelitian ini.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

3.3.1 Peralatan Penelitian

1. Mesin 3D Printing

Mesin 3D printing yang digunakan adalah jenis *Fused Deposition Modeling* (FDM). Mesin 3D printing yang digunakan DIY model REXYZ A1 dengan printing area XYZ $180 \times 180 \times 180$ mm. Ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Mesin 3D *Printing* REXYZ A1

2. Laptop

Digunakan untuk menjalankan *software* Ultimaker Cura dan *software* analisis. Ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Laptop

3. Alat uji Tarik

Alat yang digunakan ini dapat mengukur kekuatan dari struktur kekuatan dari *filament* yang digunakan. Alat yang digunakan yaitu Zwick/Roell Z020. Ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Alat Uji Tarik

4. *Software* Slicer Ultimaker Cura 4.4.1

Software ini digunakan untuk memasukkan parameter dan *G-code* serta menjalankan mesin 3D *Printing*.

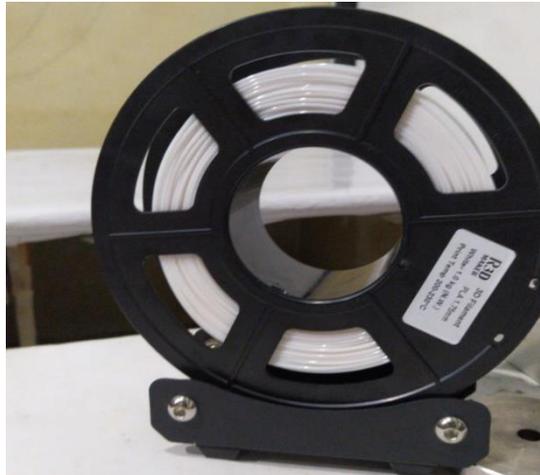
5. *Software* Analisis

Software ini digunakan untuk menentukan variasi parameter dan faktor yang berpengaruh terhadap variabel dependen pada metode DOE.

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Filament *Polylactic acid* (PLA) *food grade*. PLA adalah bahan plastik cetak 3D yang merupakan bahan *biodegradable thermoplastic aliphatic polyester* yang terbuat dari tepung jagung tapioka, atau tebu. Filament PLA ini memiliki ukuran diameter

1,75mm. *Filament* PLA dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat diprint pada suhu 190°C sampai 220°C. Dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Filament* PLA food grade

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Parameter Respon

Parameter respon adalah parameter yang dipengaruhi oleh parameter proses selama percobaan. Adapun parameter respon dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik dari spesimen yang telah dicetak dinyatakan dalam Mpa.

3.4.2 Parameter Proses

Parameter proses yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Suhu *Nozzle* (°C), Suhu meja (°C), Ketebalan lapisan (mm), Bentuk *infill*, Kecepatan *Print* (mm/s). Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi pustaka. Penelitian ini menggunakan desain Taguchi L_{27} *Orthogonal Array* dengan lima faktor dan tiga level. Nilai parameter dan level yang telah ditetapkan dan ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Nilai Parameter dan Level

Faktor	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Suhu <i>Nozzle</i> (°C),	190	195	200
B	Suhu Meja (°C)	50	55	60
C	Ketebalan Lapisan (mm)	0,1	0,15	0,2
D	Bentuk <i>Infill</i>	<i>Cubic</i>	<i>Triangle</i>	<i>Quarter Cubic</i>
E	Kecepatan <i>Print</i> (mm/s)	65	70	75

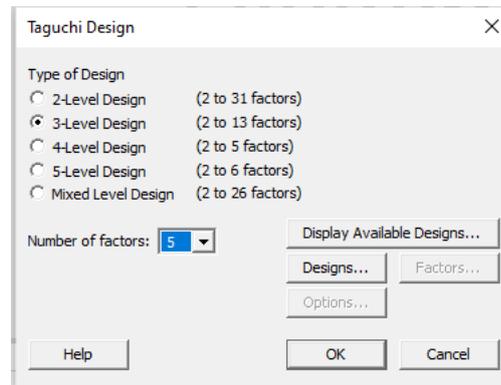
3.4.3 Parameter Konstan

Parameter konstan adalah parameter yang dikendalikan. Adapun parameter konstan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Build Plate Adhesion (Skrit)* dan *Infill Density* 100%.

3.5 Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan jumlah nilai level dari masing-masing level. Penentuan dari banyaknya faktor dan level-level dari faktor akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang digunakan untuk menentukan jenis matriks ortogonal yang dipilih.

Berdasarkan banyaknya parameter proses dan jumlah level yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1. Sehingga dapat menentukan matriks ortogonal yang digunakan. Desain faktorial pada penelitian ini dibuat menggunakan *software*. Penelitian ini menggunakan metode *Taguchi L₂₇ Orthogonal Array (OA)* dengan 5 parameter dan 3 level seperti pada Gambar 3.6.

Gambar 3.6 *Taguchi Desain*

Bentuk lengkap L_{27} OA dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 *Orthogonal Array L_{27}*

Exp.	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Berdasarkan Tabel 3.2 Huruf A, B, C, D, dan E serta angka 1 (satu), 2 (dua) dan 3 (tiga) pada akan diubah menjadi parameter proses dan nilai level berdasarkan Tabel 3.1. Kemudian dilakukan eksperimen berdasarkan Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Desain Eksperimen

Exp.	Suhu Nozzle	Suhu Meja	Ketebalan Lapisan	Bentuk Infill	Kecepatan Print
1	190	50	0,1	<i>Cubic</i>	65
2	190	50	0,1	<i>Cubic</i>	70
3	190	50	0,1	<i>Cubic</i>	75
4	190	55	0,15	<i>Triangle</i>	65
5	190	55	0,15	<i>Triangle</i>	70
6	190	55	0,15	<i>Triangle</i>	75
7	190	60	0,2	<i>Quarter Cubic</i>	65
8	190	60	0,2	<i>Quarter Cubic</i>	70
9	190	60	0,2	<i>Quarter Cubic</i>	75
10	195	50	0,15	<i>Quarter Cubic</i>	65
11	195	50	0,15	<i>Quarter Cubic</i>	70
12	195	50	0,15	<i>Quarter Cubic</i>	75
13	195	55	0,2	<i>Cubic</i>	65
14	195	55	0,2	<i>Cubic</i>	70
15	195	55	0,2	<i>Cubic</i>	75
16	195	60	0,1	<i>Triangle</i>	65
17	195	60	0,1	<i>Triangle</i>	70
18	195	60	0,1	<i>Triangle</i>	75
19	200	50	0,2	<i>Triangle</i>	65
20	200	50	0,2	<i>Triangle</i>	70
21	200	50	0,2	<i>Triangle</i>	75
22	200	55	0,1	<i>Quarter Cubic</i>	65
23	200	55	0,1	<i>Quarter Cubic</i>	70
24	200	55	0,1	<i>Quarter Cubic</i>	75
25	200	60	0,15	<i>Cubic</i>	65
26	200	60	0,15	<i>Cubic</i>	70
27	200	60	0,15	<i>Cubic</i>	75

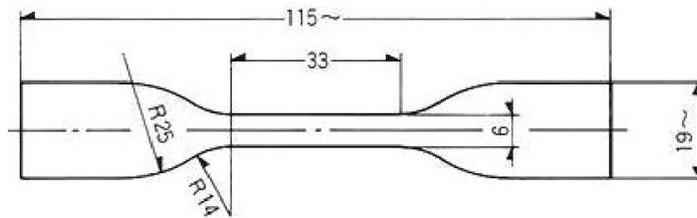
3.6 Proses Percobaan

3.6.1 Persiapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini berurutan dimulai dengan persiapan Mesin 3D printing, *filament* PLA, *software* Ultimaker Cura 4.4.1, semua alat dan bahan yang berhubungan dengan penelitian ini akan disiapkan sebaik mungkin dalam proses penelitian.

3.6.2 Desain Spesimen

Pada tahap ini, peneliti menggunakan desain bentuk spesimen uji Tarik ASTM D638 tipe IV.



Gambar 3.7 ASTM D638 tipe IV

3.6.3 Slicing data CAD

Selanjutnya file diolah pada *software slicing* (Ultimaker Cura 4.4.1), dimana tujuan dari proses ini adalah agar desain yang sudah disiapkan dapat dibuat dan diproses oleh mesin 3D printing.

3.6.4 Melakukan pembuatan Spesimen

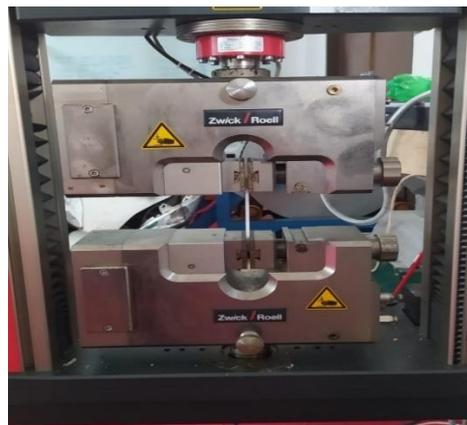
Setelah desain bentuk spesimen selesai, dilakukan pencetakan spesimen uji tarik menggunakan mesin 3D *printing*. Ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Proses Pencetakan Spesimen

3.6.5 Melakukan Uji Tarik

Setelah semua proses pembuatan spesimen selesai, maka tahap selanjutnya yaitu uji tarik menggunakan alat uji tarik untuk mengukur tingkat kekuatan material *filament* PLA. Pengujian tarik dilakukan adalah untuk mengetahui kekuatan tarik. Metode yang digunakan adalah benda uji dijepit pada mesin uji dengan pembebanan perlahan-lahan meningkat pada suatu beban tertentu dan akhirnya benda uji patah. Ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Proses Uji Tarik

3.7 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data dilakukan di kampus Polman Negeri Bangka Belitung diruangan Lab Material teknik mesin. Pengambilan data dilakukan dengan menguji spesimen pada mesin uji tarik. Data uji tarik tersebut dicatat untuk dilakukan proses pengolahan data.

3.8 Metode Analisis

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Analisis Varian Taguchi

Analisis varian adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik. Analisis ini merupakan teknik dengan menguraikan seluruh total parameter yang diteliti. Untuk analisis varian dua arah adalah data eksperimen yang terdiri dari dua parameter atau lebih dan dua level atau lebih.

2. Analisis of Varian (ANOVA) Dua Arah

Analisis varian merupakan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh (total) varian atas bagian-bagian yang diteliti. Untuk analisis varian dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih.

3. Menghitung rasio S/N parameter respon

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Karakteristik kualitas dari respon Rasio S/N yang digunakan adalah semakin besar semakin baik atau *Large is Better* untuk respon kekuatan tarik. Rasio S/N untuk karakteristik model ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right]$$

dimana: n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

4. Menentukan parameter respon yang optimal

Penentuan kondisi parameter respon yang optimal dengan cara membuat tabel parameter respon untuk memudahkan pemilihan level dari parameter bebas yang menghasilkan respon optimal terhadap nilai kekasaran permukaan.

5. Analisis variansi dan uji hipotesis F

Analisis variansi digunakan untuk mengetahui dan mencari besarnya suatu proses parameter kendali pengaruh secara signifikan terhadap suatu respon. Pengujian bahwa adanya pengaruh faktor atau parameter bebas terhadap eksperimen dibuktikan dengan uji hipotesis F, yang digunakan untuk menghasilkan suatu keputusan, yaitu menolak atau menerima hipotesis. Pada penelitian ini taraf signifikansi α yang digunakan sebesar 5% atau 0.05.

6. Persen kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing masing faktor dan interaksi, terlebih dahulu dihitung SS'_{faktor} :

$$SS'_{\text{faktor}} = SS_{\text{faktor}} - MS_{\text{error}} (Vv)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\%$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada mesin 3D *printing*. Adapun parameter-parameter proses yang dianggap berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik yaitu Suhu *Nozzle* (°C), Suhu meja (°C), Ketebalan lapisan (mm), Bentuk *infill*, Kecepatan *Print* (mm/s). Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji tarik berdasarkan desain faktorial Taguchi L_{27} OA. Pada tahap ini, setelah memiliki data hasil pengujian, data tersebut diolah untuk memperoleh parameter yang optimal serta berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik

Exp.	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata
Sp 1	43,7	46,5	46,7	45,63
Sp 2	45	45,1	37,5	42,53
Sp 3	44,5	43	39,9	42,47
Sp 4	48,3	48,7	46,1	47,70
Sp 5	47,7	45,8	43,4	45,63
Sp 6	45,2	45,5	45,1	45,27
Sp 7	46,6	47,7	45	46,43
Sp 8	45,7	46	46,5	46,07
Sp 9	48,2	44,8	49,7	47,57
Sp 10	45	42,8	43,3	43,70
Sp 11	39,5	41,9	43,4	41,60
Sp 12	43,8	47	41,8	44,20
Sp 13	47,9	46,4	48,7	47,67
Sp 14	47	44,1	47,8	46,30
Sp 15	48,3	41,4	46,7	45,47

Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik (Lanjutan)

Sp 16	44,4	40,9	43,6	42,97
Sp 17	45,8	49	44,9	46,57
Sp 18	48,5	45,8	47,7	47,33
Sp 19	44,2	44,4	49,1	45,90
Sp 20	44,9	45,6	47	45,83
Sp 21	44,5	45,4	42,8	44,23
Sp 22	43,8	44,6	45,2	44,53
Sp 23	44	46,9	44	44,97
Sp 24	45	40,7	41,5	42,40
Sp 25	43,7	45,5	46,1	45,10
Sp 26	44,2	42,8	45	44,00
Sp 27	45,2	47	45,5	45,90

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap pengurangan respon kekuatan tarik yang mentransformasikan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Perhitungan rasio S/N pada penelitian ini digunakan untuk respon kekuatan tarik dengan karakteristik kualitas semakin besar, semakin baik (*Larger is Better*) pada rumus (2.7) adalah:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2.7)$$

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan parameter untuk nilai kekuatan tarik *filament*. Kualitas ukuran kekuatan *filament* yang diharapkan dalam penelitian ini adalah kekuatan yang paling besar. Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekuatan yang

terbesar. Dengan replikasi sebanyak 3 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat di bawah ini :

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{43,7^2} + \frac{1}{46,5^2} + \frac{1}{46,7^2} \right) \right] = 33,17$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45^2} + \frac{1}{45,1^2} + \frac{1}{37,5^2} \right) \right] = 32,47$$

Pada eksperimen ke 3:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,5^2} + \frac{1}{43^2} + \frac{1}{39,9^2} \right) \right] = 32,53$$

Pada eksperimen ke 4:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{48,3^2} + \frac{1}{48,7^2} + \frac{1}{46,1^2} \right) \right] = 33,56$$

Pada eksperimen ke 5:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{47,7^2} + \frac{1}{45,8^2} + \frac{1}{43,4^2} \right) \right] = 33,16$$

Pada eksperimen ke 6:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45,2^2} + \frac{1}{45,5^2} + \frac{1}{45,1^2} \right) \right] = 33,11$$

Pada eksperimen ke 7:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{46,6^2} + \frac{1}{47,7^2} + \frac{1}{45^2} \right) \right] = 33,32$$

Pada eksperimen ke 8:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45,7^2} + \frac{1}{46^2} + \frac{1}{46,5^2} \right) \right] = 33,26$$

Pada eksperimen ke 9:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{48,2^2} + \frac{1}{44,8^2} + \frac{1}{49,7^2} \right) \right] = 33,52$$

Pada eksperimen ke 10:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45^2} + \frac{1}{42,8^2} + \frac{1}{43,3^2} \right) \right] = 32,80$$

Pada eksperimen ke 11:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{39,5^2} + \frac{1}{41,9^2} + \frac{1}{43,4^2} \right) \right] = 32,36$$

Pada eksperimen ke 12:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{43,8^2} + \frac{1}{47^2} + \frac{1}{41,8^2} \right) \right] = 32,87$$

Pada eksperimen ke 13:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{47,9^2} + \frac{1}{46,4^2} + \frac{1}{48,7^2} \right) \right] = 33,55$$

Pada eksperimen ke 14 :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{47^2} + \frac{1}{44,1^2} + \frac{1}{47,8^2} \right) \right] = 33,29$$

Pada eksperimen ke 15:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{48,3^2} + \frac{1}{41,4^2} + \frac{1}{46,7^2} \right) \right] = 33,09$$

Pada eksperimen ke 16 :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,4^2} + \frac{1}{40,9^2} + \frac{1}{43,6^2} \right) \right] = 32,64$$

Pada eksperimen ke 17 :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45,8^2} + \frac{1}{49^2} + \frac{1}{44,9^2} \right) \right] = 33,34$$

Pada eksperimen ke 18 :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{48,5^2} + \frac{1}{45,8^2} + \frac{1}{47,7^2} \right) \right] = 33,49$$

Pada eksperimen ke 19 :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,2^2} + \frac{1}{44,4^2} + \frac{1}{49,1^2} \right) \right] = 33,20$$

Pada eksperimen ke 20:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,9^2} + \frac{1}{45,6^2} + \frac{1}{47^2} \right) \right] = 33,21$$

Pada eksperimen ke 21 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,5^2} + \frac{1}{45,4^2} + \frac{1}{42,8^2} \right) \right] = 32,90$$

Pada eksperimen ke 22 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{43,8^2} + \frac{1}{44,6^2} + \frac{1}{45,2^2} \right) \right] = 32,97$$

Pada eksperimen ke 23 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44^2} + \frac{1}{46,9^2} + \frac{1}{44^2} \right) \right] = 33,04$$

Pada eksperimen ke 24 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45^2} + \frac{1}{40,7^2} + \frac{1}{41,5^2} \right) \right] = 32,52$$

Pada eksperimen ke 25 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{43,7^2} + \frac{1}{45,5^2} + \frac{1}{46,1^2} \right) \right] = 33,07$$

Pada eksperimen ke 26 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,2^2} + \frac{1}{42,8^2} + \frac{1}{45^2} \right) \right] = 32,86$$

Pada eksperimen ke 27:

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45,2^2} + \frac{1}{47^2} + \frac{1}{45,5^2} \right) \right] = 33,23$$

Hasil perhitungan rasio S/N yang diperoleh untuk respon yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk Respon

Exp.	Parameter					Nilai Kekuatan Tarik			S/N
	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3	
1	1	1	1	1	1	43,7	46,5	46,7	33,17
2	1	1	1	1	2	45	45,1	37,5	32,47
3	1	1	1	1	3	44,5	43	39,9	32,53
4	1	2	2	2	1	48,3	48,7	46,1	33,56
5	1	2	2	2	2	47,7	45,8	43,4	33,16
6	1	2	2	2	3	45,2	45,5	45,1	33,11
7	1	3	3	3	1	46,6	47,7	45	33,32
8	1	3	3	3	2	45,7	46	46,5	33,26

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk Respon (Lanjutan)

9	1	3	3	3	3	48,2	44,8	49,7	33,52
10	2	1	2	3	1	45	42,8	43,3	32,80
11	2	1	2	3	2	39,5	41,9	43,4	32,36
12	2	1	2	3	3	43,8	47	41,8	32,87
13	2	2	3	1	1	47,9	46,4	48,7	33,55
14	2	2	3	1	2	47	44,1	47,8	33,29
15	2	2	3	1	3	48,3	41,4	46,7	33,09
16	2	3	1	2	1	44,4	40,9	43,6	32,64
17	2	3	1	2	2	45,8	49	44,9	33,34
18	2	3	1	2	3	48,5	45,8	47,7	33,49
19	3	1	3	2	1	44,2	44,4	49,1	33,20
20	3	1	3	2	2	44,9	45,6	47	33,21
21	3	1	3	2	3	44,5	45,4	42,8	32,90
22	3	2	1	3	1	43,8	44,6	45,2	32,97
23	3	2	1	3	2	44	46,9	44	33,04
24	3	2	1	3	3	45	40,7	41,5	32,52
25	3	3	2	1	1	43,7	45,5	46,1	33,07
26	3	3	2	1	2	44,2	42,8	45	32,86
27	3	3	2	1	3	45,2	47	45,5	33,23

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.2 dapat dicari nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

Tabel 4.3 Respon Rasio S/N Parameter

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

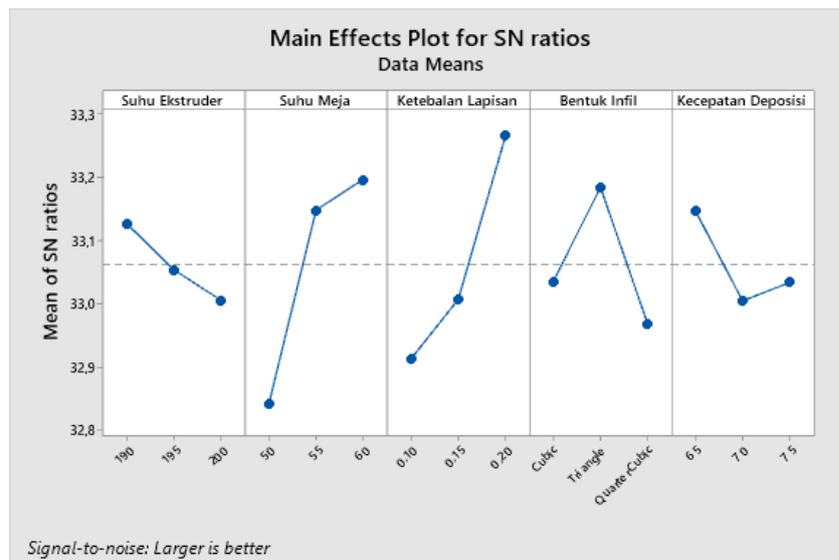
	Suhu		Ketebalan	Bentuk	Kecepatan
Level	Nozzle	Suhu Meja	Lapisan	Infill	Print
1	33,13	32,84	32,91	33,03	33,15
2	33,05	33,15	33,01	33,18	33,00
3	33,01	33,20	33,27	32,97	33,03
Delta	0,12	0,36	0,35	0,22	0,14
Rank	5	1	2	3	4

Sumber : Hasil Perhitungan *Software*

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan parameter proses yang memiliki pengaruh paling besar terhadap kekuatan tarik yaitu Suhu Meja. Dan untuk

pengaruh parameter proses secara berturut-turut yaitu Suhu meja, Ketebalan Lapisan, Bentuk *infill*, Kecepatan *Print*, dan Suhu *Nozzle*.

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dibuat grafik untuk memperlihatkan nilai rasio S/N yang terkecil pada masing-masing level untuk setiap parameter yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 S/N Ratio

Berdasarkan Gambar 4.1 parameter proses optimal terhadap kekuatan tarik yaitu Suhu *Nozzle* (190°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Bentuk *Infill* (*Triangle*), dan Kecepatan *Print* (65 mm/s).

4.3 Analisis Varian Rasio S/N

Sebagaimana parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik, maka untuk mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan *analysis of variance*. *Analysis of variance* pengaruh masing-masing parameter terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini

Tabel 4.4 Hasil Anova

General Linear Model: SN versus Suhu *Nozzel*; Suhu Meja; Ketebalan Lapisan; Bentuk Infil; Kecepatan *Print*

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Suhu Nozzel	Fixed	3 190; 195; 200
Suhu Meja	Fixed	3 50; 55; 60
Ketebalan Lapisan	Fixed	3 0,10; 0,15; 0,20
Bentuk Infil	Fixed	3 1; 2; 3
Kecepatan Print	Fixed	3 65; 70; 75

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu Nozzel	2	0,06808	0,03404	0,41	0,668
Suhu Meja	2	0,67596	0,33798	4,11	0,036
Ketebalan Lapisan	2	0,60686	0,30343	3,69	0,048
Bentuk Infil	2	0,22381	0,11190	1,36	0,285
Kecepatan Print	2	0,10320	0,05160	0,63	0,547
Error	16	1,31661	0,08229		
Total	26	2,99452			

Sumber : Hasil Perhitungan *Software*

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil anova didapatkan keputusan uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F value dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Keputusan Uji

Komparasi Terhadap Respon	F-Value	F Tabel (0,05;2;26)	Keputusan Uji
Suhu <i>Nozzle</i>	0,41		H0 gagal ditolak/ diterima
Suhu Meja	4,11		H1 gagal ditolak/ diterima
Ketebalan Lapisan	3,69	3,37	H1 gagal ditolak/ diterima
Bentuk <i>Infill</i>	1,36		H0 gagal ditolak/ diterima
Kecepatan <i>Print</i>	0,63		H0 gagal ditolak/ diterima

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisis :

Karena nilai F-Value lebih besar dibandingkan dengan nilai F-Tabel maka H1 gagal ditolak/diterima, artinya terdapat pengaruh pada parameter yaitu Suhu Meja dan Ketebalan Lapisan terhadap kekuatan tarik.

Perhitungan Anova Dua Arah Rasio S/N

Derajat bebas total :

$$\begin{aligned} V_T &= N - 1 \\ &= 27 - 1 = 26 \end{aligned}$$

Derajat kebebasan A :

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Derajat kebebasan B :

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Derajat kebebasan C :

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Derajat kebebasan D :

$$V_D = 3 - 1 = 2$$

Derajat kebebasan E :

$$V_E = 3 - 1 = 2$$

Derajat bebas total :

$$\begin{aligned} V_{\text{Error}} &= V_T - V_A - V_B - V_C - V_D - V_E \\ &= 26 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 \\ &= 16 \end{aligned}$$

Perhitungan parameter A :

Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_A = \frac{A1^2}{n_{A1}} + \frac{A2^2}{n_{A2}} + \frac{A3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *Sum of Square* parameter A :

$$SS_A = \frac{(298,1444)^2}{9} + \frac{(297,4808)^2}{9} + \frac{(297,0453)^2}{9} - \frac{(892,6705)^2}{27}$$

$$= 0,068$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{0,068}{2} = 0,034$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (33,17357)^2 + (32,47547)^2 + (32,53377)^2 + \dots + (33,23247)^2$$

$$= 29516,35$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$SS_M = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 27 \cdot (33,06187)^2$$

$$= 29513,3558$$

Jumlah kuadrat *error* :

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

$$= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965$$

$$= 1,6576$$

Residual *error* :

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 29516,35 - 29513,3558 - 1,6576$$

$$= 1,3366$$

Menghitung F hitung A :

$$F_{Rasio A} = \frac{MS_A}{MS_e} = \frac{0,034}{0,0835375} = 0,407$$

Perhitungan parameter B :Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_B = \frac{B1^2}{n_{B1}} + \frac{B2^2}{n_{B2}} + \frac{B3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *Sum of Square* parameter B :

$$SS_B = \frac{(295,559)^2}{9} + \frac{(298,3358)^2}{9} + \frac{(297,7756)^2}{9} - \frac{(892,6705)^2}{27}$$

$$= 0,6693$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{0,6693}{2} = 0,33465$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (33,17357)^2 + (32,47547)^2 + (32,53377)^2 + \dots + (33,23247)^2$$

$$= 29516,35$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$SS_M = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 27 \cdot (33,06187)^2$$

$$= 29513,3558$$

Jumlah kuadrat *error* :

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

$$= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965$$

$$= 1,6576$$

Residual *error* :

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 29516,35 - 29513,3558 - 1,6576$$

$$= 1,3366$$

Menghitung F hitung B :

$$F_{RasioB} = \frac{MS_B}{MS_e} = \frac{0,33465}{0,0835375} = 4,005$$

Perhitungan parameter C :Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_C = \frac{C1^2}{n_{C1}} + \frac{C2^2}{n_{C2}} + \frac{C3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *Sum of Square* parameter C :

$$SS_C = \frac{(296,2089)^2}{9} + \frac{(297,061)^2}{9} + \frac{(299,4005)^2}{9} - \frac{(892,6705)^2}{27}$$

$$= 0,6002$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{0,6002}{2} = 0,3001$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (33,17357)^2 + (32,47547)^2 + (32,53377)^2 + \dots + (33,23247)^2$$

$$= 29516,35$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$SS_M = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 27 \cdot (33,06187)^2$$

$$= 29513,3558$$

Jumlah kuadrat *error* :

$$SS_{\text{Faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

$$= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965$$

$$= 1,6576$$

Residual *error* :

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}}$$

$$= 29516,35 - 29513,3558 - 1,6576$$

$$= 1,3366$$

Menghitung F hitung C :

$$F_{\text{Rasio } C} = \frac{MS_C}{MS_e} = \frac{0,3001}{0,083575} = 3,5907$$

Perhitungan parameter D :Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_D = \frac{D1^2}{n_{D1}} + \frac{D2^2}{n_{D2}} + \frac{D3^2}{n_{D3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *Sum of Square* parameter D :

$$SS_D = \frac{(297,3066)^2}{9} + \frac{(298,6618)^2}{9} + \frac{(296,7021)^2}{9} - \frac{(892,6705)^2}{27}$$

$$= 0,2237$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_D = \frac{SS_D}{V_D} = \frac{0,2237}{2} = 0,11185$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (33,17357)^2 + (32,47547)^2 + (32,53377)^2 + \dots + (33,23247)^2$$

$$= 29516,35$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$SS_M = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 27 \cdot (33,06187)^2$$

$$= 29513,3558$$

Jumlah kuadrat *error* :

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

$$= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965$$

$$= 1,6576$$

Residual *error* :

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 29516,35 - 29513,3558 - 1,6576$$

$$= 1,3366$$

Menghitung F hitung D :

$$F_{Rasio D} = \frac{MS_D}{MS_e} = \frac{0,11185}{0,0835375} = 1,3389$$

Perhitungan parameter E :Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_E = \frac{E1^2}{n_{E1}} + \frac{E2^2}{n_{E2}} + \frac{E3^2}{n_{E3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *Sum of Square* parameter E :

$$SS_E = \frac{(298,3287)^2}{9} + \frac{(297,0385)^2}{9} + \frac{(297,3032)^2}{9} - \frac{(892,6705)^2}{27}$$

$$= 0,0965$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_E = \frac{SS_E}{V_E} = \frac{0,0965}{2} = 0,04825$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (33,17357)^2 + (32,47547)^2 + (32,53377)^2 + \dots + (33,23247)^2$$

$$= 29516,35$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$SS_M = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 27 \cdot (33,06187)^2$$

$$= 29513,3558$$

Jumlah kuadrat *error* :

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

$$= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965$$

$$= 1,6576$$

Residual *error* :

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 29516,35 - 29513,3558 - 1,6576$$

$$= 1,3366$$

Menghitung F hitung E :

$$F_{RasioE} = \frac{MS_E}{MS_e} = \frac{0,04825}{0,0835375} = 0,5775$$

Kuadrat tengah error :

$$MS_{\text{Error}} = \frac{SS_e}{V_{\text{error}}} = \frac{1,3366}{16} = 0,0835375$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_e \\ &= 0,068 + 0,6693 + 0,6002 + 0,2237 + 0,0965 + 1,3366 \\ &= 2,9943 \end{aligned}$$

4.1 Persen Kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing parameter, dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.6 Persen Kontribusi S/N *Rasio*

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu Nozzel	2	0,06808	2,27%	0,06808	0,03404	0,41	0,668
Suhu Meja	2	0,67596	22,57%	0,67596	0,33798	4,11	0,036
Ketebalan Lapisan	2	0,60686	20,27%	0,60686	0,30343	3,69	0,048
Bentuk Infil	2	0,22381	7,47%	0,22381	0,11190	1,36	0,285
Kecepatan Print	2	0,10320	3,45%	0,10320	0,05160	0,63	0,547
Error	16	1,31661	43,97%	1,31661	0,08229		
Total	26	2,99452	100,00%				

Sumber : Hasil *Software*

Dari tabel 4.6 persen kontribusi parameter di atas menunjukkan bahwa Suhu Meja memiliki kontribusi yang paling besar terhadap nilai kekuatan tarik yaitu sebesar 22,57%, kontribusi kedua yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu Ketebalan Lapisan sebesar 20,27%. Kontribusi ketiga yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik adalah Bentuk Infill yaitu sebesar 7,47%. Kontribusi keempat yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik adalah Kecepatan *Print* yaitu sebesar 3,45%. Dan kontribusi kelima yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik adalah Suhu *Nozzle* yaitu sebesar 2,27%.

4.4 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil rata-rata kekuatan tarik awal/tertinggi dengan rata-rata hasil kekuatan tarik uji konfirmasi. Uji konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi setting parameter yang diperoleh dari hasil parameter proses yang optimal pada Gambar 4.1 dengan parameter dan level yaitu Suhu *Nozzle* (190°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Bentuk Infill (*Triangle*), dan Kecepatan *Print* (65 mm/s). pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan respon hasil kombinasi awal dengan kombinasi optimum. Hasil kombinasi awal ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Hasil kombinasi optimal ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Kombinasi Awal

Replikasi Kombinasi Awal			Rata-rata
Sp 1	Sp 2	Sp 3	
48,3	48,7	46,1	47,7

Tabel 4.8 Kombinasi Optimal

Replikasi Kombinasi Optimal			Rata-rata
Sp 1	Sp 2	Sp 3	
46,5	46,7	46,7	46,63

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik pada kombinasi awal adalah sebesar 47,7 MPa dan kekuatan tarik kombinasi optimum adalah sebesar 46,63 MPa. Dengan demikian terjadi penurunan pada kombinasi optimal dengan selisih 1,07 dibandingkan dengan kombinasi awal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi yang telah dilakukan, maka dari penelitian ini yang berjudul “Optimasi Parameter Proses Pada 3D *Printing* FDM Terhadap Kekuatan Tarik *Filament* PLA *Food Grade* Menggunakan Metode Taguchi L_{27} ” dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai parameter proses optimal untuk uji tarik menggunakan *filament* PLA *food grade* yaitu Suhu *Nozzle* (190°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Bentuk Infill (*Triangle*), dan Kecepatan *Print* (65 mm/s).
2. Parameter proses yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu Suhu meja, Ketebalan Lapisan, Bentuk *infill*, Kecepatan *Print*, dan Suhu *Nozzle*.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian tentang “Optimasi Parameter Proses Pada 3D *Printing* FDM Terhadap Kekuatan Tarik *Filament* PLA *Food Grade* Menggunakan Metode Taguchi L_{27} ” ada beberapa saran yang diberikan untuk menunjang penelitian selanjutnya agar dapat lebih baik dari proses hingga hasil yang diperoleh nantinya yaitu:

1. Penelitian ini agar dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menganalisa parameter-parameter dengan berbagai level.
2. Metode optimasi ini dapat dikembangkan selain menggunakan metode Taguchi yaitu metode RSM.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alsoufi, M. S. & Elsayed, A. E., 2017. *How surface roughness performance of printed parts manufactured by desktop FDM 3D printer with PLA+ is influenced by measuring direction. American Journal of Mechanical Engineering*, Volume 5, pp. 2-13.
2. Andriyansyah, D., H. & P., 2018. Optimasi Parameter Proses 3D *Printing Terhadap Kuat Tarik Filamen Polylactic Acid Menggunakan Metode Taguchi. Seminar Nasional Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan - Universitas Muhammadiyah Purworejo*, pp. 1-8.
3. Askeland, D. R., 1985. *The Science and Engineering of Materials*. Boston, USA: Alternate Edition, PWS Engineering.
4. O. C., A. S. & R. G., 2015. *Fused Deposition Modelling With Polypropylene. ELSEVIER Materials and Design*, pp. 1 - 9.
5. Pambudi, A. I., 2017. Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material *Polylactic Acid (Pla) Dipreparasi Menggunakan 3D Printing. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, pp. 23 - 137.
6. Putra, K. S. & Sari, U. R., 2018. Pemanfaatan Teknologi 3D *Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. SANSITEK*.
7. Ross, P. J., 2008. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. Taiwan: McGraw-Hill Companies. Inc.
8. Setiawan, A., 2017. Pengaruh Parameter Proses Ektrusi 3d Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan *Filament PLA (Poly Lactide Acid)*. *Jurnal Teknik STTKD*, Volume 4, pp. 1-8.
9. Setiawan, S. Y., 2019. Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekan Pada Proses Ekstrusi Di Mesin Printer 3D. *Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara Medan* , pp. 4-57.
10. Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Lampiran 1 :

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

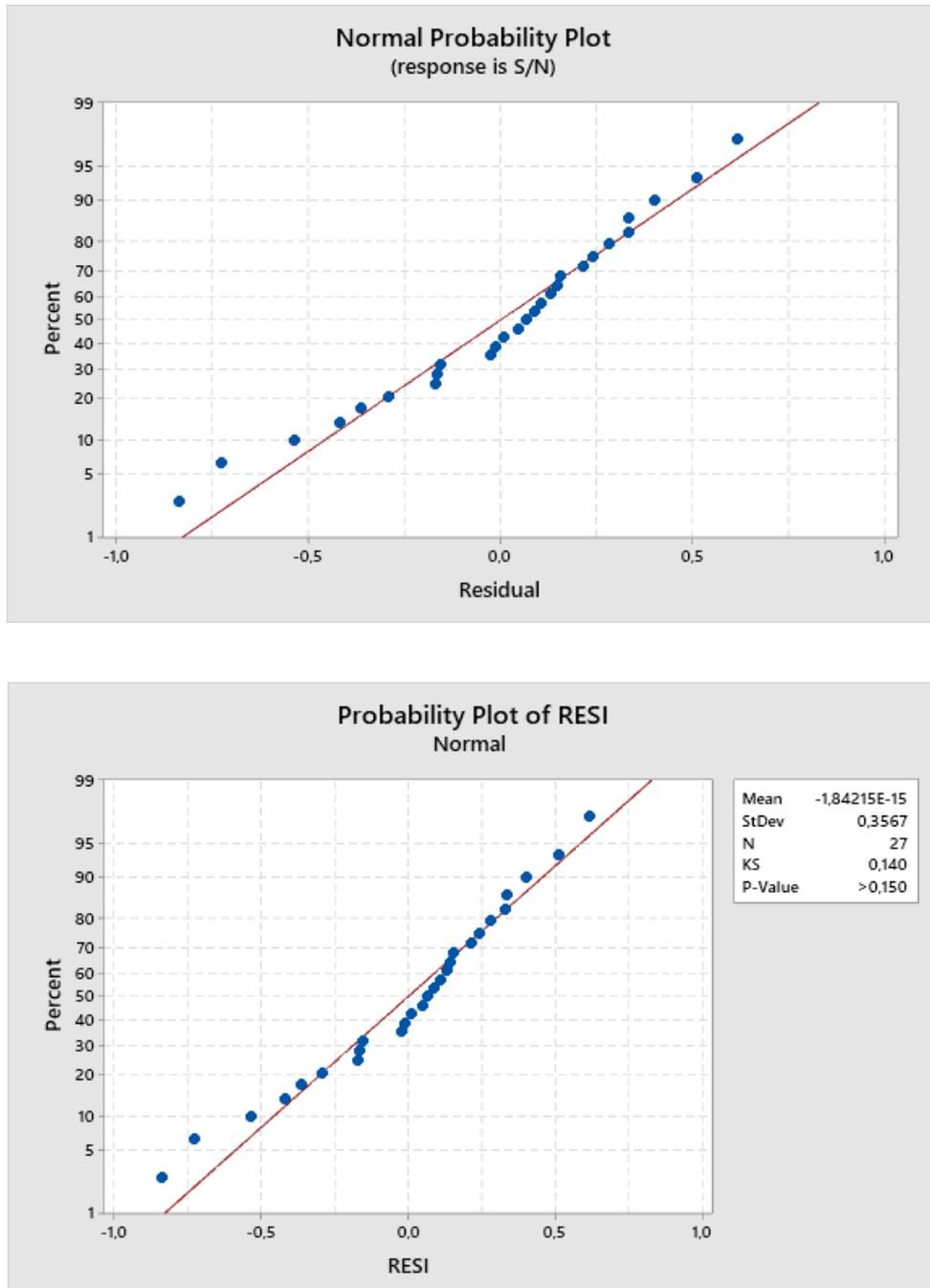
Nama : Muhammad Habib Bari
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 05 September 1999
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Pendidikan Terakhir : D IV (Teknik Mesin dan Manufaktur)
Alamat : Lingkungan Nelayan 2, RT 003
Kecamatan Sungailiat
Kabupaten Bangka, Bangka Belitung
Telepon/HP : 0831-2451-9934
Email : bari.habib5@gmail.com

Pendidikan Formal

- a. 2014-2017 : SMA Negeri 1 Sungailiat
- b. 2011-2014 : SMP Negeri 2 Sungailiat
- c. 2005-2011 : SD Negeri 6 Sungailiat

Lampiran 2 :

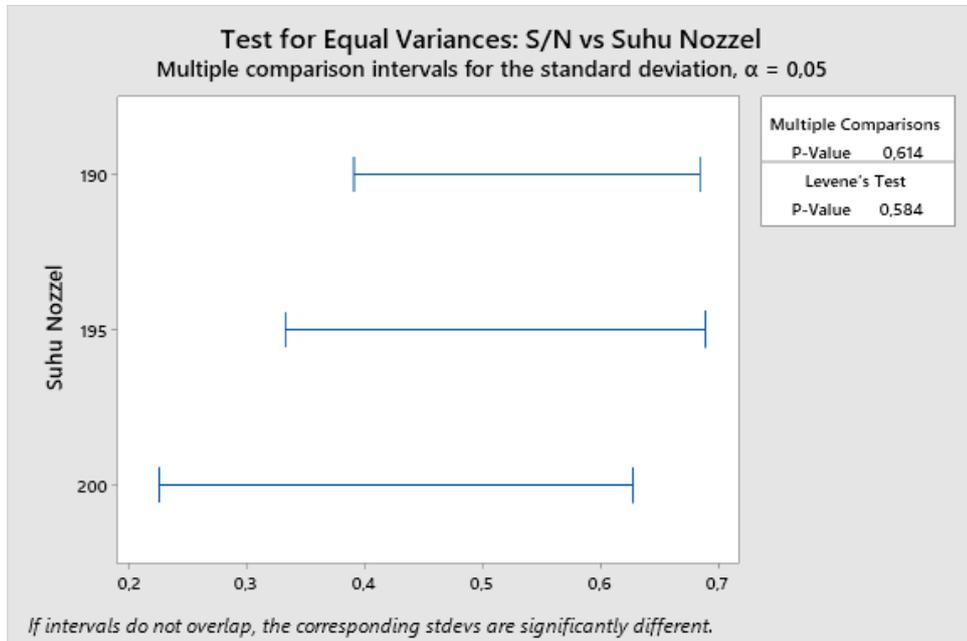
Uji Distribusi Normal



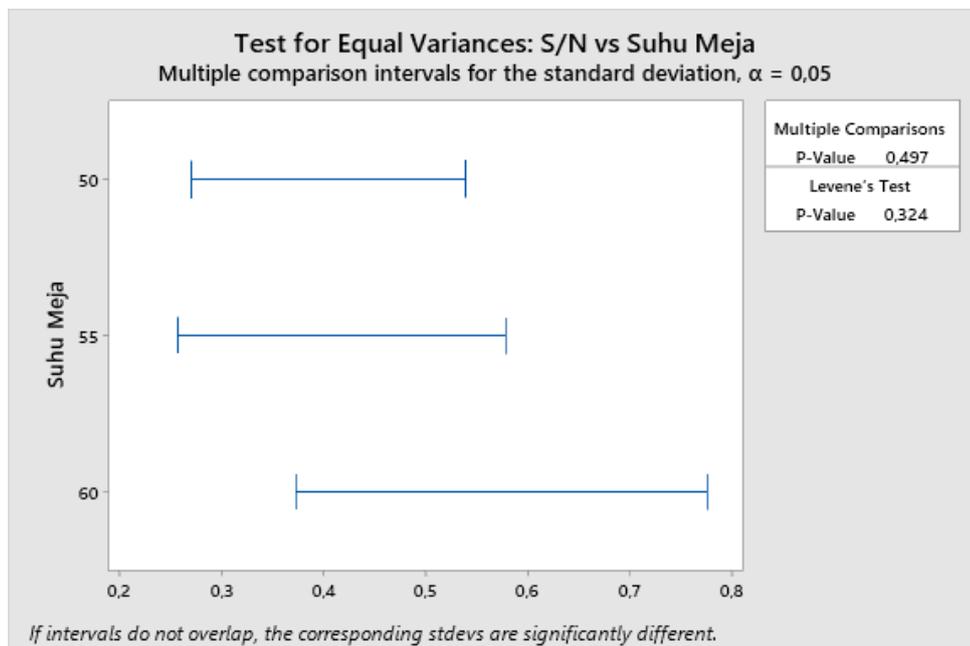
Gambar 2.1 Uji Kenormalan Data Kekuatan Tarik menggunakan Nilai Rasio S/N

Lampiran 3 :

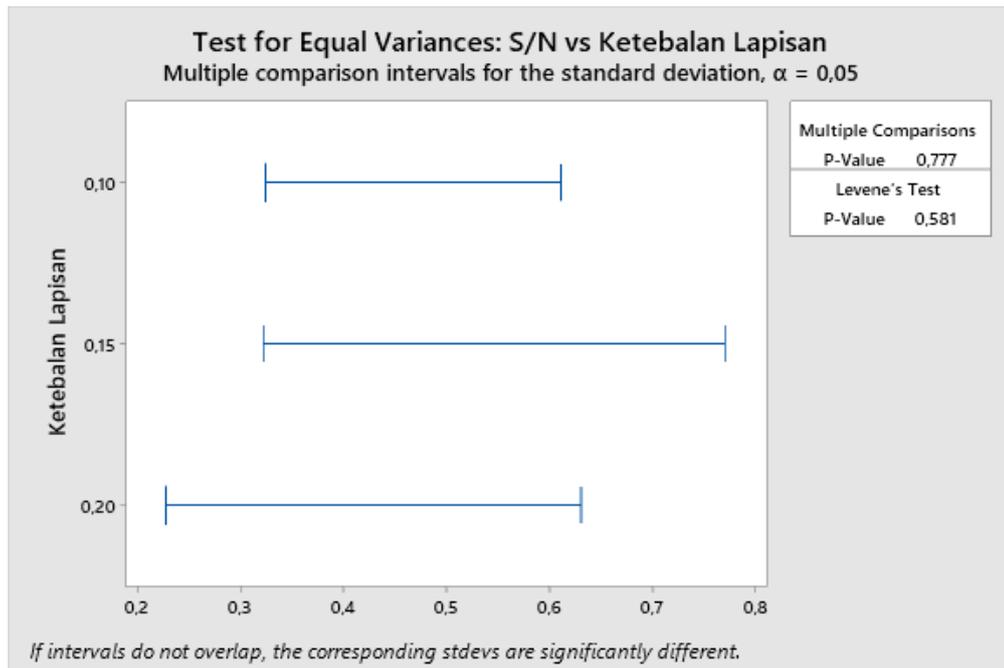
Uji Homogen



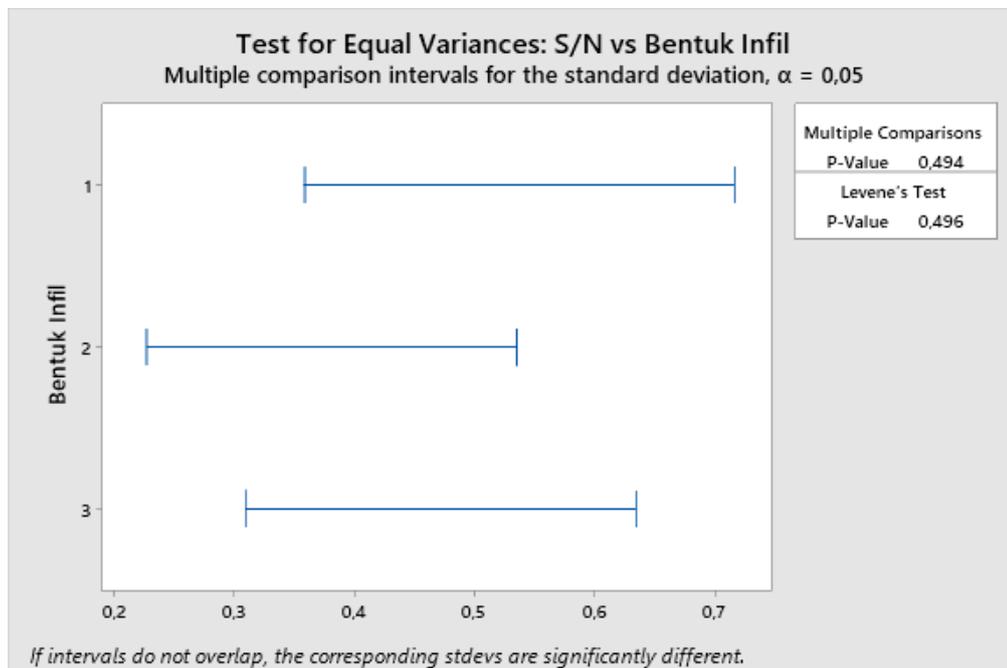
Gambar 3.1 Uji Homogen Varians Suhu Nozzel menggunakan Nilai Rasio S/N



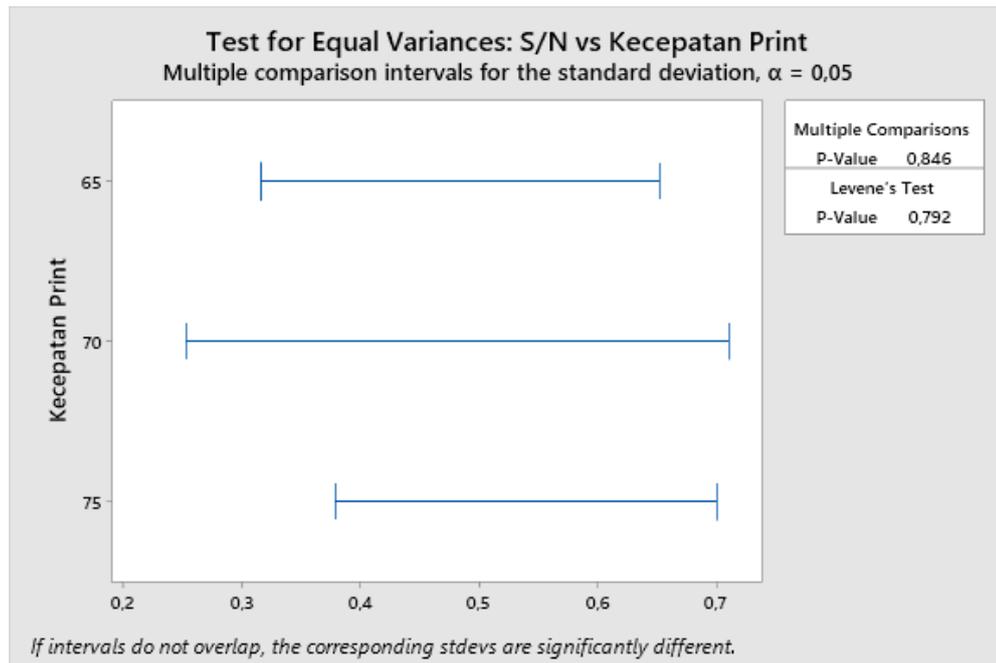
Gambar 3.2 Uji Homogen Varians Suhu Meja menggunakan Nilai Rasio S/N



Gambar 3.3 Uji Homogen Varians Ketebalan Lapisan menggunakan Nilai Rasio S/N



Gambar 3.4 Uji Homogen Varians Bentuk *Infill* menggunakan Nilai Rasio S/N



Gambar 3.5 Uji Homogen Varians Kecepatan Print menggunakan Nilai Rasio S/N