

**PENGARUH MEDIA, TEMPERATUR, DAN HOLDING
TIME ANNEALING PADA SPESIMEN ASTM D638
TYPE IV. MENGGUNAKAN FILAMEN ST PLA**

*The Effect Of Medium Temperature and Holding Time Annealing On The ASTM
D638 type IV Specimen Using ST PLA Material*

Laporan ini disusun memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan

Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur

Jurusan Teknik Mesin



Diajukan oleh :

Yulian Subakti

NIM : 1041761

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN dan MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA

BEKUTUNG

2022

PENGARUH MEDIA, TEMPERATUR, DAN *HOLDING TIME ANNEALING* PADA SPESIMEN ASTM D638 TYPE IV. MENGGUNAKAN FILAMEN ST PLA

The Effect Of Medium Temperature and Holding Time Annealing On The ASTM D638 type IV Specimen Using ST PLA Material

Laporan ini disusun memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan

Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur

Jurusan Teknik Mesin



Diajukan oleh :

Yulian Subakti

NIM : 1041761

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN dan MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA
BELITUNG**

Juli 2021

**PENGARUH MEDIA, TEMPERATUR, DAN *HOLDING*
TIME ANNEALING PADA SPESIMEN ASTM D 638
TYPE IV. MENGGUNAKAN FILAMEN ST PLA**

Penulis :

Yulian Subakti

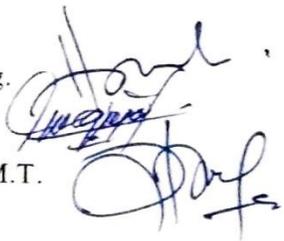
NPM : 1041761

Penguji :

1. Ketua : Hasdiansah, S.S.T., M.Eng.

2. Anggota : Sugiyarto, S.S.T, M.T.

3. Anggota : Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T.



Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 25 *February* 2021.

Dan disahkan sesuai dengan ketentuan

Pembimbing Utama,

Hasdiansah, S.S.T., M.Eng

NIDN : 0015078104

Pembimbing Pendamping,

Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T

NIP : 0212017701

Ketua Jurusan,

Pristiansyah, S.S.T., M.Eng

NIDN : 0024018802

ABSTRAK

Fused Deposition Modelling (FDM) merupakan teknik 3D Printing yang populer digunakan untuk mencetak produk yang diinginkan. Produk yang dicetak tentunya memiliki karakteristik kekuatan tarik yang ideal apabila mempunyai ukuran yang teliti dan bentuk yang sempurna. Salah satu material yang dapat di proses di mesin 3D printing adalah ST PLA. Penelitian dalam hal pengujian tarik telah banyak dilakukan terhadap material PLA dan ABS. Sedangkan pengujian tarik dengan proses *annealing* menggunakan filamen ST PLA masih jarang dilakukan. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan penelitian untuk mendapatkan parameter proses pada mesin 3D printer yang optimal, untuk mendapatkan kekuatan tarik tertinggi dari proses *annealing* menggunakan material ST PLA. Penelitian dilakukan menggunakan mesin 3D printer DIY model prusa dengan printing area XYZ, 300 mm X 300 mm X 300 mm. Material yang digunakan filamen ST PLA diameter 1,75. Untuk parameter proses pada penelitian ini adalah *Layer Thickness*, *Nozzle Temperature* dan *Flowrate*. Bentuk spesimen uji mengikuti standar ASTM D638 Type IV. Sedangkan untuk desain parameter proses menggunakan metode Taguchi L₉ (3³). Nilai parameter proses yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi tanpa *annealing* adalah *Layer thickness* 0,3 mm, *nozzle temperature* 205 °C, dan *flowrate* 100 %. Untuk parameter proses *annealing* yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi adalah dengan waktu *annealing* 15 menit, temperatur oven 110 °C, untuk media *annealing* menggunakan kopi.

Kata Kunci : *Annealing*, Filament ST PLA, Metode Taguchi

ABSTRACT

Fused Deposition Modeling (FDM) is a popular 3D Printing technique used to print the desired product. The printed product certainly has the ideal tensile strength characteristics if it has a precise size and perfect shape. One of the materials that can be processed in a 3D printing machine is ST PLA. Research in terms of tensile testing has been carried out on PLA and ABS materials. Meanwhile, tensile testing with annealing process using ST PLA filaments is still rarely done. From these problems, research is needed to get the optimal process parameters on the 3D printer machine, to get the highest tensile strength from the annealing process using ST PLA material. The research was conducted using a 3D printer DIY machine with a Prusa model with a printing area of XYZ, 300 mm X 300 mm X 300 mm. The material used was a ST PLA filament diameter of 1.75. For the process parameters in this study are Layer Thickness, Nozzle Temperature and Flowrate. The shape of the test specimens followed ASTM D638 Type IV standards. As for the design of process parameters using the Taguchi L9 method (33). Process parameter values that produce the highest tensile strength without annealing are Layer thickness 0.3 mm, nozzle temperature 205 0C, and flowrate 100%. For annealing process parameters that produce the highest tensile strength is annealing time of 15 minutes, oven temperature 110 0C, for annealing media using coffee.

Keywords: Annealing, Filament ST PLA, Taguchi Method

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam tercurahkan kepada baginda rasulullah SAW, kepada sahabat beserta pengikutnya dan insyaallah kepada kita sekalian umatnya.

Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, baik berupa dorongan moral maupun materi. Karena penulis menyakinkan tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasanya bagi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Disamping itu, izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya Kepada :

1. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sangat spesial penulis hanturkan dengan rendah hati dan rasa hormat kepada ayah dan ibunda penulis tercinta, beserta kakak yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik doa restu, petunjuk maupun materi.
2. Bapak Hasdiansah, S.S.T., M.Eng . Selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Zaldy kurniawan, S.S.T.,M.T . Selaku pembimbing kedua yang selalu meluangkan waktu kepada penulis untuk membimbing dan selalu memberikan nasehat terbaik kepada penulis
4. Ketua jurusan Teknik Mesin bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng .
5. Bapak Yulianto S.S.T.,M.T . yang selalu meluangkan waktu kepada penulis untuk memberi arahan dan selalu memberikan izin untuk penggunaan mesin uji tarik.
6. Bapak dan Ibu dosen Politeknik dan Manufaktur Bangka Belitung yang telah memberikan ilmu kepada penulis, Semoga bapak dan ibu dosen selalu dalam lindungan Allah SWT. Sehingga ilmu yang telah diajarkan dapat bermanfaat dikemudian hari.
7. Kepada teman teman seperjuangan (Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur) yang banyak membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

8. Kepada Bapak Sugiyarto, S.S.T., M.T selaku penguji 1 (satu).

9. Kepada Bapak Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T selaku penguji 2 (dua).

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis minta maaf kepada semua pihak yang merasa kurang berkenan dengan skripsi ini, namun demikian penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk memberikan yang terbaik. Kiranya tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya. Akhir kata penulis ucapkan terimah kasih.

Sungailiat, February 2021

Yulian Subakti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRAC.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Batasan Penelitian	I-3
1.4 Tujuan Masalah.....	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
1.6 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II LANDASAN TEORI	II-1
2.1 Mesin 3D Printing	II-1
2.2 Filament St PLA (<i>Polylactid Acid</i>)	II-1
2.3 Mekanisme proses 3D Printing	II-2
2.3.1 Modelling Objek 3D	II-2
2.3.2 Proses Pencetakan	II-2

2.3.3 Proses <i>Finishing</i>	II-3
2.3.4 Uji Kekuatan Tarik	II-3
2.3.5 Bentuk dan Dimensi Spesimen uji	II-5
2.3.6 <i>Grip and Face Selection</i>	II-5
2.4 Metode Taguchi	II-7
2.4.1 Pengertian Metode Taguchi	II-7
2.4.2 Langkah-langkah Metode Taguchi	II-7
2.5 Tahapan Desain Eksperimen Taguchi.....	II-8
2.5.1 Tahapan Perencanaan Eksperimen.....	II-8
2.5.2 Tahapan Pelaksanaan Eksperimen	II-10
2.5.3. Tahap Analisa.....	II-11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1 Objek Penelitian	III-1
3.2 Metode yang Digunakan	III-1
3.3 Alat dan Bahan.....	III-4
3.4 Objek dan Lokasi Penelitian	III-6
3.5 Parameter Penelitian.....	III-6
3.5.1 Parameter Bebas.....	III-6
3.5.2 Parameter Kontrol	III-7
3.5.3 Parameter Respon	III-7
3.5.4 <i>Signal to Noise S/N</i>	III-7
3.6. Proses Penelitian	III-9
3.6.1 Persiapan Penelitian	III-9

3.6.2 Proses Pembentukan Spesimen.....	III-9
3.6.3 Pengujian Tarik Tanpa <i>Annealing</i>	III-10
3.6.4 Desain Variasi Faktor <i>Annealing</i> Menggunakan Taguchi L9OA.....	III-10
3.6.5 Proses <i>Annealing</i>	III-11
3.6.6 Pengujian Tarik dengan <i>Annealing</i>	III-12
3.6.7 Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	III-12
3.6.8 Analisa Data.....	III-12
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
4.1 Hasil Penelitian	IV-1
4.2 Pengambilan Data Hasil Percobaan	IV-1
4.3 Pengolahan Data.....	IV-3
4.3.1 Perhitungan <i>Mean</i> Terhadap Respon	IV-3
4.4 Perhitungan Rasio S/N terhadap Respon	IV-6
4.5 Analisa Varians Rasio S/N.....	IV-9
4.6 Pengolahan Data percobaan <i>Annealing</i>	IV-12
4.6.1 Perhitungan <i>Mean</i> terhadap Respon <i>Annealing</i>	IV-12
4.7 Pengolahan Data percobaan <i>Annealing</i>	IV-14
4.7.1 Perhitungan <i>Mean</i> Terhadap Respon <i>Annealing</i>	IV-14
4.8 Perhitungan Rasio S/N <i>Annealing</i> terhadap Respon.....	IV-17
4.9 Analisa Varian Rasio S/N	IV-20
BAB V PENUTUP.....	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1

5.2 Saran..... V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Level-level Matriks Orthogonal.....	II-10
Tabel 3.1 Spesifikasi Filamen ST FLA.....	III-5
Tabel 3.2 Nilai Level yang di Uji	III-6
Tabel 3.3 Derajat Kebebasan	III-8
Tabel 3.4 Proses Pencetakan dengan Taguchi L ₉ OA	III-8
Tabel 3.5 Faktor Variasi <i>Annealing</i>	III-11`
Tabel 3.6 Faktor Variasi <i>Annealing</i> Taguchi L ₉ OA.....	III-11`
Tabel 4.2 Hasil pengujian Tanpa <i>Annealing</i> Matriks Orthogonal L ₉ OA	IV-2
Tabel 4.3 Respon Rata-rata pengujian Tarik.....	IV-4
Tabel 4.4 Respon Parameter terhadap <i>Mean</i>	IV-5
Tabel 4.5 Hasil Respon Parameter terhadap <i>Mean</i>	IV-5
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Rasio S/N terhadap Respon.....	IV-8
Tabel 4.7 Respon Rasio S/N Parameter terhadap <i>Mean</i>	IV-9
Tabel 4.8 Kombinasi Parameter terhadap Respon	IV-9
Tabel 4.9 Hasil Analisa Anova	IV-10
Tabel 4.10 Keputusan Uji	IV-10
Tabel 4.11 Perbandingan Level dari <i>Layer Thickness</i> terhadap Respon S/N	IV-11
Tabel 4.12 Perbandingan Level dari <i>Nozzle Tempereature</i> terhadap Respon S/N	IV-11
Tabel 4.13 Perbandingan Level dari <i>Flowrate</i> terhadap Respon S/N.....	IV-13
Tabel 4.14 Rata-rata Hasil Pengujian Tarik (<i>Annealing</i>).....	IV-15
Tabel 4.15 Respon Rata-rata Hasil Pengujian Tarik.....	IV-16
Tabel 4.16 Hasil Rata-rata Kespon Kekuatan Tarik	IV-18
Tabel 4.17 Nilai <i>Mean</i> terhadap Parameter Proses	IV-19

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Rasio S/N terhadap Respon.....	IV-20
Tabel 4.19 Respon Rasio S/N	IV-20
Tabel 4.20 Respon Rasio S/N untuk Masing-masing Level	IV-21
Tabel 4.21 Hasil Anova.....	IV-22
Tabel 4.22 Keputusan Uji	IV-23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin 3D Printing	II-1
Gambar 2.2 Mesin Uji Tarik Dilengkapi Spesimen Ukuran Standar.....	II-3
Gambar 2.3 Contoh Kurva Uji Tarik	II-4
Gambar 3.1 <i>Flowchart set up</i> Penelitian.....	III-2
Gambar 3.1 <i>Flowchart set up</i> Penelitian.....	III-3
Gambar 3.2 Mesin 3D Printing DIY Area XYZ.....	III-4
Gambar 3.3 Filamen ST PLA	III-4
Gambar 3.4 Oven Untuk Proses <i>Annealing</i> pada Spesimen	III-5
Gambar 3.5 Laboraturium Teknik Mesin dan Manufaktur Bangka Belitung	III-5
Gambar 3.6 Bentuk Orientasi Cetak	III-9
Gambar 3.7 Proses Pencetakan di Mesin 3D Printing Area XYZ	III-9
Gambar 3.8 Proses Uji Tarik Tanpa <i>Annealing</i>	III-10
Gambar 3.9 Proses Pengujian Tarik dengan <i>Annealing</i>	III-12
Gambar 4.1 Grafik Batang 3 Replikasi Faktor.....	IV-2
Gambar 4.3 Grafik Rata-rata Uji Tarik untuk Masing-masing Level.....	IV-6
Gambar 4.4 Grafik Respon Rasio S/N untuk Masing-masing Level	IV-8
Gambar 4.5 Grafik Kekuatan Tarik dengan Proses <i>Annealing</i>	IV-13
Gambar 4.7 Grafik Uji Tarik Untuk Masing-masing Level.....	IV-16
Gambar 4.8 Grafik Respon Rasio S/N untuk Masing-masing Level Parameter ..	IV-19

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Bentuk Spesimen Uji Tarik Standar ASTM D 638

Lampiran 2 Hasil Normalitas Tanpa *Annealing* dan dengan *Annealing*

Lampiran 3 Data Uji Homogen Tanpa Proses *Annealing*

Lampiran 4 Data Uji Homogen Dengan Proses *Annealing*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hadirnya teknologi 3D printing dalam dunia manufaktur membawa perubahan besar pada dunia. Teknologi yang juga dikenal dengan sebutan *additive manufacturing* sebenarnya sudah hadir sejak tahun 1980-an. Proses pembuatan objek dilakukan dengan cara menambahkan ribuan lapisan kecil yang dikombinasikan untuk hasilkan barang jadi atau *finished products*. Salah satu metode yang sangat populer dalam *additive manufactur* adalah *Fused Deposition Modelling* (Knic.co.id).

Fused deposition modelling (FDM) merupakan salah satu metode yang cukup populer dalam *additive manufactur* dimana produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi untuk dapat bersaing dengan metode manufaktur konvensional (*injection moulding*). Bahan/material dalam teknologi 3d printing adalah plastik.

Plastik mengalami perkembangan dan penggunaan yang sangat luas. Ditambah dengan hadirnya teknologi 3D printing dalam dunia manufaktur membawa perubahan besar pada dunia, salah satu *polymer* plastik dalam teknologi 3D printing adalah filament ST PLA.

ST PLA merupakan pengembangan filament PLA yang dikomposkan dengan aditif spesial, tidak berpengaruh biodegradasi, beberapa kali lebih keras dibandingkan dengan PLA normal sehingga bisa menghasilkan kekuatan yang lebih baik, ikatan yang luar biasa dan tahan akan benturan (www.primes3d.com). Dalam rangka peningkatan properti filament ST PLA perlu dimodifikasi untuk memperbaiki sifatnya, salah satunya dengan proses *annealing*, pada proses *annealing* diperlukan beberapa variasi antara lain media, waktu *annealing* dan temperatur *annealing*. Variasi faktor tersebut tidak memiliki nilai pasti dalam pengerjaanya, sehingga dibutuhkan pencarian nilai yang tepat untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan harapan.

(Vukasin Slavkovic, DKK. 2017). Melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Arah Pengumuman dan Pencetakan Pada Sifat Mekanis Polimer Memori Bentuk PLA Yang Dihasilkan Oleh Pemodelan Deposisi Fuse”. Dalam penelitian ini, spesimen polimer memori bentuk asam laktat poli dicetak dengan printer 3D dan mengalami *annealing* panas dan pengujian mekanis. Penelitian terdiri dari dua bagian. Pada bagian pertama pengaruh anil pada sifat mekanik diselidiki, sedangkan pada bagian kedua kita telah menyelidiki pengaruh arah pencetakan pada sifat mekanik spesimen.

Hasil penelitian, semua sampel yang sudah dicetak gagal secara murni rapuh, dengan modulus elastisitas yang relatif tinggi. Semua sampel yang dianil berperilaku serupa, dengan modulus elastisitas yang relatif lebih tinggi dan dengan kekuatan tarik ultimat yang meningkat secara signifikan. Kekuatan akhir rata-rata adalah 33,83 MPa ($\pm 0,46$ MPa) untuk sampel yang dicetak dan 44,06 MPa ($\pm 0,6$ MPa) untuk sampel yang dianil. Spesimen yang dianil menunjukkan peningkatan kekuatan ultimit sebesar 30,25% dibandingkan dengan sampel yang dicetak. Anil menyebabkan peningkatan 19% dalam modulus elastisitas rata-rata, dari 1,35 GPa ($\pm 0,057$) untuk sampel yang dicetak menjadi 1,67 GPa ($\pm 0,122$) untuk sampel yang dianil, tegangan-regangan untuk sampel yang dicetak dan dianil menyebabkan peningkatan 9% dalam modulus elastisitas rata-rata dari 1,65 GPa ($\pm 0,12$) untuk sampel yang dicetak hingga 1,82 GPa ($\pm 0,097$) untuk sampel yang dianil. Spesimen anil menunjukkan peningkatan 6% dalam kekuatan ultimat dibandingkan dengan sampel yang dicetak. Kekuatan ultimit rata-rata adalah 69,85 MPa ($\pm 0,24$) untuk sampel anil dan 65,86 MPa ($\pm 0,41$) untuk sampel yang dicetak.

(GE Dubinenko, DKK. 2018). Melakukan penelitian yang berjudul ”Pengaruh Anil Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Poly (*L-lactic acid*), sebagai bahan untuk pencetakan 3D implan yang merangsang pertumbuhan jaringan tulang “.Komposit PLLA / HAp dibuat menurut metode berikut. HAp dikeringkan terlebih dahulu pada suhu 150 ° C dan dicampur dengan DMSO selama 3 jam dalam *ball mill*. Fraksi berat HAp masing-masing adalah 14,3 g, 33,3 g dan 100

g untuk PLLA 12.5, PLLA 25 dan PLLA 50. Kemudian larutan PLLA 15% dalam kloroform ditambahkan ke dalam campuran HAp dengan DMSO. Komposisi tersebut diaduk selama 8 jam pada *ball mill* dengan bola *zirconia*. Setelah pencampuran komposit digranulasi dan dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 ° C dan 5 10-3 mbar. Pelet kering diekstrusi pada *ekstruder* sekrup tunggal horizontal Filabot EX2 (Filabot, USA) pada 175 ° C.

Hasil penelitian, pengaruh anil tambahan pada sifat mekanik dan morfologi perancah komposit PLLA / HAp cetak 3D dari tiga komposisi (12, 5, 25, dan 50% berat HAp) diselidiki. Morfologi dan modulus Young dari perancah cetak 3D diselidiki dengan memindai mikroskop elektron dan nanoindentation. Telah terbukti bahwa anil tambahan tidak berpengaruh pada distribusi homogen bubuk HAp dalam matriks PLLA. Hasil menggunakan metode Taguchi. Karena *nanoindentation* menunjukkan pertumbuhan modulus Young setelah anil. Nilai maksimum modulus 9393 ± 709 MPa Young dicapai untuk komposit anil dengan 50 wt.% HAp.

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi, menurut Soejanto (2009). Metode Taguchi bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan sumber daya seminimal mungkin.

1.2 Rumusan Masalah

Sebenarnya banyak permasalahan yang dapat kita angkat dalam penelitian ini, namun penulis harus membatasi masalah yang lebih terperinci dan jelas agar pemecahan masalah terarah, jadi dalam penelitian ini hanya membatasi masalah :

- . Bagaimana pengaruh media *annealing*, temperatur *annealing* dan *holding time* terhadap kuat tarik filament ST PLA ?

1.3 Batasan masalah.

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengujian tarik menggunakan filament ST PLA, dengan proses *annealing* menggunakan tiga (3) variasi media (Pasir pantai,

Kopi dan Gandum), waktu *annealing* (15, 20 dan 25 menit). Sedangkan temperatur oven menggunakan (100, 110 dan 120 menit).

2. Untuk parameter cetak yang dipilih yaitu, *layer thicknes*(0,1 0,2 dan 0,3 mm) *flowrate* (95, 100 dan 105 %) dan *nozzle temperature* (195, 200 dan 205 menit).

3. Mesin uji menggunakan Zwick Roell, untuk material uji menggunakan filamen ST PLA.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini berdasarkan perumusan masalah :

. Mengetahui pengaruh media, temperatur dan *holding time* terhadap kekuatan tarik filamen ST PLA akibat dari proses *annealing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini maka didapat manfaat, yaitu :

. Harapan dari penelitian ini, untuk mengetahui pengaruh antara media *annealing*, waktu *annealing* dan *temperature annealing*. Sehingga dapat memprediksi variasi yang tepat untuk hasilkan produk yang lebih baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari :

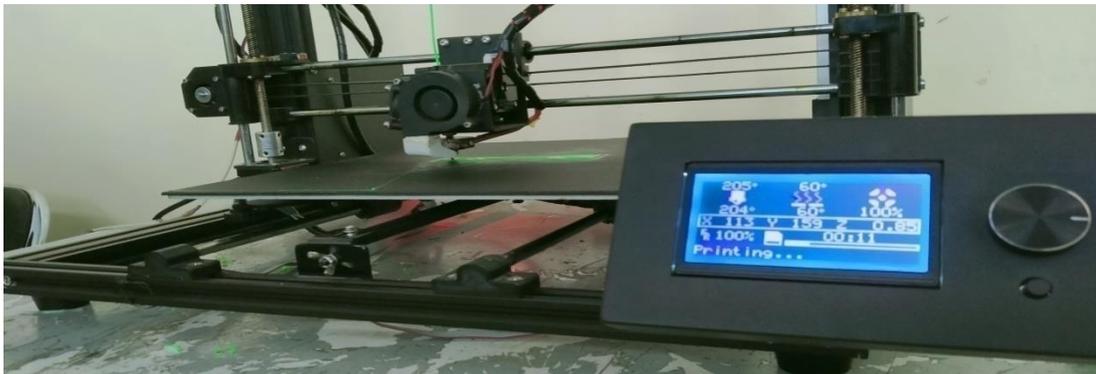
1. Bab 1 berisikan latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, kontribusi penelitian dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 berisikan tinjauan pustaka tentang kajian pustaka dan dasar teori yang yang berdasarkan penelitian ini.
3. Bab 3 berisikan penjelasan tentang alat dan bahan serta proses *annealing* pada filamenST PLA, menggunakan metode Taguchi.
4. Bab 4 berisikan pembahasan tentang penjelasan hasil pengujian dari produk yang dibuat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Mesin 3D Printing

3D Printing adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari suatu desain digital. Pada dasarnya memang tidak jauh berbeda dari alat printing biasa, hanya saja *output* yang berupa bentuk 3D. Misalnya, untuk mencetak gelas plastik, maka tinta di printer diganti dengan bahan plastik. Dengan begitu seorang yang memiliki Printer 3D akan mampu memiliki apapun yang mereka inginkan, asalkan memiliki desain atau gambar. Tentunya inovasi ini memberi dampak tersendiri terhadap dunia manufaktur (midtrans.com). Berikut gambar mesin 3D printing dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1. Mesin 3D Printing

2.2 Filament ST PLA (*polyactid Acid*)

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

Kelebihan *polyactid acid* (PLA) bersifat *biodegradable* dan bioaktif yang mempunyai kemiripan dengan *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE)/ *polystyrene* (PS) yang didapatkan dari peralatan manufaktur yang sudah ada, sehingga bisa mengurangi biaya produksi. Karakteristik dari polymer PLA tidak beracun, menyempit pada saat dipanaskan sehingga cocok digunakan untuk alat pembungkus plastik dan sifatnya yang melarutkan 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 pelapukanya berkisar antara 6 bulan karena kelembaban, suhu dan debu. Dengan kondisi seperti ini dikembangkan lagi filament PLA ini menjadi filament ST PLA (*Super tough PLA*), CCTREE menemukan PLA special yang disebut ST PLA yang dikomposkan dengan aditif special, tidak berpengaruh biodegradasi dan dapat meningkatkan properti PLA, dibandingkan dengan PLA normal. ST PLA memiliki banyak keuntungan, beberapa kali lebih keras daripada PLA reguler, sehingga bisa menghasilkan kekuatan yang lebih baik, ikatan yang luar biasa dan tahan akan benturan. (www.primes3d.com).

2.3 Mekanisme Proses 3D Printing

2.3.1. 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*.

2.3.2 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

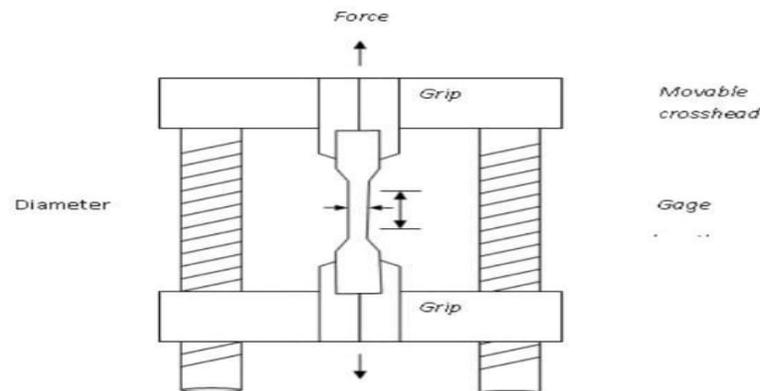
sehingga menjadi model virtual yang otomatis digabungkan agar membentuk sebuah objek lengkap yang utuh.

2.3.3 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*), warna berbeda (*multiple color*). (www.primes3d.com)

2.3.4 Uji Kekuatan Tarik

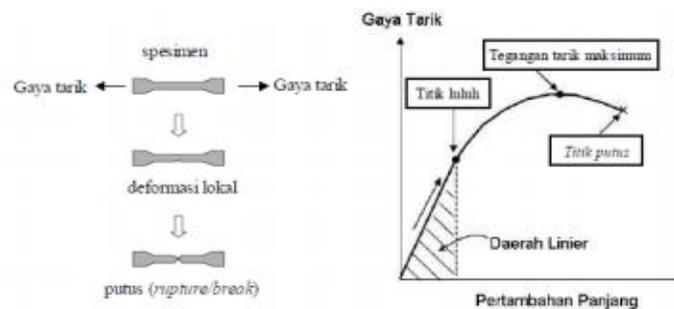
Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik yang sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang di alami benda uji (Davis, Troxell, dan wiskocil, 1955). Uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat, untuk hasil yang didapatkan dari pengujian tarik tersebut, sangatlah penting karena menghasilkan data kekuatan material.



Gambar 2.2 Mesin Uji Tarik Dilengkapi Spesimen Ukuran Standar.

Sumber : sersasih.wordpress.com

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan tarik, modulus elastisitas dan regangan dari material yang diuji. Pengujian ini mengikuti standar ASTM D-638. Data yang diperoleh dari pengujian ini dinyatakan dalam grafik tegangan regangan (*stress-strain*). Pada saat batang uji menerima beban sebesar P (N) maka batang uji akan bertambah panjang sebesar Δl (mm). Analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matriks sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matriks. Uji tarik (*stress-strain*) untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik sehingga dapat diketahui pula bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan sejauh mana material bertambah panjang. Bila kita terus menarik suatu bahan sampai putus, maka kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Berikut contoh kurva uji tarik ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3. Contoh Kurva Uji Tarik

Sumber: Zwingly.Wordpress.com

Tujuan utama dilakukannya uji tarik pada filament ST PLA berdasarkan standar ASTM D638 Type IV ini adalah untuk menganalisa respon material pada saat dikenakan beban atau deformasi terhadap pembebanan statis yang diberikan, serta untuk memprediksi kekuatan tarik material dengan diberikan pembebanan.

Prinsip pengujian ini adalah benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi suatu beban tarik *uniaxial* (satu arah) yang akan bertambah secara kontinu, sehingga spesimen tarik atau benda uji tersebut putus. Bersamaan dengan penarikan tersebut dilakukan pengamatan pertambahan panjang yang dialami benda uji.

2.3.5. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM (*American Standard Testing and Material*). Bentuk dari spesimen uji sangat penting karena peneliti harus menghindari terjadinya patahan atau retak pada bagian *grip*. Dengan kondisi itu, peneliti harus mengikuti standarisasi bentuk spesimen uji supaya retak dan patahan terjadi di daerah *gage length*. (sersasih.wordpress.com)

2.3.6 Grip and Face Selection

Face and *grip* adalah suatu faktor yang penting, karena dengan pemilihan setting yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip, bahkan bisa terjadi pecah pada daerah *grip* (*jaw break*). Dan akan menghasilkan hasil yang tidak valid. *Face* harus tertutupi pada seluruh permukaanya yang kontak dengan *grip*, supaya spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *Face*. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Bentuk dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar pengujian.

1. 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.
2. Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal.
3. Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, tempratur dan

kekuatan tegangan yang akan menentukan selama pengujian. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas .

4. Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah elastis tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah regangan yang jika diberikan beban kembali ke posisi semula disebut daerah elastis. Sedangkan untuk daerah yang diberikan beban tidak kembali ke posisi semula daerah ini disebut plastis. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen walaupun beban dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastik.

5. Pada awalnya pengerasan regangan 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 dimana pengurangan luas penampang deformasi beban yang diakibatkan oleh pengerasan regangan.

6. 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 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 (1) akan berkurang hingga terjadi patah.

2.4 Metode Taguchi

2.4.1 Pengertian Metode Taguchi

Metode taguchi merupakan metode desain eksperimen dalam suatu rancangan percobaan untuk mengatakan nilai-nilai dari variabel dapat dikendalikan dengan tujuan memperbaiki kualitas produk sehingga dapat meminimalkan variasi yang disebabkan variabel gangguan. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan benda kerja dan proses tidak sensitif terhadap berbagai parameter gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya. Adapun kelebihan metode Taguchi antara lain (Soejanto, 2009) sebagai berikut :

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian dengan melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan benda kerja secara konsisten dan kokoh terhadap parameter yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari parameter kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Metode Taguchi memiliki kekurangan dibandingkan metode lainnya yaitu mempunyai struktur rancangan yang sangat kompleks, sehingga pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

2.4.2 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 Tahapan Desain Eksperimen Taguchi

2.5.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

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

1. Perumusan Masalah

Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.

2. Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan secara sistematis.

3. Penentuan Respon

Respon memiliki nilai yang tergantung pada parameter-parameter lain yang disebut variabel bebas.

4. Pengidentifikasian Parameter Bebas

Parameter bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini akan dipilih parameter-parameter yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua parameter yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

5. Pemisahan Parameter Kontrol dan Parameter Gangguan

Parameter-parameter yang diamati dapat dibagi menjadi parameter kontrol dan parameter gangguan, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua parameter tersebut berbeda. Parameter kontrol adalah parameter yang nilainya

dapat dikendali sedangkan parameter gangguan adalah parameter yang nilainya tidak dapat dikendalikan.

6. Penentuan Jumlah dan Nilai Level Parameter

Pemilihan jumlah level artinya akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin besar.

7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar percobaan harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh percobaan tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah percobaan yang akan dilakukan untuk menyelidiki parameter yang diamati. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_{mo} = \text{jumlah percobaan} - 1$$

Derajat kebebasan dari parameter dan level (v_{fl}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_{fl} = \text{jumlah level parameter} - 1$$

8. Pemilihan Matriks *Ortogonal*

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah parameter dan jumlah level parameter. Pemilihan matriks ortogonal digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan dan menyelidiki parameter yang diamati. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah parameter dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk :

$$L_a(b^c)$$

Dengan: L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level parameter

c = Banyaknya parameter

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.1

9. Sebagai contoh matriks ortogonal $L_4 (2^3)$ berarti jumlah eksperimen yang akan dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah parameter maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2. 1 Level-level Matrik Ortogonal

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level Gabungan
$L_4 (2^3)$	$L_9 (3^4)$	$L_{16} (4^5)$	$L_{25} (5^6)$	$L_{18} (2^1 \times 3^7)$
$L_8 (2^7)$	$L_{27} (3^{13})$	$L_{64} (4^{21})$		$L_{32} (2^1 \times 4^9)$
$L_{12} (2^{11})$	$L_{81} (3^{40})$			$L_{36} (2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16} (2^{15})$				$L_{36} (2^3 \times 3^{13})$
$L_{32} (2^{31})$				$L_{54} (2^1 \times 3^{25})$
$L_{64} (2^{63})$				

Sumber : (Soejanto, 2009)

2.5.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

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

1. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

2. Randomisasi

Dalam eksperimen yang mempengaruhi hasil eksperimen adalah parameter-parameter lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan. Pengaruh parameter-parameter itu dapat diperkecil dengan menyebarkan pengaruh tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk meratakan pengaruh dari parameter-parameter yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen, memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama dan untuk mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

2.5.3 Tahap Analisa

Pada tahap analisis, pengumpulan dan pengolahan data dilakukan, tahap ini meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu tampilan tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Selain itu, perhitungan dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil percobaan. Berikut ini adalah tahap analisa (Soejanto, 2009) :

1. Analisis Varians 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 variasi dua arah adalah data eksperimen yang terdiri dari dua parameter atau lebih dan dua level atau lebih.

2. Rasio S/N

Rasio S/N (*Rasio Signal-To-Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Penggunaan rasio S/N untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Tipe karakteristik rasio S/N terdiri dari :

a. Semakin kecil, semakin baik (*Small is Better*)

Dimana karakteristik kualitas nilai semakin kecil (mendekati nol adalah nilai yang diinginkan).

$$\text{rasio S/N} = - 10 \log\left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}\right) \quad (2.1)$$

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

b. Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal the Better*)

Dimana karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas (mendekati nilai yang ditentukan).

$$\text{rasio S/N} = - 10 \log\left(\frac{(y_i - \bar{y})^2}{n}\right) \quad (2.2)$$

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

c. Semakin besar, semakin baik (*Large is Better*)

Dimana karakteristik kualitas nilai tak terbatas (semakin besar adalah semakin diinginkan).

$$\text{rasio S/N} = - 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2.3)$$

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 variabel bebas terhadap eksperimen dibuktikan dengan uji hipotesis F. Hipotesis adalah suatu proses dugaan sementara yang masih lemah kebenarannya dari parameter dalam populasi, yang digunakan untuk menghasilkan 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. Variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan.

- Hipotesis pengujian adalah:

H0 : tidak ada pengaruh perlakuan

H1 : ada pengaruh perlakuan

- Kriteria Pengujian :

- Jika nilai uji F-Test (hitung) < nilai F-tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dengan kata lain H0 diterima dan H1 ditolak.
- Jika uji F-Test (hitung) > nilai F-tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dengan kata lain H0 ditolak dan H1 diterima.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

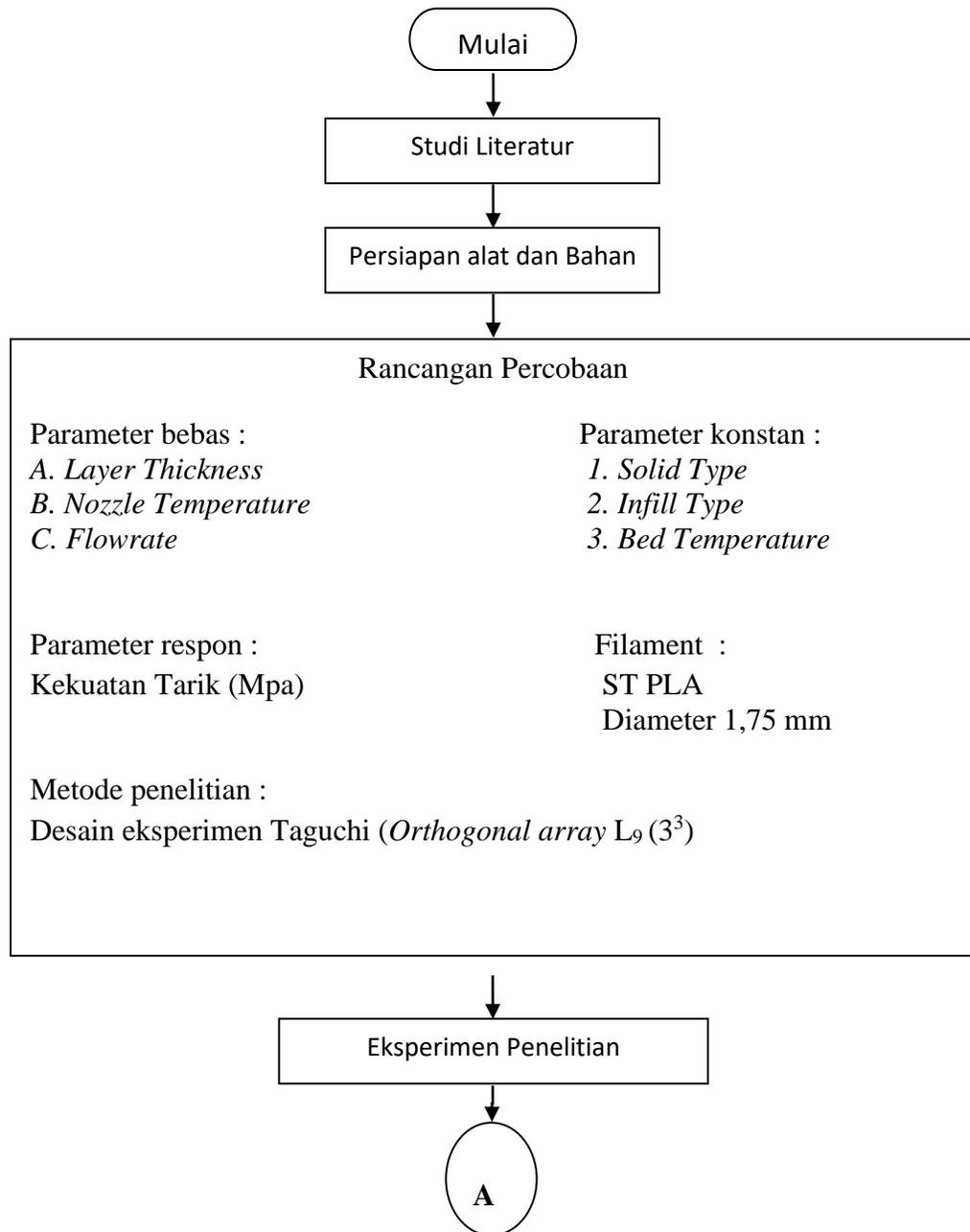
Objek penelitian dilakukan pada mesin 3D printing area XYZ dengan dimensi 300 mm x 300 mm x 350 mm dengan menggunakan *nozzle* berukuran 0,4 mm. Material yang digunakan filament ST PLA dengan diameter 1,75 mm warna *green*.

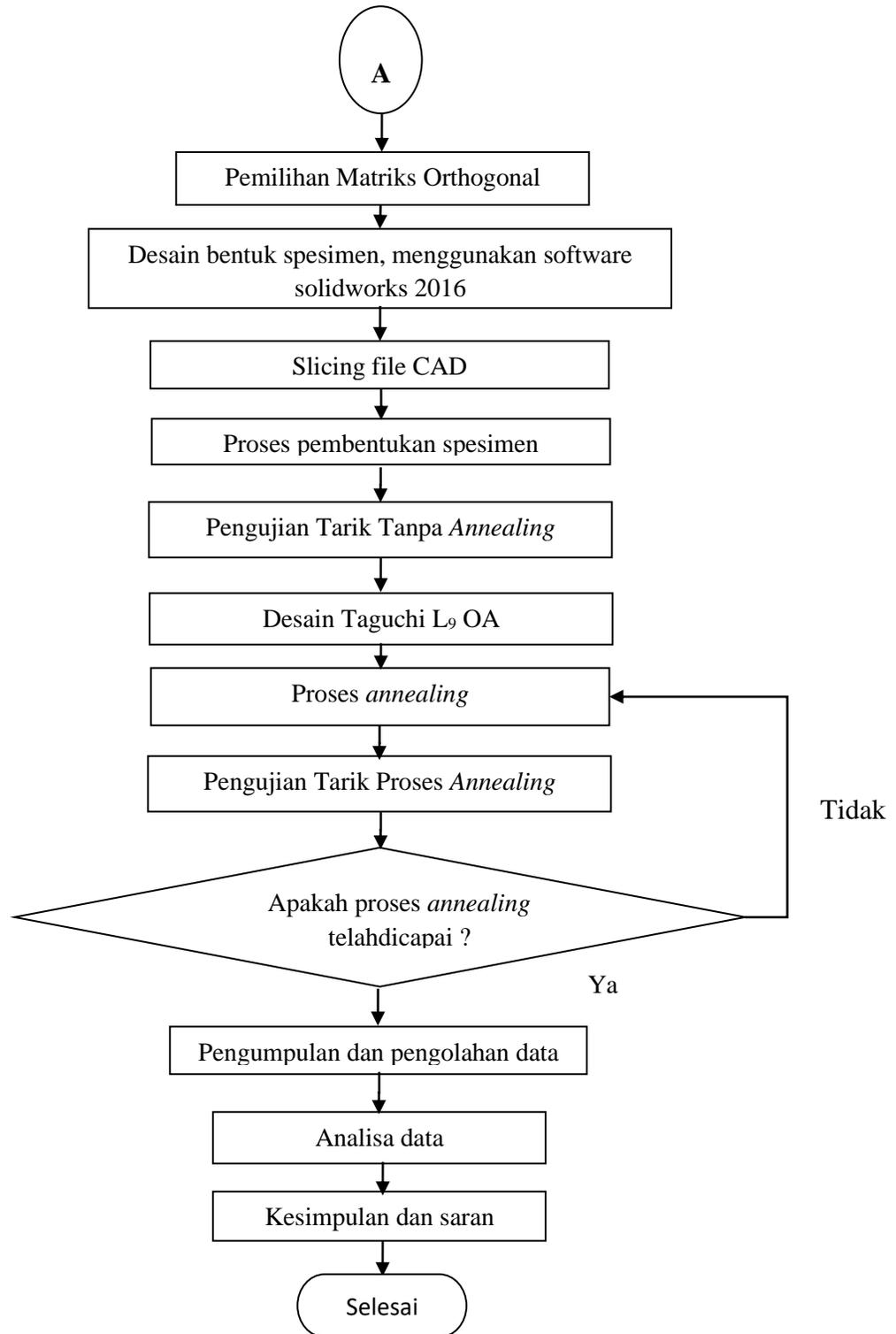
3.2 Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah :

Eksperimen, pada tahap ini akan dilakukan proses pencetakan berdasarkan parameter proses yang akan di uji dengan aturan Taguchi L₉ OA, setelah mendapat nilai parameter yang baik maka akan dilanjutkan dengan proses *annealing* dengan beberapa variasi, *temperatur annealing* (100, 110, 120 °C) waktu *annealing* (15, 20, 25 menit) dengan media (Pasir pantai, kopi dan Gandum).

Tujuan dilakukan perbedaan varians tidak lain untuk mengetahui variasi mana yang paling ideal untuk meningkatkan kualitas produk sehingga bisa menjadi masukan untuk yang ingin mengembangkan produk.



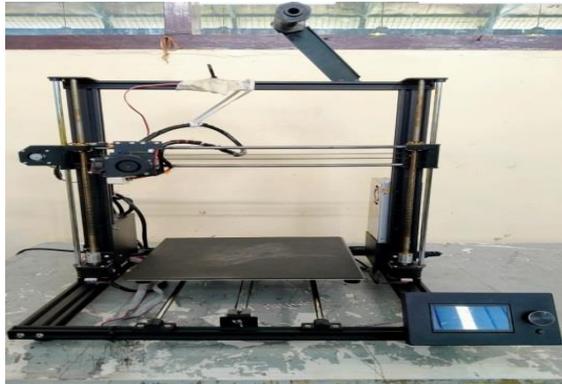


Gambar 3.1 Flowchart Set up penelitian

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin 3D printing DIY model Prusa dengan Printing Area XYZ 300 mm x 300 mm x 350 mm. Bentuk mesin 3D printing ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar3.2` Mesin 3D Printing DIY Model Prusa

2. Material yang digunakan pada penelitian ini, plastik jenis ST PLA dengan diameter 1,75 mm. Ditunjukkan pada gambar 3.3. Berikut ini :



Gambar 3.3. Filamen ST PLA

(Sumber www.amazon.com)

Tabel 3.1. Spesifikasi Filamen ST PLA

<i>Filament Diameter</i>	1.75 mm
<i>Recommend Extruder Temperature</i>	190-220 °C
<i>Recommend Platform Temperature</i>	45-60 °C
<i>Density</i>	1,24 g/cm ³
<i>Tensile strenght</i>	47,9 mpa
<i>Elongation at Break</i>	82%

Sumber : www.primes3d.com

3. Laptop dengan spesifikasi *modelling* merk HP 1000. Digunakan untuk melakukan proses desain 3D objek cetak, selain itu digunakan untuk menjalankan *software* yang digunakan dalam penelitian ini.
4. Mesin uji tarik *zwick roell*.
5. *Software* ideamaker 3.6.1, digunakan untuk *G-Code* pada mesin 3D Printing.
6. *Software* analisis Statistik.
7. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM D 638 Type IV.
8. Oven merk SAKAI.



Gambar 3.4. Oven untuk Proses *Annealing* pada Spesimen.

3.4 Objek dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboraturium Teknik Mesin dan Manufaktur Bangka Belitung.



Gambar 3.5. Laboraturium Teknik Mesin dan Manufaktur Bangka Belitung

3.5 Parameter Penelitian

3.5.1 Parameter Bebas (*Independent Variable*)

Parameter bebas adalah variabel yang mempengaruhi perubahan pada parameter respon. Adapun parameter dalam penelitian ini adalah *layer thickness*, *nozzle temperature*, *flowrate* dapat dilihat pada table 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2. Nilai level Parameter yang diuji Filamen ST PLA

Level	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Nozzle Temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	<i>Flowrate</i> (%)
1	0.1	195	95
2	0.2	200	100
3	0.3	205	105

3.5.2 Parameter Konstan

Parameter konstan merupakan parameter yang tidak diteliti (tetap). Nilai faktor konstan selalu dijaga agar tidak berubah saat percobaan. Sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Faktor konstan pada penelitian ini adalah :

1. *Solid type*
2. *Infill type*
3. *Bed Temperature*

3.5.3 Parameter Respon

Parameter konstan merupakan parameter yang besarnya tidak dapat ditentukan dan nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan, serta hasilnya diketahui setelah melaksanakan percobaan. Parameter respon pada penelitian ini adalah kekuatan tarik (MPa).

3.5.4 *Signal to Noise S/N*

Noise merupakan parameter gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Parameter *noise* dalam penelitian ini adalah nilai pengujian tarik pada spesimen. Parameter ini dipilih karena sukar mengontrol nilai pengujian. Sehingga untuk mengatasi *noise* pada hasil penelitian dilakukan pengambilan data dengan tiga kali replikasi pada proses pengujian tarik tanpa *annealing* dan empat (4) replikasi pengujian tarik dengan proses *annealing*.

a. **Pemilihan Matriks *Orthogonal***

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

Berdasarkan banyaknya parameter bebas dan jumlah level yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada table 3.2. Sehingga dapat dilakukan perhitungan derajat kebebasan dapat dilihat pada table 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.3 Derajat Kebebasan

No	Parameter Bebas	Jumlah level (K)	K-1
1	<i>Layer Thickness</i>	3	2
2	<i>Nozzle Temperature</i>	3	2
3	<i>Flowrate</i>	3	2
Total Derajat Kebebasan			6

Berdasarkan hasil perhitungan total derajat kebebasan pada penelitian ini pada tabel didapatkan 6 derajat kebebasan, sehingga derajat kebebasan untuk matriks orthogonal yang digunakan adalah Taguchi L_9 . Matriks orthogonal $L_9(OA) = 3 \times (3-1) = 6$ derajat kebebasan. Maka pemilihan matriks orthogonal yang digunakan harus mempunyai derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dengan total derajat kebebasan dalam eksperimen. Matriks orthogonal $L_9(3^3)$ yaitu jenis desain yang memiliki 3 faktor dan 3 level yang berbeda. Rancangan eksperimen pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.4. Parameter Cetak Desain Taguchi $L_9(O^A)$

Exp. No	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Nozzle Temperatur</i> ($^{\circ}C$)	<i>Flowrate</i> (%)
1	0,1	195	95
2	0,1	200	100
3	0,1	205	105
4	0,2	195	100
5	0,2	200	105
6	0,2	205	95
7	0,3	195	105
8	0,3	200	95
9	0,3	205	100

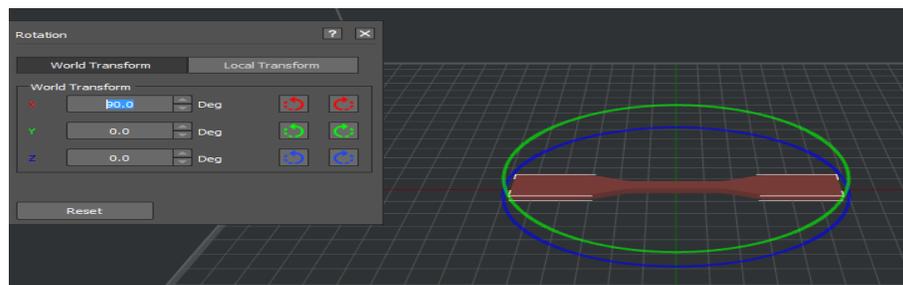
3.6 Proses Penelitian

3.6.1 Persiapan Penelitian

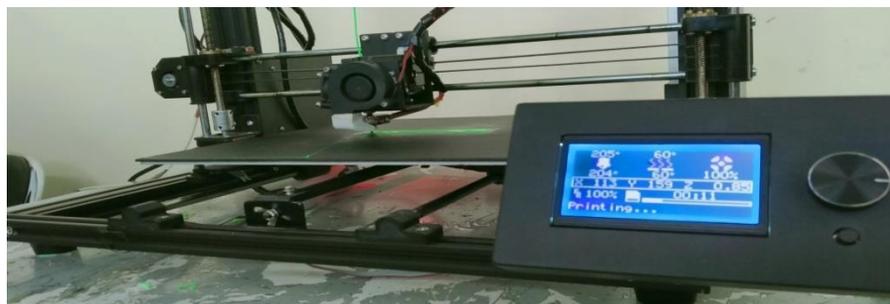
Tahapan pada penelitian ini berurutan dimulai dengan persiapan mesin 3D printing, *fillament* ST PLA, *software ideamaker* 3.6.1 dan *software solidworks* 2016, semua alat dan bahan yang berhubungan dengan penelitian ini akan disiapkan sebaik mungkin supaya proses penelitian terarah.

3.6.2 Proses Pembentukan Spesimen

Setelah desain bentuk spesimen selesai, akan dilanjutkan dengan proses pengaturan parameter cetak pada *software (Ideamaker 3.6.1.)* sesuai dengan tabel 3.4 di atas. Agar spesimen dapat diolah dan dibentuk pada mesin 3D printing sesuai dengan standart ASTM D638 Type IV.



Gambar 3.6. Bentuk Orientasi Cetak



Gambar 3.7 Proses Pencetakan di Mesin 3D Printing Area XYZ.

Bentuk orientasi spesimen ditetapkan dalam arah ketebalan spesimen seperti dapat dilihat pada gambar 3.6 dengan *infill density* 100 % . Untuk parameter lain selain parameter pada tabel 3.4. Diperlakukan berdasarkan rekomendasi dari *supplier* filamen.

3.6.3 Pengujian Tarik Tanpa *Annealing*

Setelah semua proses selesai, maka akan dilanjutkan dengan proses uji tarik dengan mesin *zwick roell* untuk mengetahui kekuatan tarik dari material ST PLA dengan 3 variasi parameter cetak. Dimana tujuan dari pengujian ini hanya untuk mengetahui parameter mana yang menghasilkan kekuatan tarik pada filamen ST PLA, dari 3 variasi parameter cetak untuk melanjutkan pada proses selanjutnya yaitu proses *annealing*.



Gambar 3.8. Proses Uji Tarik Tanpa *Annealing*

3.6.4 Desain Variasi *Factor Annealing* Menggunakan Taguchi L₉ OA

Selanjutnya akan dilakukan proses pemanasan (*annealing*) pada spesimen yang sudah di lakukan pengujian. Tujuan proses *annealing* untuk melindungi depormasi pada spesimen uji, sehingga dibutuhkan beberapa variasi antara lain yaitu waktu *annealing*, *temperature annealing* dan media. Proses *annealing* pada spesimen berdasarkan tabel 3.5 berikut ini :

Tabel 3.5. Faktor Variasi *Annealing* Taguchi L₉ OA

Exp. No	Waktu <i>Annealing</i>	Temperatur <i>Annealing</i>	Media <i>Annealing</i>
1	15	100	Pasir pantai
2	15	110	Kopi
3	15	120	Gandum
4	20	100	Kopi
5	20	110	Gandum
6	20	120	Pasir pantai
7	25	100	Gandum
8	25	110	Pasir pantai
9	25	120	Kopi

3.6.5 Proses *Annealing*

Selanjutnya akan dilakukan proses *annealing*, dimana spesimen yang sudah dicetak dengan mesin 3D printing akan dilakukan proses *annealing* dengan beberapa variasi, sehingga diperlukan media pasir pantai, kopi bubuk, gandum. Dengan variasi *temperatur annealing* (100, 110, 120) sedangkan untuk waktu (15, 20, 25). Proses *annealing* akan dilakukan sesuai tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3.6.Faktor Proses *Annealing*

Exp. No	Waktu <i>Annealing</i>	<i>Temperature</i>	Media <i>Annealing</i>
1	15	100	Pasir pantai
2	20	110	Kopi
3	25	120	Gandum

3.6.6 Pengujian Tarik dengan Proses *Annealing*

Setelah proses *annealing* selesai, maka akan dilanjutkan dengan proses uji tarik dengan mesin *Zwick Roell* untuk mengetahui kekuatan tarik dari material ST PLA, akibat dari proses *annealing*.



Gambar 3.9. Proses Pengujian Tarik dengan *Annealing*

3.6.7 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahapan terakhir pada penelitian ini yaitu pengumpulan dan pengolahan data. Dimana pada tahapan ini semua parameter yang telah di uji dan objek 3D yang dihasilkan akan disampaikan pada penelitian ini, untuk mengetahui parameter mana yang paling tepat untuk menghasilkan produk yang paling baik.

3.6.8 Analisis Data

Analisis data menggunakan minitab dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas spesimen. Data yang didapatkan akan ditampilkan dalam tabel respon untuk mempermudah pengolahan data. Tujuan dari mencari pengaruh *temperature*, media *annealing* dan waktu *annealing* tidak lain untuk mengetahui kekuatan tarik pada filamen ST PLA.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengujian yang dilakukan merupakan hasil dari pembahasan pada bab–bab sebelumnya, dimulai dari proses desain spesimen uji menggunakan solidworks 2016. Kemudian dilanjutkan dengan proses *slicing file* STL, selanjutnya desain yang sudah ada diteruskan ke *software ideamaker* 3.6.1. Untuk proses pengaturan variasi parameter spesimen agar desain dapat dibentuk dimesin 3D printing area XYZ. Pengujian dilakukan untuk mengetahui data hasil dari pengujian tarik material ST PLA dan nilai kuat tarik filamen ST PLA setelah dilakukan proses *annealing* dengan beberapa variasi media (pasir pantai, bubuk kopi dan gandum). Pada tiap-tiap level parameter dibuat replikasi sejumlah 4 kali. Data yang didapatkan kemudian diperoleh dan diolah, guna mengetahui nilai yang ideal.

4.2 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara meng-variasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada mesin 3D printing. Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kuat tarik spesimen ST PLA adalah *layer thickness*, *nozzle temperature* dan *flowrate*. Selanjutnya setelah selesai melakukan pengujian, maka langkah berikutnya adalah pengolahan data dengan menggunakan desain eksperimen metode Taguchi dengan menggunakan *software* analisis statistik untuk memperoleh faktor mana yang berpengaruh terhadap kuat tarik, Perhitungan respon dari *mean* pada parameter dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

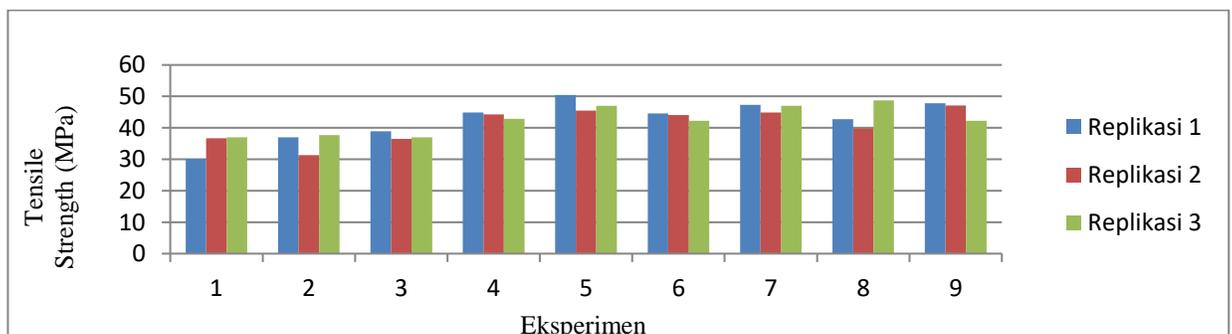
$$\bar{A}_{eks} = \frac{\sum_{i=1}^2 Y_i}{2}$$

Dari persamaan di atas maka akan didapatkan nilai rata-rata yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tanpa *Annealing* Matrik Ortogonal L₉ (OA)

Exp	Faktor			Reflikasi (MPa)			Jumlah	Mean (MPa)
	A	B	C	1	2	3		
1	1	1	1	30,1	36,7	37,0	103,8	34,66
2	1	2	2	37,0	31,3	37,7	106	35.33
3	1	3	3	38,90	36,52	37,0	112,4	31,46
4	2	1	2	44,9	44,3	42,9	132.1	44.03
5	2	2	3	50,4	45,5	47,0	142.9	47.63
6	2	3	1	44,6	44,1	42,3	131	43.66
7	3	1	3	47,3	44,9	48,7	140.9	46.96
8	3	2	1	42,8	39,8	42,3	124.9	41.63
9	3	3	2	47,8	47,1	48,1	143	47.66

Dari tabel di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan tarik dari filamen ST PLA dengan 3 faktor variasi parameter yaitu *layer thicknes*, *nozzle temperatur* dan *flowrate*. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen nomor 9 (sembilan) dengan *layer thicknes* (0,3 mm) *nozzle temperatur* (205 °C) dan *flowrate* (100 %) menghasilkan kekuatan tarik sebesar 47,66 Mpa. Selanjutnya spesimen yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi akan dicetak kembali untuk proses *annealing*. Dengan pengaturan proses *annealing* berdasarkan tabel 3.4 di atas.



Gambar 4.1 Grafik Batang dari tiga (3) Replikasi Faktor

Bedasarkan grafik 4.1. Dapat diketahui nilai kuat tarik filamen ST PLA dari tiga (3) variasi faktor yaitu eksperimen 9 (sembilan) dengan kekuatan tarik (reflikasi 1 = 47,8 MPa, reflikasi 2 = 47,1 MPa, reflikasi 3 = 48,1 MPa). Dari tabel 4.2 dapat dilakukan pencarian nilai rata-rata dari 3 replikasi tersebut, diperoleh rata-rata sebesar 47,66 MPa.

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Perhitungan *Mean* Terhadap Respon

Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan mesin (*zwick roell*). Pengaruh *level* pada faktor terhadap rata-rata nilai kekuatan tarik pada spesimen ST PLA. Untuk rata-rata respon setiap level parameter dapat dilihat dibawah ini :

Perhitungan Rata-Rata Kekuatan Tarik Spesimen ST PLA Faktor *Layer Thickness* A.

$$A1 = 1/3 (34,66 + 35,33 + 31,46) = 33,81 \text{ MPa.}$$

$$A2 = 1/3 (44,03 + 47,63 + 43,66) = 45,10 \text{ MPa.}$$

$$A3 = 1/3 (46,96 + 41,63 + 47,66) = 41,61 \text{ MPa.}$$

Perhitungan Rata-Rata Kekuatan Tarik Spesimen ST PLA faktor *Nozzle Temperature* B.

$$B1 = 1/3 (32,13 + 44,03 + 46,96) = 41,04 \text{ MPa.}$$

$$B2 = 1/3 (35,33 + 47,63 + 41,63) = 41,53 \text{ MPa.}$$

$$B3 = 1/3 (31,46 + 43,66 + 47,66) = 40,92 \text{ MPa.}$$

Perhitungan Rata-Rata Kekuatan Tarik Spesimen ST PLA Faktor *Flowrate* (C).

$$C1 = 1/3 (32,13 + 43,66 + 41,63) = 39,14 \text{ MPa.}$$

$$C2 = 1/3 (35,33 + 44,03 + 47,66) = 42,34 \text{ MPa.}$$

$$C3 = 1/3 (31,46 + 47,63 + 46,96) = 42,01 \text{ MPa.}$$

Dari hasil perhitungan rata-rata kombinasi *level* dari pengaruh faktor terhadap respon kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3. Respon Rata-Rata Hasil Pengujian Tarik

Exp	Parameter proses	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Layer thickness</i> (mm)	33.81	45.10	41.61
B	<i>Nozzle temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	41.04	41.53	40,92
C	<i>Flowrate</i> (%)	39.14	41.53	42.01

Total Nilai Rata-Rata Pengujian Tarik = 40,83 Mpa.

Bedasarkan tabel 4.3. Hasil pengujian tarik dapat dilihat nilai rata-rata pengujian tarik sebesar 40,83 Mpa. Selanjutnya akan dilakukan pencarian respon parameter terhadap *means* dengan menggunakan *software* statistik. Dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4. Respon Parameter Terhadap *Mean*

Exp	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Nozzle Temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	<i>Flowrate</i> (%)	reflikasi 1 (Mpa)	reflikasi 2 (Mpa)	reflikasi 3 (Mpa)
1	0,1	185	95	30,1	36,7	37,0
2	0,1	200	100	37,0	31,3	37,7
3	0,1	205	105	38,9	36,5	37,0
4	0,2	185	100	44,9	44,3	42,9
5	0,2	200	105	50,4	45,5	47,0
6	0,2	205	95	44,6	44,1	42,3
7	0,3	185	105	47,3	44,9	48,7
8	0,3	200	95	42,8	39,8	42,3
9	0,3	205	100	47,8	47,1	48,1

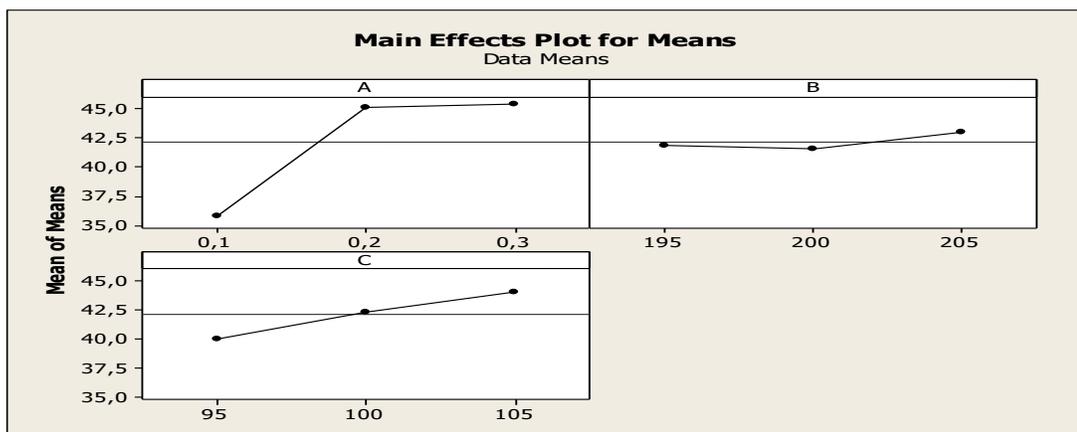
Bedasarkan tabel 4.4. Dapat dicari nilai efek dari mean pada setiap parameter dan berikut diperoleh perhitungan efek dari *mean* dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini :

Tabel 4.5. Hasil Respon Parameter Terhadap *Mean*

Level	<i>Layer thickness</i> (mm)	<i>Nozzle Temperature</i> (^o C)	<i>Flowrate</i> (%)
1	35.80	42,87	39,97
2	45.11	41,53	42,34
3	45.42	42,94	44,03
Delta	9,62	1,41	4,06
Rank	1	3	2

Dari rata-rata respon tiap parameter dipilih dengan nilai yang paling besar sebagai rancangan percobaan karena karakteristik kualitas adalah semakin kuat semakin baik. Dari tabel di atas dapat dilihat parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu (*layer thickness*) dengan selisih nilai 9,62 diikuti (*flowrate*) dengan selisih nilai 4,06 dan (*nozzle temperature*) dengan selisih nilai 1,41.

Bedasarkan tabel 4.5 dapat dibuat grafik untuk memperlihatkan kekuatan tarik yang terbesar pada masing masing *level* untuk setiap parameter terhadap nilai rata-rata yang ditunjukkan pada gambar 4.3. berikut ini :



Gambar 4.3. Grafik Rata-Rata Uji Tarik untuk Masing-Masing Level Setiap Parameter.

4.4 Perhitungan Rasio S/N Terhadap respon

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap kekuatan tarik yang memberikan 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. Ditunjukkan pada persamaan 2.3 berikut :

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

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan parameter proses untuk melihat pengaruh tiap *level* pada kekuatan tarik. Kekuatan tarik memiliki karakteristik kualitas semakin besar nilai yang didapatkan maka semakin baik (*Large is better*).

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekuatan tarik filamen ST PLA yang terbesar. Dengan replikasi sebanyak 3 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat dibawah ini :

Eksperimen 1 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{30,1^2} + \frac{1}{36,7^2} + \frac{1}{37,0^2} \right) \right] = 30,66 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 2 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{37,0^2} + \frac{1}{31,3^2} + \frac{1}{37,7^2} \right) \right] = 30,87 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 3 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{38,9^2} + \frac{1}{36,5^2} + \frac{1}{37,0^2} \right) \right] = 31,46 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 4 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,9^2} + \frac{1}{44,3^2} + \frac{1}{42,9^2} \right) \right] = 32,89 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 5 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{50,4^2} + \frac{1}{45,5^2} + \frac{1}{47,0^2} \right) \right] = 33,53 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 6 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{44,6^2} + \frac{1}{44,1^2} + \frac{1}{42,3^2} \right) \right] = 32,79 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 7 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{47,3^2} + \frac{1}{44,9^2} + \frac{1}{48,7^2} \right) \right] = 33,54 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 8 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{42,8^2} + \frac{1}{39,8^2} + \frac{1}{42,3^2} \right) \right] = 32, 54 \text{MPa.}$$

Eksperimen 9 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{47,8^2} + \frac{1}{47,1^2} + \frac{1}{48,1^2} \right) \right] = 33,56 \text{ MPa.}$$

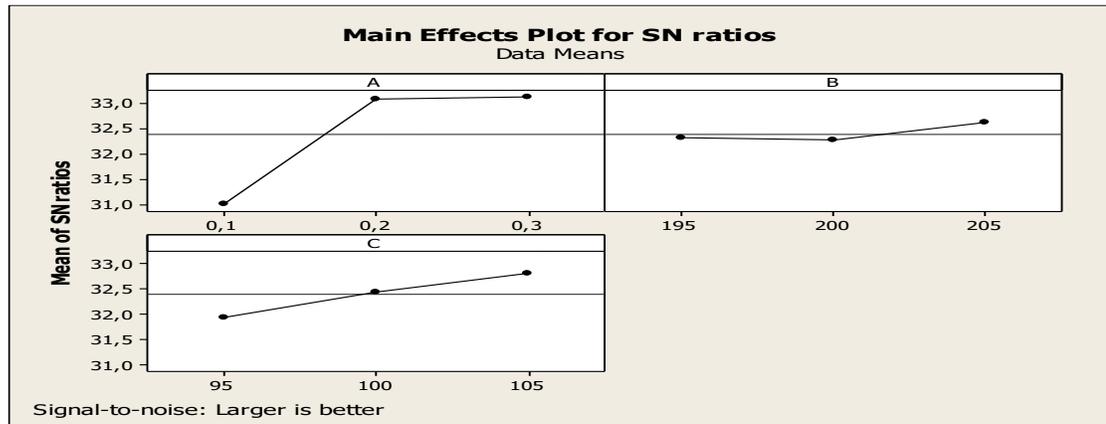
Dari proses perhitungan nilai S/N di atas, maka dapat diketahui nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut ini :

Tabel 4.6. Respon Rasio S/N Parameter Terhadap *Mean*

Level	<i>Layer thickness</i> (mm)	<i>Nozzle Temperature</i> (^o C)	<i>Flowrate</i> (%)
1	31,00	32,32	31,94
2	33,07	32,26	32,43
3	33,12	32,61	32,81
Delta	2,12	0,35	0,86
Rank	1	3	2

Dari Tabel 4.6 Rasio S/N tiap parameter pada setiap *level* terhadap respon dapat ditentukan rank yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Dapat dilihat parameter yang paling berpengaruh yaitu *layer thickness* dengan selisih nilai 2,12 diikuti *flowrate* dengan selisih nilai 0,86 dan terakhir yang memiliki pengaruh terkecil yaitu *nozzle temperature* dengan selisih nilai 0,35.

Bedasarkan tabel 4.6 dapat dibuat grafik untuk melihat nilai rasio S/N yang terbesar pada masing-masing *level* untuk setiap parameter. Grafik ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini :



Gambar 4.4. Grafik Respon S/N untuk Masing-Masing *Level* Setiap Parameter

Untuk parameter A menjelaskan *layer thickness*, B menjelaskan *nozzle temperature* dan C menjelaskan *flowrate*. Berdasarkan gambar 4.4 grafik hasil respon nilai rasio S/N terhadap kekuatan tarik pada masing masing *level* dari parameter proses, maka dapat ditentukan untuk prediksi kombinasi parameter-parameter yang menghasilkan kuat tarik tertinggi. Kombinasi parameter-parameter proses untuk respon ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Kombinasi Parameter Terhadap Respon

Parameter proses	Tingkatan <i>level</i>	Nilai <i>level</i>
<i>Layer thickness</i> (mm)	3	0,3 mm
<i>Nozzle temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	3	205, $^{\circ}$ C
<i>Flowrate</i> (%)	3	105 %

4.5 Analisis Varian Rasio S/N

Sebagaimana parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata kekuatan tarik, maka untuk mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikansi terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan *analysis of variance* pengaruh masing parameter terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut ini :

Tabel 4.8 Hasil Analisa Anova

Sumber	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
<i>Layer Thickness</i>	2	9,2329	9,2329	4,6164	73,01	0,014
<i>Nozzle Temperature</i>	2	0,1442	0,1442	0,0721	1,14	0,467
<i>Flowrate</i>	2	1,0761	1,0761	0,5380	8,51	0,105
Error	2	0,1265	0,1265	0,0632		
Total	8	0,7978				

Bedasarkan tabel 4.8. Hasil anova didapatkan keputusan uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F test dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9. Keputusan Uji

Komparasi Terhadap Respon	F-Test	F-Tabel (0,05;2;8)	Keputusan Uji
<i>Layer thickness</i>	73,01		H0 ditolak
<i>Nozzle temperature</i>	1,14	4,46	H0 diterima
<i>Flowrate</i>	8,51		H0 ditolak

Keterangan :

Pada parameter *layer thickness* dan *flowrate* nilai F-test lebih besar dari nilai F-tabel sehingga H0 ditolak yang berarti ada pengaruh yang signifikan pada parameter *layer thickness* dan *flowrate*. Sedangkan pada parameter *nozzle temperature* nilai F-test lebih kecil dari F-Tabel yang berarti H0 diterima, yang berarti tidak terlalu adanya pengaruh terhadap *nozzle temperature*.

Tabel 4.10. Perbandingan dari *Layer Thickness* Terhadap Respon S/N

<i>Layer Thickness</i> (mm)	N	Mean	Grouping
0,33	3	3,21	A
0,23	3	3,07	A
0.13	3	1,00	A

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable S/N
All Pairwise Comparisons among Levels of A
A = 0,1 subtracted from:

<i>Layer thickness</i> (mm)	<i>Difference of means</i>	<i>SE of Difference</i>	<i>Adjusted T-value</i>	<i>P-value</i>
0.2	2,073	0,2053	10,10	0,0176
0,3	2,217	0,2053	10,80	0,0154

Layer thickness = 0,2mm

Dari tabel 4.10 dapat dilihat bahwa ketiga *level* parameter cetak terhadap respon variabel S/N yang paling baik terhadap kekuatan tarik adalah *Layer thickness* 0,3 mm. Hal ini dapat dilihat dari *Difference of means* yang paling besar dengan nilai 2,217.

Tabel 4.11. Perbandingan dari *Nozzle Temperature* Terhadap Respon S/N

<i>Nozzle temperature</i> (°C)	N	Mean	Grouping
205	3	32,60	A
195	3	32,36	A
200	3	32,31	A

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable S/N
All Pairwise Comparisons among Levels of
B = 195 subtracted from:

<i>Nozzle temperature</i> (°C)	<i>Difference of means</i>	<i>SE of Difference</i>	<i>Adjusted T-value</i>	<i>P-value</i>
200	-0,05000	0,2053	-0,2435	0,9683
205	0,24000	0,2053	1,1689	0,5711

Nozzle temperature = 200 °C

Dari tabel 4.11 dapat dilihat bahwa ketiga *level* parameter cetak terhadap respon variabel S/N yang paling baik terhadap kekuatan tarik adalah *nozzle temperature* dengan nilai *level* 205 °C. Hal ini dapat dilihat dari *defference of means* yang paling besar dengan nilai 0,24000.

Tabel 4.12. Perbandingan dari *Flowrate* Terhadap Respon S/N

<i>Flowrate</i> (%)	N	Mean	Grouping
105	3	32,84	A
100	3	32,44	A
95	3	32,00	A

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable S/N
All Pairwise Comparisons among Levels of C
C = 95 subtracted from:

<i>Flowrate</i> (%)	<i>Difference of means</i>	<i>SE of Difference</i>	<i>Adjusted T-value</i>	<i>P-value</i>
100	-0,4433	0,2053	2,159	0,2811
105	0,8467	0,2053	4,124	0,0970

Flowrate = 100 %

Dari tabel 4.12 dapat dilihat bahwa ketiga level parameter cetak terhadap respon variabel S/N yang paling baik terhadap kekuatan tarik adalah *flowrate* dengan nilai 105 %. Hal ini dapat dilihat dari *defference of means* yang paling baik besar dengan nilai 0,8467.

4.6 Pengolahan Data Percobaan *Annealing*

4.6.1 Perhitungan *Mean* Terhadap Respon

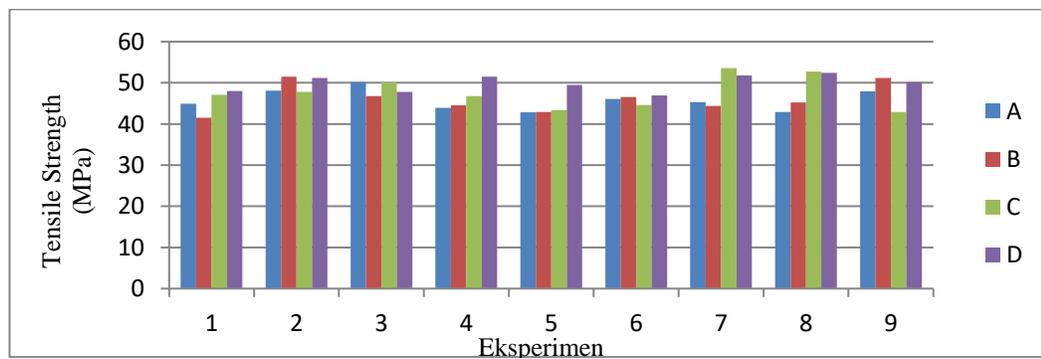
Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengvariasikan parameter-parameter proses *annealing*. Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kuat tarik spesimen ST PLA adalah waktu *annealing*, *temperature annealing*, media *annealing*. Untuk media *annealing* divariasikan 3 variasi yaitu (pasir pantai, gandum, kopi) dengan variasi waktu *annealing* (15, 20, 25 menit) *temperature* untuk oven (100, 110 dan 120 °C).

Selanjutnya setelah melakukan pengujian, maka langkah berikutnya adalah pengolahan data dengan menggunakan desain eksperimen metode Taguchi dengan menggunakan *software* analisis statistik untuk memperoleh faktor mana yang berpengaruh terhadap kuat tarik, pelaksanaan pengambilan data pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.13. Sebagai berikut :

Tabel 4.13. Rata-Rata Hasil Pengujian Tarik Dari Proses *Annealing*

Exp	Waktu (min)	Suhu (°C)	Media	Rep.	Rep.	Rep.	Rep.	Jumlah	Rata-rata (Mpa)
				1	2	3	4		
1	15	100	Pasir pantai	44,9	41,5	47,1	48,0	181,5	45,37
2	15	110	Kopi	48,1	51,5	47,8	51,2	198,6	49,65
3	15	120	Gandum	50,2	46,8	50,1	47,8	198,6	48,72
4	20	100	Kopi	43,9	44,5	46,8	51,5	186,7	46,67
5	20	110	Gandum	42,8	42,9	43,4	49,5	178,6	44,65
6	20	120	Pasir pantai	46,1	46,5	44,6	46,9	184,1	46,02
7	25	100	Gandum	45,3	44,4	53,6	51,8	195,1	48,77
8	25	110	Pasir pantai	42,9	45,2	52,7	52,4	193,2	48,3
9	25	120	kopi	47,9	51,2	42,9	50,2	192,2	48,05

Dari tabel di atas dapat dibuat grafik batang di *microsoft excel* untuk mengetahui kekuatan tarik dari filamen ST PLA dengan menggunakan proses *annealing*. Grafik ditunjukkan pada gambar 4.5 dibawah ini :

Gambar 4.5 Grafik Kekuatan Tarik dengan Proses *Annealing*.

Keterangan : A menjelaskan refleksi 1
 B menjelaskan refleksi 2
 C menjelaskan refleksi 3
 D menjelaskan refleksi 4

Bedasarkan grafik 4.5. Dapat diketahui nilai kuat tarik filamen ST PLA dari empat (4) variasi faktor yaitu eksperimen 2 (Dua) dengan waktu *annealing* 15 menit, temperatur 110 dan media *annealing* kopi. Dengan kekuatan tarik (reflikasi 1 = 48,1 MPa, reflikasi 2 = 51,5 MPa, reflikasi 3 = 47,8 MPa, reflikasi 4 = 51,2 MPa). Dari 4 reflikasi diperoleh nilai rata-rata sebesar 49,65 Mpa.

4.7 Pengolahan Data

4.7.1 Perhitungan Mean Terhadap Respon

Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan mesin *zwick roell*. Pengaruh *level* pada faktor terhadap rata-rata nilai kekuatan tarik pada spesimen ST PLA setelah dilakukan proses *annealing*. Untuk rata-rata respon setiap *level* parameter dapat dilihat dibawah ini :

Perhitungan rata-rata kekuatan tarik spesimen ST PLA Media Pasir Pantai.

$$A1 = 1/3(45,37 + 49,65 + 48,72) = 47,91 \text{ MPa.}$$

$$A2 = 1/3(46,67 + 44,65 + 46,02) = 45,78 \text{ MPa.}$$

$$A3 = 1/3(47,77 + 48,3 + 48,05) = 48,04 \text{ MPa.}$$

Perhitungan Rata-Rata Kekuatan Tarik Spesimen ST PLA Media Kopi.

$$B1 = 1/3 (45,37 + 46,67 + 48,77) = 46,93 \text{ MPa.}$$

$$B2 = 1/3 (49,65 + 44,65 + 48,3) = 47,53 \text{ MPa.}$$

$$B3 = 1/3 (48,72 + 44,65 + 48,05) = 47,14 \text{ MPa.}$$

Perhitungan Rata-Rata Kekuatan Tarik Spesimen ST PLA Media Gandum.

$$C1 = 1/3 (45,37 + 46,02 + 48,3) = 46,56 \text{ MPa.}$$

$$C2 = 1/3 (49,65 + 46,67 + 48,05) = 48,12 \text{ MPa.}$$

$$C3 = 1/3 (48,72 + 44,65 + 48,77) = 46,38 \text{ MPa.}$$

Dari hasil perhitungan rata-rata kombinasi *level* dari pengaruh faktor terhadap respon kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut ini :

Tabel 4.14 Respon Rata-Rata Hasil Pengujian Tarik

<i>Level</i>	Pasir Pantai	Kopi	Gandum
<i>Level 1</i>	47,91 MPa	46,93 MPa	45,56 MPa
<i>Level 2</i>	45,78 MPa	47,53 MPa	48,12MPa
<i>Level 3</i>	48,04 MPa	47,14 MPa	46,38 MPa
Selisih	2,26	0,6	2,56
Peringkat	2	3	1

Bedasarkan Tabel 4.14. Hasil respon rata-rata kekuatan tarik pada masing masing level dari parameter proses *annealing* diatas dapat ditentukan parameter mana yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu media *annealing* dengan selisih 2,56. Diikuti oleh waktu *annealing* dengan selisih nilai 2,26 dan *temperature annealing* dengan selisih nilai 0,6. Dan akan dilakukan proses pencarian nilai rata-rata menggunakan *software* analisis statistik (*minitab*). Berikut hasil perhitungan efek mean dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut ini :

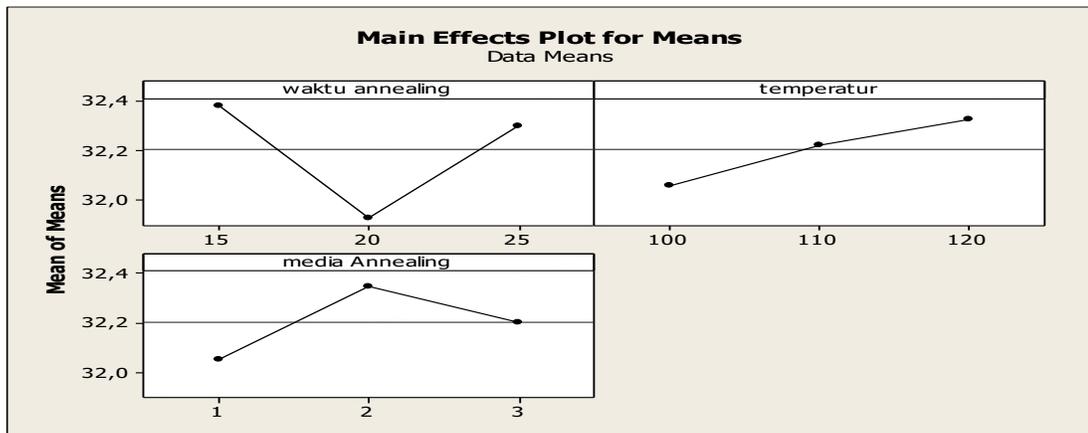
Tabel 4.15 Nilai *Mean* Terhadap Parameter Proses

Response Table for Means

Level	Waktu <i>Annealing</i> (<i>Min</i>)	<i>Temperature</i> ($^{\circ}$ C)	Media <i>Annealing</i>
1	32,38	32,06	32,05
2	31,93	32,22	32,35
3	32,30	32,32	32,20
Delta	0,45	0,26	0,30
Rank	1	3	2

Dari rata-rata respon tiap parameter dipilih dengan nilai yang paling besar sebagai rancangan percobaan karena karakteristik kualitas adalah semakin kuat semakin baik (*large is better*). Dari tabel di atas dapat dilihat parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu waktu *annealing* dengan selisih nilai 0,45. Diikuti media *annealing* dengan selisih nilai 0,30 dan yang paling kecil pengaruh terdapat pada temperatur dengan selisih nilai 0,26.

Bedasarkan tabel 4.15 dapat dibuat grafik untuk memperlihatkan kekuatan tarik yang terbesar pada masing masing level untuk setiap parameter terhadap nilai rata-rata yang ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut ini :



Gambar 4.7. Grafik rata-rata uji tarik untuk masing-masing level

4.8 Perhitungan Rasio S/N *Annealing* Terhadap Respon

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap kekuatan tarik yang memberikan 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 setelah dilakukan perancangan percobaan dengan proses *annealing* dengan karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (*Large is better*). Ditunjukkan pada persamaan berikut :

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

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan parameter proses dengan perlakuan *annealing* pada oven merk (Sakai) tujuan dilakukan proses *annealing* tidak lain untuk melihat pengaruh setiap level terhadap kekuatan tarik.

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekuatan tarik filamen ST PLA yang terbesar. Dengan replikasi sebanyak 4 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat dibawah ini :

Eksperimen 1 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{44,9^2} + \frac{1}{41,5^2} + \frac{1}{47,1^2} + \frac{1}{48,0^2} \right) \right] = 31,84 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 2 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{48,1^2} + \frac{1}{51,5^2} + \frac{1}{47,8^2} + \frac{1}{51,2^2} \right) \right] = 32,65 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 3 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{50,2^2} + \frac{1}{46,8^2} + \frac{1}{50,1^2} + \frac{1}{47,8^2} \right) \right] = 32,49 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 4 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{43,9^2} + \frac{1}{44,5^2} + \frac{1}{46,8^2} + \frac{1}{51,5^2} \right) \right] = 32,08 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 5 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{42,8^2} + \frac{1}{42,9^2} + \frac{1}{43,4^2} + \frac{1}{49,5^2} \right) \right] = 31,70 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 6 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{46,1^2} + \frac{1}{46,5^2} + \frac{1}{44,6^2} + \frac{1}{46,9^2} \right) \right] = 32,00 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 7 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{45,3^2} + \frac{1}{44,4^2} + \frac{1}{53,6^2} + \frac{1}{51,8^2} \right) \right] = 32,42 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 8 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{42,9^2} + \frac{1}{45,2^2} + \frac{1}{52,7^2} + \frac{1}{52,4^2} \right) \right] = 32,32 \text{ MPa.}$$

Eksperimen 9 :

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{47,9^2} + \frac{1}{51,2^2} + \frac{1}{42,9^2} + \frac{1}{50,2^2} \right) \right] = 32,32 \text{ MPa.}$$

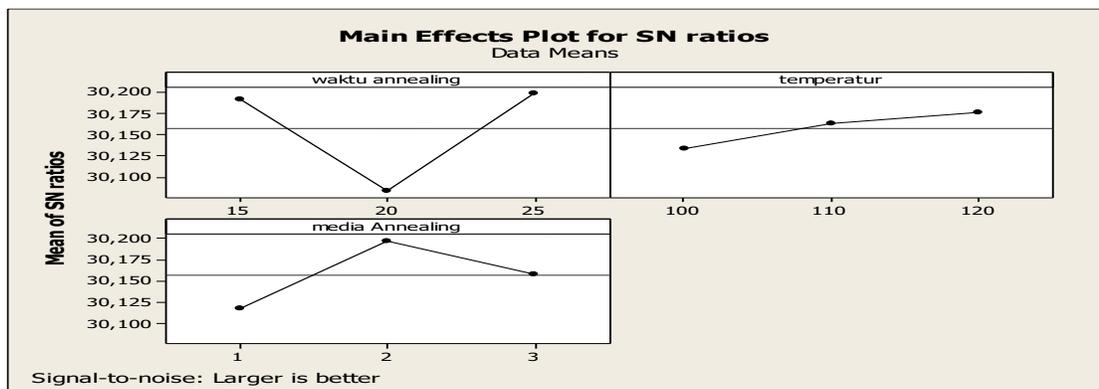
Dari proses perhitungan nilai S/N di atas, maka dapat diketahui nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon ditunjukkan pada tabel 4.16 dibawah ini :

Tabel 4.16 Respon Rasio S/N

Level	Waktu <i>Annealing</i> (min)	<i>Temperature</i> ($^{\circ}$ C)	Media <i>Annealing</i>
1	30,19	30,13	30,12
2	30,08	30,16	30,20
3	30,20	30,18	30,16
Delta	0,12	0,04	0,08
rank	1	3	2

Dari tabel 4.16 rasio S/N tiap parameter pada setiap *level* terhadap respon dapat ditentukan rank yang paling berpengaruh dengan variasi waktu *annealing*, *temperature* dan media *annealing* terhadap kekuatan tarik. Dapat dilihat parameter yang paling berpengaruh yaitu waktu *annealing* dengan selisih nilai 0,12 diikuti media *annealing* dengan selisih nilai 0,08 dan temperatur *annealing* dengan selisih nilai 0,04. Dari proses *annealing* dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik pada filamen ST PLA dengan perlakuan *annealing* sangat dipengaruhi waktu (*annealing*).

Bedasarkan tabel 4.16 dapat dibuat grafik untuk melihat nilai rasio S/N yang terbesar pada masing-masing *level* untuk setiap parameter ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini :

Gambar 4.8 Grafik Respon Rasio S/N Untuk Masing-Masing *Level* Parameter

Bedasarkan gambar 4.8 grafik hasil respon nilai rasio S/N terhadap kekuatan tarik pada masing masing *level* dari parameter proses, maka dapat ditentukan untuk prediksi kombinasi parameter parameter yang menghasilkan kuat tarik tertinggi akibat perlakuan *annealing*. Kombinasi parameter-parameter proses untuk respon ditunjukkan pada tabel 4.17 berikut ini :

Tabel 4.17 Respon Rasio S/N untuk Masing-Masing *Level*

Parameter proses	Tingkatan <i>Level</i>	Nilai <i>level</i>
Waktu <i>Annealing</i>	1	25
<i>Temperature</i>	3	120
Media <i>Annealing</i>	2	2 (kopi)

4.9 Analisis Varian Rasio S/N

Sebagaimana parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata kekuatan tarik pada prose *annealing*, maka untuk mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikansi terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan *analysis of variance*. Pengaruh masing parameter terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut ini :

Tabel 4.18 Hasil Anova

Sumber	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Waktu <i>Annealing</i>	2	0,3428	0,3428	0,1714	1,21	0,453
<i>Temperature</i>	2	0,0388	0,0388	0,0194	0,14	0,880
Media <i>Annealing</i>	2	1,1320	0,1320	0,0660	0,46	0,683
Error	2	0,2842	0,2842	0,1421		
Total	8	0,7978				

Bedasarkan tabel 4.18. Maka dapat ditarik kesimpulan untuk keputusan uji pada penelitian ini, yang ditunjukkan pada gambar 4.19 berikut ini :

Tabel 4.19 Keputusan Uji

Komparasi Terhadap Respon	F-Test	F-Tabel (0,05;2;8)	Keputusan Uji
Waktu <i>annealing</i>	1,21		H0 Diterima
<i>Temperature</i>	0,14	4,46	H0 Diterima
Media <i>annealing</i>	0,46		H0 Diterima

Keterangan :

Karena nilai F-test lebih kecil dibandingkan dengan dengan nilai F-Tabel maka H0 diterima, artinya tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap ketiga parameter tersebut terhadap kekuatan tarik. Dari ketiga parameter tersebut yaitu waktu *annealing*, *temperature* dan media *annealing*. Pada setiap levelnya dapat dilihat variasi mana yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik yang paling baik, yang dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah ini :

Tabel 4.20. Perbandingan dari Waktu *Annealing*

Waktu <i>Annealing</i>	N	Means	Grouping
25	3	32,35	A
15	3	32,33	A
20	3	32,93	A

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable S/N

All Pairwise Comparisons among Levels of waktu annealing

waktu annealing = 15 subtracted from :

Layer thickness	Difference of means	SE of Difference	Adjusted T-value	P-value
20	-0,4000	0,2053	-1,300	0,5187
25	0,8467	0,0267	0,087	0,9959

Waktu annealing = 20 Menit

Waktu <i>Annealing</i>	Difference of Means	Se of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
25	0,4267	0,3078	1,386	0,4865

Dari tabel 4.20 dapat dilihat bahwa dari 3 variasi parameter kekuatan tarik terhadap respon variabel S/N yang paling baik terhadap kekuatan tarik adalah waktu *annealing* (20 menit). Hal ini dapat dilihat karena nilai *defference of means*, level 20 menunjukkan nilai terbesar dengan nilai 0,0267.

Tabel 4.21. Perbandingan Terhadap *Temperature Annealing*

<i>Temperature Annealing</i>	N	<i>Means</i>	<i>Grouping</i>
120	3	32,27	A
110	3	32,22	A
100	3	32,11	A

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable S/N
All Pairwise Comparisons among Levels of temperatur
temperatur = 100 subtracted from :

<i>Temperature</i>	<i>Difference of means</i>	<i>SE of Difference</i>	<i>Adjusted T-value</i>	<i>P-value</i>
110	0,1100	0,3078	0,3574	0,9342
120	0,1567	0,3078	0,5090	0,8751

Temperature = 110 °C

<i>Waktu Annealing</i>	<i>Difference of Means</i>	<i>Se of Difference</i>	<i>Adjusted T-Value</i>	<i>P-Value</i>
120	0,4667	0,3078	0,1516	0,9875

Dari tabel 4.21 dapat dilihat bahwa dari 3 variasi level proses *annealing* terhadap variabel respon S/N yang paling baik, terhadap nilai *temperature annealing* adalah level 120 °C. Hal tersebut dapat dilihat dari *defference of means* yang paling besar dengan nilai 0,1567.

Tabel 4.22. Perbandingan Terhadap Media *Annealing*

Media <i>annealing</i>	N	Means	Grouping
2	3	32,35	A
3	3	32,20	A
1	3	32,05	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable S/N

All Pairwise Comparisons among Levels of media Annealing

media Annealing = 1 subtracted from:

Media Annealing	Difference of means	SE of Difference	Adjusted T-value	P-value
2	0,2967	0,3078	0,9639	0,6618
3	0,1500	0,3078	0,4874	0,8843

Media *annealing* = Kopi

Media Annealing	Difference of Means	Se of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
3	-0,1467	0,3078	-0,4766	0,8888

Bedasarkan tabel 4.22 dapat dilihat dari ketiga level parameter media *annealing* terhadap respon variabel S/N yang paling baik terhadap kekuatan tarik adalah level 2 (kopi). Hal ini dapat dilihat dari *defference of means*, yang paling besar dengan nilai 0,2967.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil dari pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai pengaruh *media annealing*, *temperature* dan *holding time* terhadap kuat tarik filamen ST PLA, pada spesimen ASTM D638 Type IV. Dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil penelitian tanpa proses *annealing*, dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan tarik tertinggi dari filamen ST PLA dengan 3 variasi parameter yaitu *layer thicknes*, *nozzle temperatur* dan *flowrate*. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen nomor 9 (sembilan) dengan kekuatan tarik sebesar 47,66 Mpa. Selanjutnya dilakukan pencarian pengaruh dari 3 variasi parameter dengan menggunakan *signal to noise S/N*, untuk mengetahui parameter mana yang mempengaruhi kekuatan tarik pada filamen ST PLA. Sehingga didapatkan pengaturan cetak yang optimal. Dengan pengaturan cetak *layer thicknes* (0,3 mm) *nozzle temperature* (205 °C) dan *flowrate* (100 %). Selanjutnya parameter yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dilakukan pencetakan ulang untuk proses *annealing*.

2. Hasil pengujian tarik proses *annealing* dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan tarik tertinggi dari filamen ST PLA dari proses *annealing* dengan 3 variasi parameter proses yaitu, waktu *annealing*, temperatur dan media *annealing*. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen nomor 2 (dua) dengan waktu *annealing* (15 menit), temperatur *annealing* (110 °C) dan media *annealing* (Kopi). Menghasilkan kekuatan tarik sebesar 49,65 MPa. Sedangkan parameter yang menghasilkan kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen nomor 5 (lima) dengan waktu *annealing* (20 menit), temperatur *annealing* (110 °C), untuk media *annealing* menggunakan Gandum, yang menghasilkan kekuatan tarik sebesar 44,65 MPa.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memvariasikan bentuk *infill* yang berbeda untuk analisa lebih lanjut.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan agar lebih *ekstra* hati-hati dalam menentukan (titik nol) jarak antara *nozzle* dengan bad *temperature*

DAFTAR PUSTAKA

Andriyansyah, D., Herianto, & Purfaji. (2018). Optimasi parameter proses 3D Printing terhadap kuat tarik filaamen polylactid acid menggunakan metode taguchi . *ISSN : 2338-0284* , 61-68.

Andriyansyah, D., Herianto, & Purfaji. (5 mei 2018). Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Filament Polylactid Acid Menggunakan Metode Taguchi. *ISSN : 2338-0284* , 61-68.

Dubinenko, G. E., Zinoviev, A. L., Bolbasov, E. N., Novikov, V. T., & Tverdokhlebov, S. I. (2018). Effect of annealing on mechanical and morphological Properties of Poly (L-lactid acid)/Hydroxyapatite composite as material for 3D printing of bone tissue growth stimulating implants . *IOP publishing* , 1-6.

Halawa, E. (2013). Pengaruh Annealing Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Polietilen-Grafin Maleat Anhidride(PE-g-MAH). *Jurnal Einstein* , 8-14.

Herda Agus, P., Herianto, & Tri Hannanto, S. (2019). PENGARUH PARAMETER PROSES 3D Printing tipe FDM (fused deposition. *Seminar Nasional IENACO* , 201-207.

hrabalova, M., Gregorova, A., Wimmer, R., Sedlarik, V., Machovsky, M., & Mundigler, N. (3 juni 2010). Effect of word Flour Loading and Thermal Annealing on Viscoelastic Properties of Poly(lactid Acid) Composite Films. *Journal of Applied Polymer Science DOI 10.1002/App* , 1535-1540.

Lubis, S., & Sutanto, D. (2016). Pengaruh Posisi Orientasi Objek Pada Proses Rapid Prototyping 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Material Polymer. *SINERGI* , 229-237.

Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Srithep, Y., Nealey, p., & Turng, L. S. (2008). Effect of Annealing and Orientation on Microstructurs and Material Properties of Polylactid Acid . *Polymer engineering and Scince* , 635-641.

Suzen, Z., Hasdiansah, & Yulianto. (2020). Pengaruh tipe infill dan temperatur nozzle terhadap kekuatan tarik produk 3D printing Filamen Pla+ Esun. *Manutech* , 74-80.

LAMPIRAN 1

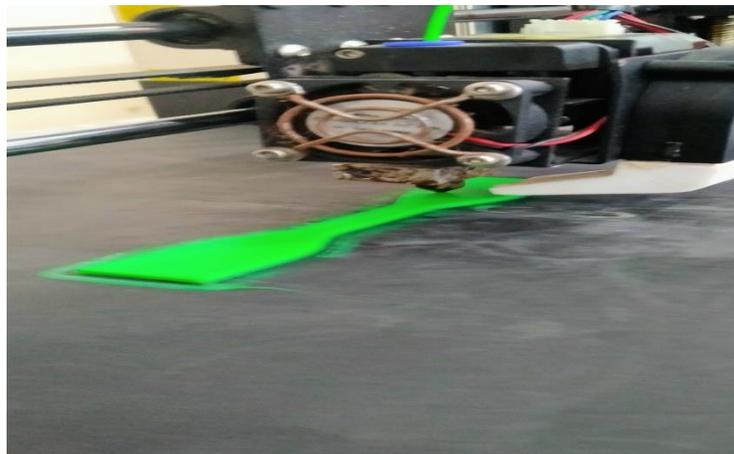
Spesimen uji Tarik Standar ASTM D638 Type IV



Tanpa Annealing

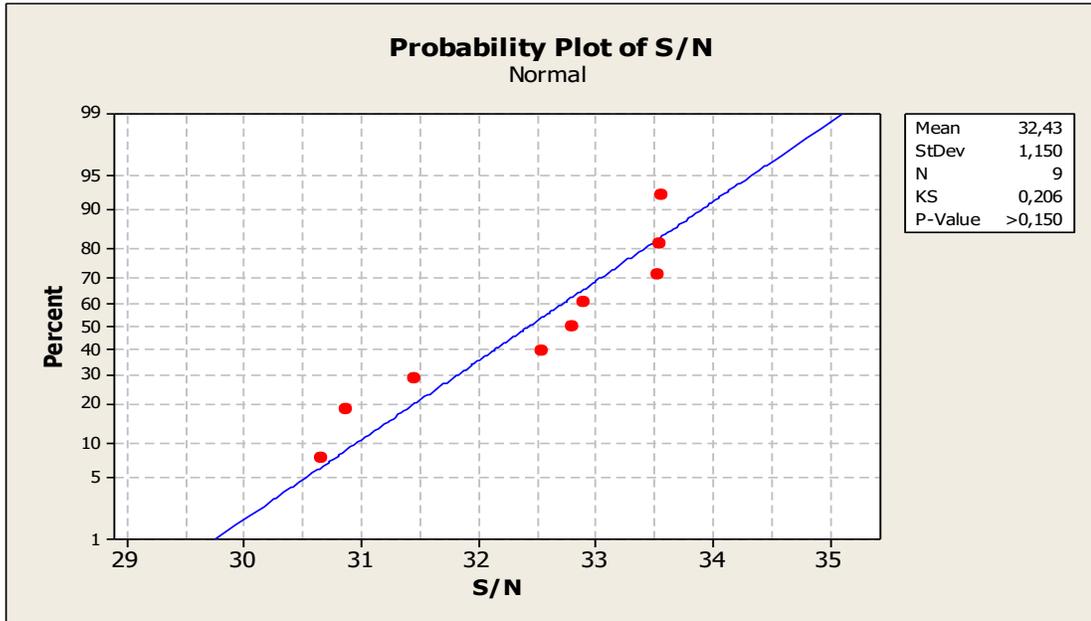


Dengan Annealing

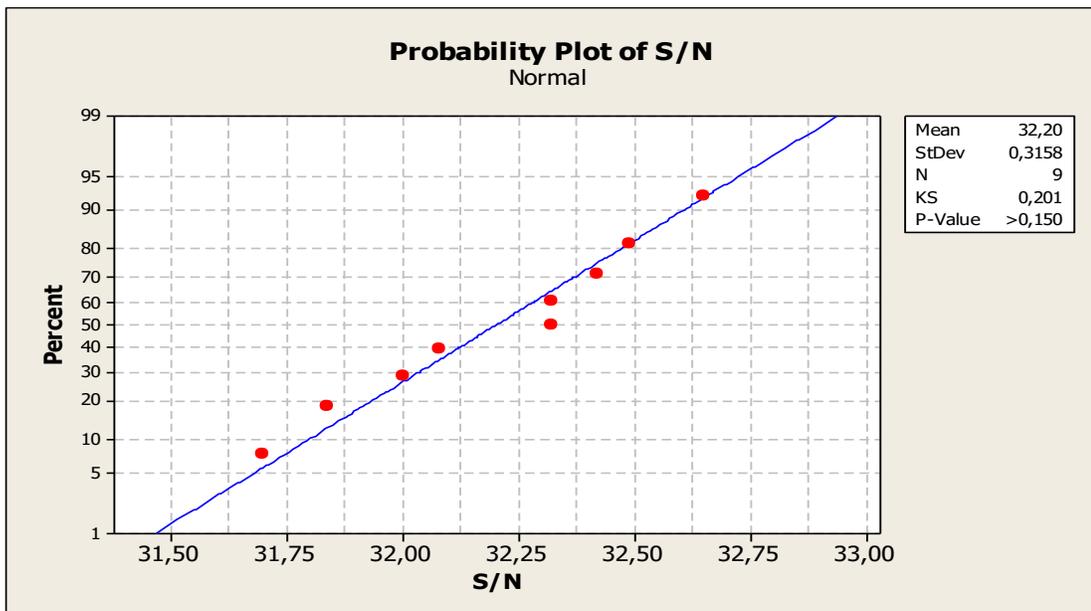


LAMPIRAN 2

Hasil uji Normalitas Tanpa proses Annealing

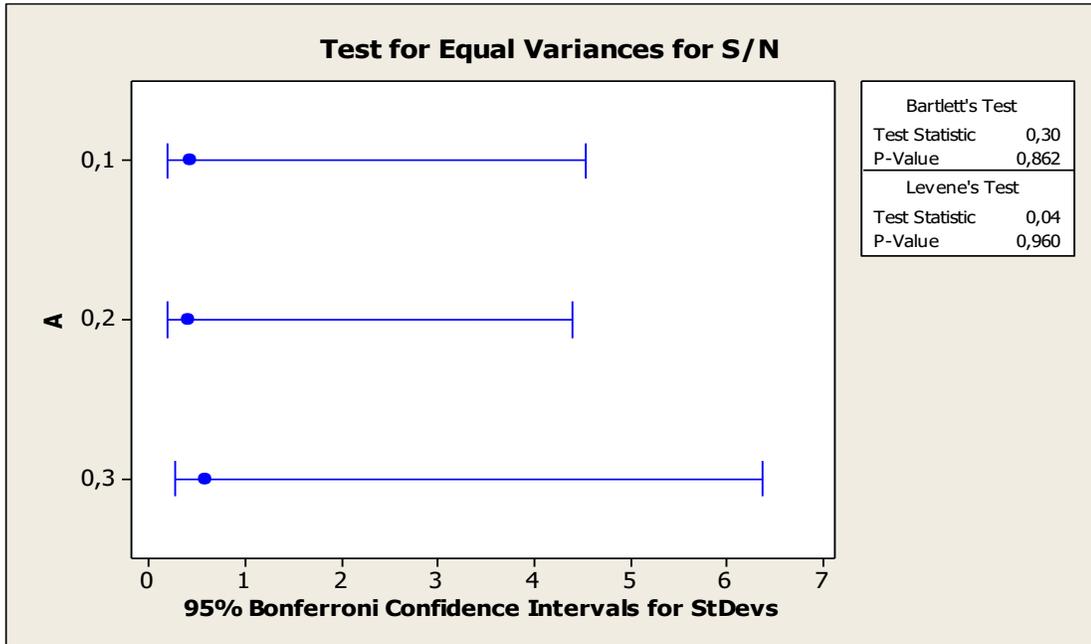


Hasil uji Normalitas dengan Proses Annealing

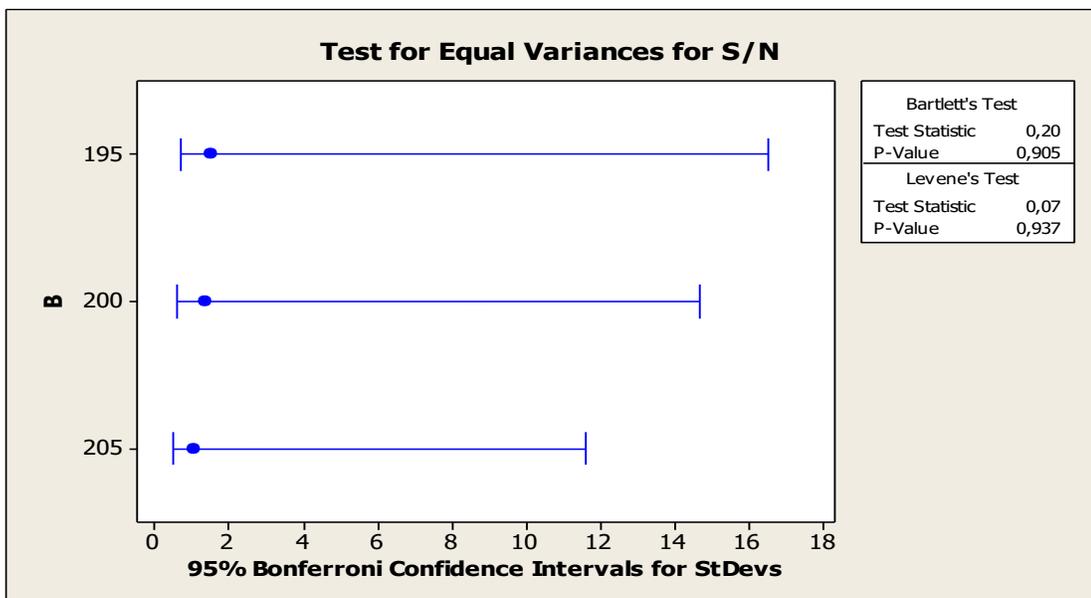


LAMPIRAN 3

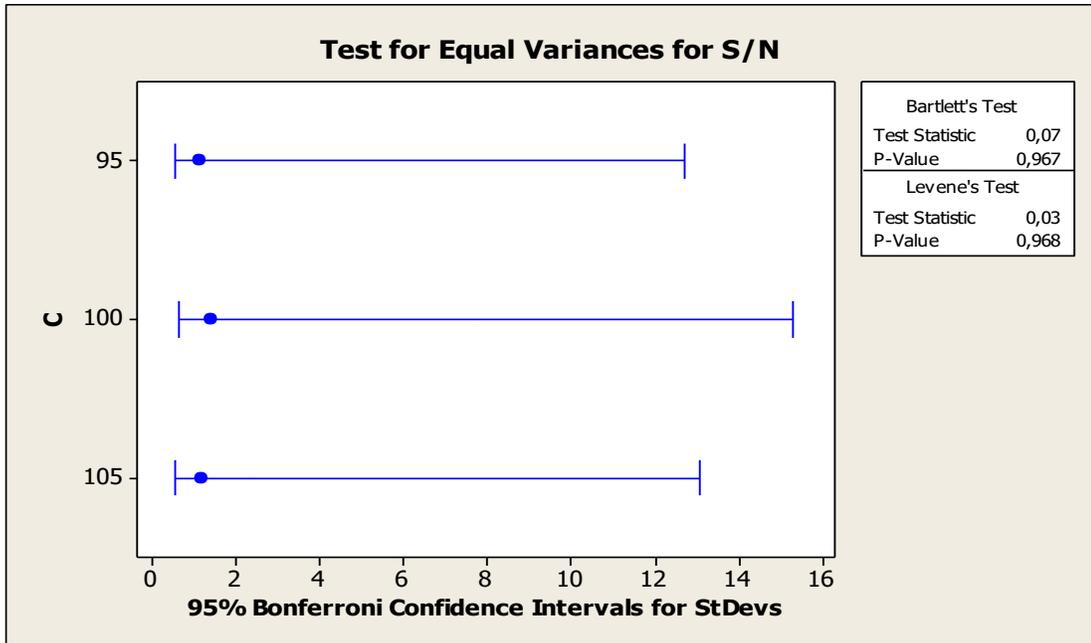
Data Uji Homogen Tanpa Annealing A (Layer Thickness)



Data Uji Homogen Tanpa Annealing B (Nozzle Temperature)

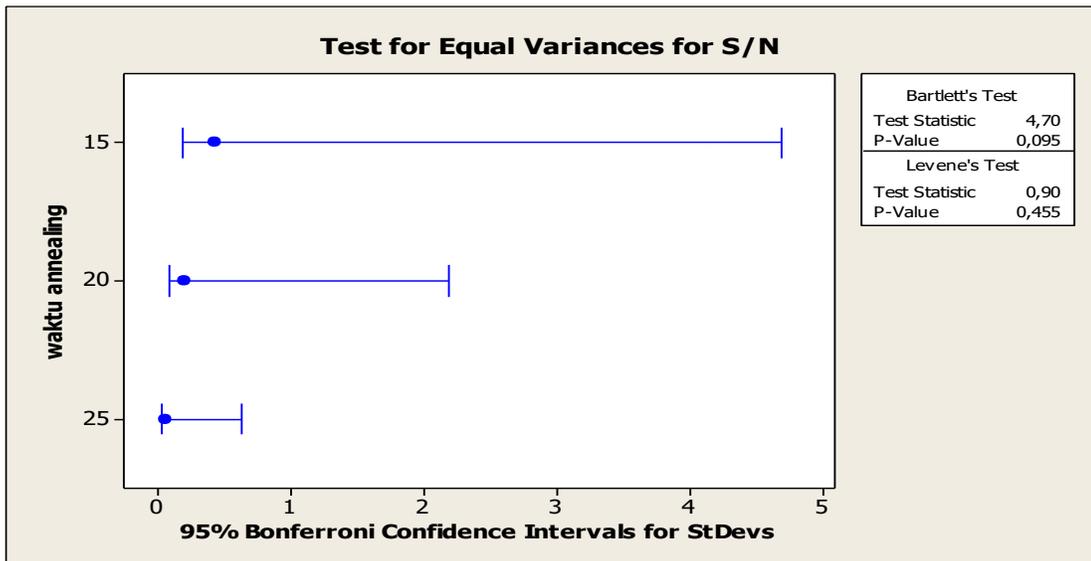


Data Uji Homogen Tanpa Annealing C (Flowrate)

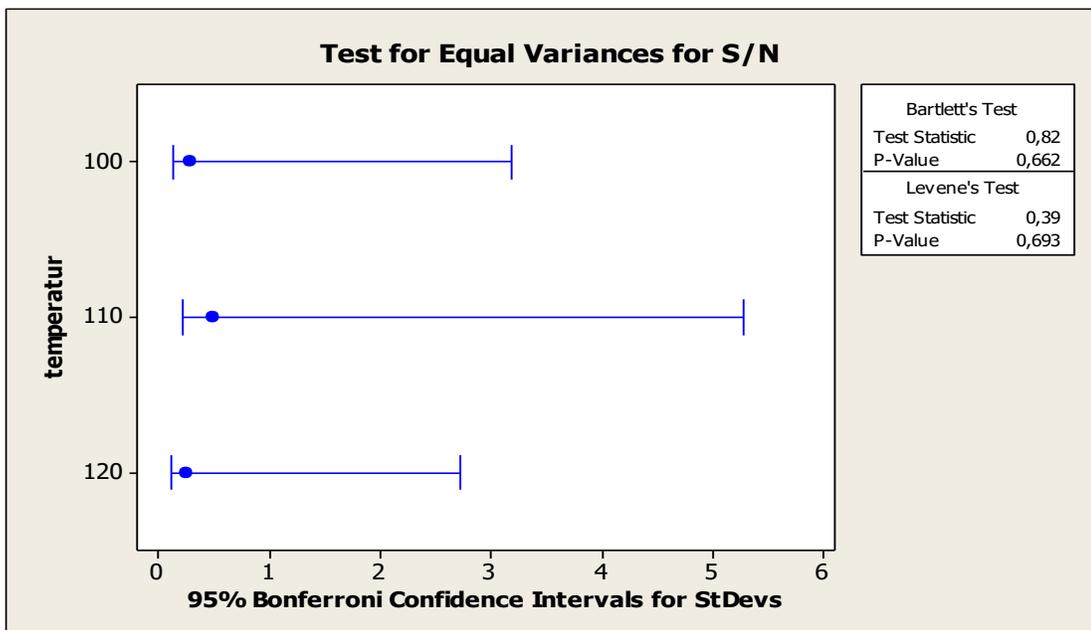


LAMPIRAN 4

Data Uji Homogen Dengan proses Annealing



Data Uji Homogen Dengan proses Annealing



Data Uji Homogen Dengan proses Annealing

