

PENGARUH PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK FILAMENT ABS CCTREE

*The Effect of Proces Parameters on 3D printing FDM on Tensile strength of ABS
CCTREE Filament*

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

Oleh :
Ade Ferdiansyah
NPM : 1041731

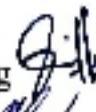


POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
2021

PENGARUH PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK *FILAMENT ABS CCTREE*

Penulis :
Ade Ferdiansyah
NPM : 1041731

Penguji :

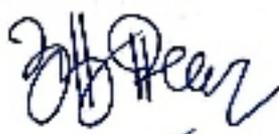
1. Ketua : Pristiansyah, S.S.T., M.Eng 
2. Anggota : Yuli Dharta, S.S.T., M.T 
3. Anggota : Adhe Anggry, S.S.T., M.T 

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 24-02-2021
dan disahkan sesuai dengan ketentuan.

Pembimbing Utama,


Pristiansyah S.S.T., M.Eng
NIDN 0024018802

Pembimbing Pendamping,


Boy Rollastin, S.Tr., M.T
NIDN 0030128303


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

ABSTRAK

Teknologi *Three Dimensional (3D) Printing* adalah salah satu terobosan baru dalam dunia industri manufaktur. Prinsipnya menggunakan *additive manufacturing*, mengkonversi data 3D dari *Computer Aided Design (CAD)* secara langsung untuk dijadikan prototipe fisik. Teknik *additive manufacturing* sendiri telah menarik banyak minat dimulai dari industri sampai kalangan akademik sebagai bahan penelitian karena dapat memberikan solusi dibidang produksi untuk menyederhanakan produk-produk dengan desain yang rumit sampai dengan mengurangi *lead time* tanpa meninggalkan kualitas cetakannya. Saat ini metode *fused deposition modeling (FDM)* paling banyak digunakan dalam pencetakan 3D karena mudah digunakan, biaya operasional rendah dan ramah lingkungan.

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan karakteristik kualitas semakin besar semakin baik. Desain eksperimen yang digunakan L_{27} OA dengan menganalisis *Signal to Noise Ratio SNR*. Metode tersebut berprinsip terhadap kekuatan tarik filamen ABS *CCTREE*.

Untuk mengetahui parameter proses yang sangat berpengaruh pada kekuatan tarik filamen ABS *CCTREE*. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian yaitu *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *temperature based plate* (°C), *print speed* (mm/s) dan *infill pattern*. Urutan parameter yang paling berpengaruh secara berturut-turut yaitu *layer thickness* sebesar 40,74%, *print speed* 9,40%, *nozzle temperature* sebesar 5,69%, *temperature based plate* sebesar 5,56% dan *infill pattern* sebesar 4,36%. Nilai kekuatan tarik yang paling kuat terjadi pada eksperimen ke-1 sebesar 41,17 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik untuk kombinasi optimum. Berdasarkan uji konfirmasi, didapatkan sebesar 45,53 MPa.

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

ABSTRACT

Three Dimensional (3D) Printing Technology is one of the new breakthroughs in the manufacturing industry. The principle is using additive manufacturing, converting 3D data from Computer Aided Design (CAD) directly to become a physical prototype. Additive manufacturing technique itself has attracted a lot of interest starting from industry to academics as research material because it can provide solutions in the production sector to simplify products with complex designs to reduce lead time without leaving the print quality. Currently the fused deposition modeling (FDM) method is most widely used in 3D printing because it is easy to use, low operating costs and is environmentally friendly.

This research uses the Taguchi method with the quality characteristics the greater the better. The experimental design used L27 OA by analyzing the SNR Signal to Noise Ratio. This method is based on the tensile strength of the ABS CCTREE filament.

This is to determine the process parameters which greatly affect the tensile strength of the ABS CCTREE filament. The process parameters used in the study were nozzle temperature (°C), layer thickness (mm), temperature based plate (°C), print speed (mm/s) and infill pattern. The most influential parameter sequences were layer thickness of 40.74%, print speed 9.40%, nozzle temperature 5.69%, temperature based plate 5.56% and infill pattern 4, 36%. The strongest tensile strength value occurred in the first experiment of 41.17 MPa, meanwhile the tensile strength value for the optimum combination. Based on the confirmation test, it was found that 45.53 Mpa.

Keyword : *3D Printing Fused Deposition Modelling (FDM), ABS CCTREE, Tensile Test, Taguchi Method.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat ALLAH S.W.T yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya. Atas kehendak-Nya juga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, baik ditinjau dari segi materi maupun, segi teknis penyusunannya, hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan minimnya pengalaman penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati kritik dan saran yang sifatnya membangun sangatlah penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak memperoleh bantuan baik moril maupun spiritual dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu dan bapak Tercinta, terima kasih tak terhingga atas do`a dan kasih sayang yang telah diberikan dan memberi dorongan motivasi selama ini.
3. Untuk adik ku Muhammad Rizky Aulia yang selalu menjadi penyemangat dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Pristiansyah S,S.T.,M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin POLMANBABEL. Sekaligus dosen pembimbing pertama yang telah banyak sekali memberi motivasi dan arahan kepada penulis membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T, selaku ka. Prodi Teknik Mesin dan Manufaktu, sekaligus dosen pembimbing dua yang telah memberikan arahan,

bimbingan, masukan kepada penulis dan membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Dosen–dosen Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur yang memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan D IV.
7. Teman-teman semua jurusan yang ada di POLMANBABEL, terutama teman-teman Teknik Mesin dan Manufaktur, atas persahabatan, kebaikan dan kekeluargaan yang tak akan terlupakan.
8. 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. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis, mahasiswa dan pembaca umumnya.

Sungailiat, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Sistematika Penulisan	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Mesin 3D <i>Printing</i> FDM	II-1
2.1.1 Pengertian 3D <i>Printing</i>	II-1
2.1.2 Proses Kerja 3D <i>Printing</i>	II-1
2.1.3 <i>Fused Deposition Modeling</i>	II-2
2.1.4 Proses FDM	II-2
2.1.5 Parameter Proses FDM	II-3
2.2 <i>Filament</i> ABS (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>)	II-4
2.3 Uji Tarik	II-6
2.5 Desain Eksperimen Taguchi	II-8
2.5 Minitab	II-13
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tahap Penelitian	III-1

3.2 Variabel Penelitian	III-3
3.3 Identifikasi Nilai Variabel Proses	III-3
3.4 Pemilihan Matrik Orthogonal	III-3
3.5 Persiapan Eksperimen	III-6
3.5.1 Bahan Penelitian	III-6
3.5.2 Peralatan Penelitian	III-6
3.6 Pelaksanaan Eksperimen	III-8
3.7 Pengambilan Data	III-10
3.8 Pengolahan Data	III-10
BAB IV PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Proses Pencetakan Spesimen Pada Mesin 3D <i>Printing</i>	IV-1
4.2 Pengambilan Data Hasil Eksperimen	IV-3
4.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen	IV-7
4.4 Persen Kontribusi	IV-13
4.5 Melakukan Uji Konfirmasi	IV-13
BAB KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup	
Lampiran 2 Perhitungan S/N <i>Ratio</i>	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Spesifikasi Filamen ABS <i>CCTREE</i>	II-6
2.2 Rancangan Eksperimen Taguchi $L_{27} (5^3)$	II-10
3.1 Parameter Proses dan Level Faktor	III-3
3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level	III-4
3.4 Tampilan Data Eksperimen	III-4
4.1 Desain Faktorial L_{27} OA	IV-4
4.2 Hasil Uji Tarik	IV-6
4.3 Mean Plot	IV-11
4.4 S/N Ratio	IV-12
4.5 Persen Kontribusi S/N <i>Ratio</i>	IV-13
4.6 Perbandingan Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum	IV-13

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Proses Ekstruksi Filamen	I-3
2.2 Filamen ABS <i>CCTREE</i>	II-5
2.2 Mesin Uji Tarik dilengkapi Spesimen Ukuran Standar	II-6
2.3 Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-04	II-7 3.1
Diagram Alir Tahap Penelitian	III-1
3.2 Filamen ABS <i>CCTREE</i>	III-6 3.3
Mesin 3D <i>Printing</i> REXYZ A1	III-6
3.4 Mesin Uji Tarik Zwick / Roell	III-7
3.5 Laptop Toshiba Satellite C800D	III-7
3.6 Ultimaker Cura 4.4.1	III-7
3.7 Desain Spesimen	III-8
3.8 Penyetinan Parameter Proses dan Level di <i>Software Slicer</i>	III-8
3.9 Proses Pencetakan Spesimen	III-9
3.10 Pengujian Kekuatan Tarik	III-9 4.1
Menyalakan Mesin	IV-1 4.2
Proses Pemasangan Filamen	IV-1 4.3
Kalibrasi Mesin	IV-2
4.4 Pemasangan Kartu Memori Pada Mesin 3D <i>Printing</i>	IV-2
4.5 Penyetingan Parameter Proses Pada Mesin 3D <i>Printing</i>	IV-2 4.6
Proses Pembuatan Spesimen	IV-3 4.7
Hasil Proses Pencetakan Spesimen	IV-3 4.8
Hasil Proses Pencetakan Spesimen	IV-5 4.9
Pencekaman Spesimen	IV-5 4.10
Spesimen Hasil dari Uji Tarik	IV-6 4.11
Halaman <i>Worksheet</i> 1	IV-7 4.12
Tampilan <i>Create Taguchi Desain</i>	IV-8 4.13
Tampilan <i>Design</i>	IV-8

4.14 Tampilan <i>Factors</i>	IV-8
4.15 Halaman <i>Worksheet</i> Desain Faktorial L ₂₇ dan Data Hasil Uji Tarik .	IV-9
4.16 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design</i>	IV-9
4.17 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design Graps</i>	IV-10
4.18 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design Analysis</i>	IV-10
4.19 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design Options</i>	IV-10
4.20 Grafik Mean Plot	IV-11
4.21 Grafik S/N Ratio	IV-12

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi *Three Dimensial (3D) Printing* merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi. Printer 3D adalah sebuah printer yang mampu mencetak benda berdimensi tiga, bukan berupa gambar atau tulisan di atas kertas. Kelebihan dari Printer 3D adalah sangat memungkinkan untuk membuat berbagai bentuk pola rumit. Hal ini dikarenakan keleluasaan gerakan printing pada ruang lingkup tiga dimensi. Terkait dengan defenisinya tersebut maka Printer 3D dapat berfungsi penting dalam dunia manufaktur (Setiawan, 2019). *Three dimensional (3D) Printing* menjadi salah satu mesin yang handal dan revolusioner pada teknik *additive manufacturing (AM)* untuk membuat objek tiga dimensi dengan struktur yang unik dan bermacam-macam. Teknik tersebut hingga sekarang diantaranya adalah *fused depositon modelling (FDM)*, *stereolithography apparatus (SLA)*, *continous liquid interface production (CLIP)*, *digital light processing* dan *selective laser sintering (SLS)* (Pambudi, 2017). *Fused Deposition Modeling (FDM)* merupakan salahsatu metode yang cukup populer dalam AM dimana produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi untuk dapat bersaing dengan metode manufaktur konvensional (*injection moulding*). 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, Herianto, & Purfaji, 2018).

Penelitian yang dilakukan (Budiono, 2015), pada spesimen benda uji ASTM D638 tipe 2 menggunakan filamen ABS dan parameter yang digunakan inmeliputi tebal *layer* 0,2 mm dan 0,3 mm. Hasil dari kekuatan tarik menggunakan parameter tersebut sebesar 18,5948 MPa dan 18,9152 MPa. Penelitian yang dilakukan oleh, (Setiawan, 2019), menggunakan filament ABS dengan parameter proses 2 variasi 4 level dan satu parameter yang digunakan ini meliputi suhu

nozzle 230°C, 240°C, 250°C dan 260°C, dan tebal *layer* 3,2 mm. Kekuatan tarik yang dihasilkan menggunakan parameter suhu *nozzle* 230°C, dan tebal *layer* 3,2 mm sebesar 17.745 MPa, suhu *nozzle* 240°C tebal *layer* 3,2 mm sebesar 134.692 MPa, suhu *nozzle* 250°C tebal *layer* 3,2 sebesar 43.7465 MPa, dan suhu *nozzle* 260°C tebal *layer* 3,2 mm sebesar 48.1565 MPa.

Berdasarkan evaluasi dari penelitian-penelitian yang ada, parameter proses FDM yang digunakan dua peneliti yaitu tebal *layer* dan suhu *nozzle* memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik. Maka dari itu penulis untuk melakukan penelitian kekuatan tarik menggunakan 5 variasi parameter proses dengan faktorial L_{27} untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan parameter proses yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka rumusan masalah penelitian ini adalah apakah parameter proses *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *temperature base plate* (°C), *print speed* (mm/s), dan *infill pattern* berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada tarik *filament ABS CCTREE* ?.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah yang dilakukan dapat terarah dengan baik dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan, maka batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D printer FDM merk REXYZ A1 180 mm x 180 mm x 180 mm.
2. Pembuatan spesimen mengacu pada ASTM D638-04 menggunakan filamen ABS CCTREE.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, menggunakan mesin uji tarik Zwick / Roell.
4. Pengumpulan data menggunakan metode Taguchi.
5. Pengolahan data menggunakan *software* Minitab.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui parameter proses yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik *filament* ABS menggunakan 3D *printing* FDM dengan parameter proses *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *temperature base plate* (°C), *print speed* (mm/s), dan *infill pattern*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

b. BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori mesin 3D *printing* FDM, *filament* ABS, uji tarik, desain eksperimen Taguchi dan minitab.

c. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang uraian tahap penelitian, variabel penelitian, identifikasi nilai variabel proses, pemilihan matrik orthogonal, persiapan eksperimen, pelaksanaan eksperimen, pengambilan data dan cara pengolahan data.

d. BAB IV PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang uraian proses pencetakan spesimen pada mesin 3D *printing*, pengambilan data hasil eksperimen, pengolahan data hasil eksperimen dan melakukan uji konfirmasi.

e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang akan dipaparkan terkait hasil dan temuan-temuan dari penelitian untuk dilakukan penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin 3D *Printing* FDM

2.1.1 Pengertian 3D *Printing*

Printer 3D adalah sebuah printer yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Dengan teknologi dari printer 3D sebuah perusahaan dapat membuat sebuah prototype tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material. Karena sehabis seorang *designer* menggambar objek 3D mereka akan bisa langsung mencetak hasil desain mereka dengan printer tersebut dan langsung mengetahui kira-kira apa saja kekurangan dari design yang telah dibuatnya. (Setiawan, 2019)

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

2.1.2 Proses Kerja 3D *Printing*

Proses kerja dari mesin 3D *printing* sebagai berikut ini (Setiawan, 2019) :

1. Model Objek 3D *Printing*

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 *printing*

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

Pada tahap ini anda dapat menyempurnakan bagian bagian kompleks yang bisa jadi disebabkan oleh over sized atau ukuran yang berbeda dari yang diinginkan. Teknik tambahan untuk menyempurnakan proses ini dapat pula menggunakan teknik multiple material atau kombinasi warna.

2.1.3 *Fused Deposition Modeling*

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).

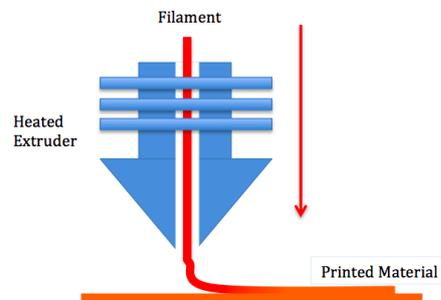
Fused Deposition Modelling (FDM) adalah metode *Rapid Prototyping* yang proses fabrikasinya berbeda dengan metode yang lainnya, metode ini tidak menggunakan laser, namun dengan *nozzle* yang dipanaskan. Material filamen termoplastik yang digunakan dipanaskan pada *heater*. Temperatur diset lalu dipertahankan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

<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/25341/e.%20BAB%20I.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

2.1.4 Proses FDM

Proses pembentukan benda tiga dimensi manufaktur FDM menggunakan teknik lapis demi lapis (*layer by layer*) dapat dilihat pada Gambar 2.1. 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 sampai membentuk benda tiga dimensi (Sumantri, 2012).



Gambar 2.1 Proses Ekstrusi Filamen (<http://www.central-jogja.com/fused-deposition-method>)

2.1.5 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.

2.2 *Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)*

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) adalah terpolimer yang dibuat oleh polimerisasi stirena dan akrilonitril dengan adanya polibutadiena dapat dilihat pada Gambar 2.2. Proporsi dapat bervariasi dari 15 hingga 35% akrilonitril, 5 hingga 30% butadiena dan 40 hingga 60% stirena. Hasilnya adalah rantai panjang polibutadiena berselang-seling dengan rantai poli (stirena-ko-akrilonitril) yang lebih pendek. Kelompok nitril dari rantai tetangga, menjadi kutub, menarik satu sama lain dan mengikat rantai bersama-sama, membuat ABS lebih kuat dari polistirena murni. Styrene memberikan permukaan yang mengkilap dan tahan. Polibutadiena, zat karet, memberikan ketangguhan bahkan pada suhu rendah (Setiawan, 2019).

Sifat mekanis yang paling penting dari ABS adalah ketahanan dan ketangguhan impact untuk spesifikasi filamen ABS *CCTREE* ditunjukkan pada Tabel 2.1. Berbagai modifikasi dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan benturan, ketangguhan, dan ketahanan panas. Resistensi dampak dapat diperkuat dengan meningkatkan proporsi polibutadiena dalam kaitannya dengan styrene dan juga akrilonitril, meskipun ini menyebabkan perubahan pada properti lainnya. Resistensi dampak tidak jatuh dengan cepat pada suhu yang lebih rendah. Stabilitas di bawah beban sangat baik dengan beban terbatas. Dengan demikian,

dengan mengubah proporsi komponennya, ABS dapat disiapkan di kelas yang berbeda. Dua kategori utama ABS untuk ekstrusi dan ABS untuk cetak injeksi, kemudian resistensi dampak tinggi dan sedang. ABS adalah bahan plastik cetak 3D yang ringan dan mudah dibentuk membuatnya sangat berguna dalam produk manufaktur seperti pipa, alat musik (perekam, klarinet plastik, dan piano), kepala klub golf, komponen otomotif seperti bumper mobil, peralatan medis, kandang untuk alat listrik dan elektronik, pelindung kepala, furniture, bagasi mobil dan alat pelindung, peralatan dapur dan mainan seperti lego.

Polimer ABS tahan terhadap asam berair, alkali, asam hidroklorat dan fosfat pekat, alkohol dan minyak hewani dan nabati, tetapi polimer ini bengkak oleh asam asetat glasial, karbon tetraklorida dan hidrokarbon aromatik dan diserang oleh asam sulfat pekat dan nitrat. Mereka larut dalam ester, keton, etilen diklorida dan aseton.

Meskipun plastik ABS digunakan sebagian besar untuk tujuan mekanis, plastik ABS juga memiliki sifat listrik yang cukup konstan pada berbagai frekuensi. Sifat-sifat ini sedikit dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban atmosfer dalam rentang operasi temperatur yang dapat diterima.

ABS mudah terbakar ketika terkena suhu tinggi, seperti api kayu. Ini akan meleleh dan kemudian mendidih, di mana titik uap meledak menjadi api panas yang intens. Karena ABS murni tidak mengandung halogen, pembakarannya biasanya tidak menghasilkan polutan organik yang persisten, dan produk yang paling beracun dari pembakaran atau pirolisis adalah karbon monoksida dan hidrogen sianida (Setiawan, 2019).



Gambar 2.2 Filamen ABS CCTREE

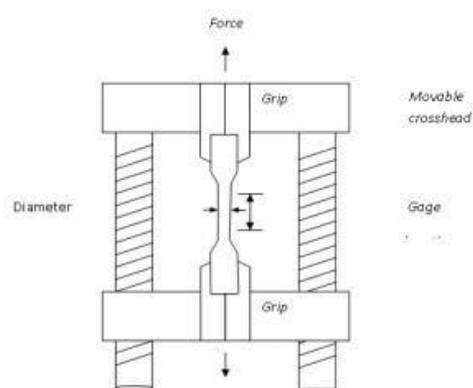
Tabel 2.1 Spesifikasi Filamen ABS *CCTREE*

<i>Density</i> (g/cm ³)	1,04
<i>Distortion Temperature</i> (°C, 0.45 MPa)	78
<i>Melt Flow Index</i> (g/10min)	12 (220(°C)/10kg)
<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	43
<i>Bending Strain</i> (Mpa)	66
<i>Elongation at Break</i> (%)	22
<i>IZOD Impact Strength</i> (kJ/m ²)	19
<i>Recommended Print Temperature</i> (°C)	245 - 260
<i>Recommended Bed Temperature</i> (°C)	80 – 110

Sumber : (<http://www.diyelectronic.co.za/strore/abs/1712.cctree-abs-filament-175mm.html>)

2.3 Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. (Askelan, 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 2.2 Mesin Uji Tarik dilengkapi Spesimen Ukuran Standar

(<https://images.app.goo.gl/UejmVcDR15ojQWY89>)

Ilustrasi proses uji tarik pada Gambar 2.2 benda yang akan 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.

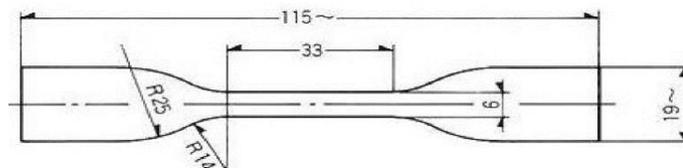
1. Bentuk dan Dimensi Spesimen uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM E8 atau 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 diuji ditransmisikan pada pegangan bahan yang diuji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar baku pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-04

(<https://images.app.goo.gl/zc5TF56QHHxhEoZLA>)

2.4 Desain Eksperimen Taguchi

Metode Taguchi merupakan metode statistik yang digunakan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses. Dr. Genichi Taguchi seorang konsultan manajemen kualitas asal Jepang yang mengembangkan metode matrik ortogonal dalam melakukan eksperimen. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain :

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robusti* terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Namun demikian, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, sehingga pemilihan rancangan eksperimen harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen adalah proses mengevaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mencapai hal tersebut secara efektif, faktor dan level faktor dibuat bervariasi dan kemudian hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati, sehingga kumpulan hasil selengkapnya dapat dianalisis. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan juga tindakan untuk membuat perbaikan lebih lanjut.

Pada umumnya, desain eksperimen Taguchi memiliki tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Tiga tahap utama tersebut adalah :

1. Tahap perencanaan eksperimen

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting. Pada tahap ini seorang peneliti dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan informasi positif dan negatif. Informasi positif terjadi apabila hasil eksperimen memberikan indikasi tentang faktor dan level yang mengarah pada peningkatan permonfarsi produk. Informasi negatif terjadi apabila hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi variabel respon. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut :

a. Perumusan masalah

Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituang 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. Pemisah faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar dua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah

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 harus dikeluarkan akan semakin banyak.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar eksperimen harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh eksperimen tersebut. Derajat kebebasan dari faktor dan level (u_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$u_{fl} = \text{Jumlah level faktor} - 1 \quad (2.1)$$

h. Pemilihan matrik orthogonal

Pemilihan matrik orthogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari faktor dan jumlah level faktor. Matrik orthogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum.

Matrik ortogonal $L_{27}(5^3)$ adalah salah satu matrik ortogonal standar dengan 3 level 10 derajat kebebasan. Matriks ortogonal $L_{27}(5^3)$ ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Rancangan Eksperimen Taguchi $L_{27}(5^3)$

<i>Exp.</i>	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

Tabel 2.2 Rancangan Eksperimen Taguchi L₂₇ (5³) (Lanjutan)

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

Sumber : Soejanto (2019)

2. Tahap pelaksanaan eksperimen

Tahap pelaksanaan terdiri dari dua hal, yaitu penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah peluang kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah eksperimen untuk mendapatkan ketelitian yang lebih

tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

b. Randomisasi

Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen, serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan, sehingga adak kehomogenan dari setiap perlakuan yang sama.

3. Tahap analisis

Pada tahap ini pengumpulan data 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. S/N Ratio (*Signal to Noise Ratio*) merupakan salah satu tahap analisis.

Signal to Noise Ratio (SNR) dalam metode taguchi digunakan untuk mengetahui nilai level factor yang berpengaruh dan optimal bagi karakteristik kualitas dari hasil eksperimen. Karakteristik kualitas pada SNR terdiri dari :

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.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2 \right] \quad (2.2)$$

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.

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

c. *Large is Better*

Large 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.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{n} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

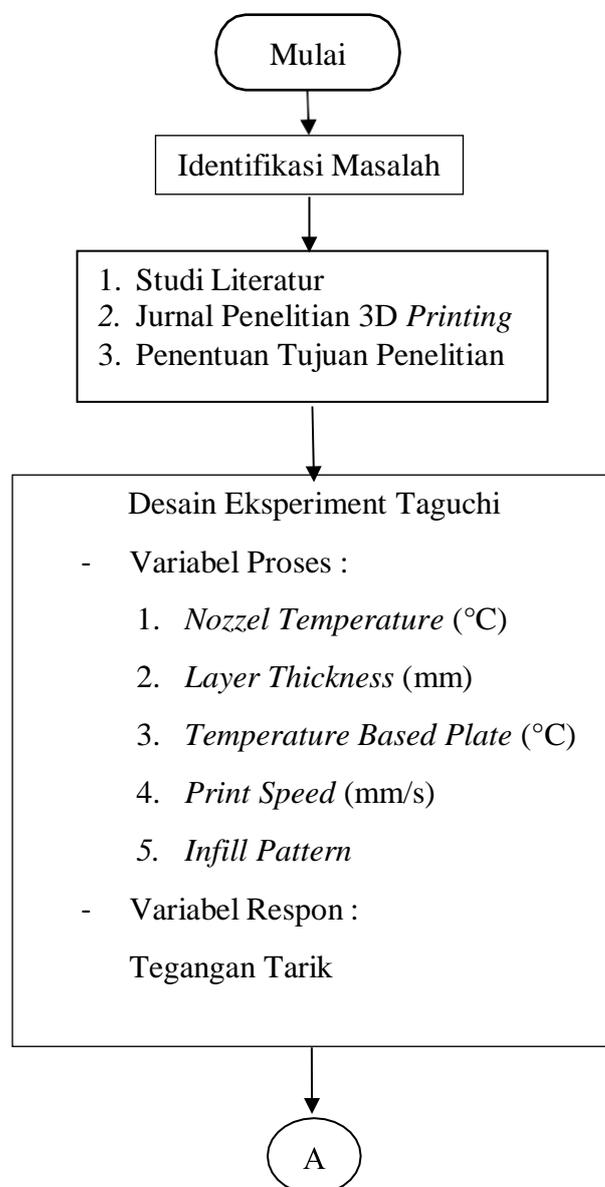
2.5 Minitab

Minitab adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistik. Minitab mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya Microsoft Excel dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks. Minitab dikembangkan di Pennsylvania State University oleh periset Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr., dan Brian L. Joiner pada tahun Minitab memulai versi ringannya OMNITAB, sebuah program analisis statistik oleh NIST. Penggunaan Minitab sebagai berikut mengelola data dan file - spreadsheet untuk analisa data yang lebih baik, analisa regresi, power dan ukuran sampel, tabel dan grafik, analisa multivariat termasuk analisa faktor, analisa klaster, analisa korespondensi dan lainnya. Tes Nonparametrik - berbagai tes termasuk tes signal, run tes, friedman tes, dan lainnya, Time Series dan Forecasting membantu menunjukkan kecenderungan pada data yang dapat digunakan untuk membuat dugaan. Time series plots, exponential smoothing, dan trend analysis. Statistical Process Control, Analisa sistem pengukuran, Analisa varians - untuk menentukan perbedaan antar data. (Wikipedia Minitab. [Online], diakses pada tanggal 2 Maret 2021).

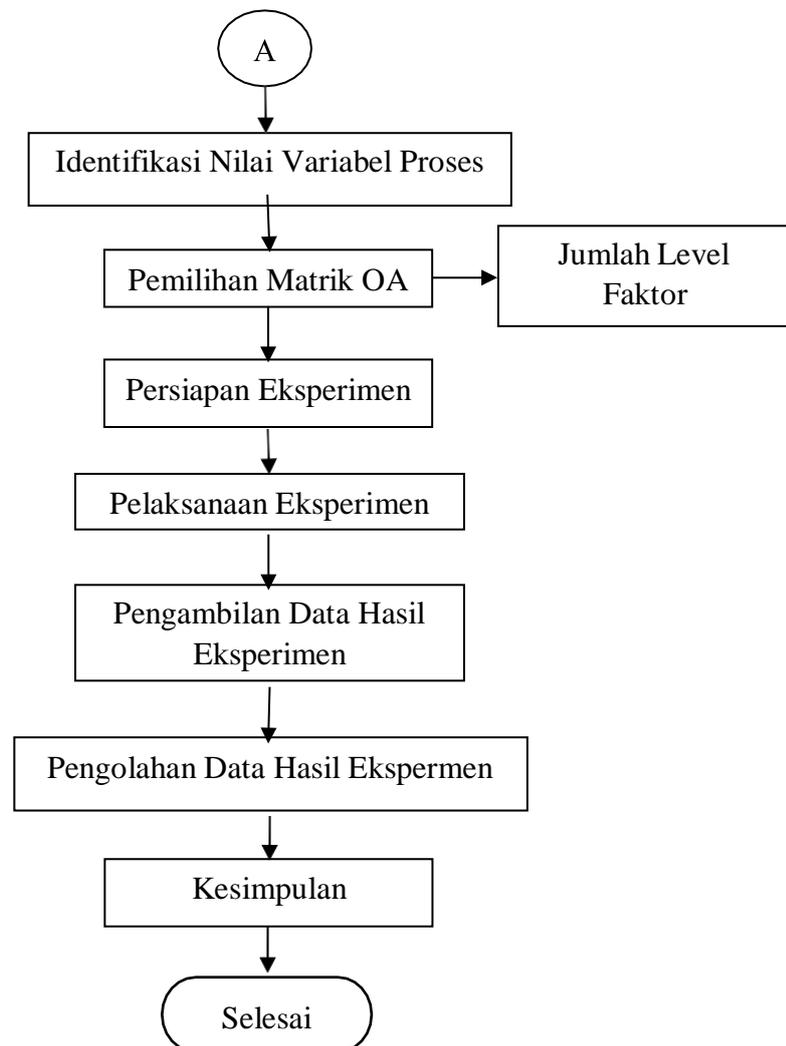
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Tahap proses penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Penelitian (Lanjutan)

Pelaksanaan penelitian dilalukan dengan beberapa tahap yang digunakan untuk pedoman penelitian. Langkah awal dimulai dari identifikasi masalah setelah itu studi literatur yang didapatkan dari jurnal ilmiah, internet *handbook*, *text book*, *manual book*. Selanjutnya data-data studi literatur dipelajari dan dijadikan referensi untuk melakukan penelitian. Kemudian menentukan variabel penelitian, setelah itu mengidentifikasi nilai variabel proses dan jumlah level faktor. Selanjutnya melakukan persiapan eksperimen seperti peralatan dan bahan eksperimen selanjutnya melakukan pelaksanaan eksperimen atau pembuatan

spesimen. Setelah itu pengambilan data eksperimen dari hasil uji tarik spesimen yang telah dicetak. Langkah selanjutnya pengolahan data dan membuat kesimpulan.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini meliputi variabel proses dan variabel respon. Pada variabel proses ini meliputi *Nozzle Temperature*, *Layer Thickness*, *Temperature Based Plate*, *Print Speed*, dan *Infill Pattern* sedangkan variabel respon meliputi tegangan tarik.

3.3 Identifikasi Nilai Variabel Proses

Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini ada 5 yaitu *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *temperature base plate* (°C), *print speed* (mm/s), dan *infill pattern*. Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi pustaka dapat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Proses dan level Faktor

Parameter Proses	Level		
	1	2	3
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	230	235	240
<i>Layer Thickness</i> (mm)	0.2	0.3	0.4
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	90	95	100
<i>Print Speed</i> (mm/s)	40	50	60
<i>Infill Pattern</i>	<i>Gyroid</i>	<i>Triangles</i>	<i>Grid</i>

Sumber : Hasil Perhitungan

3.4 Pemilihan Matriks Orthogonal

Matriks ortogonal yang akan dilakukan harus mempunyai derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan parameter proses dan level faktor yang telah ditetapkan dan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level

Parameter Proses	Jumlah Level (k)	$u_{fi} = (k - 1)$
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	3	2
<i>Layer Thickness</i> (mm)	3	2
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	3	2
<i>Print Speed</i> (mm/s)	3	2
<i>Infill Pattern</i>	3	2
Total derajat kebebasan		10

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan parameter proses dan level faktor yang digunakan adalah 10 derajat kebebasan. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki oleh matrik ortogonal yang akan digunakan adalah sepuluh. Oleh karena itu, sesuai dengan pilihan yang tersedia, matrik ortogonal $L_{27}(5^3)$ memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan. Rancangan percobaan matriks ortogonal L_{27} memiliki 5 kolom dan 27 baris. Rancangan percobaan untuk penelitian menggunakan Tabel 2.2.

Eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi parameter proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan matriks ortogonal. Ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas randomisasi bilangan yang tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Tampilan Data Eksperimen

<i>Experiment</i>	Setting Parameter, Kombinasi ke-
1	Y_{11111}
2	Y_{11112}
3	Y_{11113}
4	Y_{12221}
5	Y_{12222}

Tabel 3.4 Tampilan Data Eksperimen (Lanjutan)

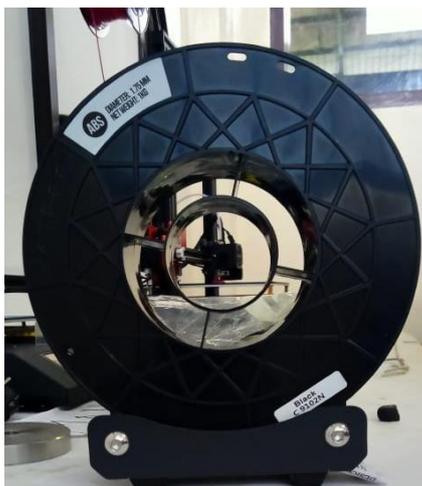
6	Y ₁₂₂₂₃
7	Y ₁₃₃₃₁
8	Y ₁₃₃₃₂
9	Y ₁₃₃₃₃
10	Y ₂₁₂₃₁
11	Y ₂₁₂₃₂
12	Y ₂₁₂₃₃
13	Y ₂₂₃₁₁
14	Y ₂₂₃₁₂
15	Y ₂₂₃₁₃
16	Y ₂₃₁₂₁
17	Y ₂₃₁₂₂
18	Y ₂₃₁₂₃
19	Y ₃₁₃₂₁
20	Y ₃₁₃₂₂
21	Y ₃₁₃₂₃
22	Y ₃₂₁₃₁
23	Y ₃₂₁₃₂
24	Y ₃₂₁₃₃
25	Y ₃₃₂₁₁
26	Y ₃₃₂₁₂
27	Y ₃₃₂₁₃

Sumber : Hasil *Software*

3.5 Persiapan Eksperimen

3.5.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filament* ABS CCTREE dengan diameter 1,75 mm warna hitam ditunjukkan pada Gambar 3.2.



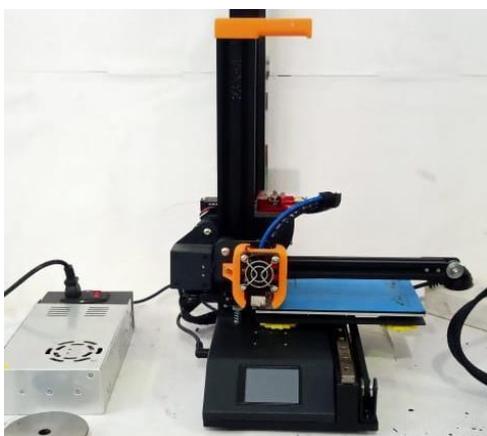
Gambar 3.2 Filamen ABS CCTREE

3.5.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin 3D *Printing* FDM

Mesin 3D *printing* FDM (*Fused Deposition Modeling*) REXYZ A1, dengan *build size* 180 mm x 180 mm x 180 mm dan *single nozzle* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin 3D *Printing* REXYZ A1

2. Mesin uji tarik Zwick / Roell.

Mesin uji tarik ini digunakan untuk menguji spesimen dari filamen yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik Zwick / Roell

3. Laptop Toshiba Satellite C800D

Spesifikasi laptop yang digunakan untuk studi ini menggunakan *Prosesor AMD E1-1200 APU with Radeon(tm) HD graphich 1.40 Ghz, Ram 2,00 GB dan Operation System Windows 7.*



Gambar 3.5 Laptop Toshiba Satellite C800D

4. *Software Slicer* Ultimaker Cura 4.4.1

Software ini digunakan untuk memasukkan parameter dan untuk mendapatkan G-code serta menjalankan mesin 3D printing. Ultimaker Cura 4.4.1 ditunjukkan pada Gambar 3.6.



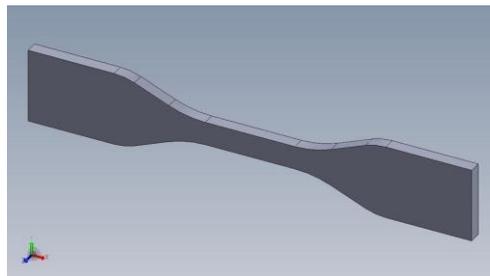
Gambar 3.6 Ultimaker Cura 4.4.1

5. *Software* Analisis

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

6. Desain Spesimen

Desain spesimen dibuat menggunakan *software* CAD dalam format STL, desain spesimen menggunakan ASTM D638 tipe 4 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7.

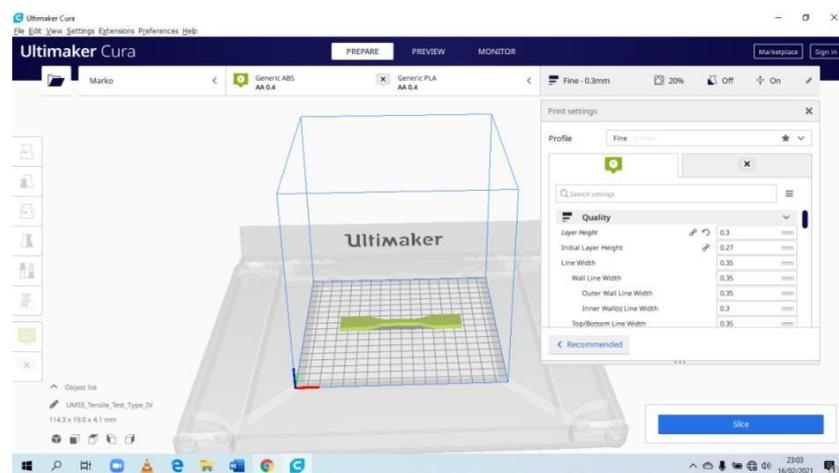


Gambar 3.7 Desain Spesimen

3.6 Pelaksanaan Eksperimen

Langkah-langkah pelaksanaan eksperimen sebagai berikut ini :

1. Membuat spesimen berdasarkan ASTM D638 tipe 4 di *software* CAD dalam format file STL, seperti pada Gambar 3.7.
2. Format STL dimasukkan pada *software slicer* untuk penyetingan parameter proses dan level yang telah ditentukan untuk mendapatkan G-code. ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Penyetingan Parameter Proses dan Level di *Software Slicer*

3. Setelah mendapatkan G-code selanjutnya, proses pencetakan spesimen menggunakan filamen ABS dengan parameter proses yang telah ditentukan, dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Proses Pencetakan Spesimen

4. Setelah semua spesimen dicetak, selanjutnya pengujian kekuatan tarik terhadap spesimen yang telah dicetak menggunakan alat uji tarik ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 3.10 Pengujian Kekuatan Tarik

5. Pengambilan data hasil pengujian kekuatan tarik.
6. Pengolahan data hasil pengujian kekuatan tarik.

1.7 Pengambilan Data

Pengambilan data ini dilakukan di kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung tepatnya di ruangan Lab. material teknik mesin. Pengambilan data dilakukan dengan menguji spesimen pada mesin uji tarik. Data hasil uji kekuatan tarik tersebut dicatat untuk dilakukan proses pengolahan data.

3.8 Pengolahan Data

Setelah pengambilan data hasil proses pengujian kekuatan tarik, langkah selanjutnya yaitu memasukkan data tersebut ke dalam *software* analisis untuk diolah. Pengolahan data ini dilakukan untuk mendapatkan parameter proses yang optimal. Jika sudah optimal berdasarkan spesifikasi awal filamen ABS *CCTREE* dan waktu pencetakan spesimen lebih efisien dari parameter terkuat, maka akan ditarik kesimpulan.

BAB IV

PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pencetakan Spesimen pada Mesin 3D *Printing*

Langkah-langkah proses pencetakan spesimen pada mesin 3D *Printing* sebagai berikut :

1. Tekan tombol ON untuk menyalakan mesin 3D *Printing* terlebih dahulu dapat dilihat pada Gambar 4.1.



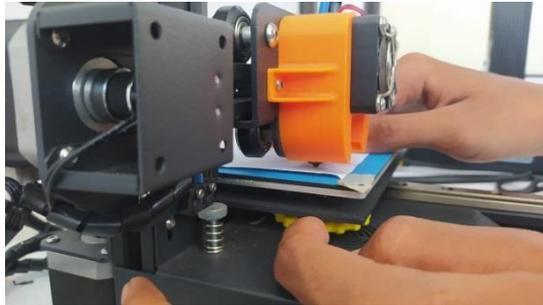
Gambar 4.1 Menyalakan Mesin

2. Pasang filamen ke tempat yang ada pada mesin 3D *printing* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



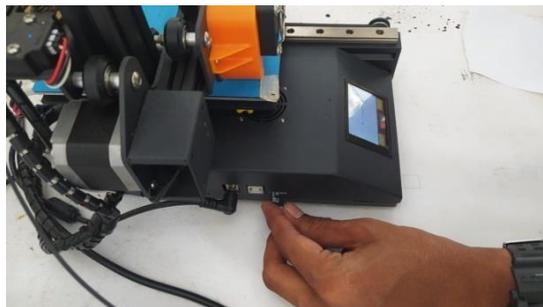
Gambar 4.2 Proses Pemasangan Filamen

3. Ada baiknya sebelum masuk ke proses pencetakan meja 3D printing dikalibrasi terlebih dulu agar meja 3D printing tersebut menjadi datar dan menjagajarak antara *nozzle* dan meja 3D *printing*, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



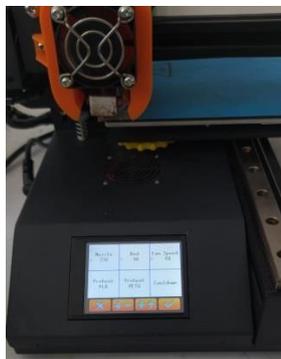
Gambar 4.3 Kalibrasi Mesin

4. Setelah itu masukkan kartu memori yang berisikan file G-code yang telah di *slicing* dari *software* Ultimaker Cura ke tempat yang ada pada mesin 3D printing, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pemasangan Kartu Memori Pada Mesin 3D *Printing*

5. Kemudian seting parameter proses yang ada pada mesin 3D printing, seperti suhu *nozzle* dan temperatur *bed* yang sesuai dengan parameter proses yang telah ditentukan, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penyetingan Parameter Proses Pada Mesin 3D *Printing*

6. Selanjutnya melakukan proses pencetakan, proses pencetakan ini dilakukan secara berturut-turut sesuai dengan urutan eksperimen, setiap eksperimen mencetak tiga replikasi spesimen, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Proses Pembuatan Spesimen

7. Setelah semua hasil spesimen dicetak, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian kekuatan tarik dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Proses Pencetakan Spesimen

4.2 Pengambilan Data Hasil Eksperimen

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 *nozzle temperature* ($^{\circ}\text{C}$), *layer thickness* (mm), *temperature based plate* ($^{\circ}\text{C}$), *print speed* (mm/s), *inill pattern*. Tabel 4.1 menunjukkan hasil desain faktorial Taguchi L_{27} OA. Pada tahap ini, setelah memiliki data hasil pengujian, data tersebut diolah menggunakan *software* analisis untuk memperoleh parameter yang optimal serta berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

Tabel 4.1 Desain Faktorial L₂₇ OA

<i>Exp.</i>	<i>Nozzel Temperature (°C)</i>	<i>Layer Thickness (mm)</i>	<i>Temperature Based Plate (°C)</i>	<i>Print Speed (mm/s)</i>	<i>Infill Pattern</i>
1	230	0,2	90	40	<i>Gyroid</i>
2	230	0,2	90	40	<i>Triangles</i>
3	230	0,2	90	40	<i>Grid</i>
4	230	0,3	95	50	<i>Gyroid</i>
5	230	0,3	95	50	<i>Triangles</i>
6	230	0,3	95	50	<i>Grid</i>
7	230	0,4	100	60	<i>Gyroid</i>
8	230	0,4	100	60	<i>Triangles</i>
9	230	0,4	100	60	<i>Grid</i>
10	235	0,2	95	60	<i>Gyroid</i>
11	235	0,2	95	60	<i>Triangles</i>
12	235	0,2	95	60	<i>Grid</i>
13	235	0,3	100	40	<i>Gyroid</i>
14	235	0,3	100	40	<i>Triangles</i>
15	235	0,3	100	40	<i>Grid</i>
16	235	0,4	90	50	<i>Gyroid</i>
17	235	0,4	90	50	<i>Triangles</i>
18	235	0,4	90	50	<i>Grid</i>
19	240	0,2	100	50	<i>Gyroid</i>
20	240	0,2	100	50	<i>Triangles</i>
21	240	0,2	100	50	<i>Grid</i>
22	240	0,3	90	60	<i>Gyroid</i>
23	240	0,3	90	60	<i>Triangles</i>
24	240	0,3	90	60	<i>Grid</i>
25	240	0,4	95	40	<i>Gyroid</i>
26	240	0,4	95	40	<i>Triangles</i>
27	240	0,4	95	40	<i>Grid</i>

Sumber : Hasil Software

Tabel 4.1 diatas digunakan untuk mencetak spesimen uji tarik. Spesimen ini dicetak dengan tiga replikasi setiap eksperimennya. Nilai level faktor tiap parameter proses eksperimen diinput ke *software slicing* untuk mendapatkan *G-code* proses pencetakan. *G-code* ini dimasukkan ke mesin 3D *printing* kemudian dilakukan proses pencetakan. Hasil proses pencetakan spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Proses Pencetakan Spesimen

Hasil dari proses pencetakan spesimen ini, selanjutnya dilakukan proses pengujian tarik berikut ini langkah-langkah proses uji tarik :

1. Nyalakan mesin uji tarik, kompressor dan komputer.
2. Buka *software* pengujian kekuatan tarik, untuk mengetahui hasil kekuatan tarik dari spesimen dan untuk penyetingan mesinnya.
3. Letakkan spesimen pada pencekaman mesin uji tarik, kemudian tekan pedal untuk mencekam spesimen dapat ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pencekaman Spesimen

4. Kemudian klik *Start Post* untuk melakukan proses pengujian tarik.
5. Setelah spesimen patah, mendapatkan nilai kekuatan tarik yang tertera pada layar komputer.



Gambar 4.10 Spesimen Hasil dari Uji Tarik

6. Kemudian hasil tersebut disimpan di komputer dan dicatat dibuku, untuk melakukan proses pengolahan data.

Setelah melakukan uji tarik pada semua spesimen, maka didapatkan hasil nilai uji tarik. Adapun hasil dari pengujian tersebut antara lain rata-rata kekuatan tarik dari setiap eksperimen. Ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik

<i>EXP.</i>	A	B	C	Rata-rata
1	37,7	42	43,8	41,17
2	42,7	38,9	39,5	40,37
3	39,5	42	39	40,17
4	28,3	37,7	38,8	34,93
5	35,5	38	36,2	36,57
6	38,7	38,2	36,3	37,73
7	35,5	33,6	36,8	35,30
8	37,7	36,5	38,2	37,47
9	37,1	36,5	36,4	36,67
10	42,2	40,5	39,9	40,87
11	36,7	38,1	40,3	38,37
12	41,3	39,6	38,6	39,83
13	38,2	36,3	35	36,50
14	38,6	39,6	39,9	39,37
15	39,1	39	39,5	39,20
16	39,3	39	38	38,77
17	34,4	35	37,5	35,63

Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik (Lanjutan)

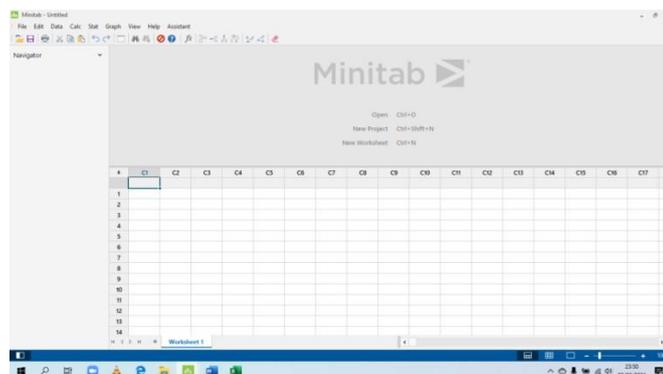
18	40,2	40,1	37,2	39,17
19	38,1	37,6	38,5	38,07
20	36,9	39,6	39,9	38,80
21	39,4	39,3	39,9	39,53
22	40,7	34,1	38,9	37,90
23	39,3	36,1	37,6	37,67
24	38,6	38,4	36,6	37,87
25	37,8	38	37,8	37,87
26	37,7	37,6	38,4	37,90
27	35,9	36,7	38,2	36,93

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

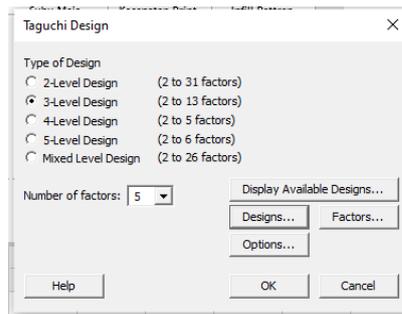
Pengolahan data hasil pengujian dilakukan untuk memperoleh pengaturan parameter proses yang optimal dan berpengaruh terhadap hasil uji tarik menggunakan metode Taguchi. Pengolahan data ini menggunakan *software* analisis, dimana nilai pada tabel 4.2 data hasil pengujian tersebut dimasukkan kedalam *software* analisis Minitab untuk mendapatkan hasil respon *Mean Plot* dan *S/N Ratio*. Langkah-langkah penggunaan *software* Minitab sebagai berikut :

1. Mengaktifkan *software* Minitab sehingga menampilkan halaman *Worksheet* seperti pada Gambar 4.11.

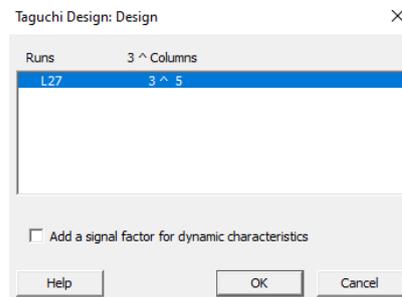


Gambar 4.11 Halaman *Worksheet 1*

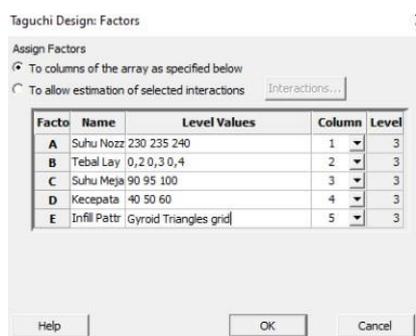
2. Pilih STAT → DOE → TAGUCHI → CREATE TAGUCHI DESIGN sehingga tampilan *Create Taguchi Design* seperti pada Gambar 4.12 pilih *Type of Design* dan *Number of factor* sesuai dengan parameter proses dan level yang telah ditentukan.

Gambar 4.12 Tampilan *Create Taguchi Design*

3. Pada tampilan *Create Design Taguchi* pilih *Designs* sehingga tampilannya seperti Gambar 4.13, sesuai dengan pilihan yang tersedia *Design Taguchi* Matrik $OA_{L27} (5^3)$.

Gambar 4.13 Tampilan *Design*

4. Pada tampilan *Create Design Taguchi* pilih *Factors* sehingga tampilannya seperti 4.14 kemudian isi *Name* dan *Level Values* sesuai dengan parameter proses dan level yang telah ditentukan.



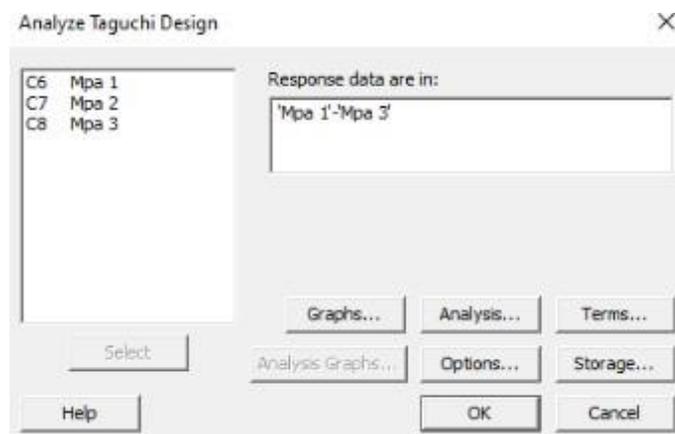
Gambar 4.14 Tampilan *Factors*

5. Klik OK pada tampilan *Create Design Taguchi* sehingga menghasilkan Desain Faktorial L_{27} (5^3) seperti pada Tabel 4.1, kemudian masukkan data hasil ujitarik di *Worksheet* seperti pada Gambar 4.15.

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6	C7	C8
	Suhu Nozzel	Tebal Layer	Suhu Meja	Kecepatan Print	Infil Pattern	Mpa 1	Mpa 2	Mpa 3
1	230	0,2	90	40	Gyroid	37,7	42,0	43,8
2	230	0,2	90	40	Triangles	42,7	38,9	39,5
3	230	0,2	90	40	Grid	39,5	42,0	39,0
4	230	0,3	95	50	Gyroid	28,3	37,7	38,8
5	230	0,3	95	50	Triangles	35,5	38,0	36,2
6	230	0,3	95	50	Grid	38,7	38,2	36,3
7	230	0,4	100	60	Gyroid	35,5	33,6	36,8
8	230	0,4	100	60	Triangles	37,7	36,5	38,2
9	230	0,4	100	60	Grid	37,1	36,5	36,4
10	235	0,2	95	60	Gyroid	42,2	40,5	39,9
11	235	0,2	95	60	Triangles	36,7	38,1	40,3
12	235	0,2	95	60	Grid	41,3	39,6	38,6
13	235	0,3	100	40	Gyroid	38,2	36,3	35,0
14	235	0,3	100	40	Triangles	38,6	39,6	39,9

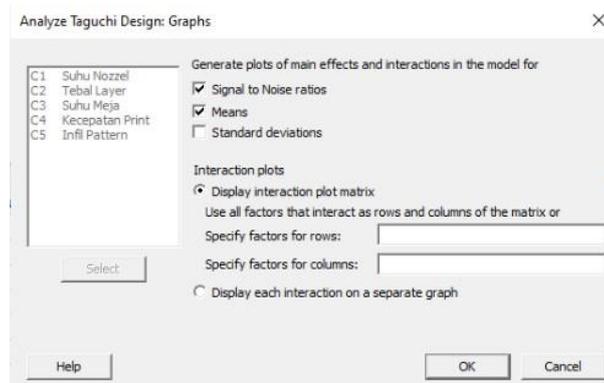
Gambar 4.15 Halaman *Worksheet* Desain Faktorial L_{27} dan Data Hasil Uji tarik

6. Pilih STAT → DOE → ANALYZE TAGUCHI DESIGN sehingga tampilan *Analyze Taguchi Design* seperti pada Gambar 4.16.

Gambar 4.16 Tampilan *Analyze Taguchi Design*

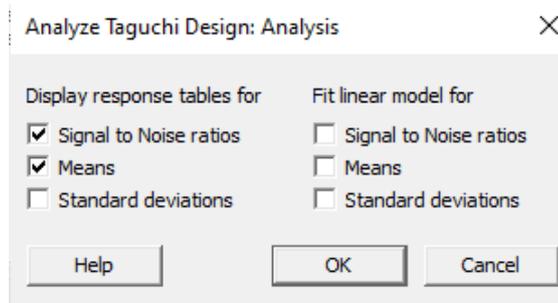
7. Klik C6 Mpa 1, C7 Mpa 2 dan C8 Mpa 3, kemudian pilih SELECT sehingga Mpa 1, Mpa 2 dan Mpa 3 terdapat pada *Respon data are in* seperti pada Gambar 4.16.

8. Pilih GRAPHS kemudian pilih *Signal to Noise Ratio* dan *Mean* seperti pada Gambar 4.17.



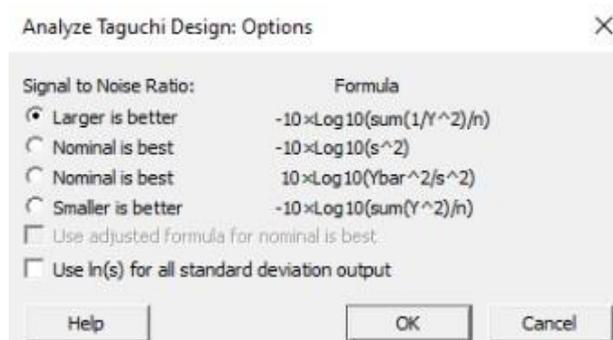
Gambar 4.17 Tampilan *Analyze Taguchi Design Graps*

9. Pilih ANALYSIS kemudian pilih *Signal to Noise Ratio* dan *Means* seperti pada Gambar 4.18.



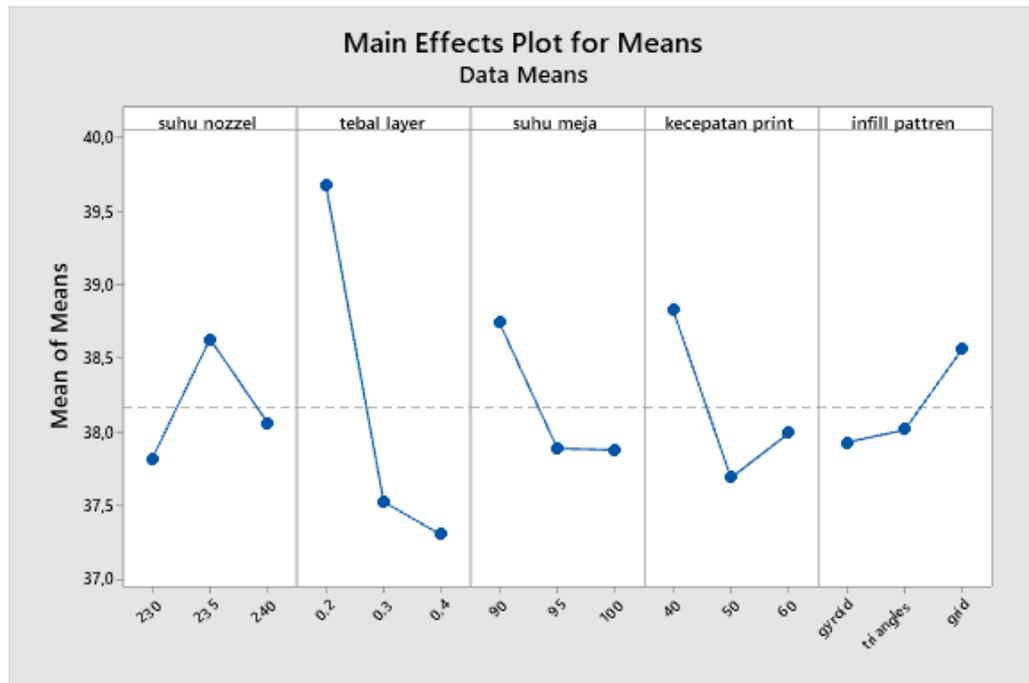
Gambar 4.18 Tampilan *Analyze Taguchi Design Analysis*

10. Pilih OPTIONS kemudian pilih *Signal to Noise Ratio Larger is Better* seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Tampilan *Analyze Taguchi Design Options*

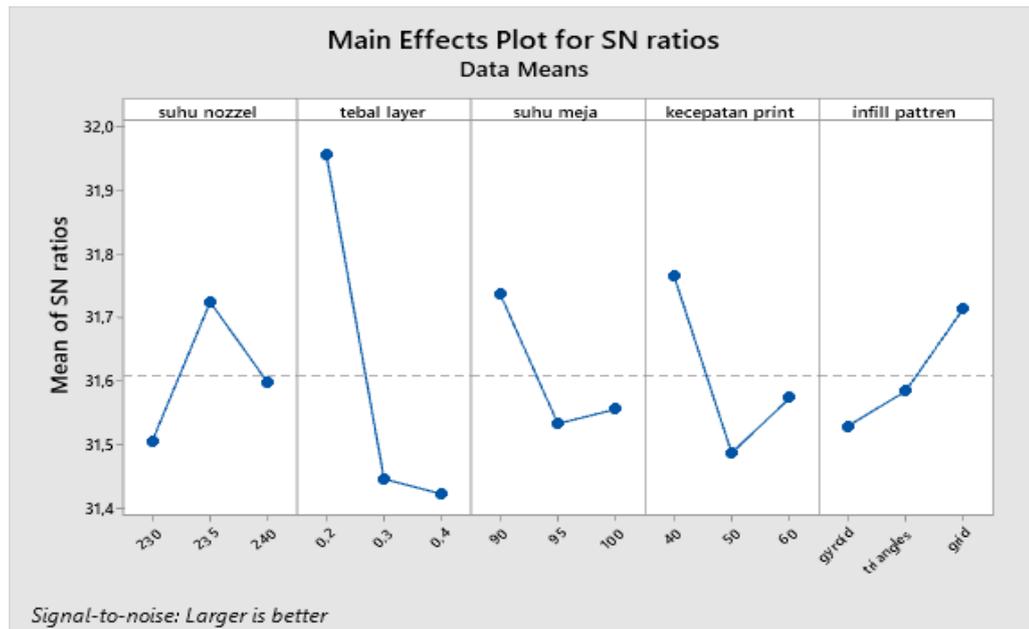
11. Klik OK pada tampilan *Analyze Taguchi Design* sehingga menampilkan hasil *Signal to Noise Ratio* dan *Means*. Hasil perhitungan *Mean Plot* ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan Tabel 4.3. Serta hasil perhitungan *SN Ratio "Larger is Better"* ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan Tabel 4.4.

Gambar 4.20 Grafik *Mean Plot*Tabel 4.3 *Mean Plot*

Response Table for Mean					
Level	Suhu Nozzle (°C)	Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Kecepatan Print (mm/s)	Infil Pattren
1	37,82	39,69	38,74	38,83	37,93
2	38,63	37,53	37,89	37,69	38,01
3	38,06	37,30	37,88	37,99	38,57
Delta	0,81	2,39	0,87	1,14	0,64
Rank	4	1	3	2	5

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Gambar 4.20 dan Tabel 4.3 parameter proses yang sangat berpengaruh besar yaitu tebal layer. Dan secara berturut-turut parameter proses yang sangat berpengaruh besar serta level faktor yang optimal dan nilai respon *mean* yaitu tebal *layer* 0,2mm (39,69), kecepatan *print* 40mm/s (38,83), suhu meja 90°C (38,74), suhu *nozzle* 235°C (38,63) dan *infill pattern* grid (38,64).



Gambar 4.21 Grafik S/N Ratio

Berdasarkan Gambar 4.12 parameter proses yang optimal terhadap kekuatan tarik yaitu suhu *nozzle* 235 (°C), tebal *layer* (0,2 mm), suhu meja (90°C), kecepatan *print* (40mm/s) dan *infill pattern* (*grid*).

Tabel 4.4 S/N Ratio

Response Table for Mean Large is Better					
Level	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	Tebal <i>Layer</i> (mm)	Suhu Meja (°C)	Kecepatan <i>Print</i> (mm/s)	<i>Infil</i> <i>Pattern</i>
1	31,50	31,96	31,74	31,77	31,53
2	31,72	31,45	31,53	31,49	31,58
3	31,60	31,41	31,56	31,57	31,71
Delta	0,22	0,53	0,20	0,28	0,18
Rank	3	1	4	2	5

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.4 parameter proses yang paling berpengaruh besar terhadap kekuatan tarik yaitu tebal *layer*. Dan untuk pengaruh parameter proses secara berturut-turut yaitu tebal *layer*, kecepatan *print*, suhu *nozzle*, suhu meja dan *infill pattern*.

4.4 Persen Kontribusi

Pada persesn kontribusi ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh parameter proses, dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Persen Kontribusi S/N Ratio

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu Nozzel	2	0,2314	5,69%	0,2314	0,11571	1,33	0,292
Tebal Layer	2	1,6557	40,74%	1,6557	0,82783	9,52	0,002
Suhu Meja	2	0,2261	5,56%	0,2261	0,11303	1,30	0,300
Kecepatan Print	2	0,3819	9,40%	0,3819	0,19097	2,20	0,144
Infill Pattren	2	0,1772	4,36%	0,1772	0,08858	1,02	0,383
Error	16	1,3914	34,24%	1,3914	0,08696		
Total	26	4,0637	100,00%				

Sumber : Hasil *Software*

Parameter proses yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik berdasarkan persen kontribusi secara berturut-turut yaitu tebal *layer* sebesar 40,74%, kecepatan *print* sebesar 9,40%, suhu *nozzle* sebesar 5,69%, suhu meja sebesar 5,56% dan *inifill pattern* sebesar 4,36%.

4.5 Melakukan Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil rata-rata kekuatan tarik awal dengan rata-rata hasil kekuatan tarik parameter yang optimum. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi setting parameter yang diperoleh dari hasil parameter proses yang optimum pada Gambar 4.12 dengan parameter proses dan level yaitu tebal *layer* (0,2mm), kecepatan *print* (40mm/s), suhu *nozzle* (235°C), suhu meja (90°C) dan *inill pattern* (grid). Kombinasi awal dan kombinasi optimum pada percobaan pembuktian ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

<i>Exp.</i>	A	B	C	Rata-rata
Kombinasi awal	37,7	42,0	43,8	41,17
Kombinasi optimum	45,3	45,7	45,6	45,53

Sumber : Hasil Perhitungan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa hasil pengujian tarik dari 5 parameter proses yang diuji yaitu *nozzle temperature*, *layer thickness*, *temperature based plate*, *print speed* & *infill pattern* dengan 3 level faktor, terdapat pengaruh pada pengujian kekuatan tarik terhadap faktor tersebut. Urutan faktor yang paling berpengaruh terhadap filamen ABS CCTREE secara berturut-turut yaitu *layer thicknes* sebesar 40,74%, *print speed* sebesar 9,40%, *nozzle temperature* sebesar 5,69%, *temperature based plate* sebesar 5,56% dan *infill pattern* sebesar 4,36%. Nilai kekutan tarik yang paling kuat terjadi pada eksperimen ke-1 desain faktorial taguchi L₂₇ OA, yaitu *nozzle temperature* (230°C), *layer thickness* (0,2 mm), *temperature based plate* (100°C), *print speed* (40 mm/s) dan *infill pattern* (*gyroid*), dengan kekuatan tarik dari 3 replikasi sebesar 41,17 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik untuk kombinasi parameter yang optimum berdasarkan uji konfirmasi, didapatkan sebesar 45,53 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Parameter proses yang optimal ini dapat digunakan untuk filamen ABS CCTREE dengan jenis mesin 3D *Printing* FDM REXYZ A1.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan parameter proses yang berbeda untuk jenis filamen yang sama dengan jenis mesin yang sama agar mendapatkan parameter proses terbaik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Askeland Donald R. *The Science and Engineering of Materials* [Book].- Boston, USA : Alternate Edition, PWS Engineering, 1985.
- Arif Imbang Pambudi, (2017), "Analisa Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material Polylactic Acid (PLA) Dipreparasi Menggunakan 3D Printing", Surabaya.
- Dede Sumantri, (2012), "Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Deposition Modelling", Universitas Indonesia.
- Deni Ardiansyah, Herianto, Purfaji, (2018), "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Filament Polylactic Acid Menggunakan Metode Taguchi", ISSN : 2338-0284.
- Herru Santosa Budiono, (2015), "Pengujian Kuat Tarik Terhadap Produk Hasil 3D Printing Dengan Variasi Ketebalan Layer 0,2 mm dan 0,3 mm yang Menggunakan Bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)".
<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/25341/e.%20BAB%20I.pdf?sequence=5&isAllowed=y> (Diakses pada 24 Agustus 2020).
- <http://www.diyeelectronic.co.za/strore/abs/1712.cctree-abs-filament-175mm.html> (Diakses pada 21 September 2020).
- <http://www.central-jogja.com/fused-deposition-method> (Diakses pada 02 Maret 2021).
- <https://images.app.goo.gl/zc5TF56QHHxhEoZLA> (Diakses pada 02 Maret 2021).
- Satria Yudha Setiawan, (2019), "Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekan Pada Proses Ekstruksi Di Mesin *Printer 3D*", Universitas Sumatera Utara.
- Soejanto, Irawan, (2009), *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Wikipedia Minitab. [Online], (Diakses pada tanggal 2 Maret 2021).

Lampiran 2 :

1. Perhitungan S/N Ratio.

Tabel L2.1 Hasil Perhitungan S/N Ratio

Exp.	Parameter					Nilai Kekuatan Tarik			
	A	B	C	D	E	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	S/N
1	1	1	1	1	1	37,7	42	43,8	32,2385
2	1	1	1	1	2	42,7	38,9	39,5	32,0990
3	1	1	1	1	3	39,5	42	39	32,0638
4	1	2	2	2	1	28,3	37,7	38,8	30,5941
5	1	2	2	2	2	35,5	38	36,2	31,2511
6	1	2	2	2	3	38,7	38,2	36,3	31,5245
7	1	3	3	3	1	35,5	33,6	36,8	30,9372
8	1	3	3	3	2	37,7	36,5	38,2	31,4681
9	1	3	3	3	3	37,1	36,5	36,4	31,2845
10	2	1	2	3	1	42,2	40,5	39,9	32,2201
11	2	1	2	3	2	36,7	38,1	40,3	31,6599
12	2	1	2	3	3	41,3	39,6	38,6	31,9948
13	2	2	3	1	1	38,2	36,3	35	31,2291
14	2	2	3	1	2	38,6	39,6	39,9	31,8999
15	2	2	3	1	3	39,1	39	39,5	31,8653
16	2	3	1	2	1	39,3	39	38	31,7665
17	2	3	1	2	2	34,4	35	37,5	31,0192
18	2	3	1	2	3	40,2	40,1	37,2	31,8413
19	3	1	3	2	1	38,1	37,6	38,5	31,6097
20	3	1	3	2	2	36,9	39,6	39,9	31,7604
21	3	1	3	2	3	39,4	39,3	39,9	31,9387
22	3	2	1	3	1	40,7	34,1	38,9	31,4986
23	3	2	1	3	2	39,3	36,1	37,6	31,5035
24	3	2	1	3	3	38,6	38,4	36,6	31,5576
25	3	3	2	1	1	37,8	38	37,8	31,5651
26	3	3	2	1	2	37,7	37,6	38,4	31,5716
27	3	3	2	1	3	35,9	36,7	38,2	31,3398

Sumber : Hasil Software

Lampiran 1 :

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Ade Ferdiansyah

Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 26
November 1999Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

Pendidikan Terakhir : D IV (Teknik Mesin dan
Manufaktur)Alamat : Jln. Imam Bonjol, Gg.
Perbakin no.2
Kecamatan Sungailiat
Kabupaten Bangka, Bangka Belitung

Telepon/HP : 0859-2226-9504

Email : ferdiansyahade699@gmail.com

Pendidikan Formal

- a. 2014-2017 : SMk Negeri 2 Sungailiat
- b. 2011-2014 : SMP Negeri 5 Sungailiat
- c. 2005-2011 : SD Negeri 25 Sungailiat