

**PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING TIPE
FDM TERHADAP HASIL KEKASARAN PERMUKAAN
PRODUK DAN TRANSPARANSI MENGGUNAKAN
FILAMENT ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*)**

PROYEK AKHIR

Laporan ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Diusun Oleh :

Indun

NIRM 1042013

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2024

**PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING TIPE
FDM TERHADAP HASIL KEKASARAN PERMUKAAN
PRODUK DAN TRANSPARANSI MENGGUNAKAN
*FILAMENT ABS (Acetonitrile Butadiene Styrene)***

PROYEK AKHIR

Laporan ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



DISUSUN OLEH :

INDUN NIRM 1042013

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

**PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING TIPE FDM
TERHADAP HASIL KEKASARAN PERMUKAAN PRODUK
DAN TRANSPARANSI MENGGUNAKAN FILAMENT**

ABS (Acetonitrile Butadiene Styrene)

Oleh:

INDUN

NIM 1042013

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka

Belitung
Menyetujui,

Pembimbing 1



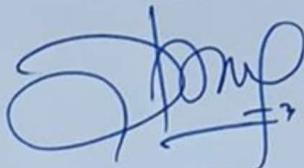
Pristiansyah, S.S.T., M. Eng.

Pembimbing 2



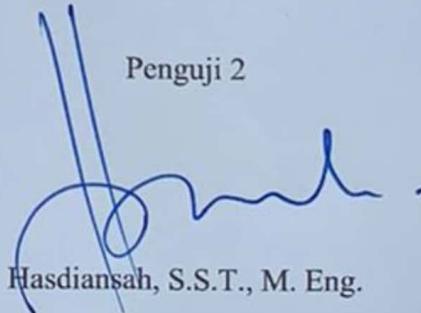
Juanda, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T.

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Indun NIM: 1042013
Dengan Judul : Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM
Terhadap hasil Kekasaran Permukaan Produk dan
Transparansi Menggunakan Filament ABS

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 03 Desember 2023

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Indun



ABSTRAK

Teknologi 3D Printing merupakan salah satu inovasi baru dalam dunia manufaktur. Dengan memanfaatkan prinsip manufaktur aditif untuk mengonversi data 3D desain berbantuan Komputer (CAD) langsung menjadi prototipe fisik. Teknologi pencetakan 3D bekerja dengan membangun lapisan demi lapisan untuk membentuk prototipe. Teknologi Fused Deposition Modeling (FDM) ialah tata cara pencetakan yang dipakai buat mencetak produk dengan memakai materi berserat serta produk yang dicetak memiliki karakter geometris yang sempurna. Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan filament ABS jenis transparan dengan diameter 1,75. dengan parameter proses yang telah di tentukan yaitu Nozzle Temperature, Build Plate Temperature, Print Speed, Layer Height, Infill Overlap, Flowrate. dengan tiga variasi Dengan Metode Taguchi L27(3¹³) pendekatan GRA (Grey Relational Analysis) pada dasarnya digunakan dalam optimasi untuk menggabungkan banyak respons menjadi satu respons. dengan mesin 3D printing FDM Ender 3 Max dengan dimensi x 300mm x300mmx350mm. penelitian ini bertujuan untuk menentukan hasil dari uji kekasaran permukaan dan transparansi. Hasil dari eksperimen dalam penelitian ini menyatakan bahwa nilai kekasaran yang optimum pada uji coba specimen 2 yaitu dengan rata-rata nilai 14,261. dengan parameter Nozzle Temperature 250 °C, Build Plate Temperature 85°C, Print Speed 50%, Layer Height 0,1 mm, Infill Overlap 20%, Flowrate 105%. dan uji Transparansi yang paling tertinggi yaitu pada sampel 3 dengan pengujian parameter Nozzle Temperature 250°C, Build Plate Temperature 85°C, Print Speed 50%, Layer Height 0.1 mm, Infill Overlap 30%, Flowrate 115%

Kata kunci: 3D printing;ABS;Taguchi

ABSTRACT

(3D) Printing technology is one of the new innovations in manufacturing. By utilizing additive manufacturing principles to convert 3D computer-aided design (CAD) data directly into physical prototypes, 3D printing technology works by building layer by layer to form prototypes. Fused Deposition Modeling (FDM) technology is a printing procedure used to print products using fibrous materials and the printed products have perfect geometric characters. In the research conducted using transparent type ABS filament with a diameter of 1.75. with predetermined process parameters namely Nozzle Temperature, Build Plate Temperature, Print Speed, Layer Height, Infill Overlap, Flowrate. with three variations with Taguchi Method L27 (3^{13}) GRA (Grey Relational Analysis) approach is basically used in optimization to combine many responses into one response. with Ender 3 Max FDM 3D printing machine with dimensions x 300mm x 300mm x 350mm. this study aims to determine the results of surface roughness and transparency tests. The results of the experiments in this study state that the optimum roughness value in the specimen 2 trial is with an average value of 14, with parameters Nozzle Temperature 250 °C, Build Plate Temperature 85 °C, Print Speed 50%, Layer Height 0.1 mm, Infill Overlap 20%, Flowrate 105%. and the highest transparency test is in sample 3 with testing parameters Nozzle Temperature 250 °C, Build Plate Temperature 85 °C, Print Speed 50%, Layer Height 0.1 mm, Infill Overlap 30%, Flowrate 115%.

Keywords: 3D printing; ABS; Taguchi

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT Yang Maha Esa karena telah memberikan rahmat dan hidayah serta karunia-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini tepat pada waktunya. Dengan berjudul “Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan Produk dan Transparansi Pada Filament ABS.

Penulis menyadari bahwa pembuatan laporan tugas akhir ini tidak akan mungkin terwujud tanpa adanya kerja sama secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Penulis ingin menggunakan kesempatan ini untuk menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua saya tercinta Ibu Mari dan (Alm) Ayah Muhammad Hatta yang telah senantiasa memberikan banyak motivasi, mendukung dan mendoakan serta memberikan kasih sayang kepada penulis. Sehingga penulis sampai ke titik ini
2. Untuk Adik-adik saya tercinta Dalilah, Samudra Sanjaya, Milda yang telah memberi pengertian serta dukungan kepada Penulis selama pengerjaan Proyek akhir ini
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku pembimbing 1 serta Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan dalam 3D *printing* untuk penelitian proyek akhir ini.
4. Bapak Juanda, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, dukungan dalam penulisan untuk proyek akhir penulis
5. Bapak Hasdiansah, S.S.T., M.Eng. selaku dosen yang telah memberikan saran dan masukan dan telah bersedia meminjamkan fasilitas Mesin terhadap proyek akhir penulis
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

7. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pelaksanaan Proyek akhir ini.
8. Teman-teman seperbimbingan selama masa proyek akhir yang selalu memberi motivasi dan semangat kepada penulis
9. Seluruh teman-teman kelas TMM-A 2020 yang telah mendukung penulis dan berjuang bersama selama masa perkuliahan dan penelitian proyek akhir ini di kampus Polman Babel Tercinta

Penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, namun penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk penulisan Laporan Tugas Akhir ini agar kedepannya dapat memiliki manfaat yang lebih banyak kepada orang lain

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sungailiat, 13 September 2022

Penulis



Indun

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT.....	iii
<i>ABSTRAK</i>	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR PERSAMMAN	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II.....	4
DASAR TEORI	4
2.1 Mesin 3D Printer	4
2.2 Fused Deposition Modeling	6
2.3 Mekanisme Pada Mesin 3D	7
2.4 Parameter Proses FDM	8
2.5 Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	10
2.6 Kekasaran Permukaan atau Surface Roughness	12
2.7 Metode Taguchi	14
2.7.1 Langkah-Langkah Metode Taguchi	15
2.7.2 Tahapan Eksperimen	15
2.7.3 Tahap Pelaksanaan Eksperimen	18
2.7.4 Tahap Analisa	18

2.8	Grey Relational Analysis (GRA)	20
2.9	<i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	23
2.10	Uji Konfirmasi	26
2.11	Penelitian Terdahulu	26
BAB III		29
METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Diagram Alir	29
3.2	Studi Literatur	30
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	30
3.4	Menentukan Parameter dan Setting Mesin 3D Printing	35
3.4.1	Parameter Respon	35
3.4.2	Parameter Konstan	35
3.4.3	Design of Experiment (DoE)	36
3.4.4	Parameter Proses dan Level Eksperimen	36
3.4.5	Pemilihan Matriks Ortogonal	37
3.5	Proses Realisasi Percobaan Eksperimen	39
3.5.1	Persiapan Penelitian	39
3.5.2	Desain Spesimen	40
3.5.3	Proses Slicing Pemodelan Spesimen CAD	40
3.6	Contoh tahapan proses Pencetakan pada printer 3D	41
3.7	Proses Uji Kekasaran Permukaan	42
3.8	Proses Uji Transparansi	42
3.9	Pengumpulan Data	43
3.10	Pengolahan Data	43
BAB IV		45
HASIL DAN PEMBAHASAN		45
“ HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN”		45
BAB V		46
KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	KESIMPULAN	46
5.2	SARAN	46
DAFTAR PUSTAKA		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Fused Deposition Modelling (FDM).....	7
Gambar 2.2	Infill Pattern (Ultimaker cura 4.0).....	9
Gambar 3.1	Mesin 3D Printing Ender 3 (<i>Sumber:Creality.com</i>).....	30
Gambar 3.2	Filamen ABS trasnparan (<i>Sumber:Rajawali3D</i>).....	31
Gambar 3.3	laptop Acer (<i>sumber:dokumentasi pribadi</i>)	32
Gambar 3.4	Sufface Roughness Tester SJ-210(<i>sumber Indoteknik.com</i>)	32
Gambar 3.5	Digital Lux Meter(<i>sumber:dokumentasi pribadi</i>)	33
Gambar 3.6	<i>Software Slicer Ultimaker Cura 4.0</i> (<i>sumber:Wikipedia</i>	33
Gambar 3.7	Softawe Minitab 19 (<i>sumber:AppSource</i>).....	34
Gambar 3.8	senter 9900 (<i>sumber:dokumentasi pribadi</i>).....	35
Gambar 3.9	Desain Spesimen Uji kekasaran dan transparansi	40
Gambar 3.10	Pengaturan Parameter Proses (<i>Software Ultimaker Cura 4.0</i>)...	41
Gambar 3.11	Pengambilan data Uji Kekasaran	42
Gambar 3.12	<i>Pengambilan data Uji Transparansi</i>	43

DAFTAR PERSAMMAN

2.1 Perhitungan Derajat Kebebasan	16
2.2 Jumlah level Parameter	16
2.3 Matrik Ortogonal.....	17
2.4 S/N Ratio Smaller is Better	19
2.5 S/N Ratio Nominal is Better	19
2.6 S/N Ratio Larger is better	20
2.7 Normalisasi Larger is better	21
2.8 Normalisasi Smaller is better	21
2.9 Normalisasi Nominal is better.....	21
2.10 Simpangan Deviasi GRC	21
2.11 GRC.....	22
2.12 GRG	22
2.13 Jumlah Kuadrat Total (SS_T)	24
2.14 Jumlah Kuadrat (SS_A)	24
2.15 Jumlah Kuadrat (SS_B)	24
2.16 Jumlah Kuadrat (SS_C)	24
2.17 Jumlah Kuadrat (SS_D)	24
2.18 Jumlah Kuadrat (SS_F).....	24
2.19 Jumlah Kuadrat (SS_G)	24
2.20 Jumlah Rata-rata kuadrat Total (MS_T).....	25
2.21 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_A)	25
2.22 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_B)	25
2.23 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_C)	25
2.24 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_D)	25
2.25 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_E)	25
2.26 Jumlah Rata-rata kuadrat (MS_F).....	25
2.27 Jumlah Rata-rata kuadrat Total (MS_{error})	25
2.28 F- hitung A	25
2.29 F- hitung B	25
2.30 F- hitung C	25

2.31 F- hitung D	25
2.32 F- hitung E.....	25
2.33 F- hitung F.....	25
2.34 Persen Kontribusi	26



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Filament ABS Transparan	12
Tabel 2.2 Standarisasi Simbol Nilai kekasaran. Sumber	12
Tabel 2.3 Level-level Matrik Ortogonal	17
Tabel 2.4 Analisis Varian.....	23
Tabel 3.1 <i>Spesifikasi Mesin Cetak 3 Dimensi Ender 3</i>	31
Tabel 3.2 Nilai Level dan Parameter Proses yang Diuji	37
Tabel 3.3 Derajat Kebebasan	37
Tabel 3.4 Desain Faktorial Penelitian L_{27} OA	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Riwayat Hidup.....	50
Lampiran 2: Proses Pencetakan	51
Lampiran 3: Proses pengambilan data Transparansi	51
Lampiran 4: Submit Jurnal JITT	53
Lampiran 5: Form bimbingan	54
Lampiran 6: Form Monitoring	57
Lampiran 7: Form Revisi	59
Lampiran 8: Plagiasi	62
Lampiran 9: Data S/N Ratio Berdasarkan <i>Software</i>	69
Lampiran 10 : Hasil Perhitungan di MS.Excel	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pencetakan 3D *Printing* saat ini membawa perubahan besar bagi dunia. Teknologi yang disebut juga dengan istilah *additive layer manufacturing* ini sebenarnya sudah ada sejak tahun 1980-an. Pencetakan 3D merupakan terobosan baru di bidang teknologi. Terobosan ini populer di seluruh dunia, terutama di kalangan akademisi dan industri. Kemunculan teknologi 3D *printing* membawa dampak yang sangat besar terhadap beberapa sektor industri, terutama dari segi perekonomian. Pembuatan *prototipe* cepat komponen mekanis menggunakan teknologi dan batch kecil untuk pembuatan prototipe cepat. [1]

Teknologi pencetakan tiga dimensi adalah kemajuan terkini dalam industri manufaktur. Memanfaatkan prinsip manufaktur *aditif* untuk mengonversi data 3D dari model desain berbantuan Komputer (CAD) langsung menjadi prototipe fisik. Teknologi pencetakan 3D bekerja dengan membangun lapisan demi lapisan untuk membentuk prototipe. Teknologi ini memberikan inovasi berbagai industry. [2]. Bahkan di zaman sekarang pun 3D Printing menjadi pusat perhatian yaitu dengan adanya Pembuatan makanan cepat saji menggunakan teknologi mesin 3D Printing bahkan di Negara maju khususnya eropa pembuatan rumah sudah menggunakan teknologi dari 3D *Printing*

Perkembangan teknologi pada industri manufaktur akan membawa persaingan yang ketat terutama untuk memperoleh proses produksi yang dapat menghasilkan produk dengan ketelitian dan presisi dimensi yang tinggi, sehingga akan berdampak pada peningkatan kualitas produk yang dihasilkan. Selama ini proses pembuatan prototipe produk masih menggunakan peralatan mesin untuk menghilangkan sebagian material sehingga mengakibatkan terjadinya pemborosan material, hal ini biasa disebut dengan manufaktur subtraktif [3]

Dalam penelitian yang telah dilakukan menggunakan parameter yang menghasilkan kekasaran permukaan pada Filamen PETG *Nozzle Temperature (230°C) Flowrate (100%) Printing Speed 30(mm/s) Layer Height (0.15mm) Temperature bed (70°C) Infill Speed 30(mm/s) Infill Overlap (15%) Infill Density*

(25%). dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kekasaran permukaan dengan Berikut ini adalah faktor-faktor yang paling berpengaruh pada filamen PETG yang berurutan: *Nozzel Temperature, Temperature Based Plate, Flowrate, Infill Overlap, Layer Thickness, Infill Density, Infill Speed, Printing Speed*. Nilai kekasaran permukaan paling Optimum terjadi pada spesimen desain factorial L_{27} (83) yaitu *Nozzle Temperatur (230°C), Flowrate (110%), Printing Speed (40mm/s), Layer Thickness (0.15mm), Temperatur Based Plate (90°C), Infill Speed (40mm/s), Infill Overlap (25%), Infill Density (25%)*. [4]

Penelitian tentang Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang pernah dilakukan terfokus pada *temperatur nozzle, temperatur bed, layer height*, serta *print speed*. Setelah itu, hendak dicoba cara pengukuran tingkatan transparansi dari hasil cetak memakai *Digital Lux Meter*. Hasil dari Riset Ini Parameter *Layer Height* dengan angka 0,1 milimeter mempunyai tingkatan transparansi yang lebih bagus dibanding dengan *Layer Height* 0,15 milimeter serta 0,2 milimeter pada tiap kecepatan cetak yang dicoba nilai tingkat transparansi produk hasil cetak mesin 3D Printing FDM dengan *fillament* PETG yang paling tinggi adalah 36,667 lux, dan nilai tingkat transparansi yang paling rendah adalah 117,667 lux. [5]

Kekasaran permukaan produk cetakan 3D digunakan sebagai *variabel respon* dalam penelitian, dan respon ini mempengaruhi kualitas sistem pemrosesan. Nilai kekasaran permukaan yang berlebihan dapat menyebabkan keausan. pada bagian-bagian mesin dan mempengaruhi fungsionalitas produk. Untuk mendapatkan bagian dengan kualitas yang dibutuhkan, sehingga menghasilkan bagian dengan kekasaran permukaan yang rendah, kepuasan pelanggan yang tinggi dan kemampuan proses yang lebih baik, diinginkan agar penelitian dapat secara akurat mengamati variasi parameter, Ideal untuk proses 3D Printing [6]

Metode optimasi yang paling umum adalah metode Taguchi yang digunakan untuk memilih parameter proses terbaik. Tujuan dari optimasi Taguchi adalah menghasilkan parameter proses yang ideal. meningkatkan kualitas objek cetakan dan mengurangi biaya pembuatan produk ketika hasil cetakan tahan terhadap faktor kebisingan Metode Taguchi hanya dapat digunakan dalam proses optimisasi respon

tunggal [7]

Oleh karena itu dalam penulisan tugas akhir penulis mengambil judul “Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan Produk dan Transparansi Menggunakan *Filament ABS* “

1.2 Rumusan Masalah

Menurut penjelasan dari latar belakang tersebut permasalahan dalam penelitian ini meliputi Sebagian perihal utama yang diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan nilai parameter yang optimum untuk mendapatkan permukaan benda cetak yang baik dan tingkat transparansi pada filament ABS transparan?
2. Bagaimana pengaruh parameter proses yang berbeda untuk printer 3D dengan menggunakan bahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan nilai parameter yang optimum menggunakan filament ABS transparan dengan metode Taguchi GRA
2. Mengetahui pengaruh Parameter yang digunakan dalam percetakan Produk dengan *filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)*

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin 3D Printer

Mesin 3D Printer adalah mesin yang menghasilkan benda 3D *volumetric* yang terlihat. Kecanggihan unik dari 3D printer adalah kemampuannya untuk membuat objek 3D yang persis seperti gambar file lunak. [8] 3D Printer adalah jenis printer yang mencetak data. Sebuah bisnis dapat membuat prototipe menggunakan teknologi pencetakan 3D Printer tanpa harus mengeluarkan uang untuk persediaan atau bahan mentah. Karena setelah membuat objek 3D Printer, seorang desainer akan dapat segera mencetak hasil karyanya, memungkinkan mereka untuk dengan cepat mengidentifikasi kekurangan desain apa pun. Saat mempertimbangkan potensi penggunaan 3D printer

Salah satu teknologi yang sangat diminati saat ini adalah percetakan 3D Printing. karena perangkat ini berkembang dengan cepat untuk memenuhi permintaan di berbagai bidang industry. menyatakan bahwa pencetakan 3D *Printing* adalah metode untuk membuat objek 3D *Printing* dari 2.1 model digital. Metode ini sangat mirip dengan peralatan pencetakan laser, yang membuat objek dengan mencetak satu lapisan diatas lapisan lainnya. Meskipun teknologi 3D Printing sudah ada sejak tahun 1980. [9]

Adapun Komponen-komponen Mesin Cetak 3D yaitu :

1. Papan Controller

Papan utama atau motherboard mesin cetak tiga dimensi, sering dikenal sebagai papan pengendali atau papan pengontrol, berfungsi sebagai otak mesin. Papan utama mesin cetak tiga dimensi, sering dikenal sebagai papan pengontrol atau motherboard, berfungsi sebagai unit pemrosesan mesin. Item ini berfungsi sebagai komponen utama sistem pencetakan tiga dimensi. Atas dasar instruksi dari komputer, papan pengendali ini juga secara langsung menggerakkan komponen lainnya. Sensor pada papan pengendali kemudian menerima perintah yang dikeluarkan komputer. Papan pengontrol kemudian menafsirkan instruksi yang diberikan oleh sensor ke dalam pekerjaan yang akan digunakan untuk mencetak produk yang diperlukan. Kualitas papan pengontrol memiliki dampak yang

signifikan pada performa printer tiga dimensi secara keseluruhan. Bahkan, meskipun mesin seluruhnya terbuat dari komponen berkualitas tinggi, namun, papan kontroler yang di bawah standar, akan mencegahnya mencetak secara akurat.

2. *Filament*

Pada printer tiga dimensi ini, filamen-yang berfungsi serupa dengan tinta pada printer dua dimensi-adalah bahan yang digunakan untuk menghasilkan benda. Bagian filamen ini adalah kumparan yang dipasang ke dudukan spul printer 3D. Filamen ini pada akhirnya melewati ekstruder. Terdapat banyak sekali jenis filamen, dan masing-masing memiliki kualitas, keunggulan, dan kekurangan yang unik. Filamen tidak sesuai dengan semua printer tiga dimensi karena karakteristik tertentu dari bahannya. Umumnya pada mesin cetak 3D mesin printing menggunakan jenis *filament* yang berdiameter 1,75

3. *Frame*

Salah satu kerangka atau bagian dari mesin printer 3D, tugas rangka adalah menyatukan bagian-bagian lainnya. dengan kata lain, tujuan bingkai sangat penting untuk stabilitas dan umur panjang printer 3D. Saat ini, bingkai logam atau kaca digunakan dengan printer 3D. Printer 3D dengan bingkai logam adalah yang paling sering disarankan. Mesin ini lebih kokoh dan tahan lama karena bingkai logam, yang menjadi penyebabnya.

4. Komponen Penggerak

Penggerak 3D printer terdiri dari sejumlah komponen, termasuk *Motor Stepper*, Belit, Batang Berulir, dan *End Stop*. 3D Printer bergerak dalam tiga sumbu XYZ sebagai hasil dari keberadaan komponen penggerak ini. Tiga sumbu XYZ dihubungkan oleh *motor stepper*, yang sangat penting untuk gerakan mekanis mesin. *Print Bed*, *Print Head*, dan *Threaded Rod*, semuanya digerakkan secara langsung oleh mereka. Printer digerakkan pada dua sumbu kartesian oleh sabuk yang terpasang pada motor. Fitur yang membedakan dari printer 2D adalah *Threaded Rods* (Batang Berulir), yang menggunakan sumbu Z untuk menggerakkan printer.

5. *Print Bed*

Bagian printer 3D yang berbentuk lempengan datar yang digunakan untuk

pencetakan tiga dimensi disebut *Print Bed*. Tergantung pada jenis filamen yang digunakan, print bed ini dapat dipanaskan hingga suhu pencetakan yang sesuai.

6. *Print Head*

Print Head ini terdiri dari dua bagian yaitu *Cold End* dan *Hot End*. Filamen didorong ke *hot end* oleh *cold end*, yang juga merekatkan filamen. Sedangkan hot end bertugas melelehkan filamen dan membentuknya menjadi objek tiga dimensi

7. *Power Supply Unit (PSU)*

Ini adalah salah satu komponen elektronik 3D printer yang menyediakan listrik dan berfungsi sebagai saluran antara mesin dan sumber daya yang diperlukan untuk menyalakannya.

2.2 Fused Deposition Modeling

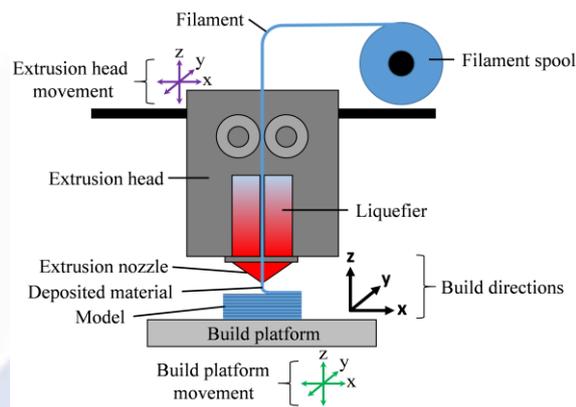
Fused Deposition Modeling (FDM) adalah metode *rapid prototyping* yang terkenal dari *manufaktur aditif*. disebabkan penggunaannya yang serba guna serta sesuai untuk banyak jenis *filament*. Pengaplikasian FDM sangat besar di Sebagian zona ekonomi mencakup *bioengineering*, *automotive*, *aeronautics*, serta di bidang kedokteran. Sebab penggunaannya yang gampang, biaya operasional yang kecil, ramah lingkungan, serta keringanan pengembangan serta pembuatan *prototype* produk. Metode FDM sudah banyak dipakai dalam proses pencetakan 3D *Printing* sampai saat ini. [10]

di mana sistem FDM itu sendiri unik dari proses lain karena menggunakan nosel yang dipanaskan daripada laser. Untuk membuat material semi padat yang dapat diekstrusi, material filamen termoplastik tersebut kemudian dipanaskan menggunakan heater untuk mempertahankan suhu yang diinginkan. ABS (*acetonitrile butadine stryne*), Nylon, PETG (*Glycol-modified Polyethylene Terephthalate*), TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), ASA (*Acrylonitrile Styrene Acrylate*), PE (*polyethylene*), PP (*polypropylene*), PC (*polycarbonate*) adalah beberapa contoh filamen yang sering digunakan dalam pencetakan 3D.

A. Proses FDM

Proses pembuatan objek 3 dimensi dengan cara lapis demi lapis digunakan selama proses FDM . Diekstrusi melalui cetakan, bahan cair segera mengeras membentuk lapisan. Bahan filamen (cair) pertama-tama dilebur oleh sistem pemanas mesin

Rapid Prototype sebelum didorong keluar dari nozzle dengan kecepatan yang diatur oleh roda penggerak yang ditenagai oleh motor DC. Sakelar umpan dihidupkan saat program *kode-G* sedang berjalan, dan roda gigi berputar saat suhu yang tepat tercapai, menekan material ke tempatnya dengan nosel. Arah perangkat lunak *G-code* yang ditulis sebelumnya digunakan untuk mengontrol pergerakan nosel. Nosel naik untuk membuat lapisan kedua setelah lapisan pertama diproduksi dan seterusnya hingga terbentuk objek yang sesuai di desain [11]



Gambar 2. 1 Proses Fused Deposition Modelling (FDM)

2.3 Mekanisme Pada Mesin 3D

Berikut ini menjelaskan mekanisme dalam printer 3D:

1. Proses Pemodelan

Prosedur pemodelan harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum pencetakan tiga dimensi dapat dilakukan. Perangkat lunak yang dapat membuat produk tiga dimensi dapat digunakan untuk pemodelan tiga dimensi. Perangkat lunak seperti *Fusion 360*, *AutoCAD*, *SolidWorks*, dan lainnya dapat digunakan untuk membuat model 3D. Program slicer, yang dapat digunakan untuk menangani pencetakan 3D dalam format STL, selanjutnya akan mendapatkan desain pemodelan ini.

2. Proses Pencetakan

Prosedur pencetakan dapat dilakukan langsung pada 3D printer setelah desain selesai. Ukuran dan ukuran model kemudian akan mempengaruhi proses pencetakan. Perbedaan antara satu desain dan lainnya untuk berbagai metode pencetakan. Ukuran, desain, volume, kerumitan desain, dan elemen lainnya dapat

berdampak. Ide mendasar di balik proses pencetakan ini adalah lapisan aditif, yang dimana prosedur dimulai oleh mesin membaca desain 3D dan kemudian dilanjutkan dengan proses kompilasi.

3. Proses Finishing

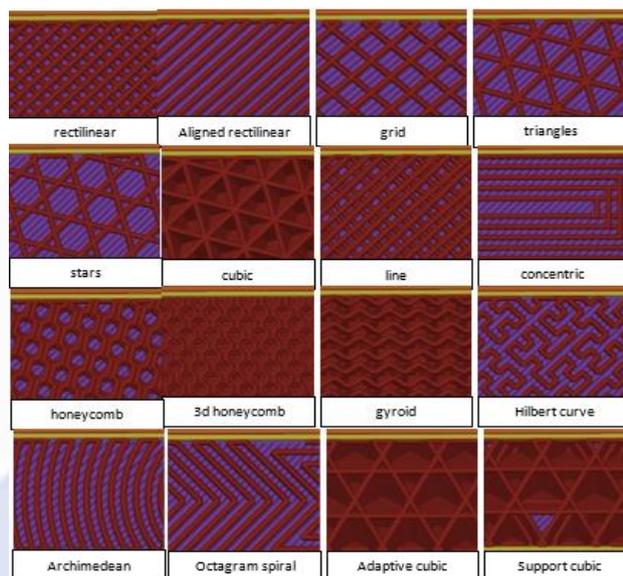
Finishing, adalah langkah terakhir dalam pencetakan tiga dimensi yang digunakan untuk memperhalus bagian yang dianggap tidak memiliki estetika terbaik. Langkah terakhir ini dapat melibatkan penghalusan eksterior produk atau mungkin juga menambahkan sedikit kombinasi warna. [12]

2.4 Parameter Proses FDM

Agar mesin menghasilkan hasil yang diinginkan selama proses, parameter digunakan sebagai referensi untuk menghitung nilainya. Saat menggunakan 3D printer, parameter diberikan melalui perangkat lunak slicer untuk menghasilkan bahasa pemrograman, atau *kode-G*, yang kemudian diterjemahkan oleh mesin sebagai instruksi pencetakan. Ini adalah spesifikasi 3D printer FDM:

1. *Temperature Nozzle* merupakan pengaturan untuk suhu pada nozzle ketika filamen diekstrusi, dengan nilai yang terpisah untuk masing-masing jenis filamen.
2. *Build plate temperature* merupakan suhu di mana alas atau papan tempat filamen dicetak dipanaskan hingga mencapai suhu sekitar 100 °C.
3. *Layer thickness* merupakan ketebalan/jarak yang bervariasi dari 0,05 mm hingga 0,3 mm di dalam setiap lapisan cetakan.
4. *Print speed* merupakan kisaran 30-60 mm/s untuk kecepatan gerakan nozzle selama pencetakan objek 3D.
5. *Infill density* merupakan densitas interior atau kerapatan dibagian tengah objek yang akan diproduksi, dan dapat berupa apa saja antara 0% dan 100%.
6. *Perimeter* merupakan jumlah terkecil dari cangkang vertikal (dinding) yang dapat dicetak Tergantung pada seberapa besar objek 3D, jumlah cangkang bisa naik atau turun. Pinggiran luas berfungsi untuk meningkatkan perimeter lapisan dasar pertama, yang sangat membantu.
7. *Brim Width* berfungsi untuk meningkatkan perimeter lapisan awal, yang meningkatkan area cetak pelat dasar sekaligus mengurangi lengkungan.

8. *Feed Rate* merupakan konfigurasi untuk kecepatan pencetakan keseluruhan dalam arah linier.
9. *Raft Layers* adalah dukungan objek tiga dimensi yang mengambang dengan menambahkan lapisan pada dasarnya.
10. *Infill Pattern* merupakan pola pengisian yang mengisi kekosongan di dalam objek 3D dan bertindak sebagai kerangka pendukung; contoh pola pengisian bujur sangkar



Gambar 2.2 Infill Pattern (Ultimaker cura 4.0)

Penelitian ini menggunakan *Infill Pattern Line* Berikut Kelebihan dan kekurangan menggunakan *Infill pattern Line* :

Kelebihan:

1. Kekuatan dan Kestabilan: Pola pengisian yang lebih padat atau kompleks dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas objek cetakan.
2. Efisiensi Bahan: Pola pengisian yang lebih longgar atau kurang padat dapat mengurangi konsumsi bahan cetakan, sehingga lebih efisien dari segi biaya.
3. Kecepatan Pencetakan: Pola pengisian yang lebih sederhana atau longgar dapat mempercepat waktu pencetakan karena jumlah bahan yang lebih sedikit yang perlu didepositkan.
4. Bobot Ringan: Pola pengisian tertentu dapat menciptakan objek yang lebih ringan, berguna untuk aplikasi di mana bobot adalah faktor penting.

Kekurangan:

1. Kurangnya Kekuatan: Pola pengisian yang lebih longgar atau kurang padat dapat menghasilkan objek yang kurang kuat atau stabil.
2. Waktu Pencetakan Lebih Lama: Pola pengisian yang lebih padat atau rumit dapat memerlukan lebih banyak waktu untuk mencetak karena lebih banyak lapisan yang harus diisi.
3. Konsumsi Bahan yang Lebih Banyak: Pola pengisian yang lebih padat akan menghabiskan lebih banyak bahan cetakan, yang dapat meningkatkan biaya produksi.
4. Resolusi Rendah: Pola pengisian yang terlalu sederhana dapat menghasilkan objek dengan resolusi yang lebih rendah, terutama jika objek memerlukan detail tinggi.

2.5 Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Filament ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) adalah salah satu jenis bahan cetakan 3D yang populer dalam industri manufaktur modern. Bahan ini telah mendapatkan perhatian yang signifikan karena keunggulannya dalam ketahanan, kekuatan, dan kemampuan cetak yang baik. Makalah ini akan membahas secara mendalam tentang filament ABS, melibatkan komposisi, sifat, metode pencetakan, aplikasi, dan tantangan yang mungkin dihadapi dalam penggunaannya.

1. Komposisi Filament ABS

Filament ABS terdiri dari tiga komponen utama:

- a. *Acrylonitrile*: Memberikan ketahanan kimia dan panas.
- b. *Butadiene*: Menambah elastisitas dan ketangguhan.
- c. *Styrene*: Memberikan kekerasan dan kemudahan cetakan.

Proporsi masing-masing komponen dapat diatur untuk menghasilkan berbagai karakteristik mekanis dan termal, memberikan fleksibilitas dalam penggunaan filament ABS dalam berbagai aplikasi.

2. Sifat-Sifat Filament ABS

- a. **Ketahanan Mekanis**: Filament ABS dikenal dengan kekuatan dan ketangguhannya yang tinggi. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural, seperti prototipe, suku cadang, dan model

fungsional.

- b. Ketahanan Panas: Meskipun memiliki ketahanan panas yang baik, filament ABS cenderung mengalami distorsi pada suhu tinggi selama proses pencetakan. Oleh karena itu, perlu memperhatikan parameter suhu cetakan dan mempertimbangkan penggunaan printer dengan area pemanasan yang baik.
- c. Ketahanan Kimia: ABS menunjukkan ketahanan terhadap banyak bahan kimia, menjadikannya pilihan yang baik untuk lingkungan yang melibatkan kontak dengan zat kimia tertentu.
- d. Kemampuan Cetakan: Filament ABS memiliki kemampuan cetakan yang baik dan cocok untuk proses cetak 3D *Fused Deposition Modeling* (FDM). Namun, adanya masalah warping (perubahan bentuk akibat pendinginan tidak merata) memerlukan perhatian khusus selama pencetakan.

3. Metode Pencetakan Filament ABS

Pencetakan *filament* ABS umumnya dilakukan dengan menggunakan printer 3D FDM. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan meliputi suhu cetakan, kecepatan cetakan, dan platform pemanasan. Selain itu, perlu dilakukan eksperimen dan kalibrasi untuk mendapatkan hasil cetakan yang optimal.

4. Aplikasi Filament ABS

Filament ABS telah menemukan penggunaan luas dalam berbagai bidang, termasuk:

- a. Manufaktur Prototipe: Dengan kekuatan dan ketangguhannya, filament ABS sering digunakan untuk mencetak prototipe desain produk sebelum produksi massal.
- b. Industri Otomotif: Komponen otomotif seperti suku cadang interior kendaraan sering dicetak menggunakan filament ABS.
- c. Mainan dan Produk Konsumen: Filament ABS banyak digunakan dalam pembuatan mainan dan produk konsumen karena kemudahan cetakan dan keamanannya.

Sifat-sifat ini tidak terlalu terpengaruh oleh suhu dan kelembapan atmosfer selama rentang suhu pengoperasian yang tersedia. ABS mudah terbakar jika terkena suhu tinggi, seperti api unggun. Ia meleleh dan kemudian mendidih, dan

pada saat itulah uapnya meledak menjadi nyala api yang sangat panas. Karena ABS asli tidak mengandung halogen, pembakarannya umumnya tidak menghasilkan polutan organik yang persisten. Produk pembakaran atau pirolisis yang paling beracun adalah karbon monoksida dan hidrogen sianida. Suhu pencetakan ABS pada umumnya adalah antara 230°C - 270°C. [10] Untuk spesifikasi *Filament* ABS dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Filament ABS Transparan

Spesifikasi Filamen	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Print Temperature</i>	230-270 °C
<i>Bed Temperature</i>	80-120 °C
<i>DiameterTolerance</i>	0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll

2.6 Kekasaran Permukaan atau Surface Roughness

Surface Roughness merupakan Pengukuran besar kecilnya profil permukaan objek kekasaran permukaan. Proses pemesinan itu sendiri menyebabkan kekasaran pada produk jadi. Tingkat kekasaran permukaan merupakan atribut penting dalam proses pemesinan karena sangat penting untuk menentukan kualitas produk yang diproduksi.

Setiap permukaan benda kerja yang telah diproses oleh mesin pasti akan mengandung kekasaran permukaan, yang umumnya dikenal sebagai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan didefinisikan sebagai deviasi rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Nilai kekasaran permukaan benda kerja dalam bidang industri bervariasi tergantung dari kebutuhan.

Surface Roughness memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda dengan nilai lainnya. Nilai kualitas kekasaran permukaan telah dikategorikan oleh ISO, dengan N1 memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) yang sangat rendah yaitu 0,025 um dan N12 memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) maksimum 50 um. seperti Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Standarisasi Simbol Nilai kekasaran. Sumber : (Rochim, 2001)

Kekasaran Ra (<i>um</i>)	Tingkat Kekasaran	Panjang Sampel
0,025	N1	0,08
0,05	N2	
0,1	N3	
0,2	N4	
0,4	N5	0,25
1,6	N7	
3,2	N8	0,8
6,3	N9	
12,5	N10	2,5
25	N11	
50	N12	8

Profil kekasaran permukaan berikut harus dipahami:

a. Profil Geometrik Optimal (*Profil Geometrik Ideal*)

Profil ini ialah representasi dari geometri permukaan yang optimal, yang dimana, terdiri dari garis lengkung, elips, atau garis lurus.

b. Profil Referensi (*Reference Profile*)

Sifat-sifat permukaan dianalisis dengan menggunakan profil ini sebagai dasar. Meskipun bentuknya identik dengan profil geometris yang ideal, namun profil ini secara tepat sesuai dengan puncak tertinggi profil yang diukur pada panjang sampel yang digunakan untuk pengukuran.

c. Profil Modular (*Scalable Profile*)

Profil Modular merupakan profil permukaan yang diukur sebagai profil terukur

d. *Profil Root* (Profil Dasar)

Profil dasar adalah profil referensi yang telah digeserkan ke titik terendah profil yang diukur.

e. Profil Tengah (*Center Profile*),

Profil tengah adalah profil yang dibentuk sedemikian rupa agar melebar di bagian tengah gabungan dari puncaknya hingga profil terukurnya sama dengan luas gabungan dari dasar hingga profil terukurnya.

Kualitas permukaan potong maksimum yang diperbolehkan ditentukan oleh nilai kekasaran rata rata aritmetika.(Ra), adalah prosedur pemesinan kualitas kekasaran permukaan yang paling banyak digunakan. Di mana letak Ra dan parameter kekasaran lainnya seperti bentuk profil, panjang sampel, dan panjang pengukuran

2.7 Metode Taguchi

Metode taguchi adalah pendekatan rekayasa baru yang berupaya meningkatkan kualitas produk dan proses sambil meminimalkan biaya. Dengan membuat produk atau proses "tidak sensitif" terhadap unsur-unsur seperti komponen, alat manufaktur, tenaga kerja, dan keadaan operasional, metode Taguchi bertujuan untuk mencapai hal ini. Pendekatan Taguchi, juga dikenal sebagai desain yang kuat, membuat produk atau proses menjadi kuat terhadap faktor kebisingan.

Pendekatan taguchi memerlukan variasi proses yang menurun melalui desain eksperimen yang kuat. Produksi produk berkualitas tinggi dengan biaya yang sangat rendah adalah tujuan mendasar dari strategi ini. Untuk mengeksplorasi sejauh mana berbagai parameter mempengaruhi rata-rata (rata-rata) dan varian dari karakteristik kinerja proses, yang menentukan seberapa baik proses beroperasi, Taguchi menciptakan sebuah metode untuk merancang percobaan. *Array ortogonal* digunakan dalam desain eksperimental Taguchi untuk menyusun variabel yang mempengaruhi proses dan level yang perlu diubah. Pendekatan Taguchi memiliki sejumlah manfaat, antara lain:

- a. Rancangan percobaan Taguchi lebih efektif karena memungkinkan dilakukannya penelitian yang menggabungkan berbagai variabel dan data numerik.
- b. Penciptaan proses yang menghasilkan produk yang dapat diandalkan dan tahan

terhadap kejadian yang tidak dapat diprediksi (faktor gangguan) dimungkinkan oleh desain eksperimental Taguchi. Pendekatan Taguchi memberikan wawasan tentang variabel respons kontrol yang menghasilkan respons terbaik.

- c. Teknik Taguchi juga memiliki keterbatasan dibandingkan dengan metode lain, seperti desainnya yang sangat kompleks, yang mencakup desain yang memungkinkan efek utama dan efek interaksi yang penting. Untuk menyiasatinya, penting untuk mempertimbangkan tujuan penelitian dengan hati-hati saat memilih desain eksperimen

2.7.1 Langkah-Langkah Metode Taguchi

Langkah-langkah teknik Taguchi dalam eksperimen adalah sebagai berikut:

- a. Tetapkan tujuan proses, atau lebih khusus lagi, nilai target untuk mengukur keefektifannya.
- b. Pastikan faktor desain yang mempengaruhi prosedur.
- c. Untuk menunjukkan jumlah dan kondisi setiap percobaan, buat larik ortogonal untuk parameter desain.
- d. Untuk mengumpulkan informasi tentang dampak performa pengukuran, sambungkan eksperimen yang direkomendasikan ke larik yang telah selesai.
- e. Analisis data lengkap untuk memastikan bagaimana berbagai parameter mempengaruhi akurasi pengukuran.

2.7.2 Tahapan Eksperimen

Langkah-langkah yang membentuk tahapan eksperimen metode taguchi ini adalah sebagai berikut:

- a. Perumusan Masalah Diperlukan definisi yang tepat tentang masalah. Rumusan masalah secara teknis harus sederhana untuk dimasukkan ke dalam eksperimen yang direncanakan.
- b. Tujuan percobaan

Pertanyaan-pertanyaan dalam rumusan masalah harus dapat dijawab secara sistematis oleh tujuan eksperimen yang telah ditetapkan. Penentuan respon Tentukan respons sebagai perubahan nilai relatif terhadap parameter lainnya.

c. Pilihan parameter bebas

Pemilihan parameter bebas mengacu pada parameter yang nilainya berubah secara independen terhadap parameter lainnya. Pada tahap ini parameter dipilih untuk mempelajari dampaknya terhadap respons yang relevan. Proses percobaan dapat dilaksanakan secara efisien dan efektif.

Pemilihan parameter kendali dan parameter gangguan

Parameter yang akan diteliti terbagi menjadi dua yaitu parameter kendali dan parameter gangguan, antara kedua parameter tersebut terdapat pengaruh sehingga perlu diidentifikasi secara jelas. Nilai parameter Parameter yang dapat dikontrol disebut parameter kontrol, dan parameter yang tidak dapat dikontrol disebut parameter gangguan.

d. Pemilihan jumlah level dan nilai parameter

Pilihan jumlah level mempengaruhi keakuratan dan biaya hasil eksperimen. Seiring dengan meningkatnya tingkat pembelajaran, hasil eksperimen menjadi lebih tepat, namun hal ini juga berdampak pada peningkatan biaya percobaan.

e. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah konsep yang menggambarkan skala percobaan dan jumlah informasi yang dapat diberikan. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah percobaan yang dilakukan untuk mempelajari parameter yang diamati. Derajat kebebasan (ν_{mo}) suatu matriks ortogonal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\nu_{mo} = \text{jumlah percobaan} \dots\dots\dots(2.1)$$

Parameter dan derajat kebebasan horizontal (ν_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\nu_{fl} = \text{jumlah level parameter} \dots\dots\dots (2.2)$$

f. Pemilihan matriks ortogonal

Derajat kebebasan untuk parameter penjumlahan dan parameter level penjumlahan menentukan matriks ortogonal mana yang harus digunakan. Pemilihan matriks ortogonal mempengaruhi jumlah percobaan yang akan dilakukan dan analisis

parameter yang diamati. Banyak parameter dapat dievaluasi oleh matriks ortogonal dengan jumlah percobaan paling sedikit. Berikut ini adalah representasi dari matriks ortogonal:

$$La(bc) : \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

L= Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya jumlah uji coba

b = jumlah level parameter

c = jumlah parameter

sebagai contoh matriks orthogonal $L_{27}(3^{13})$ mengindikasikan bahwa akan ada dua puluh tujuh percobaan, dan matriks orthogonal (vmo) memiliki maksimum tiga belas derajat kebebasan. dan bahwa matriks ini dapat digunakan untuk maksimum tiga belas parameter yang digunakan. masing- masing dengan tiga level. dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Level-level Matrik Ortogonal

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level Gabungan
L4 (2^3)	L9 (3^4)	L16 (4^5)	L25 (5^6)	L18 ($2^1 \ 3^7$)
L8 (2^7)	L27 (3^{13})	L64 (4^{21})		L32 ($2^1 \ 4^9$)
L12 (2^{11})	L81 (3^{40})			L36 ($2^{11} \ 3^{12}$)
L16 (2^{15})				L36 ($2^3 \ 3^{13}$)
L32 (2^{31})				L54 ($2^1 \ 3^{25}$)
L64 (2^{63})				

2.7.3 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Menurut Soejanto [13] ada dua langkah dalam tahap pelaksanaan eksperimen: menentukan berapa banyak replikasi yang akan dilakukan dan melaksanakan eksperimen secara acak.

1. Jumlah Replikasi

Dalam sebuah eksperimen, replikasi adalah proses pengulangan perlakuan yang sama dalam kondisi yang sama untuk meningkatkan presisi, menurunkan tingkat kesalahan, dan menentukan estimasi kesalahan.

2. Keacakan/Randomisasi

Parameter lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan yang mempengaruhi hasil eksperimen dalam suatu eksperimen. Dampak dari parameter-parameter tersebut dapat diminimalkan dengan cara menyebarkan dampak dengan cara mengacak urutan percobaan. Tujuan pengacakan adalah untuk menyeimbangkan dampak parameter-parameter yang tidak terkendali terhadap seluruh satuan percobaan sehingga semua satuan percobaan mendapat perlakuan yang sama.

sehingga pengaruh setiap perlakuan bersifat homogen dan hasil eksperimen diperoleh secara independen satu sama lain. Jika tujuan replikasi adalah untuk memungkinkan pengujian signifikansi, maka tujuan pengacakan adalah untuk memberikan verifikasi pengujian signifikansi dengan menghilangkan bias.

2.7.4 Tahap Analisa

Pengorganisasian data, penghitungan, dan penyajian dalam tampilan tertentu sesuai dengan desain yang dipilih, semuanya merupakan bagian dari tahap pengumpulan dan pemrosesan data dari proses analisis. Selain itu, data eksperimental digunakan untuk penghitungan dan pengujian data statistik. Tahap analisisnya adalah sebagai berikut:

1. Analisis varian Taguchi adalah Data yang dikumpulkan selama persiapan eksperimen dianalisis secara statistik dengan menggunakan teknik analisis varians. Analisis ini merupakan metode untuk mendeskripsikan semua variabel yang diteliti secara total. Data eksperimen dengan setidaknya dua parameter

tambahan dan dua level lagi sesuai untuk analisis varians dua arah.

2. Teknik Taguchi diciptakan untuk penelitian yang melibatkan beberapa parameter dengan menggunakan konsep *Signal to Noise Ratio (SNR)*. SNR dirancang untuk memilih nilai tingkat faktor setinggi mungkin untuk memaksimalkan parameter kualitas penelitian. *Smaller is better (STB)*, *larger is better (LTB)*, dan *nominal is better (NTB)* adalah contoh kualitas kualitas Berikut ini: [14]

- *Smaller is Better*

Smaller is better adalah dengan nilai cacat target adalah nol dan semakin rendah nilainya, semakin baik, merupakan nilai non-negatif untuk pengukuran kualitas yang berkelanjutan. Persamaan dapat digunakan untuk mendapatkan *Rasio Signal to Noise STB* sebagai berikut:

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

Dimana:

n = Replikasi

y = data percobaan

- *Nominal is Best*

Nominal is best dibandingkan dengan nilai nominal terbaik atau nilai tertentu terbaik, yang merupakan fitur kualitas yang secara konstan memiliki nilai dari nol hingga tak terhingga (∞), adalah nilai yang diharapkan dari produk, yang berbeda dari nol dan memiliki nilai yang terbatas (∞). hingga tetap pada nilai tertentu. Persamaan 2.3 digunakan untuk mendapatkan *Signal to Noise Ratio NTB* sebagai berikut:

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

Dimana:

n = Replikasi

y = data percobaan

- *Larger is Better*

Larger is better adalah non-negatif untuk nilai kualitas kontinu () dengan nilai produk yang diharapkan selain nol atau pada nilai tertinggi yang diperoleh. Nilai

kualitas kontinu ini berkisar dari 0 hingga tak terbatas (∞). Dengan menggunakan persamaan, rasio sinyal terhadap derau LTB dapat dihitung sebagai berikut:

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

Dimana:

n = Replikasi

y = data percobaan [15]

2.8 Grey Relational Analysis (GRA)

Biasanya, Teknik Taguchi terbatas hanya meningkatkan satu respons. Optimasi respon berganda dapat dicapai dengan menerapkan teknik Taguchi dan strategi *Grey Relational Analysis (GRA)*. Pada tahun 1980-an, Deng membuat teori GRA menjadi terkenal. Pada dasarnya, pendekatan GRA digunakan dalam optimasi untuk menggabungkan beberapa jawaban menjadi satu. Konsep ini terkait dengan metode optimasi yang lebih modern yang disebut metode Taguchi. Pada awalnya, teori GRA sejalan dengan ide *Grey* yang jauh lebih tua. Pengetahuan yang spesifik dan samar-samar digabungkan untuk menciptakan *hipotesis Grey*. Sebagai contoh, warna hitam digunakan untuk mewakili informasi yang ambigu, yang setara dengan informasi dasar. Warna putih, di sisi lain, mewakili informasi yang sangat jelas. Namun, informasi terkadang bisa berada di mana saja di area abu-abu, mengandung elemen yang tidak sempurna, ambigu, atau di antara hitam dan putih. [16]

Menghitung semua pengaruh dari berbagai komponen dan hubungannya, atau yang dikenal sebagai "pemutihan hubungan faktor," adalah inti dari pendekatan GRA. Dengan menggunakan data dari sistem *Grey*, teknik GRA membandingkan setiap aspek secara kuantitatif berdasarkan perbedaan dan kemiripannya dengan faktor lain, sehingga dapat mengungkapkan hubungan di antara mereka. Langkah-langkah pendekatan analisis *relasional Grey* adalah sebagai berikut:

1. *Setting up eigen value matrix*

Proses ini melibatkan pengolahan data untuk mengubah informasi yang kompleks dan tidak pasti menjadi bentuk matriks dengan dimensi $i \times k$. Dimana, i mewakili jumlah sampel dalam dataset dan k mewakili jumlah observasi per sampel. Langkah ini bertujuan untuk menyederhanakan representasi data agar dapat diolah

lebih lanjut menggunakan konsep matriks.

2. Standardized data transformation

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi dalam grey sistem dapat dibagi menjadi tiga kategori, sebagai berikut:

a. Benefit-type factor

yang dapat dijelaskan sebagai faktor yang memiliki dampak positif ketika nilainya lebih besar dari nilai data asli. Dengan kata lain, semakin besar nilainya, semakin baik karakteristik kualitas yang diindikasikan (*larger is better*).

$$X_i^*(k) = \frac{X_i^o(k) - \min X_i^o(k)}{\max X_i^o(k) - \min X_i^o(k)} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Defect-type factor

Faktor ini menggambarkan karakteristik kualitas yang lebih baik ketika nilainya lebih kecil dari data asli (*smaller is better*). Representasi matematis dari transformasi ini dapat dijelaskan dengan rumus

$$X_i^*(k) = \frac{\max X_i^o(k) - X_i^o(k)}{\max X_i^o(k) - \min X_i^o(k)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Proses ini dilakukan untuk menormalisasi data agar dapat diolah lebih lanjut.

c. Medium-type or nominal-is best

Faktor-faktor dengan nilai yang sama atau mendekati nilai baku menunjukkan sifat kualitas yang lebih baik. Persamaan matematis untuk transformasi ini adalah

$$X_i^*(k) = \frac{X_i^o(k) - X_{ob}^o(k)}{\max X_i^o(k) - \min X_i^o(k)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Langkah ini bertujuan untuk membawa data ke dalam rentang nilai yang seragam guna memudahkan perbandingan.

3. Calculation of deviation sequence

Simpangan deviasi digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai tertinggi dan nilai-nilai lainnya dalam suatu set data. Proses ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana suatu nilai berbeda dari nilai maksimum dalam suatu konteks tertentu. Nilai simpangan deviasi yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai komponen penting dalam perhitungan *grey relational coefficient* (GRC). Rumus untuk menghitung simpangan deviasi adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{0i k} = |Z_{0k} - Z_{ik}| \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$\Delta_{0i k}$: menyatakan nilai simpangan deviasi pada eksperimen ke-i dan respon ke-j

$Z_{0 k}$: adalah nilai maksimum normalisasi *S/N ratio* (dengan nilai 1)

$Z_{i k}$: adalah nilai normalisasi *S/N ratio* pada eksperimen ke-i dan respon ke-j.

4. Perhitungan *Grey Relational Coefficient*

Perhitungan *Grey Relational Coefficient* (GRC) memiliki tujuan untuk mengubah nilai simpangan deviasi menjadi nilai yang ideal, yang kemudian digunakan dalam pembentukan Nilai *Grey relational grade* (GRG) ketika diintegrasikan. Berikut adalah rumus untuk menghitung GRC:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta_{0i(k)} + \zeta \Delta \max} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

$\Delta \min$ = nilai terendah dari rangkaian deviasi

$\Delta \max$ = nilai tertinggi dari rangkaian deviasi

ζ = koefisien yang paling diutamakan (koefisien yang dianggap optimal).

Nilainya berkisar antara 0 sampai 1, biasanya 0.5

$\Delta_{0i}(k)$ = nilai deviation sequence pada eksperimen ke-i dan respon ke-k

5. *Grey relational grade* (GRG)

Selanjutnya, Nilai *Grey relational grade* (GRG) mencerminkan tingkat korelasi antara urutan referensi dan urutan perbandingan. Semakin tinggi nilai GRG, semakin kuat korelasi antara kedua urutan tersebut. GRG dihasilkan dari penggabungan nilai GRC untuk setiap respons, karena pada dasarnya, nilai GRC merepresentasikan nilai untuk masing-masing respons, sebelum digabungkan menjadi satu nilai yang mencakup transparansi dan nilai kekasaran.

Formula GRG yaitu: [17]

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

n : jumlah variabel respon yang digunakan

$\gamma(x_0(k), x_i(k))$: nilai *Grey Relational Coefficient* pada setiap respon

$\gamma(x_0, x_i)$: nilai *Grey Relational Grade* untuk setiap eksperimen

2.9 Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA atau *Analysis of Variance* merupakan teknik komputasi yang memperkirakan secara kuantitatif kontribusi setiap faktor terhadap seluruh respon. Analisisnya menggunakan metode yang memecah setiap varian komponen yang diteliti. Tujuan penggunaan ANOVA adalah untuk membantu mengidentifikasi faktor-faktor guna memahami perkiraan kontribusinya. Tabel ANOVA meliputi perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (SS), mean kuadrat (MS), dan Fhitung seperti pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Analisis Varian

Sumber variasi	Db	SS	MS	Fhitung
Faktor A	ν_A	SSA	MSA	FA
Faktor B	ν_B	SSB	MSB	FB
Error	ν_{error}	SSerror	MSerror	
Total	ν_T	SST		

Dengan asumsi bahwa tidak ada interaksi antara keenam faktor tersebut, yang masing-masing memiliki tiga level, model ANOVA yang digunakan adalah :

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + F_n + \varepsilon_{ijklmn}$$

Keterangan:

Y_{ijklmn} = pengamatan pada faktor A level ke-i, faktor B level ke-j, faktor C level ke-k, faktor D level ke-l, faktor E level ke-m, dan factor F level ke -n = rata-rata umum

A_i = pengaruh faktor A level ke-i

B_j = pengaruh faktor B level ke-j

C_k = pengaruh faktor C level ke-k

D_l = pengaruh faktor D level ke-l

E_m = pengaruh faktor E level ke-m

F_n = pengaruh faktor E level ke-n

ε_{ijklmn} = komponen eror random

Asumsi yang harus dipenuhi pada model tetap yaitu:

$$\sum_{i=1}^3 A_i = 0, \sum_{j=1}^3 B_j = 0, \sum_{k=1}^3 C_k = 0, \sum_{l=1}^3 D_l = 0, \sum_{m=1}^3 E_m = 0, \sum_{n=1}^3 \varepsilon_{ijklmn} \sim N(0, \sigma^2)$$

Jumlah kuadrat galat adalah bentuk fungsi L pada estimasi parameter model [18] Fungsi L tersebut diminimumkan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dalam penentuan estimasi dari parameter model.

$$L = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 \varepsilon_{ijklmn}^2$$

$$L = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 (Y_{ijklmn} - \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + E_n)^2$$

Langkah-langkah dalam uji ANOVA yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan Derajat Bebas Total, dan Error Setiap Faktor

- Jumlah derajat bebas total $db_T = n - 1$
- jumlah derajat bebas A (db_A), B (db_B), C (db_C), D (db_D), E (db_E), dan F (db_F), masing-masing level-1 = 2
- Jumlah derajat bebas *error* (db_{error}) = $db_T - db_A - db_B - db_C - db_D - db_E - db_F$

2. Menentukan Jumlah Kuadrat Total dan Error Setiap Faktor

Menentukan jumlah kuadrat faktor dapat dilakukan dengan mengurangi penjumlahan nilai GRG setiap level yang dikuadratkan yang kemudian dibagi dengan banyaknya level dengan kuadrat penjumlahan nilai GRG dibagi jumlah percobaan. Formula jumlah kuadrat adalah sebagai berikut:

- Jumlah kuadrat total = $SS_T = \sum Y_{ijklmn}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.13)

- Jumlah kuadrat A = $SS_A = \frac{\sum Y_i^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.14)

- Jumlah kuadrat B = $SS_B = \frac{\sum Y_j^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.15)

- Jumlah kuadrat C = $SS_C = \frac{\sum Y_k^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.16)

- Jumlah kuadrat D = $SS_D = \frac{\sum Y_l^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.17)

- Jumlah kuadrat E = $SS_E = \frac{\sum Y_m^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.18)

- Jumlah kuadrat F = $SS_F = \frac{\sum Y_n^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n}$ (2.19)

- Total Kesalahan kuadrat = $SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E$ 3. Menghitung

3. Jumlah Rata-rata Kuadrat Total dan Error Setiap Faktor

Formula yang digunakan dalam menentukan jumlah rata-rata kuadrat adalah sebagai berikut:

• Jumlah rata-rata kuadrat total = $MS_T = \frac{SS_T}{db_T}$ (2.20)

• Jumlah rata-rata kuadrat A = $MS_A = \frac{SS_A}{db_A}$ (2.21)

• Jumlah rata-rata kuadrat B = $MS_B = \frac{SS_B}{db_B}$ (2.22)

• Jumlah rata-rata kuadrat C = $MS_C = \frac{SS_C}{db_C}$ (2.23)

• Jumlah rata-rata kuadrat D = $MS_D = \frac{SS_D}{db_D}$ (2.24)

• Jumlah rata-rata kuadrat E = $MS_E = \frac{SS_E}{db_E}$ (2.25)

• Jumlah rata-rata kuadrat F = $MS_F = \frac{SS_F}{db_F}$ (2.26)

• Jumlah rata-rata kuadrat $MS_{error} = \frac{SS_{error}}{db_{error}}$ (2.27)

4. Menghitung F-hitung dari Setiap Faktor

• F-hitung A = $\frac{MS_A}{MS_{error}}$ (2.28)

• F-hitung B = $\frac{MS_B}{MS_{error}}$ (2.29)

• F-hitung C = $\frac{MS_C}{MS_{error}}$ (2.30)

• F-hitung D = $\frac{MS_D}{MS_{error}}$ (2.31)

• F-hitung E = $\frac{MS_E}{MS_{error}}$ (2.32)

• F-hitung F = $\frac{MS_F}{MS_{error}}$ (2.33)

5. Nilai F

Nilai F digunakan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari faktor terhadap respon dengan taraf signifikansi yang digunakan yaitu sebesar 0,05. Hipotesis faktor A (berlaku sama pada faktor B, C, D, E, dan F) yaitu:

- $H_0 = A_1 = A_2 = A_3 = 0$ (tidak terdapat pengaruh dari faktor A)
- $H_1 =$ Minimal ada satu $A_a \neq 0$ (terdapat pengaruh dari faktor A)

Daerah penolakan H_0 yang digunakan yaitu apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Apabila nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima yang artinya faktor tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon.

6. Persen Kontribusi

Untuk menentukan persentase kontribusi parameter proses, dilakukan penghitungan persen kontribusi parameter proses berpengaruh terhadap respon penelitian. Formula untuk menghitung persen kontribusi setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$\rho_{faktor} = \frac{SS_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots (2.34)$$

2.10 Uji Konfirmasi

Eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan kombinasi parameter optimal dikenal sebagai eksperimen konfirmasi. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi kesimpulan yang dibuat selama tahap analisis dan membandingkan hasil yang diharapkan dan yang sebenarnya. [19]

Berikut ini adalah deskripsi langkah-langkah yang terlibat dalam percobaan konfirmasi:

- a. Lakukan penelitian berdasarkan kombinasi jawaban yang memberikan hasil terbaik.
- b. Membandingkan rata-rata hasil prediksi dengan rata-rata hasil percobaan konfirmasi.

2.11 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian yang Optimasi parameter pencetakan FDM-3D menggunakan pendekatan taguchi pada kekasaran permukaan ditemukan bahwa parameter proses optimum untuk pencetakan 3D adalah *Flow rate* 110%, *Layer thickness* 0,1 mm, *Nozzle temperature* 210 °C, *Print speed* 30 mm / s, *Overlap* 75% dan *Fan speed* 100%. Kombinasi parameter proses optimum menghasilkan nilai kekasaran permukaan dan nilai rasio S/N masing-masing adalah 11,84 μm dan – 21,47 dB. Nilai kontribusi maksimum dari parameter proses adalah *Layer Thickness* 65,11% dan kontribusi minimum adalah *Fan speed* 0,90%. Berdasarkan analisis ANOVA, temuan penelitian ini menyatakan bahwa ketebalan lapisan merupakan

parameter signifikan yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan menggunakan Filament TPU [20]

Dalam penelitian berjudul Pengaruh Parameter Proses *Slicing Software* Terhadap Kekasaran Permukaan *Printing Part* Filamen ST-PLA menemukan bahwa kualitas permukaan komponen yang baik biasanya menunjukkan item produksi dengan kualitas yang layak. Performa produk, estetika, dan cerminan dari kualitas konstruksi yang superior semuanya dipengaruhi oleh kekasaran permukaan objek. Ketebalan lapisan, kecepatan cetak, suhu nozzle, orientasi, pelepasan, dan kecepatan pendinginan adalah variabel yang diperiksa. Ketebalan lapisan diatur ke 0,10 mm, kecepatan pencetakan 40 mm/dtk, suhu nosel 190°C, orientasi 45°, laju alir 110%, dan kecepatan pendinginan 20% untuk mencapai hasil yang diinginkan. [21]

Pengaruh kecepatan cetak terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil manufaktur aditif menggunakan filamen PLA dilakukan berdasarkan temuan penelitian Taufik, dkk. Dalam penyelidikan ini, tiga kecepatan pencetakan yang berbeda digunakan: 50% untuk spesimen pertama, 100% untuk yang kedua, dan 150% untuk yang ketiga. Studi ini menemukan bahwa dengan meningkatnya kecepatan cetak, hasil temuan penelitian kekasaran permukaan menunjukkan peningkatan nilai rata-rata (permukaan yang lebih kasar). [22]

Penelitian “Studi Parameter Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material ABS Sebagai Bahan Baku Printer 3D Terhadap Kehalusan Permukaan” Tiga pengaturan suhu pengaturan *nozzle* diperiksa dalam penelitian ini. 240°C, 250°C, dan 260°C (nozel tunggal dan ganda), suhu pelat dasar 30°C dan 100°C, dan jenis perekat dengan atau tanpa lem.semuanya dipertimbangkan. Berdasarkan penyelidikan ini, suhu pelat dasar 30 °C dan suhu nosel 240°C memberikan hasil pencetakan terbaik. [23]

Penelitian mengenai "Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modeling* (FDM) Terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi" Pada penelitian ini digunakan parameter kecepatan cetak, temperatur, dan tinggi lapisan pada metode Taguchi. Menurut hasil penelitian tersebut, tinggi lapisan memiliki pengaruh terbesar, diikuti oleh suhu cetak dan kecepatan cetak. [24]

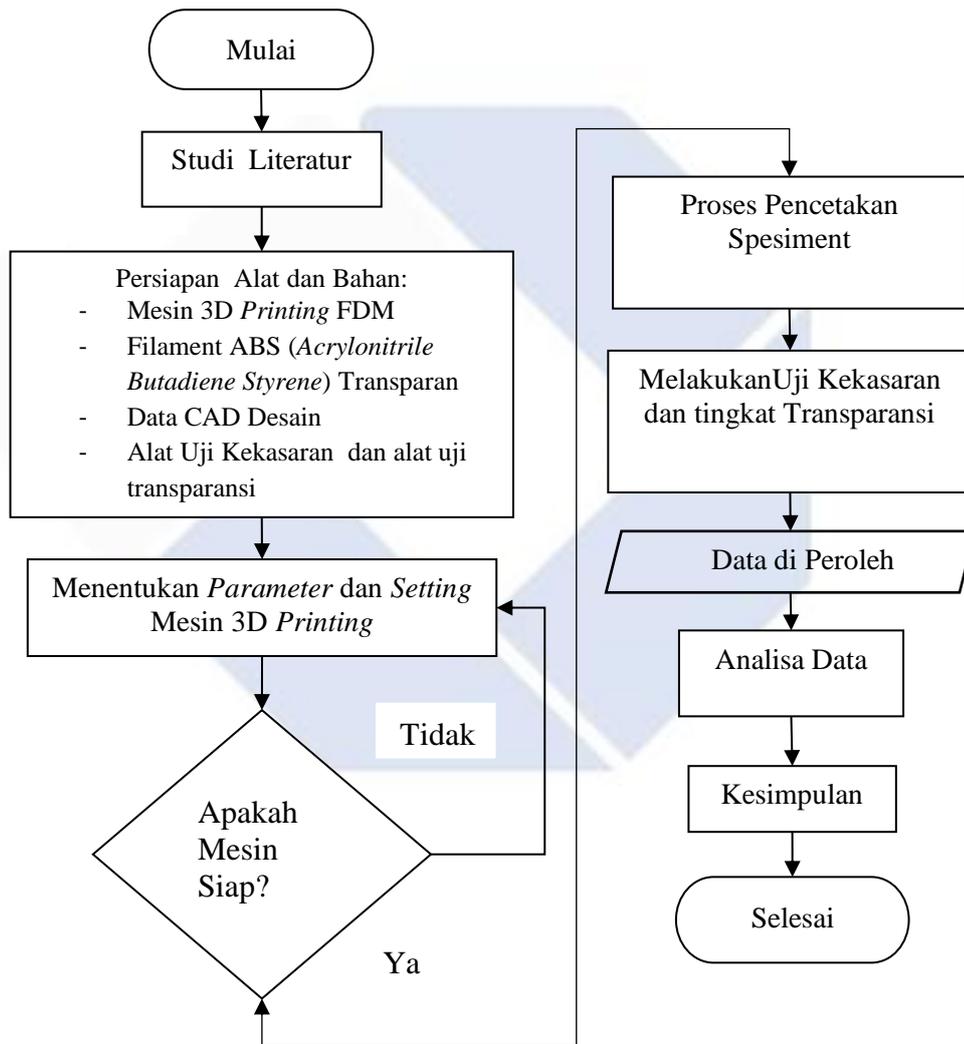
Berdasarkan analisis data optimasi setting parameter dan akurasi model yang berjudul Pengembangan Model Anatomi Jantung Pada Kasus Penyakit Jantung Struktural Dengan *3d Printing* Berbasis *Fused Deposition Method*. dapat ditarik kesimpulan sebagai *Setting parameter* yang optimal untuk menghasilkan nilai lux yang kecil (transparansi optimal) dengan menggunakan filament T-Glase Taulman adalah *Extruder Temperature* 220C, *Heat Bed Temperature* 60C, *Speed* 13 mm/s, dan *Flow Rate* 100%. *3D printer fused deposition* mampu menghasilkan model anatomi dengan dimensi akurat, jika sebelum proses pencetakan dilakukan kalibrasi, melakukan validasi CT-scan dan validasi seluruh proses sejak file DICOM hingga model 3D. [25]



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan mengikuti urutan seperti yang tergambar pada Diagram Alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Pencarian referensi teoretis dengan situasi atau kesulitan yang mapan adalah bagian dari proses kajian literatur. Referensi tersebut dapat diperoleh di berbagai tempat, antara lain buku, jurnal, artikel hasil penelitian, dan website. tentang pengaruh parameter proses pencetakan 3D FDM pada hasil kekasaran permukaan dan transparansi saat menggunakan filamen ABS dan metode Taguchi. Dan terkait dengan desain alat 3D printing yang akan digunakan untuk memproduksi barang yang akan diperiksa tingkat transparansi dan abrasi permukaannya.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini, semua alat dan bahan yang berhubungan dengan penelitian akan disiapkan sebaik mungkin agar proses penelitian berjalan dengan lancar.jenis

1. Mesin Pencetak 3D Printing

Printer 3D yang dilengkapi dengan area pencetakan XYZ dan model DIY Ender 3 dengan dimensi X300mm X300 mm X350mm seperti pada Gambar 3.2 berikut . Mesin Ender 3 memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1



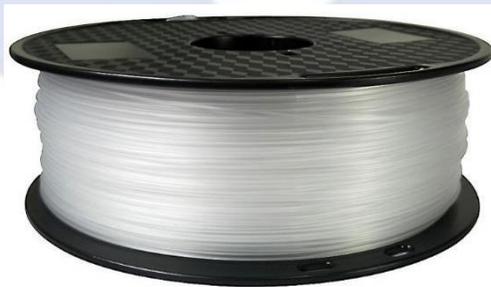
Gambar 3.1 Mesin 3D Printing Ender 3 (*Sumber:Creality.com*)

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Cetak 3 Dimensi Ender 3

<i>Printing Spesification</i>	
<i>Build Size</i>	300*300*350mm
<i>Machine Size</i>	440*440*465mm
<i>Molding Technology</i>	FDM
<i>Rated Power</i>	115V/230V AC 360W
<i>Net Weight</i>	7.0 Kg
<i>Nozzle Diameter</i>	0.4 mm
<i>Printing Precision</i>	±0,1mm
<i>Kecepatan Pencetakan</i>	40-120mm/s

2. Material Filament ABS

Penelitian ini menggunakan material termoplastik yang berbentuk filamen. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah filamen ABS (*Acrenolytrile Butadiene Steryne*) dengan diameter filamen sebesar 1,75 mm dengan temperature pencetakan sebesar 230-2670°C. Filamen ABS ditunjukkan dalam gambar 3.2



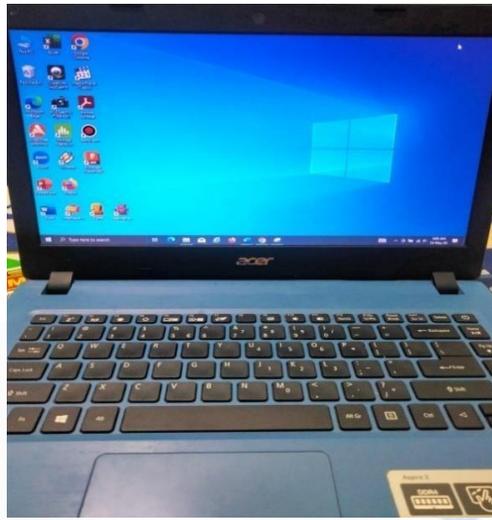
Gambar 3.2 Filamen ABS trasnparan (Sumber:Rajawali3D)

Tabel 3.2 Spesifikasi Filament ABS

Spesifikasi Filamen	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Print Temperature</i>	230-270 °C
<i>Bed Temperature</i>	80-120 °C
<i>DiameterTolerance</i>	0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll

3. Laptop

Laptop tipe Acer memiliki fungsi yang sangat penting dalam mendukung penelitian sebagai pencarian literatur, menyusun dokumen, Analisis data, Pembuatan desain objek cetak, presentasi dan lain-lain. ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3.3 laptop Acer (sumber:dokumentasi

4. Alat Uji Kekasaran

Alat uji kekasaran atau surface roughness tester merupakan alat pengukur kekasaran permukaan spesimen. Alat uji kekasaran yang digunakan adalah surface roughness tester Mitutoyo SJ-210 ditunjukkan dalam gambar 3.4



Gambar 3.4 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210(sumber Indoteknik.com)

5. Alat uji Transparansi

Digital Lux Meter Dekko HS 6612 digunakan untuk mengukur tingkat transparansi hasil cetak3D yang dicetak oleh mesin.



Gambar 3.5 Digital Lux Meter(sumber:dokumentasi pribadi)

6. Software Slicer Ultimaker Cura 4.1.1

Ultimaker Cura adalah perangkat lunak pemotongan (slicing) 3D yang dirancang khusus untuk digunakan dengan printer 3D Ultimaker, Fungsi utama Ultimaker Cura melibatkan persiapan dan konfigurasi file yang akan dicetak pada printer 3D, Menghasilkan file G-Code, format instruksi mesin yang dapat dibaca oleh printer 3D, untuk memulai proses pencetakan.



Gambar 3.6 *Software Slicer Ultimaker Cura 4.0*(sumber:Wikipedia)

7. Software Minitab 19

Sebuah program statistik yang disebut software Minitab digunakan untuk jaminan kualitas dan analisis data. Dengan menggunakan program ini, data diproses untuk mengidentifikasi perubahan parameter atau faktor lain yang berdampak pada



Gambar 3.7 Softawe Minitab 19 (*sumber:AppSource*)

variabel dalam pendekatan Design of Experiment (DoE)

8. Senter 9900 w

Senter dengan daya sebesar 9900 watt berfungsi sebagai alat untuk mengujikan data transparansi dengan cara menyorotkan cahaya senter tersebut dapat menembus atau menerangi spesimen. Transparansi sendiri adalah kemampuan suatu bahan untuk membiarkan cahaya melewati.



Gambar 3.8 senter 9900 (sumber:dokumentasi pribadi)

3.4 Menentukan Parameter dan Setting Mesin 3D Printing

Sebelum dilakukan proses penelitian dan percobaan, akan dilakukan proses setting mesin dan menentukan parameter yang digunakan. Dengan metode *Taguchi* Tujuannya agar proses percobaan berjalan dengan lancar sesuai dengan rencana penelitian yang telah ditentukan. Pada tahapan ini parameter proses yang digunakan ada 6 parameter proses yang dilakukan dalam proses penelitian mengidentifikasi masalah yang sering terjadi pada saat proses pencetakan benda uji menggunakan mesin 3D printing terhadap filamen ABS.

3.4.1 Parameter Respon

Parameter yang tidak diketahui yang dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan dan ukurannya ditentukan setelah percobaan disebut parameter respons. Kekasaran permukaan (R_a , μm). Dan Transparansi dipilih sebagai parameter respon dalam penelitian ini.

3.4.2 Parameter Konstan

Parameter konstan adalah elemen yang tidak dilihat oleh penelitian. Nilai faktor ini dipertahankan konstan selama percobaan untuk mencegahnya berubah dan berdampak besar pada temuan penelitian. Berikut adalah konstanta dalam penelitian ini:

a. Infill density

b. Infill Patern

c. Fan Speed

3.4.3 Design of Experiment (DoE)

Design of Experiment (DoE) dilakukan untuk menentukan faktor dan informasi variasi parameter, menentukan faktor dan level variasi parameter masuk pada proses *slicer Ultimaker Cura* untuk menentukan jumlah percobaan minimum dan informasi sebanyak mungkin tentang semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter dalam optimasi parameter produk printer 3D. Menggunakan metode uji "*one change at a time*" selalu membawa risiko di mana peneliti harus mengidentifikasi satu variabel input yang dapat memiliki dampak signifikan pada output tanpa mengubah variabel lainnya demi menjaga kestabilan.. Kriteria penelitian parameter ini adalah sebagai berikut: *Temperature Nozzle (°C), Build plateTemperature (°C), Layer height (mm), infill overlap (°C), Print speed (mm/s), Flowrate (%)*.

3.4.4 Parameter Proses dan Level Eksperimen

Parameter proses berikut akan digunakan dalam penelitian ini: *Nozzle temperature (°C), Build plateTemperature (°C), Layer height (mm), infill overlap (°C), Print speed (mm/s), Flowrate (%)*.. Penelitian literatur menjadi dasar pemilihan parameter proses, yaitu faktor dan taraf eksperimen. Desain susunan ortogonal Taguchi L_{27} dengan lima komponen dan tiga level digunakan dalam penelitian ini. Nilai parameter dan level yang ditentukan ditunjukkan pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.3 Nilai Level dan Parameter Proses yang Diuji

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1.	<i>Nozzle Temperature (°C)</i>	250°C	255°C	260°C
2.	<i>Build plate Temperature (°C)</i>	85°C	90°C	95°C
3.	<i>Print Speed (mm/s)</i>	50mm/s	55mm/s	60mm/s
4.	<i>Layer height (mm)</i>	0,1 mm	0,13 mm	0,16mm
5.	<i>Flowrate(%)</i>	95%	105%	115%
6.	<i>Infill overlap (°C)</i>	10 °C	20°C	30°C

3.4.5 Pemilihan Matriks Ortogonal

Derajat kebebasan total untuk faktor dan level tertentu harus sama dengan atau lebih besar dari derajat kebebasan matriks ortogonal. Mempertimbangkan jumlah parameter dan level yang disediakan pada Tabel 3.1 Setelah itu, hitung derajat kebebasan untuk membentuk matriks orthogonal yang akan digunakan. Tabel 3.3 menampilkan level dan derajat kebebasan

Tabel 3.4 Derajat Kebebasan

No	Parameter Bebas	Jumlah level (k)	k-1
1	<i>Nozzle Temperature(°C)</i>	3	2
2	<i>Build plate Temperature(°C)</i>	3	2
3	<i>Print Speed (mm/s)</i>	3	2
4	<i>Layer Height (mm)</i>	3	2
5	<i>Flowrate(%)</i>	3	2
6	<i>Infill Overlap</i>	3	2
Total Derajat Kebebasan			12

Tabel 3.3 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level Matriks ortogonal yang

memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai desain eksperimen adalah L_{27} , seperti terlihat pada Tabel 3.3 Derajat kebebasan total parameter proses dan level yang digunakan adalah 12. Desain eksperimen matriks ortogonal L_{27} terdiri dari 6 kolom dan 27 baris. Enam variabel independen dapat dimasukkan dalam desain ini. Tabel 3.4 menunjukkan bagaimana percobaan untuk penelitian ini dilakukan. Tabel 3.4 Rancangan Desain Eksperimen berdasarkan Matriks Ortogonal L_{27}

Tabel 3.5 Desain Faktorial Penelitian L_{27} OA

<i>Parameter</i>					
<i>Proses</i>					
<i>Nozzle</i>	<i>Build Plate</i>	<i>Print</i>	<i>Layer</i>	<i>Infill</i>	<i>Flowrate</i>
<i>Temperature(°C)</i>	<i>Temperature</i>	<i>Speed(mm/s)</i>	<i>Height</i>	<i>Overlap</i>	<i>(%)</i>
<i>(°C)</i>	<i>(°C)</i>	<i>(mm/s)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(°C)</i>	<i>(%)</i>
250	85	50	0.1	10	95
250	85	50	0.1	20	105
250	85	50	0.1	30	115
250	90	55	0.13	10	95
250	90	55	0.13	20	105
250	90	55	0.13	30	115
250	95	60	0.16	10	95
250	95	60	0.16	20	105
250	95	60	0.16	30	115
255	85	55	0.16	10	105
255	85	55	0.16	20	115
255	85	55	0.16	30	95
255	90	60	0.1	10	105
255	90	60	0.1	20	115
255	90	60	0.1	30	95
255	95	50	0.13	10	105
255	95	50	0.13	20	115
255	95	50	0.13	30	95
260	85	60	0.13	10	115

Tabel 3.5 Desain Faktorial Penelitian L_{27} OA (Lanjutan)

<i>Parameter</i>					
<i>Proses</i>					
<i>Nozzle</i>	<i>Build Plate</i>	<i>Print</i>	<i>Layer</i>	<i>Infill</i>	
<i>Temperature(°C)</i>	<i>Temperature</i>	<i>Speed(mm/s)</i>	<i>Height</i>	<i>Overlap</i>	<i>Flowrate</i>
	<i>(°C)</i>		<i>(mm)</i>	<i>(°C)</i>	<i>(%)</i>
260	85	60	0.13	20	95
260	85	60	0.13	30	105
260	90	50	0.16	10	115
260	90	50	0.16	20	95
260	90	50	0.16	30	105
260	95	55	0.1	10	115
260	95	55	0.1	20	95
260	95	55	0.1	30	105

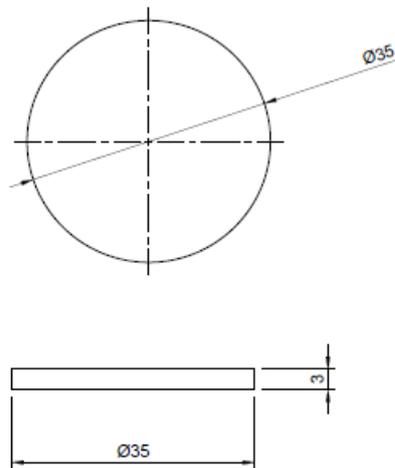
3.5 Proses Realisasi Percobaan Eksperimen

3.5.1 Persiapan Penelitian

Berbagai tahapan penelitian ini berlangsung secara berkesinambungan mulai dari persiapan printer 3D, filamen ABS, dan software Ultimaker Cura 4.1.1 Segala alat dan bahan yang berkaitan dengan penelitian ini akan dipersiapkan semaksimal mungkin selama proses penelitian.

3.5.2 Desain Spesimen

Pada tahap ini peneliti telah merancang bentuk dan tingkat transparansi benda uji kekasaran permukaan produk, diameter dan tinggi benda uji dirancang sebesar $\text{Ø}35 \times 3\text{mm}$. Pada perangkat lunak Fusion 360, desain penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Desain Spesimen Uji kekasaran dan transparansi

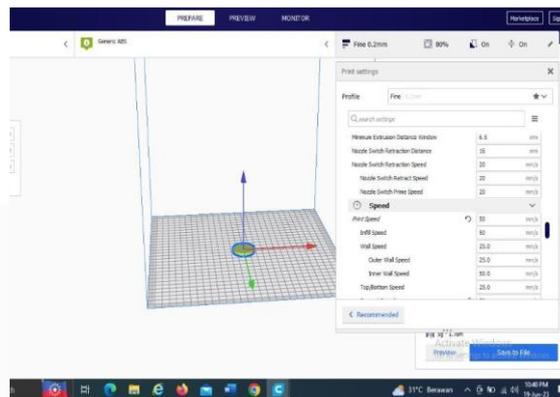
3.5.3 Proses Silicing Pemodelan Spesimen CAD

Proses pembuatan desain akan dilakukan dalam program Fusion360 sebelum mencetak benda uji. Tipe file akan diubah menjadi .STL (*.stl) setelah desain selesai dibuat untuk memungkinkan proses pemotongan data, yang bertujuan untuk menghasilkan *G-Code* yang diperlukan untuk mengoperasikan mesin cetak sesuai dengan desain nantinya. Detail tambahan dari prosedur pemotongan data ini termasuk proyeksi waktu pencetakan, jumlah lapisan, jumlah bahan yang digunakan, dan lebar rok dan pinggiran setelah pencetakan.

Dalam perangkat lunak Ultimaker cura 4.0, tindakan berikut ini harus diselesaikan untuk melakukan proses pemotongan data:

1. Klik file, lalu pilih Open Project atau Import.STL untuk mengimpor file .STL ke dalam program Ultimaker cura 4.0
2. Lakukan prosedur pengaturan parameter yang telah ditentukan sebelumnya oleh perangkat lunak.

3. Tekan tombol *slice now* yang terletak di kotak *slice now* di bagian kanan bawah layer tampilan untuk melanjutkan prosedur pemotongan data.
4. Setelah prosedur pemotongan data selesai, ekspor G-Code. Nantinya, G-Code ini akan digunakan untuk menginstruksikan perangkat pencetakan untuk membuat spesimen uji sesuai dengan desain dan parameter yang telah ditetapkan. Berikut ditunjukkan gambar proses pengaturan parameter 3.10



Gambar 3.10 Pengaturan Parameter Proses
(Software Ultimaker Cura 4.0)

3.6 Contoh tahapan proses Pencetakan pada printer 3D

Tahapan proses pencetakan sampel uji pada printer 3D adalah sebagai berikut:

1. Hidupkan terlebih dahulu Mesin 3D *printing* dengan menekan tombol ON agar Mesin dapat dioperasikan
2. Pasang filament ABS pada tempat yang tersedia pada mesin printer 3D.
3. Sebelum melanjutkan proses pencetakan, ada baiknya melakukan kalibrasi atau penyetelan mesin agar meja cetak 3D rata dan menjaga jarak nozzle saat meja memanaskan nantinya. Lakukan proses setting parameter pada *software cura 4.1.1* atau slicing seperti *Nozzle Temperature*, *Build plate temperature*, *print speed*, *Layer height*, *Flowrate*, *Infill overlap*. Sesuai dengan parameter yang telah ditentukan Setelah mendapatkan file *G-code* masukan kartu kemesin 3D Printer

- Selanjutnya baru dapat dilanjutkan ke proses pencetakan produk 3D printing secara berturut-turut dengan mengikuti desain eksperimen yang telah dibuat, setiap produk di lakukan proses pencetakan dengan tiga percobaan replikasi spesimen

3.7 Proses Uji Kekasaran Permukaan

Setelah spesimen semuanya selesai dicetak, selanjutnya pengujian kekasaran permukaan terhadap spesimen menggunakan alat uji *Surface Roughness Tester*, dapat dilihat pada gambar 3. 11



Gambar 3.11 Pengambilan data Uji Kekasaran

3.8 Proses Uji Transparansi

Proses untuk mengukur transparansi digambarkan dalam Gambar 3.12 Dimulai dengan persiapan sampel uji, diikuti dengan pemasangan alat bantu pengukuran, penempatan sampel uji pada alat bantu pengukuran, aktivasi *Digilat lux meter*, dan penyinaran alat bantu pengukuran dengan senter LED Lakukan pembacaan pada *lux meter digital* setelah itu, sesuai dengan angka yang muncul pada layar.



Gambar 3.12 Pengambilan data Uji Transparansi

3.9 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung tepatnya di laboratorium. Bahan teknik mesin. Pengumpulan data dilakukan dengan menguji setiap sampel pada alat uji kekasaran permukaan produk yaitu (*Surface Roughness*) dan alat uji transparansi yaitu (*Digital Lux Meter*). Data kekasaran permukaan dan hasil tingkat transparansi didokumentasikan untuk pemrosesan data

3.10 Pengolahan Data

Setelah mengumpulkan data hasil proses pengujian kekasaran permukaan dan transparansi, langkah selanjutnya adalah memasukkan data ke dalam perangkat lunak analisis untuk proses pengolahan data. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan parameter proses yang optimal. Suatu kesimpulan akan diambil jika spesifikasi awal berdasarkan filamen ABS optimal dan waktu pencetakan sampel lebih efisien daripada parameter ini.. Tujuan dari pengolahan data untuk menentukan parameter yang optimal dan juga untuk membandingkan data yang telah di lakukan.

Dalam upaya mencapai tujuan penulisan proyek akhir ini, penulis melakukan beberapa tahapan yang dapat dilakukan dalam pengolahan data hasil eksperimen

adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* dengan karakteristik kualitas *smaller is better*
- b. Menentukan nilai normalisasi *S/N Ratio*
- c. Menghitung nilai *GRC (grey relational coefficient)*, yaitu nilai delta dan gamma pada masing-masing respon
- d. Menghitung *PC* dari nilai gamma sebagai pembobot
- e. Menghitung nilai *GRG (Grey Relational Grade)*
- f. Melakukan uji asumsi normalitas
- g. Melakukan uji asumsi homogenitas
- h. Melakukan uji pengaruh *Analysis of Variance (ANOVA)*
- i. Menentukan kombinasi optimal dari parameter proses
- j. Menyimpulkan hasil yang diperoleh

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

“ HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN”



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Hasil dari pengolahan data dan analisis data yang dilakukan untuk penelitian ini dapat di Tarik kesimpulan sebagai menunjukkan bahwa parameter proses memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas data. Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan berikut

1. Parameter yang paling berpengaruh terhadap respon kekasaran dan Transparansi jika di urutkan yaitu : *Print speed (mm/s), Layer Height(mm), Build Plate Temperature(°C), Nozzle Temperatur(°C), Infill Overlap (%)*, *Flowrate(%)*
2. Nilai Kekasaran yang Paling Optimum yaitu dengan parameter proses *Print speed 50 mm/s, Layer Height 0,1 mm, Build Plate Temperature 85°C*, *Nozzle Temperatur 250°C, Infill Overlap 20(%)*, *Flowrate 105(%)*, dengan nilai rata-rata kekasaran 14,261 sesuai dengan karakteristik *Smaller Is Better* yang terdapat pada uji coba specimen 2. Nilai Transparansi yang paling optimum yaitu dengan parameter proses *Print speed 50 mm/s, Layer Height 0,1 mm, Build Plate Temperature 85°C*, *Nozzle Temperatur 250°C, Infill Overlap 30(%)*, *Flowrate 115(%)*, dengan nilai rata-rata transparansi 45 yang terdapat pada uji coba specimen

5.2 SARAN

Setelah melakukan penelitian ini, penulis dapat menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut, disarankan agar menggunakan metode selain taguci digunakan dalam penelitian selanjutnya.
2. Menggunakan lebih banyak faktor untuk menentukan faktor mana yang paling berpotensi mempengaruhi respons dan hasil yang berbeda dari penelitian sebelumnya, yang menggunakan filamen ABS ataupun menggunakan jenis filament lain
3. Menggunakan berbagai mesin untuk mengungkap fenomena baru yang berkaitan dengan bagaimana faktor-faktor memengaruhi respons yang diuji.

5. Setelah selesai proses pencetakan usahakan Filament di bungkus atau di simpan di tempat yang tertutup



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasdiansah and Herianto, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang di Hasilkan," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, pp. 187-192, 2018.
- [2] H. A, J. M and S. R, "3D Printing Applications for Radiology," *The Indian journal of radiology&imaging*, vol. 31, no. 1, pp. 10-17, 2021.
- [3] R. Ardiansyah, Z. S. Suzen and Erwansyah, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Menggunakan Filament Polylactic Acid (PLA) Buatan R3D Maker," *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 2, pp. 2153-2155, 2021.
- [4] B. Aji, Y. F. Ariyani and Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, pp. 337-338, 2023.
- [5] Pristiansyah and Herianto, "Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang Dihasilkan," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, pp. 181-185, 2018.
- [6] A. A. Setiawan, B. W. Karuniawan and N. Arumsari, "Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis," *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, no. 2654, pp. 165-168, 2018.
- [7] R. Hakim, I. Saputra, G. P. Utama and Y. Setyoadi2, "Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Mateial PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer," *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, Vols. pp. 1-8., 2019.
- [8] H. Ramadhani, "Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Struktur Rahang Bawah Manusia Pada Mesin Printer 3D," vol. 2, pp. 41-49, 2019.
- [9] N. M. A. Awwaliyah, B. W. K. and D. A. Purnomo, "Analisa Pengaruh Parameter 3D Printing dengan Metode Taguchi – Grey Relational Analysis Terhadap Kekasaran Permukaan dan Building Time Produk," *Proceeding 4th Conference on Design and Manufacture and its Application*, no. 2654, pp. 252-257, 2020.
- [10] S. Guessasma, S. Belhabib and H. Nouri, "Effect of printing temperature on microstructure, thermal behavior and tensile properties of 3D printed nylon using fused deposition modeling," *ournal of Applied Polymer Science*, 138(14). <https://doi.org/10.1002/app.50162>, 2021.
- [11] I. Fadhil, Hasdiansah and A. Anggry, "Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kekuatan Bending Dengan Menggunakan Filamen Nylon," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 01, no. 1, 2023.
- [12] M. H. Bari, "Optimasi Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi L27," *Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*., 2021.
- [13] I. Soejanto, *Yogyakarta: Graha Ilmu*., 2009.
- [14] A. A. Wulandari, "Penerapan Metode Taguchi Untuk Kasus Multirespon Menggunakan Pendekatan Grey Relational Analysisdan Principal Component Analysis," pp. 14-15, 2016.
- [15] B. W. Karuniawan, F. Rachman and M. T. Yoningtias, "Metode Taguchi Untuk

- Optimasi Parameter Mesin 3D Printer Terhadap Kualitas Produk Material ABS," vol. 14, 2022.
- [16] S. Balasubramanian, "Grey Relational Analysis to determine optimum process parameters for Wire Electro Discharge Machining (WEDM),," *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, vol. 3, no. 1, pp. 95-101, 2011.
- [17] A. A. Setiawan, B. W. Karuniawan and N. Arumsari, "Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis," *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, no. 2654, pp. 165-168, 2018.
- [18] N. Fanani, E. Novianarenti, E. Ningsih, K. Udyani, A. Prayitno and D. A. Saputra, "ANOVA APPLICATION TO ASSESS THE EFFECT OF TEMPERATURE ON VALUE AND YIELD ON LIQUID FUEL FROM HDPE," vol. 10, no. 1, pp. 41-46, 2021.
- [19] M. Rivaldi, M. Yunus and Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Fiamen Polycarbonate," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, 2023.
- [20] Hasdiansah, R. I. Yaqin, Pristiansyah and M. L. Umar, "FDM-3D printing parameter optimization using taguchi approach on surface roughness of thermoplastic polyurethane parts," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 17, no. 6, pp. 3011-3024, 2023.
- [21] Y. B. Pratama, Hasdiansah and Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen ST-PLA," *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 13, 2021.
- [22] I. Taufik, H. S. Budiono and D. Andriyansyah, "Pengaruh Printing Speed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing Dengan Polylactic Acid Filament," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 15-20, 2020.
- [23] B. Sahputra, R. Hakim and I. Saputra, "Studi Parameter Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Material ABS Sebagai Bahan Baku 3D Printer Terhadap Kehalusan Permukaan," Vols. pp. 1-10, 2018.
- [24] B. W. Karuniawan, F. Rachman and A. Setiawan, "Optimasi Parameter Mesin Fused Deposition Modelling (FDM) Terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi," *Techno Bahari*, vol. 6(2), 2019.
- [25] N. Amin, "Pengembangan Model Anatomi Jantung Pada Kasus Penyakit Jantung Struktural Dengan 3d Printing Berbasis Fused Deposition Method," *Tesis Program Studi S2 Teknik Mesin Bidang Rekayasa Peralatan Medis, UGM Yogyakarta.*, 2016.

Lampiran 1 : Riwayat Hidup

A. Biodata Pribadi



1. Nama : Indun
2. Jenis Kelamin : Perempuan
3. Tempat Tanggal Lahir : Terak 08-Januari-2001
4. Kebangsaan : Indonesia
5. Status : Mahasiswa
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jalan Air puyuh, Desa terak
8. No.Hp : 0819-9002-7158
9. Email : indunjr10@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| SD Negeri 7 Simpangkatis | Tahun 2006-2014 |
| SMP Negeri 4 Simpangkatis | Tahun 2014-2017 |
| SMK Negeri 1 Simpangkatis | Tahun 2017-2020 |

Lampiran 2: Proses Pencetakan



Lampiran 3: Proses pengambilan data Transparansi



Lampiran 4: Submit Jurnal JITT

 **JITT :**
JURNAL INOVASI TEKNOLOGI TERAPAN
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
Kawasan Industri Air Kantung Sungailiat – Bangka 33211, Telp (0717)93586, Fax (0717)93585
website : <https://jitt.polman-babel.ac.id>
e-ISSN : 3026-0213

SURAT KETERANGAN
Nomor : 082/PL.28.C/PB/2023

Dengan ini menerangkan bahwa artikel yang berjudul :

**“PENGARUH PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TIPE FDM
TERHADAP HASIL TRANSPARANSI PADA FILAMEN ABS (*ACETONITRILE BUTADIENE STYRENE*)”**

Atas nama :
Penulis : **INDUN, JUANDA, PRISTIANSYAH**
Afiliasi : **POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG**

Telah mengirimkan artikel dengan status *Submit* di Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)
Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada Tanggal 2 Desember 2023.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Sungailiat, 4 Desember 2023
Kepala P3KM,

Dr. Parulian Silalahi, M.Pd
NIP. 1964 0102 2021 211 001

Lampiran 5: Form bimbingan

FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022/2023			
JUDUL	Pengaruh Parameter Proprs. 3D Printing Tipe FDM terhadap hasil Ketahanan Permukaan Produk dan Transparansi Pada Filament ABS		
Nama Mahasiswa	MDUJ NIM: 1092013		
Nama Pembimbing	1. Pristianstah, S.S.T., M.Eng 2. Juanda, S.S.T., M.T. 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	29-04-23	Pengenalan Mesin 3D Printing dan Pembahasan	+
2	09-05-23	Pertahaman Mengenai Mesin 3DP dan Komponen nya	+
3	26-05-23	Diskusi mengenai perkembangan Makalah Bab 1 dan Bab 2	+
4	13-06-23	Perkembangan Makalah Bab 1, Bab 2, dan Bab 3, belajar software 3DP Slicer ultimate	+
5	22-06-23	Diskusi mengenai pemilihan parameter-proses mesin 3DP yang di pakai	+
6	06-07-23	Penyampaian progres uji coba mesin 3D printing dan melakukan percobaan penetapan spesimen	+
7	20-06-23	Penyampaian Progres Makalah proyek akhir	+
8	27-06-23	Pertahaman Mengenai parameter dan konten Isi dari Makalah	+
9	03-07-23	Menyampaikan Progres Makalah BAB 1- Bab 3	+
10			

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir



FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR
TAHUN AKADEMIK
2011-2012

JUDUL	Langkah Parameter Proses SP Printing Tipe EDM terhadap hasil Material Persebaran Produk dan Instalasi pada Filamen Air		
Nama Mahasiswa	MELUM NIRM: 109.2012		
Nama Pembimbing	1. Pristiyah, S.S.T., M.Pd 2. Juanda, S.S.T., M.T. 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	20-07-23	Penjampuan Progres hasil cetak dan Menentukan Area Produksi	+
2	28-07-21	Pustaka mengenai Material dan Progres	+
3	3-08-23	penjampuan beberapa kendala dalam Pengaliran mesin dan selokan	+
4	10-08-23	merupakan berbagai faktor sumber yang lebih efektif dan efisien. Berhubungan dengan	+
5	24-08-23	merupakan dan merupakan melalui faktor dan GBA (Grafik Relational Analysis)	+
6	13-09-23	penjampuan Progres Pembuatan Hasil Idong	+
7			
8			
9			
10			

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir

FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....			
JUDUL	Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM terhadap hasil ketepatan permukaan, produk dan transparansi pada Filamen ABS		
Nama Mahasiswa	INDUN NIRM: 1092013.....		
Nama Pembimbing	1. <u>Priatnangrah, S.S.T., M.Eng</u> 2. <u>Juwanda, S.S.T., M.T</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	27/10/2023	Diskusi mengenai pengambilan data S/Bimen	
2	2/11/2023	Diskusi mengenai analisis dan pengolahan data	
3	3/11/2023	Membahas mekanisme pengolahan data dan di revisi tulisan Matalah	
4	10/11/2022	Mempelajari cara mendapatkan nilai S/N ratio dan Normalisasi S/N ratio	
5	17/11/2022	Menghitung S/N ratio dan Normalisasi S/N ratio Manual dan otomatis	
6	23/11/2023	Menggunakan software Minitab untuk analisis data	
7	24/11/2023	Menghitung deviation square sequence (delta) dan GRC (gamma)	
8	28/11/2023	Membahas nilai grey Rational Grade yang didapatkan dari perhitungan Anova	
9	20/11/2023	Membahas penyelesaian Data dan Anova Uji Normalitas, Konfirmasi, Kejimbalan dan	
10	23/11/2023	Saran, diskusi mengenai Matalah dan Jurnal yang sesuai dengan panduan	

Catatan:

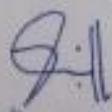
- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir

Lampiran 6: Form Monitoring

FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022 - 2023	
JUDUL		Rancangan Rangkaian Protokol dan Implementasi Pada Filament ABS	
Nama Mahasiswa		1. <u>INDUN</u> /NIRM: <u>1092013</u> 2. _____ /NIRM: _____ 3. _____ /NIRM: _____ 4. _____ /NIRM: _____ 5. _____ /NIRM: _____	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	6/2023	Sudah melakukan uji coba mesin 3D Printing dan menentukan kesesuaian parameter yang digunakan	
1		Sudah melakukan Perujian Spilimen 50%	
2	12/2021	Mencari Bab 4 (60%) Skripsi: Pengujian dan	
2		Melakukan Matriks Matriks Pengujian Data di Skripsi	

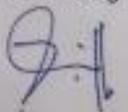
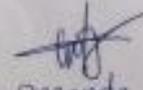
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (.....)	Pembimbing 2  (.....)	Pembimbing 3 (.....)

FORM-PPR-3-6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHAP AKADEMIK _____	
JUDUL		Pengaruh Parameter Porsi 3D Printing Tipe EBM terhadap hasil Perawatan Perawatan Produk dari Fraksi Karboni Bola Esterele ABS	
Nama Mahasiswa		1. <u>INDAH</u> /NIM: <u>10012013</u> 2. _____ /NIM: _____ 3. _____ /NIM: _____ 4. _____ /NIM: _____ 5. _____ /NIM: _____	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
3	1 / 2023 / 12	Sudah menyelesaikan bab 9 dan bab 5 sudah memformatkan Jurnal	
	9 / 12 / 2023	Jurnal JITT sudah di submit pada tanggal 2 Desember 2023	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP /BETIM (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (<u>Agung Yuda</u>)	Pembimbing 2  (<u>Granda</u>)	Pembimbing 3 (.....)

Lampiran 7: Form Revisi

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

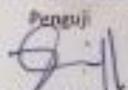
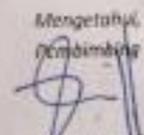
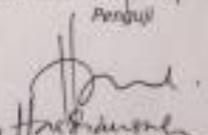


FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHLIN AKADEMIK
2023, 2024

JUDUL : PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING TIRU PPM TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PRODUK DAN TRANSPARANSI PADA FILAMENT ABS

Nama Mahasiswa :

1.	INDUN	NIM. 1092013
2.		NIM
3.		NIM
4.		NIM
5.		NIM

Bagian yang direvisi	Halaman
1. Elemen ditambah / perubahan = subbab terkait regulasi.	
2. Perbaiki typo.	
3. Ayat & kesimpulan harus diyorok	
4. Hasil GMA diperjelas.	
5. Koreksi transparansi pada bab dan jurnal	
6. Revisi tanggal di 22 Januari 2024	
Singailot, 17-01-2024 Penguji  (PALSIAH)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui (Mendampingi)  (.....)	Singailot, 24-01-2024 Penguji  (.....)

Perikaman | 45

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK

JUDUL : Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe Fdm terhadap hasil ketahanan perambatan crack dan transparansi pada Filamen ABS

Nama Mahasiswa :

1.	<u>INDUN</u>	NIM:	<u>1042013</u>
2.	_____	NIM:	_____
3.	_____	NIM:	_____
4.	_____	NIM:	_____
5.	_____	NIM:	_____

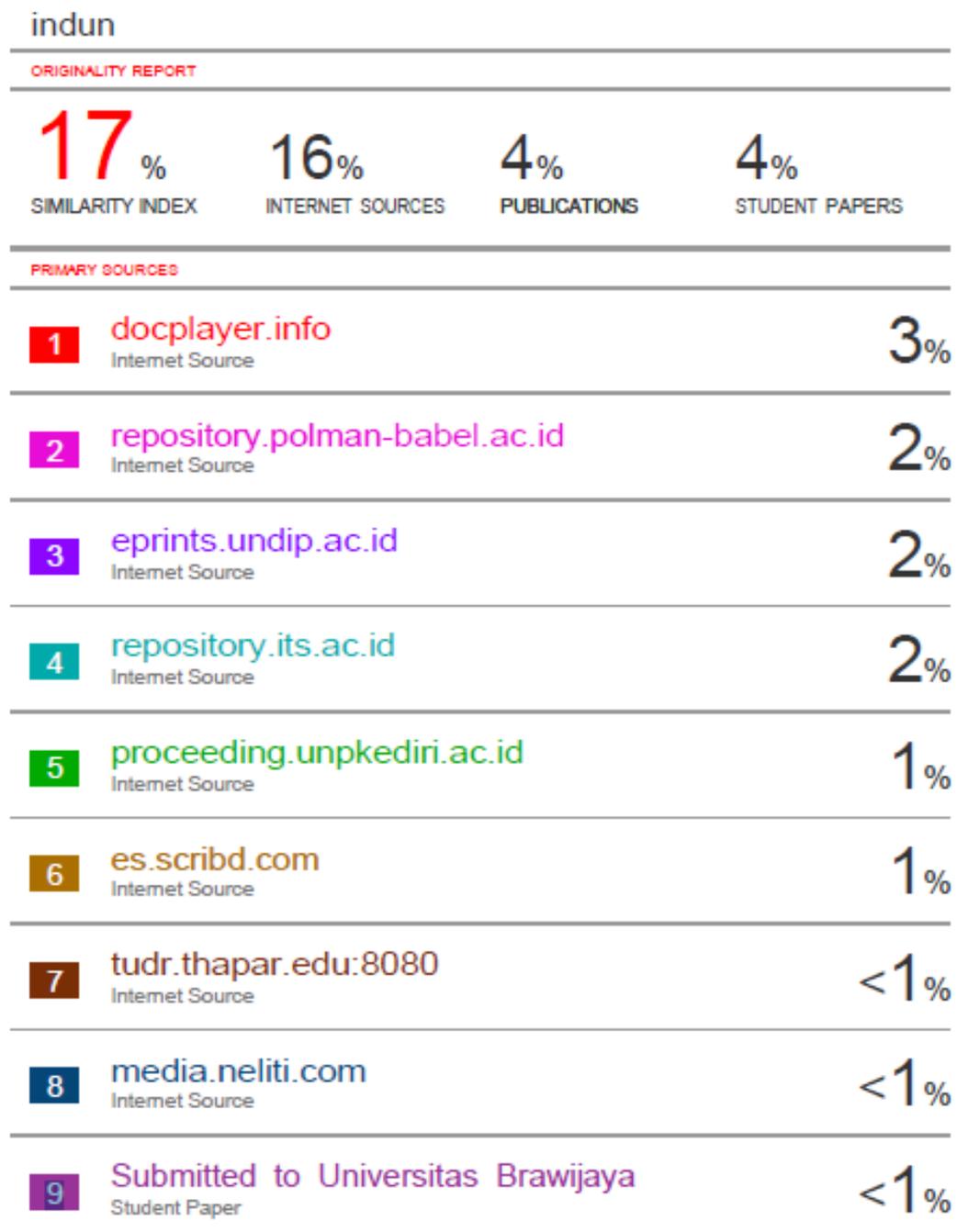
Bagian yang direvisi	Halaman
<u>Uraian masalah</u>	
<u>istilah asing</u>	
<u>daftar nama</u>	
<u>20 referensi</u>	
<u>daftar lah.</u>	

tujuan = kesm Sungailat, 15-01-2024
Penguji
[Signature]
[Signature]

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

<p>Mengetahui Pembimbing</p> <p><u>[Signature]</u></p>	<p>Sungailat, <u>24-01-2024</u> Penguji</p> <p><u>[Signature]</u> <u>[Signature]</u></p>
--	--

Lampiran 8: Plagiasi



10	123dok.com Internet Source	<1%
11	seminar.uny.ac.id Internet Source	<1%
12	teknikece.com Internet Source	<1%
13	Jee-Ray Wang. "Apply grey relational grade in optimal airplane landing gear loads calibration", 2007 International Conference on Intelligent and Advanced Systems, 11/2007 Publication	<1%
14	repository.unmul.ac.id Internet Source	<1%
15	Submitted to Udayana University Student Paper	<1%
16	jurnal.polines.ac.id Internet Source	<1%
17	art-vitrage55.ru Internet Source	<1%
18	Submitted to poltera Student Paper	<1%
19	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%
20	publikasiilmiah.ums.ac.id Internet Source	<1%

21	repository.upstegal.ac.id Internet Source	<1%
22	journal.umg.ac.id Internet Source	<1%
23	zlab.umassmed.edu Internet Source	<1%
24	Silsa Zakaria, Rizky Stighfarrinata, Amalia Ma'rifatul Maghfiroh. "OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP KUAT TARIK FILAMENT PETG MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI", JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 2023 Publication	<1%
25	journal.ppns.ac.id Internet Source	<1%
26	core.ac.uk Internet Source	<1%
27	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1%
28	Chia-Han Yang, Joseph Z. Shyu, Gwo-Hshiung Tzeng. "The selection of investment criteria for Taiwanese high-tech firms in China: Study of grey relation analysis", PICMET '08 - 2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 2008	<1%

29	Imanuriea Annisa Putri, Nyi Ayu Helfasari. "MODEL KESUKSESAN IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI PERBANKAN UNTUK MENINGKATKAN KEPUASAN DAN KEUNTUNGAN (NET BENEFIT) PERUSAHAAN (STUDI KASUS PADA PT BANK MANDIRI (PERSERO) TBK", <i>Equity: Jurnal Ekonomi</i> , 2019 Publication	<1%
30	Submitted to Universitas Jember Student Paper	<1%
31	eprints.poltektegal.ac.id Internet Source	<1%
32	eprints.utdi.ac.id Internet Source	<1%
33	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1%
34	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1%
35	studyteknikkimia.blogspot.com Internet Source	<1%
36	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1%
37	jumal.pcr.ac.id Internet Source	<1%

38	priskilasimanjuntakdotblog.wordpress.com Internet Source	<1%
39	repository.usd.ac.id Internet Source	<1%
40	Submitted to Binus University International Student Paper	<1%
41	data.hiper-conf.info Internet Source	<1%
42	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1%
43	ejournal.itn.ac.id Internet Source	<1%
44	lib.ibs.ac.id Internet Source	<1%
45	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1%
46	Dawoud, M., I. Taha, and S. J. Ebeid. "Effect of processing parameters and graphite content on the tribological behaviour of 3D printed acrylonitrile butadiene styrene : Einfluss von Prozessparametern und Graphitgehalt auf das tribologische Verhalten von 3D-Druck Acrylnitril-Butadien-Styrol Bauteilen", <i>Materialwissenschaft und Werkstofftechnik</i> , 2015. Publication	<1%

47	57	eprints.polsri.ac.id Internet Source	<1%
48	58	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1%
	59	id.123dok.com Internet Source	<1%
49	60	lib.ui.ac.id Internet Source	<1%
50	61	nora-norasyimahsaifullahofficialblog.blogspot.com Internet Source	<1%
51	62	pt.scribd.com Internet Source	<1%
52	63	repository.ittelkom-pwt.ac.id Internet Source	<1%
	64	repository.uksw.edu Internet Source	<1%
	65	www.itson.mx Internet Source	<1%
53	66	www.researchgate.net Internet Source	<1%
54	67	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1%
55		[Redacted] Internet Source	<1%
56		dryad-assetstore-merritt-west.s3.us-west-2.amazonaws.com Internet Source	<1%

68

Aris Widyo Nugroho, Dede Tohidin, Cahyo Budiyanoro. "Analisis pengaruh parameter proses terhadap kuat tarik produk 3D Printing dari bahan Polyvinyl Alcohol (PVA)", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2020

Publication

<1%

69

Bimbing Atedi, Djoko Agustono. "STANDAR KEKASARAN PERMUKAAN BIDANG PADA YOKE FLANGE MENURUT ISO R.1302 dan DIN 4768 DENGAN MEMPERHATIKAN NILAI KETIDAKPASTIANNYA", Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 2015

Publication

<1%

70

Michel Biron. "Plastics Solutions for Practical Problems", Elsevier BV, 2018

Publication

<1%

71

journal.eng.unila.ac.id

Internet Source

<1%

Lampiran 9: Data S/N Ratio Berdasarkan Software

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Nozzle Temperature (°C)	2	0.08756	0.043780	8.30	0.004
Build plate Temperature (°C)	2	0.10158	0.050789	9.63	0.002
Print Speed (mm/s)	2	0.18010	0.090051	17.08	0.000
Layer height (mm)	2	0.12680	0.063399	12.03	0.001
Flowrate(%)	2	0.01141	0.005705	1.08	0.366
Infill overlap (°C)	2	0.08348	0.041742	7.92	0.005
Error	14	0.07380	0.005272		
Total	26	0.66474			

Lampiran 10 : Hasil Perhitungan Normalisasi, Delta, Gamma Data Transparansi di MS.Excel

NO.	R1	R2	R3	SNRA1	Normal	Delta	Gamma
1	37	56	48	-33.56	0.047	0.953	0.344
2	96	98	48	-38.48	0.519	0.481	0.51
3	46	43	46	-33.07	0	1	0.333
4	136	134	136	-42.63	0.917	0.083	0.858
5	132	137	135	-42.59	0.913	0.087	0.852
6	111	117	106	-40.94	0.755	0.245	0.672
7	122	133	119	-41.93	0.85	0.15	0.769
8	131	133	129	-42.35	0.89	0.11	0.82
9	96	96	92	-39.53	0.62	0.38	0.568
10	123	124	125	-41.87	0.845	0.155	0.763
11	87	82	85	-38.56	0.527	0.473	0.514
12	121	121	123	-41.7	0.829	0.171	0.745
13	128	129	142	-42.49	0.904	0.096	0.839
14	55	49	59	-34.73	0.159	0.841	0.373
15	116	107	112	-40.96	0.758	0.242	0.674
16	110	106	112	-40.78	0.74	0.26	0.658
17	134	105	104	-41.23	0.783	0.217	0.697
18	155	163	128	-43.49	1	0	1
19	131	137	128	-42.41	0.897	0.103	0.829
20	143	141	139	-42.98	0.952	0.048	0.912
21	125	115	120	-41.59	0.818	0.182	0.733
22	72	75	76	-37.43	0.418	0.582	0.462
23	121	118	116	-41.46	0.806	0.194	0.72
24	123	128	122	-41.89	0.847	0.153	0.766
25	114	116	116	-41.24	0.784	0.216	0.699
26	108	102	98	-40.24	0.688	0.312	0.616
27	146	122	115	-42.17	0.873	0.127	0.798

$$x_i(k) = \frac{\max(\eta_i(k)) - \eta_i(k)}{\max(\eta_i(k)) - \min(\eta_i(k))}$$

max -33.0685
 min -43.4881

Hasil Perhitungan Normalisasi, Delta, Gamma Data Kekasaran di MS.Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	NO.	R1	R2	R3	SNRA1	N	Delta	Gamma						
2	1	14.278	14.346	14.721	-23.197	0.027	0.973	0.339						
3	2	13.472	14.926	14.385	-23.091	0	1	0.333						
4	3	14.453	14.605	14.735	-23.286	0.049	0.951	0.345						
5	4	19.456	19.193	19.23	-25.708	0.658	0.342	0.594						
6	5	21.547	19.719	20.491	-26.277	0.801	0.199	0.715						
7	6	19.56	18.717	19.467	-25.689	0.653	0.347	0.591						
8	7	21.628	21.542	21.672	-26.695	0.906	0.094	0.842	max	-23.091				
9	8	19.13	20.35	20.754	-26.06	0.746	0.254	0.664	min	-27.068				
10	9	20.543	20.5	20.293	-26.212	0.785	0.215	0.699						
11	10	19.202	18.497	18.634	-25.474	0.599	0.401	0.555						
12	11	16.582	18.494	18.458	-25.041	0.49	0.51	0.495						
13	12	20.233	19.833	19.298	-25.93	0.714	0.286	0.636						
14	13	22.327	22.035	22.773	-26.997	0.982	0.018	0.966						
15	14	21.24	21.474	21.239	-26.575	0.876	0.124	0.801						
16	15	22.618	22.574	22.497	-27.068	1	0	1						
17	16	22.771	21.971	21.381	-26.868	0.95	0.05	0.908						
18	17	20.494	20.471	21.051	-26.308	0.809	0.191	0.724						
19	18	21.405	20.983	20.998	-26.498	0.857	0.143	0.777						
20	19	21.772	21.668	22.032	-26.779	0.927	0.073	0.873						
21	20	21.423	21.085	21.104	-26.529	0.864	0.136	0.787						
22	21	22.604	21.29	21.216	-26.734	0.916	0.084	0.856						
23	22	16.48	15.588	17.226	-24.321	0.309	0.691	0.42						
24	23	15.324	15.205	15.603	-23.738	0.163	0.837	0.374						
25	24	20.396	20.224	20.806	-26.225	0.788	0.212	0.702						
26	25	21.017	20.859	21.928	-26.557	0.871	0.129	0.795						
27	26	22.161	21.451	21.691	-26.757	0.922	0.078	0.865						
28	27	21.755	20.639	18.907	-26.221	0.787	0.213	0.701						
29														
30														
31														

$$x_i(k) = \frac{\max(\eta_i(k)) - \eta_i(k)}{\max(\eta_i(k)) - \min(\eta_i(k))}$$

Hasil Perhitungan Metode Taguchi Menggunakan Excel dan Minitab

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
	no	Transpar	Kekasar	GRG	$\times 2$						ss	ms				3.705						
1	1	0.3333	0.3394	0.3364	0.11		SSA1	3.1277	9.7825	33.459	3.7177						0.0282	0.002				kontribusi
2	2	0.2	0.3333	0.2667	0.07		SSA2	3.5917	12.9		0.0124	0.0062										
3	3	0.1429	0.3446	0.2437	0.06		SSA3	3.2627	10.776													
4	4	0.1111	0.5939	0.3525	0.12																	
5	5	0.0909	0.7155	0.4032	0.16		SSB1	3.0489	9.2958	33.528	3.7254											
6	6	0.0769	0.5906	0.3338	0.11			3.305	10.923		0.0201	0.01005										
7	7	0.0667	0.8419	0.4543	0.21			3.6482	13.309													
8	8	0.0588	0.6635	0.3612	0.13																	
9	9	0.0526	0.6991	0.3759	0.14																	
10	10	0.0476	0.5551	0.3014	0.09		SSC1	2.8745	8.2628	33.918	3.7687											
11	11	0.0435	0.4952	0.2693	0.07			3.2074	10.287		0.0634	0.03171				3.3439						
12	12	0.04	0.636	0.338	0.11			3.9202	15.368													
13	13	0.037	0.9658	0.5014	0.25																	
14	14	0.0345	0.8013	0.4179	0.17		SSD1	3.4914	12.19	33.666	3.7407											
15	15	0.0323	1	0.5161	0.27			3.6305	13.181		0.0354	0.0177										
16	16	0.0303	0.9084	0.4694	0.22			2.8802	8.2956													
17	17	0.0286	0.7236	0.3761	0.14																	
18	18	0.027	0.7772	0.4021	0.16																	
19	19	0.0256	0.8706	0.4481	0.2		SSE1	3.4922	12.195	33.412	3.7124	0										
20	20	0.0244	0.7866	0.4055	0.16			3.1393	9.8552		0.0071	0.00357										
21	21	0.0233	0.8563	0.4398	0.19			3.3706	11.361													
22	22	0.0222	0.4199	0.2211	0.05																	
23	23	0.0213	0.3739	0.1976	0.04		SSF1	3.4443	11.863	33.434	3.7149											
24	24	0.0204	0.7023	0.3614	0.13			3.4643	12.001		0.0097	0.00483										
25	25	0.0196	0.7955	0.4076	0.17			3.0935	9.5697													
26	26	0.0189	0.8648	0.4418	0.2																	
27	27	0.0182	0.7014	0.3598	0.13																	
				10.002	3.88																	
				ssTotal	0.1763																	
				3.7053																		

