

**PENINGKATAN AKURASI DIMENSI DAN KUAT BENTUR PADA
FILAMEN POLYPROPYLENE MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI
GREY RELATIONAL ANALYSIS**

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh :

SAWITRI WULANDARI NIM : 1042054

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2023/2024

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

**PENINGKATAN AKURASI DIMENSI DAN KUAT BENTUR
PADA *FILAMEN POLYPROPYLENE* MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI GREY RELATIONAL ANALYSIS**

Oleh:

Sawitri Wulandari/NIM 102054

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

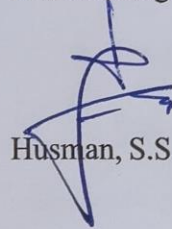
Menyetujui,

Pembimbing 1



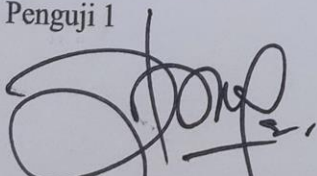
Pristiansyah, S.S.T., M. Eng.

Pembimbing 2



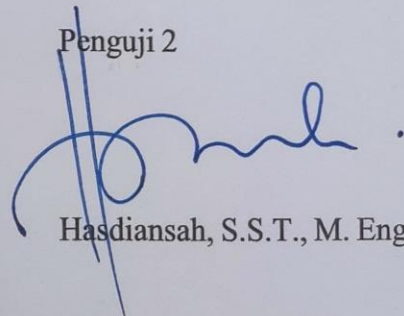
Husman, S.S.T., M.T.

Penguji 1



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

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Sawitri Wulandari NIM : 1042054

Dengan Judul : Peningkatan Akurasi Dimensi Dan Kuat Bentur Pada *Filamen Polypropylene* Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis

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

Sungailiat, 28 Desember 2023

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan



1. Sawitri Wulandari

.....

ABSTRAK

Dalam dunia teknologi manufaktur terdapat terobosan terbaru yang dinamakan 3D Printing yang berbasis layer manufacturing. Dalam pembuatan produk digunakan metode penambahan material secara berlapis- lapis biasanya disebut dengan additive manufacturing. Prinsip yang digunakan dalam teknologi proses manufaktur ini yaitu pemodelan berlapis, dengan mengubah data 3D langsung dari desain berbantuan computer (CAD) menjadi model fisik. Banyak teknologi manufaktur telah dikembangkan untuk membuat prototype sesuai kebutuhan contohnya FDM (Fused Deposition Modeling). Pengaturan faktor dan level eksperimen menjadi Langkah penting dalam memaksimalkan kualitas produk level penelitian mengacu pada bahan transparan yang terbentuk dari filamen Polypropylene. Faktor yang diragamkan yaitu Nozzle Temperature, Bed Temperature, Print Speed, dan Layer Height. Rancangan penelitian ini menggunakan metode taguchi. Penelitian ini menggunakan matriks orthogonal L27 dengan 3 level. Berdasarkan pengujian akurasi dimensi dari empat faktor dengan tiga level disetiap faktornya, pengaturan faktor kontrol yang tepat sehingga menghasilkan faktor kontrol yang optimal terhadap akurasi dimensi untuk tinggi adalah Bed Temperature (94°C), Nozzle Temperature (215°C), Print Speed (30mm/s), dan Layer Height (0,3mm) sedangkan untuk faktor kontrol yang optimal terhadap akurasi dimensi untuk diameter adalah Bed Temperature (97°C), Print Speed (35mm/s), Layer Height (0,3mm), dan Nozzle Temperature (215°C). Hasil penelitian faktor kontrol yang paling optimal terhadap kuat bentur adalah Print Speed (30m/s), Nozzle Temperature (220°C), Layer Height (0,2mm), dan Bed Temperature (97°C). Pada pengujian akurasi dimensi menggunakan filamen Polypropylene mengalami peningkatan dari pengujian sebelumnya nilai tertinggi diameter terdapat pada eksperimen no.4 dengan nilai 19,99 mm, no. 6 dan 10 dengan nilai 20,01 mm. sedangkan untuk nilai tertinggi tinggi yaitu terdapat pada eksperimen no. 5 dan 27 dengan nilai 10,00 mm. Pada pengujian kuat bentur juga mengalami peningkatan dari penelitian sebelumnya nilai rata-rata tertinggi terdapat pada eksperimen no. 1, 4, 9, dan 20 dengai nilai 0,031850J/mm.

Kata kunci: 3D Printing; Akurasi Dimensi; Filamen Propylene; Taguchi GRA

ABSTRACT

In the world of manufacturing technology there is the latest breakthrough called 3D Printing which is based on layer manufacturing. In making products, a method of adding material in layers is used, usually called additive manufacturing. The principle used in this manufacturing process technology is layered modeling, by converting 3D data directly from computer-aided design (CAD) into a physical model. Many manufacturing technologies have been developed to make prototypes according to needs, for example FDM (Fused Deposition Modeling). Setting factors and experimental levels is an important step in maximizing the quality of research level products referring to transparent materials formed from polypropylene filaments. The factors that vary are Nozzle Temperature, Bed Temperature, Print Speed, and Layer Height. This research design uses the Taguchi method. This research uses an L27 orthogonal matrix with 3 levels. Based on dimensional accuracy testing of four factors with three levels for each factor, the appropriate control factor settings to produce optimal control factors for dimensional accuracy for height are Bed Temperature (94°C), Nozzle Temperature (215°C), Print Speed (30mm /s), and Layer Height (0.3mm) while the optimal control factors for dimensional accuracy for diameter are Bed Temperature (97°C), Print Speed (35mm/s), Layer Height (0.3mm), and Nozzle Temperature (215°C). The research results of the most optimal control factors for impact strength are Print Speed (30m/s), Nozzle Temperature (220°C), Layer Height (0.2mm), and Bed Temperature (97°C). In the dimensional accuracy test using Polypropylene filament, there was an increase from the previous test, the highest diameter value was found in experiment no. 4 with a value of 19,99 mm, no. 6 and 10 with a value of 20,01 mm. while the highest value was found in experiment no. 5 and 27 with a value of 10,00 mm. In the impact strength test, there was also an increase compared to previous research. The highest average value was found in experiment no. 4, 9, and 20 with a value of 0,031850J/mm.

Keywords: 3D Printing; Dimensional Accuracy; Propylene Filament Taguchi GRA

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Peningkatan Akurasi Dimensi Dan Kuat Bentur Pada *Filamen Polypropylene* Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis”. Salah satu kriteria untuk memperoleh gelar Diploma IV Teknik Mesin di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan adanya tugas akhir ini. Selain itu, penulis memperoleh data yang mendukung penulisan ini dari makalah tugas akhir mahasiswa Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung tahun-tahun sebelumnya. Saat penulis menulis tugas terakhir ini, penulis sadar bahwa tidak dapat menyelesaikannya sendiri tanpa bantuan dari sejumlah sumber. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada: Kedua Orang Tua, dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama penulis melaksanakan tugas akhir ini.

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama penulis melaksanakan tugas akhir ini.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan pembimbing utama penulis yang telah menentukan, menyetujui dan memberikan banyak pemikiran konseptual sehubungan dengan pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Bapak Husman, S.S.T., M.T, selaku pembimbing kedua yang telah memberikan masukan-masukan pada proyek akhir ini.
5. Bapak Boy Rolastin, S.Tr., M.T, selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
6. Seluruh tenaga pendidik dan kependidikan Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
7. Rekan-rekan mahasiswa Politeknik Manufaktur Bangka Belitung yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini.
8. Seluruh pihak yang ikut terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa karena keterbatasan pengalaman dan keahlian mereka, mereka telah melakukan beberapa kesalahan dalam pembuatan laporan ini. Terakhir, penulis berharap bagi penelitian selanjutnya di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung agar proyek akhir ini bermanfaat. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan karena terbatasnya pengetahuan dan kemampuan penulis. Akhir kata penulis berharap semoga proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi peneliti di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada masa yang akan datang.

Sungailiat, 28 Desember 2023



Sawitri Wulandari

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT..... | ii |
| ABSTRAK..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan..... | 3 |
| BAB II DASAR TEORI..... | 4 |
| 2.1 3D Printer | 4 |
| 2.1.1 FDM..... | 4 |
| 2.1.2 Parameter 3D Printer..... | 6 |
| 2.2 Filamen Polypropylene (PP) | 6 |
| 2.3 Metode Taguchi..... | 7 |
| 2.3.1 S/N Ratio (Signal Noise to Ratio)..... | 9 |
| 2.3.2 Grey Relational Analysis | 11 |
| 2.3.3 Langkah Pendekatan GRA | 11 |
| 2.4 ANOVA (Analysis of Variance) | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 2.5 Pengujian..... | 18 |
| 2.5.1 Akurasi Dimensi | 18 |
| 2.5.2 Kuat Bentur..... | 18 |
| 2.6 Penelitian Sebelumnya..... | 19 |
| 2.7 Uji Konfirmasi..... | 21 |
| 2.8 Uji Homogenitas..... | 21 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 23 |
| 3.2 Menyiapkan Peralatan dan Perlengkapan | 24 |
| 3.2.1 Perlengkapan Penelitian | 24 |
| 3.2.2 Peralatan Penelitian..... | 24 |
| 3.3 Studi Literatur | 28 |
| 3.4 Pemilihan Faktor dan Level Eksperimen | 28 |
| 3.5 Pengambilan Data..... | 29 |
| 3.6 Pengolahan Data..... | 30 |
| BAB IV PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1 Pengambilan Data Eksperimen..... | 31 |
| 4.2 Pengolahan Data Eksperimen..... | 38 |
| 4.2.1 Metode Taguchi | 38 |
| 4.2.1.1 Signal Noise to Ratio (SN Ratio)..... | 38 |
| 4.2.1.2 Normalisasi Signal Noise to Ratio (SN Ratio) | 41 |
| 4.2.1.3 Perhitungan Nilai Delta dan Nilai Gamma (Grey Relational Coefficient)..... | 45 |
| 4.2.1.4 Perhitungan Nilai Grey Taguchi | 53 |
| 4.2.2 ANOVA (Analysis of Variance)..... | 55 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 62 |
| 5.1 Kesimpulan | 62 |

| | |
|---------------------|----|
| 5.2 Saran | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 63 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 PP Printer Setting..... | 6 |
| Tabel 2.2 ANOVA 3 Level 4 Faktor | 16 |
| Tabel 3.1 Parameter Faktor dan Level Eksperimen | 28 |
| Tabel 3.2 Desain Parameter Faktor di Minitab | 28 |
| Tabel 4.1 Parameter Faktor Kontrol..... | 31 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Akurasi Dimensi Tinggi..... | 35 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Akurasi Dimensi Diameter..... | 36 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Uji Kuat Bentur | 37 |
| Tabel 4.5 Nilai SN Ratio Akurasi Dimensi Tinggi..... | 38 |
| Tabel 4.6 Nilai SN Ratio Akurasi Dimensi Diameter..... | 39 |
| Tabel 4.7 Nilai SN Ratio Kuat Bentur | 40 |
| Tabel 4.8 Nilai Normalisasi SN Ratio Akurasi Dimensi Tinggi | 42 |
| Tabel 4.9 Nilai Normalisasi SN Ratio Akurasi Dimensi Diameter | 43 |
| Tabel 4.10 Nilai Normalisasi SN Ratio Kuat Bentur | 44 |
| Tabel 4.11 Nilai Delta Akurasi Dimensi Tinggi..... | 46 |
| Tabel 4.12 Nilai Delta Akurasi Dimensi Diameter..... | 48 |
| Tabel 4.13 Nilai Gamma Akurasi Dimensi Tinggi..... | 49 |
| Tabel 4.14 Nilai Gamma Akurasi Dimensi Diameter..... | 50 |
| Tabel 4.15 Nilai Delta Kuat Bentur..... | 51 |
| Tabel 4.16 Nilai Gamma Kuat Bentur..... | 52 |
| Tabel 4.17 Nilai Grey Relational Grade..... | 53 |
| Tabel 4.18 ANOVA | 59 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 Diagram Alir | 23 |
| Gambar 3.2 Filamen Polypropylene | 24 |
| Gambar 3.3 Mesin 3D Printing Anet ET-4 | 24 |
| Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital | 25 |
| Gambar 3.5 Alat Uji Impak Metode Charpy..... | 25 |
| Gambar 3.6 Laptop Lenovo X270 Touchscreen Intel Core i5 Gen 6..... | 26 |
| Gambar 3.7 Software Cura 5.1.3..... | 26 |
| Gambar 3.8 Drawing Spesimen Akurasi Dimensi | 27 |
| Gambar 3.9 Drawing Spesimen Kuat Bentur..... | 27 |
| Gambar 3.10 Software Minitab 2021 | 27 |
| Gambar 3.11 Spesimen Akurasi Dimensi..... | 29 |
| Gambar 3.12 Spesimen Kuat Bentur | 29 |
| Gambar 4.1 Proses Pencetakan Spesimen Akurasi Dimensi..... | 32 |
| Gambar 4.2 Proses Pencetakan Kuat Bentur | 32 |
| Gambar 4.3 Hasil Pencetakan Akurasi Dimensi | 33 |
| Gambar 4.4 Hasil Pencetakan Kuat Bentur | 33 |
| Gambar 4.5 Pengukuran Tinggi Spesimen Akurasi Dimensi | 34 |
| Gambar 4.6 Pengukuran Diameter Spesimen Akurasi Dimensi | 34 |
| Gambar 4.7 Uji Kuat Bentur..... | 34 |
| Gambar 4.8 Grafik Uji Normalitas..... | 55 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat

HidupLampiran 2 Grafik S/N

Ratio Lampiran 3 Uji

Homogenit





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dunia teknologi terdapat terobosan terbaru yang sangat populer diseluruh belahan dunia yang dinamakan *3D Printing*. Terobosan ini sangat berpengaruh baik dalam bidang akademisi maupun industri. Pada dunia industri terobosan terbaru ini sangat menguntungkan dalam segi ekonominya. Produksi *prototype* bisa dilakukan dengan cepat karena pada *rapid prototyping* komponen mekanik menggunakan teknik-teknik dan volume produksi yang rendah. (Apriansyah, Amber, & Arifin, 2021)

Metode proses *rapid prototype* digunakan untuk membuat bagian suatu produk, rakitan, atau model berskala. Dalam pembuatan produk digunakan metode penambahan material secara berlapis- lapis biasanya disebut dengan *additive manufacturing*. Industri menggunakan sejumlah teknologi manufaktur aditif, seperti *inkjet modeling (IJM)*, *direct metal deposition (DMD)*, *stereo-lithography (SLA)*, *fused deposition modeling (FDM)*, dan *selective laser sintering (SLS)*. (Mohamed, Masood, & Bhowmik, 2015)

Teknologi 3D Printing yang sering digunakan yaitu *Fused Deposition Modelling (FDM)*. Cara kerja *Fused Deposition Manufacturing* yaitu produk dibuat lapis per lapis melalui nozel yang panas pada titik leleh tertentu dengan cara ekstruksi. (Bowo, Suzen, & Oktriadi, 2021) Jika barang cetakan memiliki dimensi yang tepat dan bentuk yang sempurna, barang tersebut menunjukkan sifat geometris yang optimal. (Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto, Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Eflex, 2019)

Penelitian optimasi mengenai akurasi dimensi, pengembangan penelitian sebelumnya, dan sifat mekanik material PLA dengan ukuran spesimen hasil kuat bentur material plastik menunjukkan bahwa akurasi dimensi sangat dipengaruhi oleh temperatur ekstruksi dan ketebalan lapisan. Sebelum produksi bahan harus diuji terlebih dahulu, dengan cara ini kita dapat melihat bahwa struktur tersebut aman untuk digunakan manusia. Kekuatan material terhadap retakan merupakan masalah yang juga harus diperhatikan pada struktur plastik. Jika terdapat retakan pada bahan plastik

dengan daya tahan rendah, maka retakan tersebut akan menyebar dan menyebabkan kerusakan dengan waktu yang singkat. (Irfany, Suzen, & Ariyanto, 2021)

Pada penelitian mengenai akurasi dimensi yang dilakukan oleh (Lestari, Subkhan, & Pristiansyah, 2022) pengaruh parameter dengan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) menggunakan metode taguchi L₂₇ OA yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu *Nozzel Temperature* (235°C), *Bed Temperature* (100°C), *Infill Density* (25%), *Infil Overlap* (10%), *Layer Thickness* (30mm), *Printing Speed* (940mm/s), *Infill Speed* (40mm/s), dan *Flowrate* (90%). Dari penelitian (Agustini, Anggry, & Hasdiansah, 2022) menunjukkan bahwa akurasi dimensi yang terbesar dengan nilai 9,97 mm dan terkecil dengan nilai 9,71 mm. Faktor yang mempengaruhi proses *3D printing FDM* secara berturut-turut yaitu ketebalan lapisan, tinggi *temperature*, suhu dudukan mesin, laju pencairan material, *infill speed*, *overlap*, ketebalan dinding, kecepatan pergerakan mesin, dan kerapatan pada bagian inti benda.

Menurut penelitian dari (Rivaldi, Yunus, & Pristiansyah, 2023) nilai kuat bentur tertinggi menunjukkan nilai parameter yang optimum dan parameter yang berpengaruh secara berturut-turut terhadap uji impak yaitu *printing speed* (40mm/s), *infill layer thickness* (0,2mm), *wallthickness* (2,0mm), *print temperature* (250°C), *bed temperature* (250°C), *infill overlap* (30mm), *raft extra margin* (7,5mm), *wall printing speed* (22,5mm/s). Didapat bahwa nilai rata-rata hasil uji impak yang tertinggi berada pada eksperimen 2 nomor dengan nilai 0,031 Joule dan untuk nilai uji impak terendah berada pada eksperimen nomor 7 dengan nilai 0,026 Joule.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan maka pada penelitian ini melakukan variasi filamen dan parameter yaitu dengan menggunakan filamen *Polypropylene*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah proyek akhir adalah:

1. Bagaimana meningkatkan akurasi dimensi dan kuat bentur filamen *Polypropylene* berdasarkan parameter yang diuji?
2. Bagaimana pengaruh parameter terhadap hasil pengujian akurasi dimensi dan kuat bentur?

1.3 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada tugas akhir ini agar pembahasan pokok bahasan ini dapat lebih tepat sasaran dan tetap sesuai dengan rumusan masalah:

1. *Software* Ultimaker Cura 5.3.1 dan mesin Anet ET4 digunakan dalam prosedur pembuatan spesimen.
2. Teknik Taguchi diterapkan dalam desain eksperimen.
3. Memproses dan menganalisis data dengan Excel.
4. Analisis dan pemrosesan data dengan program statistik Minitab.

1.4 Tujuan

1. Menemukan parameter yang paling ideal untuk meningkatkan keakuratan dimensi dan kuat bentur pada filamen *Polypropylene*.
2. Menentukan parameter yang paling berpengaruh terhadap keakuratan dimensi dan kuat bentur pada filamen *Polypropylene*.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 3D Printer

Dalam dunia manufaktur 3D *Printing* sangat berpotensi yaitu untuk pembuatan gelas, cangkir, mangkok, dan benda yang memiliki nilai seni. (Hasdiansah, Masdani, Feriadi, & Pristiansyah, 2020) Teknologi pencetakan 3D berasal dari teknologi fabrikasi lapis demi lapis dari struktur tiga dimensi (3D) langsung dari gambar desain berbantuan komputer (CAD). Pencetakan 3D dapat membuat objek fisik dari *representasi geometris* dengan penambahan material berturut-turut. Proses 3D ini telah banyak mengalami ekspansi yang fenomenal dalam beberapa tahun terakhir. Pertama kali dikomersialkan dari proses pencetakan 3D pada tahun 1980 oleh Charles Hull. (Shahrubudin, Lee, & Ramlan, 2019)

Dengan teknologi 3D *Printing* perusahaan tidak perlu membuang bahan baku produksi untuk membuat sebuah *prototype*. (Ramadhan, Darsin, Akbar, & Yudistiro, 2022) Hal ini yang membuat 3D printing, terutama teknik FDM, memiliki potensi besar di dunia manufaktur. (Jeffrey, Widya, & Soeharsono, 2017)

2.1.1 FDM

Fused Deposition Modeling adalah salah satu proses *Additive Manufacturing* di mana filamen material diekstrusi lapis demi lapis pada meja pemanas datar untuk membentuk bagian 3D. Setiap proses FDM dimulai dengan pembuatan produk yang diinginkan dalam bentuk model 3D menggunakan *software* CAD, yang kemudian diekspor ke *slicing software*. Perangkat lunak pengiris digambarkan sebagai file CAD 3D (misalnya *file* STL) untuk tujuan pencetakan 3D. (Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto, Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Eflex, 2019) Keuntungan dari metode pencetakan 3D ini adalah bahan yang tersedia, penggantian filamen yang sederhana, perawatan yang murah, dan pengoperasian tanpa pengawasan. (Galatuncci, I., Kacani, & F.Lavecchia, 2015) Selain memiliki kelebihan teknik ini juga memiliki kekurangan yaitu menggunakan proses pencetakan per lapis sehingga hasil permukaan terlihat bergaris

menunjukkan batas antar lapis. (Pratama, hasdiansah, & Pristiansyah, 2021)
Ketebalan, tinggi, atau jarak antar lapisan, (tinggi lapisan), Kekasaran plastik cair disebabkan oleh suhu dan kecepatan pencetakan pergerakan printer semuanya mempengaruhi garis atau batas dalam suatu lapisan. (Setiawan, Karuniawan, & Arumsari, 2018)



2.1.2 Parameter 3D Printer

Dalam pencetakan 3D, parameter berfungsi sebagai landasan untuk melakukan proses pencetakan. *Slicing software* digunakan untuk memasukkan pengaturan pencetakan 3D, yang kemudian dapat menghasilkan program dalam format kode G yang dapat dibaca oleh printer 3D sebagai perintah. Beberapa contoh parameter yang terdapat pada pengaturan mesin cetak 3D adalah sebagai berikut:

1. *Layer Thickness* adalah ketebalan lapisan pada saat pencetakan.
2. *Nozzle Temperature* adalah tinggi temperature pada saat mengekstruksi filamen.
3. *Print Speed* adalah kecepatan gerakan mesin pada saat pencetakan.
4. *Bed Temperature* adalah suhu dudukan mesin.
5. *Infill Overlap* adalah struktur support yang digunakan untuk pola pengisian didalam objek agar bisa dicetak di 3D Printing.
6. *Fan Speed* adalah kecepatan kipas pada saat pencetakan.
7. *Layer Height* adalah ketinggian lapisan pada saat pencetakan.

2.2 Filamen Polypropylene (PP)

Filamen pencetakan 3D PP (*Polypropylene*) adalah salah satu bahan yang paling populer untuk mencetak engsel hidup karena ketahanan lelah dan ketangguhannya yang sangat baik. *Polypropylene* juga memiliki ketahanan kimia yang sangat baik terhadap berbagai macam asam, basa, dan pelarut pada suhu kamar sehingga banyak digunakan dalam industri, medis dan otomotif. (Mohamed, Masood, & Bhowmik, 2015)

2.1 Tabel PP Printer Setting (Kreafil, n.d.)

| <i>Print Setting</i> | <i>Value</i> |
|----------------------------|--------------|
| <i>Bed Temperature</i> | 85-100°C |
| <i>Nozzle Temperature</i> | 205-220°C |
| <i>Print Speed</i> | 30-90 Mm/S |
| <i>Retraction Distance</i> | 6,5 Mm |
| <i>Infil Density</i> | 20%-100% |

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taghuci (1940). Metode Taguchi dibagi menjadi 2 komponen yaitu *Orthogonal Array* (OA) dan *Signal to Noise Ratio* (SN Ratio). (Rahmadani, Sunaryo, & Akbar, 2012) *Orthogoanal Array* merupakan matriks yang terdiri dari kolom dan baris. Setiap kolom menampilkan faktor perubahan dari suatu percobaan ke percobaan lainnya, sedangkan baris menampilkan tingkatan dari faktor percobaan yang dilakukan. (Wulandari, Wuryandari, & Ispriyanti, 2016) Sedangkan perhitungan S/N Ratio digunakan untuk membandingkan parameter yang paling berpengaruh pada setiap respon. (Gaussian, 2016) Metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk melakukan optimasi dengan satu respon saja. Untuk melakukan optimasi multirespon secara bersamaan maka metode taguchi harus dikombinasikan dengan metode lain contohnya *grey relational analysis* (GRA). Dalam teori grey sistem, untuk menganalisis hubungan antar variabel menggunakan lebih sedikit data dan banyak faktor bisa menggunakan *grey relational analysis*. (Purwati, Bachtiar, & Rahmi, 2017)

Faktor respon ideal dipublikasikan menggunakan pendekatan Taguchi. Selain itu, struktur terhubung metode Taguchi menjadi salah satu kelemahannya jika dibandingkan dengan pendekatan lainnya. Sangat penting untuk merencanakan eksperimen yang lebih hati-hati dan tepat sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengatasi kekurangan ini.

Matriks ortogonal adalah jenis matriks unik yang digunakan dalam teknik Taguchi. Tujuan dari matriks standar ini adalah untuk mengidentifikasi pengujian minimum yang diperlukan untuk menghasilkan jumlah data terbesar pada semua variabel yang mempengaruhi faktor kontrol. (Saputra, Suzen, & Pristiansyah, 2022)

Secara umum, desain eksperimental Taguchi terdiri dari banyak tahapan utama yang mencakup semua metodologi eksperimental. Ada tiga tahap utama:

1. Fase Perencanaan

Bagian terpenting dari eksperimen adalah langkah perencanaan, di mana peneliti diharuskan meninjau uji coba yang telah diselesaikan sebelumnya. Ada beberapa tahapan yang disarankan untuk melakukan eksperimen terorganisir khususnya:

a. Menyatakan Permasalahan Atau Perumusan Permasalahan

Berikan penjelasan rinci mengenai permasalahan atau bagaimana isu

tersebut dirumuskan. Tetapkan masalah yang perlu dipecahkan dan upayakan untuk meningkatkan standar.

b. Tujuan Penelitian

Untuk menggambarkan tingkat kinerja dan kualitas eksperimen.

c. Menentukan Metode

Menetapkan peralatan yang diperlukan untuk pengukuran serta teknik pengukuran variabel kontrol yang diamati.

d. Identifikasi Variabel Dependen

Nilai variabel respon bergantung pada variabel independen. Variabel respon yang akan dipelajari harus dipilih dan ditentukan secara tepat ketika merancang suatu percobaan.

e. Identifikasi Variabel Independen

Variabel yang tidak bergantung pada variabel lain untuk berubah disebut variabel bebas. Variabel-variabel yang akan diteliti pada tahap ini mempengaruhi respon yang diberikan. Tidak semua elemen yang diasumsikan mempengaruhi jawaban harus diperiksa dalam satu eksperimen. Hal ini memungkinkan pengujian berhasil dan cepat.

f. Pemisah Faktor Kontrol Dan Faktor Pengganggu

Unsur-unsur yang diselidiki dapat dikategorikan sebagai mempengaruhi atau menstabilkan. Kedua komponen dalam percobaan Taguchi ini perlu dipahami dengan cermat karena dampaknya berbeda-beda. Faktor pengganggu adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikontrol, sedangkan faktor kontrol memiliki nilai yang berada di bawah kendali.

g. Penentuan Jumlah Dan Nilai Level Faktor

Jumlah level yang dipilih akan berdampak pada biaya eksperimen dan keakuratan temuan. Keakuratan hasil eksperimen meningkat seiring dengan jumlah tingkat studi, namun pengeluaran terkait juga meningkat.

h. Perhitungan *Degrees of Freedom*

Degrees of freedom mengacu pada ukuran eksperimen dan kuantitas data yang dihasilkannya. Rumus berikut dapat digunakan untuk memperoleh faktor dan level *Degrees of Freedom* :

$$V_{ff} = \text{Jumlah level faktor} - 1 \dots\dots\dots (1)$$

i. Pemilihan Matrik Orthogonal

Jumlah tingkat faktor dan jumlah derajat kebebasan faktor menentukan matriks ortogonal mana yang cocok. Sejumlah kecil eksperimen diperlukan untuk menguji banyak faktor ketika menggunakan matriks ortogonal.

2. Fase Pelaksanaan Eksperimen

Pada fase ini, pelaksanaan eksperimen diacak dan jumlah pengulangan ditentukan.

a. Jumlah tiruan

Tiruan adalah proses mengulangi suatu percobaan pada kondisi yang sama dengan tujuan meningkatkan akurasi, menurunkan tingkat kesalahan, dan mendapatkan perkiraan perhitungan kesalahan.

Pada penelitian ini menggunakan OA L27(3^{13}) L₂₇ : Rancangan bujur sangkar Latin

27 : Menunjukkan banyak eksperimen yang diperlukan saat menggunakan orthogonal array.

13 : Menyatakan banyaknya faktor yang dapat diamati dalam *Orthogonal Array* (kolom)

3: Menyatakan banyaknya level faktor

b. Randomisasi

Selalu ada tambahan variabel yang tidak menguntungkan atau tidak dapat diprediksi dalam uji coba. Pengacakan berupaya meningkatkan dampak dari elemen yang tidak terkendali dan menawarkan kesempatan yang sama untuk menerima perlakuan sehingga setiap perlakuan seragam.

3. Fase Analisa

Data dikumpulkan dan diproses untuk menyelesaikan langkah analisis ini. Pada tahap ini data dikumpulkan, diolah, dihitung, dan disajikan dalam format tampilan sesuai dengan desain yang dipilih.

2.3.1 S/N Ratio (*Signal to Noise Ratio*)

Signal to Noise Ratio (S/N Ratio) yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dan nilai ideal faktor-faktor pada karakteristik kualitas yang terlihat pada hasil eksperimen

merupakan salah satu langkah dalam penelitian ini. Karakteristik kualitas S/N Ratio adalah sebagai berikut:

a. *Smaller is Better*

Semakin kecil semakin baik kualitasnya dengan atas nilai nol dan non-negatif dimana mendekati nol adalah nilai yang diinginkan.

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

n = jumlah tiruan
y = data eksperimen

b. *Nominal is best*

Nilai tertentu yang merupakan karakteristik kualitas dengan nilai dan atas bukan nol dimana nilai yang mendekati nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y^i - \bar{Y}^2)}{n} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :
n = jumlah tiruan
y = data eksperimen

c. *Large is better*

Semakin besar semakin baik kualitas dengan rentang nilai yang tak terbatas dan nonnegatif, dimana semakin tinggi nilai yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y^2)}{n} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :
n = jumlah tiruan
y = data eksperimen

Pendekatan *Grey Relational Analysis* digunakan untuk mencapai optimalisasi simultan antara dua respon karena hasil perhitungan ini hanya untuk masing-masing respon (*single respon*). Kombinasi terbaik yang mungkin akan dievaluasi, dan nilai *relasional grade* tertinggi akan didapatkan.

2.3.2 Grey Relational Analysis

Teori Grey didasarkan pada penggabungan informasi yang jelas dan tidak jelas, diadopsi oleh teori GRA. Misalnya, hitam merupakan simbol yang mewakili informasi ambigu yang dapat diartikan sebagai informasi yang tidak lengkap. Sebaliknya, putih mewakili informasi yang sebenarnya jelas. Namun, informasi pada akhirnya mungkin berada di wilayah abu-abu, suatu keadaan di tengah-tengah antara hitam dan putih, dengan beberapa detail yang jelas, ambigu, atau tidak sempurna. (Mufarrih & Nadliroh, 2019)

2.3.3 Langkah Pendekatan GRA

Berikut tahapan dalam melakukan analisis menggunakan GRA:

1. Menentukan dan Menghitung SN Ratio X_i (J)

Dimana X_i (j) = nilai eksperimen ke-i pada respon ke-j

a. Smaller is Better

Semakin kecil semakin baik kualitasnya dengan atas nilai nol dan non-negatif dimana mendekati nol adalah nilai yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

n = jumlah tiruan

y = data eksperimen

b. Nominal is Best

Adalah nilai tertentu yang mewakili karakteristik kualitas yang mempunyai nilai lebih besar dari nol ke atas dengan nilai ideal adalah nilai yang paling mendekati nilai yang telah ditetapkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y^1 - y^2}{n} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

n = jumlah tiruan

y = data eksperimen

c. *Larger is Better*

Dengan rentang nilai yang tidak terbatas dan tidak negatif, semakin besar nilai yang diinginkan maka semakin baik kualitasnya.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

n = jumlah tiruan

y = data eksperimen

2. Melakukan Normalisasi SN Ratio Dengan Menggunakan Persamaan Sebagai

Berikut:

Smaller Is Better

$$X^*_{i(j)} = \frac{\min xi(j) - xi(j)}{\min xi(j) - \max xi(j)} \dots \dots \dots (8)$$

Larger Is Better

$$X^*_{i(j)} = \frac{xi(j) - \min xi(j)}{\max xi(j) - \min xi(j)} \dots \dots \dots (9)$$

Nominal Is Best

$$X^*_{i(j)} = \frac{xi(j) - OD}{\max[\max xi(j) - OD ; OD - \min xi(j)]} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

$X^*_{i(j)}$ = nilai normalisasi SN Ratio eksperimen ke-i pada respon ke-j

$X_i(j)$ = nilai SN Ratio eksperimen ke-i pada respon ke-j

i = banyak percobaan

j = banyak respon

OD = target nilai

3. Menghitung Jarak $\Delta_{oi}(j)$ dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta_{oi}(j) = |x_o * (j) - X * i (j)| \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

$x_o * (j) = 1$ (Nilai terbesar normalisasi S/N Ratio diinversikan sebesar 1)

4. Menghitung GRC atau $\gamma_{oi}(j)$ dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_{oi}(j) = \frac{\Delta_{min} x_i(j) + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(j) + \zeta \Delta_{max}} \dots\dots\dots (12)$$

$\Delta_{oi}(j) = |x_o * (j) - X_i * (j)|$ yaitu nilai absolut antara nilai $x_o(j)$ dan $x_i(j)$

$x_o * (j) = 1$ (Nilai terbesar normalisasi S/N Ratio diinversikan sebesar 1)

Δ_{min} = Nilai terkecil dari $\Delta_{oi}(j)$

Δ_{max} = Nilai terbesar dari $\Delta_{oi}(j)$

ζ = koefisien pembeda. Pada umumnya $\zeta = 0,5$

5. Perhitungan Nilai Grey Taguchi

Metode taguchi paling sesuai untuk optimalisasi karakteristik kinerja tunggal sedangkan taguchi berbasis abu-abu/*Grey Taguchi Method* menggabungkan seluruh karakteristik kinerja (tujuan) yang diharapkan menjadi satu nilai tunggal yang dapat digunakan sebagai karakteristik tunggal dalam masalah optimasi. (Mufarrih & Nadliroh, 2019)

2.4 ANOVA (*Analysis of Variance*)

Ekspirimen faktorial sebagian yang cepat, mudah, dan murah digunakan dalam pendekatan Taguchi. *Ortogonal array* merupakan metodologi desain Taguchi. Untuk mengintegrasikan analisis percobaan sebagian ke dalam analisis keyakinan kualitas hasil, percobaan faktorial sebagian dilakukan dengan memilih kombinasi percobaan faktorial penuh. Dalam teknik statistik dikenal dengan ANOVA. Ukuran kepercayaan sering kali ditentukan dengan menggunakan metodologi ini. Metode ini menghitung varians data daripada melakukan analisis data secara langsung. Ukuran varian adalah keyakinan.

Menentukan faktor mana yang berubah secara signifikan dipengaruhi oleh respons atau tidak merupakan tujuan utama ANOVA. ANOVA juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan data eksperimen selain itu. Dianggap tidak ada interaksi antara keempat komponen tersebut jika ada empat komponen yang terlibat, yang masing-masing memiliki tiga tingkatan. Oleh karena itu, model ANOVA berikut:

$$Y_{rstu} = \mu + D_r + E_s + F_t + G_u + \epsilon_{rstu} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

Y_{rstu} = Pengamatan pada faktor D level ke-r, faktor E level ke-s, faktor F level ke-t, faktor G level ke-u

μ = Rataan umum

D_r = Pengaruh faktor D level ke-r, dimana $r = 1,2,3$

E_s = Pengaruh faktor E level ke-s, dimana $s = 1,2,3$

F_t = Pengaruh faktor F level ke-t, dimana $t = 1,2,3$

G_u = Pengaruh faktor G level ke-u, dimana $u = 1,2,3$

ε_{rstu} = Komponen *error* random

Model tetap memerlukan asumsi berikut agar benar:

$$\sum_{r=1}^3 D_r = 0, \sum_{s=1}^3 E_s = 0, \sum_{t=1}^3 F_t = 0, \sum_{u=1}^3 G_u = 0 ; \varepsilon_{rstu} \sim N(0, \sigma^2) \dots (14)$$

Estimasi parameter model: Total kuadrat error berupa fungsi L. Pendekatan kuadrat terkecil digunakan untuk meminimalkan fungsi L dan mendapatkan estimasi parameter model.

$$L = \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 \varepsilon_{rstu}^2 \dots (15)$$

$$L = \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - \mu - D_r - E_s - F_t - G_u)^2$$

Untuk :

Dengan membuat persamaan $\frac{\partial L}{\partial \hat{\mu}} = 0$ dan $\frac{\partial^2 L}{\partial \hat{\mu}^2} > 0$ diperoleh :

$$\text{Syarat pertama } \frac{\partial L}{\partial \hat{\mu}} = 0 \dots (16)$$

$$-2 \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - \mu - D_r - E_s - F_t - G_u) = 0 \dots (17)$$

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - \mu - D_r - E_s - F_t - G_u) = 0$$

Parameter model diestimasi sebagai $\mu = \hat{\mu}$, $D_r = \hat{D}_r$, $E_s = \hat{E}_s$, $F_t = \hat{F}_t$, $G_u = \hat{G}_u$, sehingga:

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^4 \mu - 3^3 \sum_{r=1}^3 \check{D}_r - 3^3 \sum_{s=1}^3 \check{E}_s - 3^3 \sum_{t=1}^3 \check{F}_t - 3^3 \sum_{u=1}^3 \hat{G}_u = 0 \dots (18)$$

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^4 \mu = 0 \dots (19)$$

$$\mu = \frac{\sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu}}{3^4} \dots (20)$$

$$\mu = \frac{Y_{rstu}}{3^4} = \dots (21)$$

$$\text{Syarat kedua } \frac{\partial^2 L}{\partial \mu^2} > 0 \dots (22)$$

$$-2 \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^4 \mu - 3^3 \sum_{r=1}^3 \check{D}_r - 3^3 \sum_{s=1}^3 \check{E}_s - 3^3 \sum_{t=1}^3 \check{F}_t - 3^3 \sum_{u=1}^3 \hat{G}_u > 0 \dots (23)$$

$$-2(-3^4) > 0$$

$$2 \cdot 3^4 > 0$$

Untuk \check{D}_r :

Dengan membuat persamaan $\frac{\partial L}{\partial D} = 0$ dan $\frac{\partial^2 L}{\partial D^2} > 0$ diperoleh:

$$\text{Syarat pertama } \frac{\partial L}{\partial D} = 0 \dots (24)$$

$$-2 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} = \mu + D_r + E_s + F_t + G_u) = 0 \dots (25)$$

$$\sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} = \mu + D_r + E_s + F_t + G_u) = 0$$

$$\sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^3 \acute{u} - 3^3 \check{D}_r - 3^2 \sum_{s=1}^3 \check{E}_s - 3^2 \sum_{t=1}^3 \check{F}_t - 3^2 \sum_{u=1}^3 \hat{G}_u = 0 \dots (26)$$

$$\sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - 3^3 \acute{u} - 3^3 \check{D}_r) = 0 \dots (27)$$

$$\check{D}_r = \frac{\sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^3 \check{u}}{3^3} \dots \dots \dots (28)$$

$$\check{D}_r = \frac{Y_{rstu}}{3^3} - \frac{3^3 \check{u}}{3^3} = \dots - \dots \dots \dots (29)$$

Syarat kedua $\frac{\partial^2 L}{\partial D^2} > 0 \dots \dots \dots (30)$

$$-2 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 Y_{rstu} - 3^3 \check{u} - 3^3 \check{D}_r - 3^2 \sum_{s=1}^3 \check{E}_s - 3^2 \sum_{t=1}^3 \check{F}_t - 3^2 \sum_{u=1}^3 \check{G}_u > 0 \dots (31)$$

$$-2(-3^3) > 0$$

$$2 \cdot 3^3 > 0$$

Demikian pula, hal itu diperoleh:

$$\check{E}_s = \dots - \dots$$

$$\check{F}_t = \dots - \dots$$

$$\check{G}_u = \dots - \dots$$

Tabel 2.2 Tabel ANOVA 3 Level 4 Faktor

| Faktor | Degrees of Freedom | Sum of Squared | Mean Squared | F-hitung |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|
| D | d-1 | SS _D | MS _D | MS _D /MS _{error} |
| E | e-1 | SS _E | MS _E | MS _E /MS _{error} |
| F | f-1 | SS _F | MS _F | MS _F /MS _{error} |
| G | g-1 | SS _G | MS _G | MS _G /MS _{error} |
| Error | db _{error} | SS _{error} | MS _{error} | |
| Total | N-1 | SS _T | | |

Dimana :

d : banyak level faktor D

e : banyak level faktor E

f : banyak level faktor F

g : banyak level faktor G

N : jumlah eksperimen

1. Menentukan *Degrees of Freedom* dari Setiap Faktor

$$\text{Degrees of freedom total } db_T = N - 1 \dots\dots\dots (32)$$

$$\text{Degrees of freedom D } (db_D) = h - 1 = 2 \dots\dots\dots (33)$$

$$\text{Degrees of freedom E } (db_E) = i - 1 = 2 \dots\dots\dots (34)$$

$$\text{Degrees of freedom F } (db_F) = j - 1 = 2 \dots\dots\dots (35)$$

$$\text{Degrees of freedom G } (db_G) = k - 1 = 2 \dots\dots\dots (36)$$

$$\text{Degrees of freedom error } (db_{\text{error}}) = db_T - db_D - db_E - db_F - db_G \dots\dots\dots (37)$$

2. Menghitung *Sum of Squared* dari Setiap Faktor

$$\begin{aligned} \text{Sum of squared total} = SS_T &= \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - \frac{Y_{\dots}}{n})^2 \\ &= \sum Y_{rstu}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n} \dots\dots\dots (38) \end{aligned}$$

$$\text{Sum of squared D} = SS_D = 3^2 \sum_{r=1}^3 (Y_{rstu} - \frac{Y_{\dots}}{n})^2 = \frac{\sum Y_r^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n} \dots\dots\dots (39)$$

$$\text{Sum of squared E} = SS_E = 3^2 \sum_{s=1}^3 (Y_{rstu} - \frac{Y_{\dots}}{n})^2 = \frac{\sum Y_s^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n} \dots\dots\dots (40)$$

$$\text{Sum of squared F} = SS_F = 3^2 \sum_{t=1}^3 (Y_{rstu} - \frac{Y_{\dots}}{n})^2 = \frac{\sum Y_t^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n} \dots\dots\dots (41)$$

$$\text{Sum of squared G} = SS_G = 3^2 \sum_{u=1}^3 (Y_{rstu} - \frac{Y_{\dots}}{n})^2 = \frac{\sum Y_u^2}{3^2} - \frac{Y_{\dots}^2}{n} \dots\dots\dots (42)$$

$$\text{Sum of squared } SS_{\text{error}} = SS_T - SS_D - SS_E - SS_F - SS_G \dots\dots\dots (43)$$

3. Menghitung *Mean squared* dari Setiap Faktor

$$\text{Mean squared total} = MS_T = \frac{SST}{db_T} \dots\dots\dots (44)$$

$$\text{Mean squared D} = MS_D = \frac{SSD}{db_D} \dots\dots\dots (45)$$

$$\text{Mean squared E} = MS_E = \frac{SSE}{db_E} \dots\dots\dots (46)$$

$$\text{Mean squared F} = MS_F = \frac{SSF}{db_F} \dots\dots\dots (47)$$

$$\text{Mean squared G} = MS_G = \frac{SSG}{db_G} \dots\dots\dots (48)$$

$$\text{Mean squared error} = MS_{\text{error}} = \frac{SS_{\text{error}}}{db_{\text{error}}} \dots\dots\dots(49)$$

4. Menghitung F-hitung Setiap Faktor

$$\text{Fhitung D} = \frac{MS_D}{MS_{\text{error}}} \dots\dots\dots(50)$$

$$\text{Fhitung E} = \frac{MS_D}{MS_{\text{error}}} \dots\dots\dots(51)$$

$$\text{Fhitung F} = \frac{MS_D}{MS_{\text{error}}} \dots\dots\dots(52)$$

$$\text{Fhitung G} = \frac{MS_D}{MS_{\text{error}}} \dots\dots\dots(53)$$

5. F Nilai

Dengan membandingkan nilai F dengan F tabel, kita dapat menggunakan F hitung untuk menentukan pengaruh masing-masing faktor terhadap respon. Reaksi dipengaruhi secara signifikan oleh faktor ini apabila nilai Ftabel < Fhitung; Namun apabila nilai Ftabel > Fhitung, maka kuat bentur dan akurasi dimensi tidak dipengaruhi secara signifikan oleh faktor tersebut. Nilai F yang dihitung dari:

$$\text{Fhitung} = \frac{MS_{\text{faktor}}}{MS_{\text{error}}} \dots\dots\dots (54)$$

2.5 Pengujian

2.5.1 Akurasi Dimensi

Akurasi dimensi adalah ketelitian dan presisi suatu produk.[3] Akurasi dimensi yang baik pada hasil cetakan bergantung pada parameter proses yang tepat yang diatur pada printer 3D FDM. memanfaatkan pendekatan Taguchi untuk mengoptimalkan parameter proses untuk presisi dimensi PLA *food grade*. (Hasdiansah, Masdani, Feriadi, & Pristiansyah, 2020) Pengukuran merupakan komponen penting dalam produksi barang cetakan berkualitas tinggi karena semakin baik produk yang dibuat, semakin tepat pengukuran yang dihasilkan. (Amin, Herianto, & Arfian, 2017)

2.5.2 Kuat Bentur

Kekuatan bentur sebuah material adalah ketahanan sebuah material terhadap gaya yang diberikan secara tiba-tiba. (Saputra, Utama, Ningsih, & Pamasaria, 2022) Ilmuan Perancis Georges Charpy menemukan kuat bentur

pada tahun 1905. Georges Charpy melakukan pengujian pada masa Perang Dunia II, karena pada saat itu sambungan las kapal-kapal perang dan tanker sering mengalami kejadian patah getas. Ada yang terbelah menjadi dua bagian, ada pula yang hanya rusak sebagian akibat kejadian ini. (Waas, Ruzuqi, & Danny, 2021)

Sudut posisi akhir pendulum ditentukan setelah selesainya proses pengujian kuat bentur untuk setiap benda uji. Rumus yang digunakan untuk menghitung hasil uji kuat bentur akhir setiap benda uji, nilai sudut akhir pendulum ini dimasukkan sebagai nilai $\cos\beta$. Energi kuat bentur merupakan ukuran seberapa besar energi yang diserap suatu benda uji agar benda uji tersebut patah selama proses pengujian. Nilai energi tumbukan dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$E = mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots (55)$$

Ket :

- E = Energi Impak (J)
- m = Berat Pendulum (kg)
- g = Gravitasi 9,81m/s²
- r = Jarak Lengan Pengayun (m)
- cos α = Sudut Awal Pendulum
- cos β = Sudut Akhir Pendulum

Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan nilai usaha. Selanjutnya, luas penampang di bawah takik benda uji akan dibagi dengan nilai tersebut. Rumus yang digunakan dalam perhitungan harga impact yaitu :

$$HI = \frac{E}{A} (J/mm^2) \dots\dots\dots (56)$$

Ket :

- HI = Nilai Impact (J/mm²)
- E = Energi Impact (J)
- A = Luas Penampang (mm²)

2.6 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan oleh (Pramono, Suditama, & Amirsyam, 2016) menetapkan bahwa *nozzle temperature* ideal, *layer height*, dan

print speed untuk produk berukuran 20x20x20 mm yang terbuat dari plastik PP daur ulang masing-masing adalah 260°C, 0,16 mm, dan 20 mm/s.

Berdasarkan penelitian dari (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiyanoro, 2020) parameter optimum untuk filamen berbahan *recycle* PP adalah kombinasi *printing temperature* 245°C, *layer height* 0.12mm dan *print speed* 35mm/s sedangkan parameter yang paling berpengaruh adalah *print speed*. Filament dari bahan *recycle* plastik PP merupakan filament yang menghasilkan kualitas produk 3D printing paling baik dibandingkan dengan filament dari bahan *recycle* plastik LDPE.

Menurut penelitian (Setiawan, Karuniawan, & Arumsari, 2018) nilai parameter terbaik yang didapatkan berdasarkan eksperimen dan juga analisa data yang telah dilakukan adalah yaitu *print speed* 20 mm/s, *printing temperature* 210°C, dan *layer height* 0,1 mm. Nilai terakurat didapat adalah 29,945 mm dari eksperimen konfirmasi pertama, dikatakan akurat karena nilainya mendekati angka 30 mm dengan keakuratan 99.81% atau bisa dikatakan hampir semua percobaan memiliki keakuratan 99%.

Menurut penelitian dari (Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto, Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Eflex, 2019) nilai parameter proses optimal untuk mendapatkan keakuratan dimensi X adalah *flowrate* 110%, *layer thickness* 0,10mm, *nozzle temperature* 210°C, *print speed* 40mm/s, *overlap* 75%, dan *fan speed* 50%. Dimensi Y adalah *flowrate* 120%, *layer thickness* 0,20mm, *nozzle temperature* 230°C, *print speed* 30mm/s, *overlap* 75%, dan *fan speed* 100%. Serta dimensi Z adalah *flowrate* 120%, *layer thickness* 0,30mm, *nozzle temperature* 210 °C, *print speed* 30mm/s, *overlap* 50%, dan *fan speed* 100%.

Berdasarkan penelitian dari (Pristiansyah, Christiliana, & Oktriadi, Optimasi Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade, 2021) dapat disimpulkan bahwa, nilai parameter proses optimal untuk akurasi dimensi tinggi spesimen yaitu *nozzle temperature* (185 °C), *layer thickness* (0,20 mm), *print speed* (40 mm/s), *infill rate* (8 %), dan *temperature based plate* (40 °C).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Rivaldi, Yunus, & Pristiansyah, 2023) dengan nilai rata-rata uji impak sebesar 0,031 Joule percobaan nomor 2

mempunyai nilai rata-rata terbesar, sedangkan percobaan nomor 7 mempunyai nilai rata-rata uji dampak terendah 0,026 Joule.

Menurut penelitian dari (Kalsum, Suzen, & Zulfitriyanto, 2022) nilai kekuatan dampak tertinggi ditunjukkan oleh spesimen uji yang dicetak menggunakan *nozzle temperature* 230°C dan *infill pattern 3D honeycomb* dengan nilai 0,205 Joule/mm.

Berdasarkan penelitian (Bowo, Suzen, & Oktriadi, 2021) Hasil dari pengujian dampak metode charpy tertinggi terdapat pada eksperimen uji nomor 35 sebesar 0,00653 Joule/mm² dengan *Infill geometry Concentric*, *printing speed* 50mm/s dan *nozzle temperature* 220°C.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Febriansyah, Anggry, & Pristiansyah, 2022) parameter yang paling berpengaruh secara berturut-turut yaitu *infill layer thickness* (0,3mm), *wall printing speed* (35mm/s), *bed temperature* (100°C), *fan speed* (55%), *printing speed* (60mm/s), *infill overlap* (40%), *print temperature* (250°C), dan *wall thickness* (2mm) nilai rata-rata hasil uji dampak yang tertinggi berada pada eksperimen nomor 27 dengan nilai 0.00392 joule.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Irfany, Suzen, & Ariyanto, 2021) hasil dari pengujian dampak tertinggi terdapat pada spesimen uji nomor 6 *cubic subdivision* sebesar 0,00935 Joule/mm² dengan *printing speed* 40 *flowrate* 80 dan *colling* 40.

2.7 Uji Konfirmasi

Uji yang dilakukan untuk memvalidasi atau mengkonfirmasi hasil dikenal sebagai uji konfirmasi. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan campuran komponen dan tingkat hasil ideal dari evaluasi sebelumnya untuk melakukan validasi. Tujuan uji validasi adalah untuk memvalidasi temuan yang diperoleh selama tahap analisis. (Wulandari, Wuryandari, & Ispriyanti, 2016)

2.8 Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah prosedur uji statistik yang bertujuan untuk menunjukkan bahwa dua atau lebih kelompok sampel data diambil dari populasi yang memiliki varians yang sama. Jenis penelitian ini adalah penelitian kualitatif. Uji ini dilakukan sebagai syarat dalam analisis *independent sample t test* dan Anova. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (Anova) adalah bahwa varian dari populasi

adalah sama. Uji kesamaan dua varians digunakan untuk menguji apakah sebaran data tersebut homogen atau tidak, yaitu dengan membandingkan kedua variansnya. Jika dua kelompok data atau lebih mempunyai varian yang sama besarnya, maka uji homogenitas tidak perlu dilakukan lagi karena datanya sudah dianggap homogen. Uji homogenitas dapat dilakukan apabila kelompok data tersebut dalam distribusi normal. Ada beberapa rumus yang bisa digunakan untuk uji homogenitas variansi di antaranya: uji Bartlett, uji Levene, Uji Cochran, dan Uji Harley.

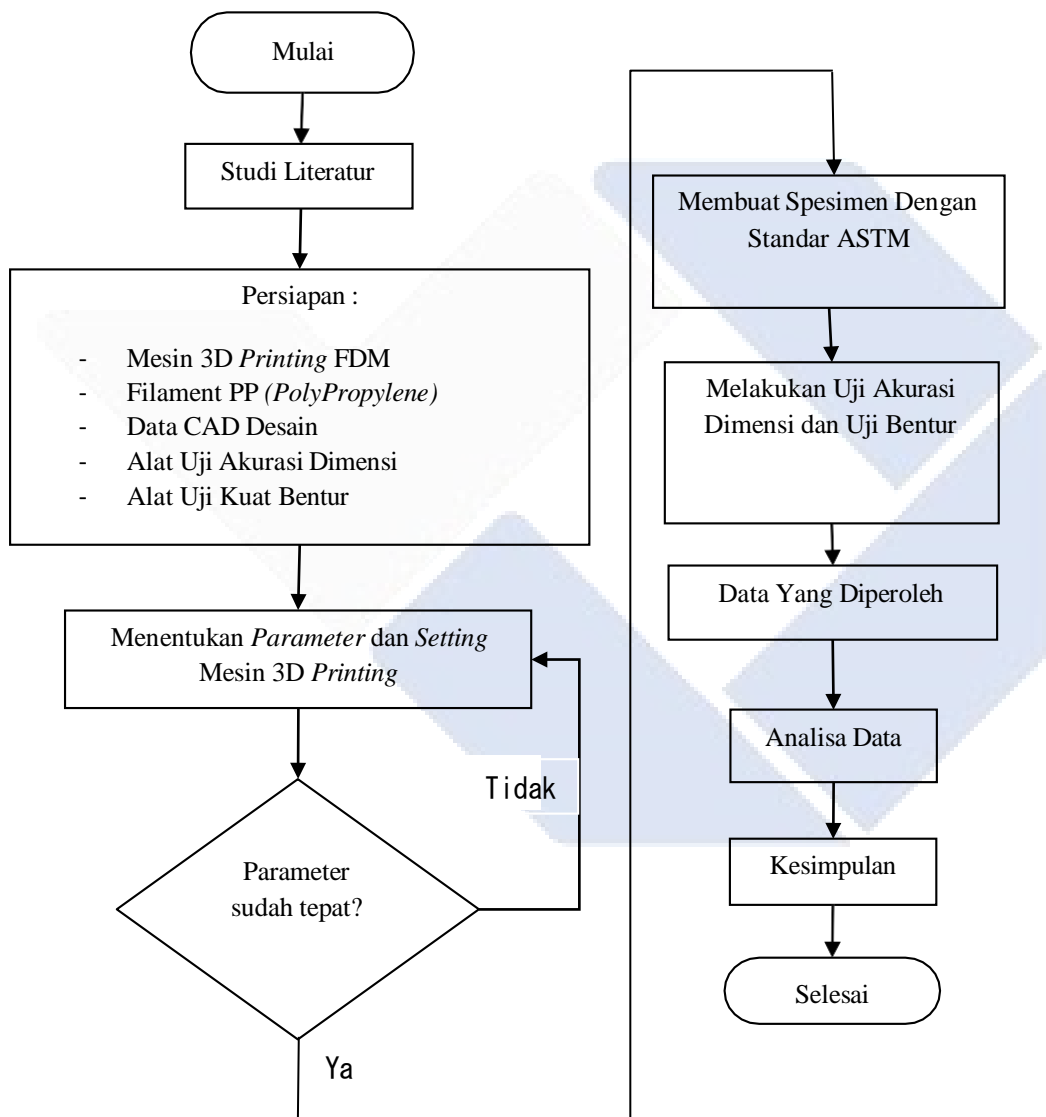


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap Pelaksanaan

Gambar 3.1 menggambarkan metode dan langkah yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Diagram alir

3.2 Menyiapkan Peralatan dan Perlengkapan

3.2.1 Perlengkapan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah filamen PP (PolyPropylene) merk kreafile, filamen ini terbuat dari plastik. Filamen PP ini memiliki diameter 1.75 ± 0.05 mm dan filamen ini dapat dipanaskan dengan suhu 80- 100°C ditunjukkan pada Gambar 3.2 Filamen *Polypropylene*.



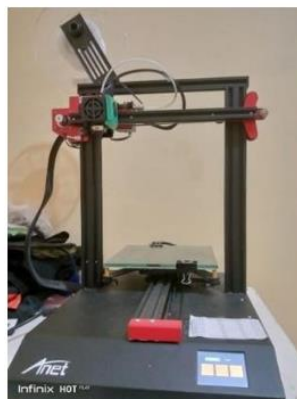
Gambar 3.2 Filamen *Polypropylene*
(Sumber: Dokumen Pribadi)

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mesin 3D Printer

Mesin 3D Printer yang digunakan adalah dengan tipe model Anet ET-4 dengan printing volume XS 220mm × 220mm × 220mm ditunjukkan pada Gambar 3.3 Mesin 3D Printer Anet ET-4.



Gambar 3.3 Mesin 3D Printer Anet ET-4

(Sumber: dokumen pribadi)

2. Alat Uji Akurasi Dimensi.

Alat uji yang akan digunakan untuk menguji akurasi dimensi yaitu jangka sorong digital dengan kecermatan 0,01 mm ditunjukkan pada Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital.



Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital

(Sumber: dokumen pribadi)

3. Alat Uji Kuat Bentur

Alat uji yang akan digunakan untuk menguji kuat bentur yaitu Gotech Model GT-7045 ditunjukkan pada gambar 3.5 Alat Uji Impak Metode Charpy.



Gambar 3.5 Alat Uji Impak Metode Charpy

(Sumber: dokumen pribadi)

- a. Berat pendulum : 2.5 kg
- b. Sudut posisi awal pendulum : 150°
- c. Jarak lengan pengayun : 0.4m

4. Laptop

Laptop Lenovo X270 Touchscreen Intel Core i5gen 6 digunakan untuk menjalankan aplikasi Cura dan aplikasi yang menjalankan pencetakan 3D ditunjukkan pada Gambar 3.6 Laptop Lenovo X270 Touchscreen Intel Core i5 Gen 6.



Gambar 3.6 Laptop Lenovo X270 Touchscreen

Intel Core i5 Gen 6

(Sumber: dokumen pribadi)

5. Aplikasi

a. *Slicer* Ultimaker Cura 5.1.0

Program ini digunakan untuk mengoperasikan printer 3D, memasukkan pengaturan, dan menjalankan *G-code* ditunjukkan pada Gambar 3.7 Ultimaker Cura 5.1.0.

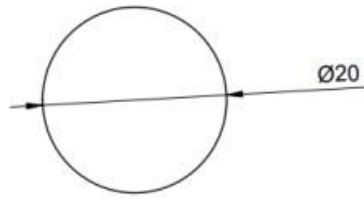


Gambar 3.7 Ultimaker Cura 5.1.0.

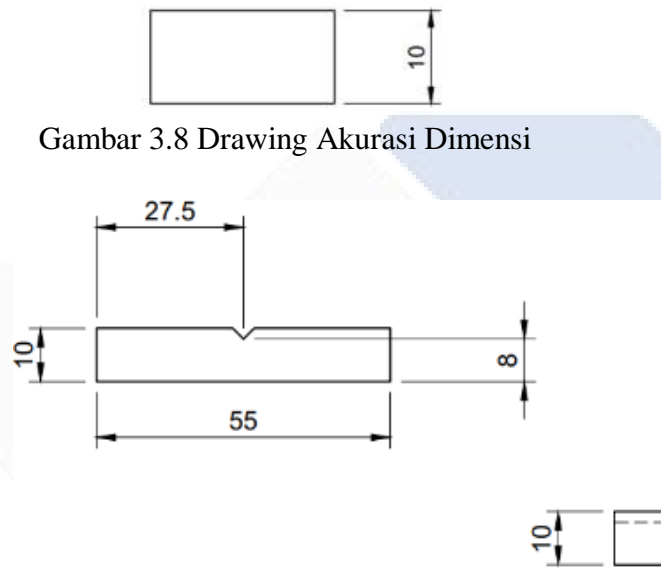
(Sumber: Dokumen pribadi)

b. Fusion 360

Aplikasi ini digunakan untuk mendesain sampel yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 Drawing Akurasi Dimensi dan Gambar 3.9 Drawing Kuat Bentur.



Gambar 3.8 Drawing Akurasi Dimensi



Gambar 3.9 Drawing Kuat Bentur ASTM E23

c. Minitab 21

Gunakan program Minitab 21 untuk mengidentifikasi perubahan parameter atau faktor yang mempengaruhi variabel pada pendekatan DOE yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 Aplikasi Minitab 2021.



Gambar 3.10 Aplikasi Minitab 2021

(Sumber : Dokumen pribadi)

3.3 Studi Literatur

Studi Literatur adalah bahan acuan yang digunakan peneliti untuk membuat jurnal penelitian dengan mengumpulkan beberapa buku, artikel tentang masalah, dan tujuan penelitian. Selain mengumpulkan dari buku dan makalah bisa juga mencari melalui internet atau jurnal penelitian sebelumnya.

3.4 Pemilihan Faktor dan Level Eksperimen

Tabel 3.1 Parameter Faktor Dan Level Eksperimen

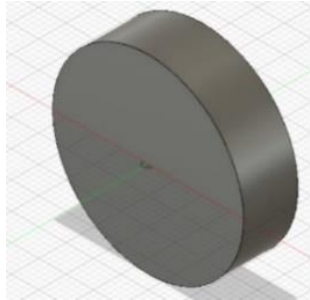
| Faktor | Parameter Proses | Level | | |
|--------|--------------------------------|-------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. | <i>Nozzle Temperature (°C)</i> | 215 | 220 | 225 |
| 2. | <i>Bed Temperature (°C)</i> | 94 | 97 | 100 |
| 3. | <i>Print Speed (mm/S)</i> | 30 | 35 | 40 |
| 4. | <i>Layer Height (mm)</i> | 0,2 | 0,3 | 0,4 |

Tabel 3.2 Desain Parameter faktor di Minitab

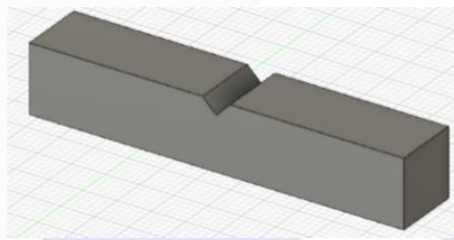
| No. | <i>Nozzle Temperature</i> | <i>Bed Temperature</i> | <i>Print Speed</i> | <i>Layer Height</i> |
|-----|---------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1. | 215 | 94 | 30 | 0,2 |
| 2. | 215 | 94 | 30 | 0,2 |
| 3. | 215 | 94 | 30 | 0,2 |
| 4. | 215 | 97 | 35 | 0,3 |
| 5. | 215 | 97 | 35 | 0,3 |
| 6. | 215 | 97 | 35 | 0,3 |
| 7. | 215 | 100 | 40 | 0,4 |
| 8. | 215 | 100 | 40 | 0,4 |
| 9. | 215 | 100 | 40 | 0,4 |
| 10. | 220 | 94 | 35 | 0,4 |
| 11. | 220 | 94 | 35 | 0,4 |
| 12. | 220 | 94 | 35 | 0,4 |
| 13. | 220 | 97 | 0 | 0,2 |
| 14. | 220 | 97 | 40 | 0,2 |
| 15. | 220 | 97 | 40 | 0,2 |
| 16. | 220 | 100 | 30 | 0,3 |
| 17. | 220 | 100 | 30 | 0,3 |
| 18. | 220 | 100 | 30 | 0,3 |
| 19. | 225 | 94 | 40 | 0,3 |
| 20. | 225 | 94 | 40 | 0,3 |
| 21. | 225 | 94 | 40 | 0,3 |
| 22. | 225 | 97 | 30 | 0,4 |
| 23. | 225 | 97 | 30 | 0,4 |
| 24. | 225 | 97 | 30 | 0,4 |
| 25. | 225 | 100 | 35 | 0,2 |
| 26. | 225 | 100 | 35 | 0,2 |
| 27. | 225 | 100 | 35 | 0,2 |

Langkah-langkah dalam pengerjaan eksperimen yaitu:

1. Membuat sampel berdasarkan ASTM di software Fusion 360 dalam format file STL yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 Spesimen Akurasi Dimensi dan Gambar 3.12 Spesimen Kuat Bentur.



Gambar 3.11 Spesimen Akurasi Dimensi



Gambar 3.12 Spesimen Kuat Bentur

2. Untuk menetapkan pengaturan level dan proses yang telah ditetapkan memperoleh G-code, masukkan format STL di program Cura.
3. Sampel dicetak menggunakan filamen PP dengan parameter proses yang ditentukan setelah kode G diperoleh.

3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di ruang Quality Control (QC) bengkel kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Sampel diuji menggunakan alat uji kuat bentur dan akurasi dimensi untuk mendapatkan data. Untuk pengolahan data dicatat hasil uji kuat bentur dan akurasi dimensi dimensi.

3.6 Pengolahan Data

Untuk mendapatkan parameter proses terbaik maka dilakukan pengolahan data. Setelah pengambilan data akurasi dimensi dan kuat bentur, masukan data ke dalam aplikasi analisis untuk pengolahan.

Berikut tindakan yang dilakukan selama pemrosesan data untuk memenuhi tujuan tugas akhir ini:

1. Hitung SN Ratio dengan karakteristik Nominal is best untuk akurasi dimensi dan Larger is better untuk kuat bentur.
2. Hitung nilai normalisasi SN Ratio.
3. Hitung nilai delta dan nilai gamma (GRC) masing- masing respon.
4. Hitung nilai GRG sebagai data hasil.
5. Lakukan uji asumsi normalitas.
6. Lakukan uji asumsi homogenitas.
7. Buat tabel ANOVA.
8. Tentukan faktor signifikan dengan hasil F-hitung pada Tabel ANOVA.
9. Buat kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

BAB IV
PEMBAHASAN

Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



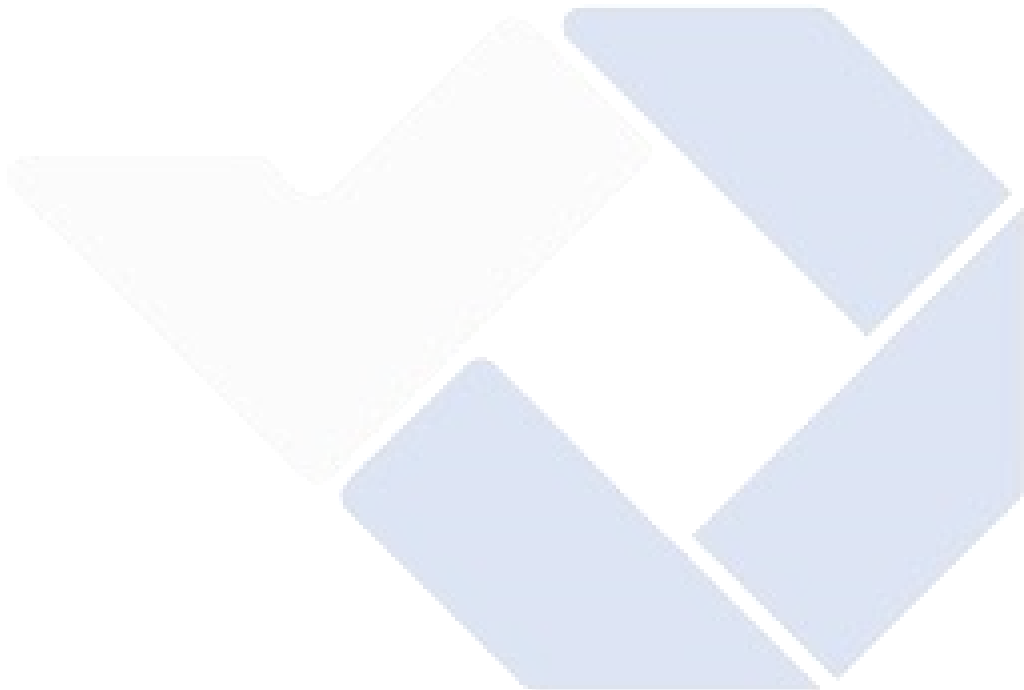
Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



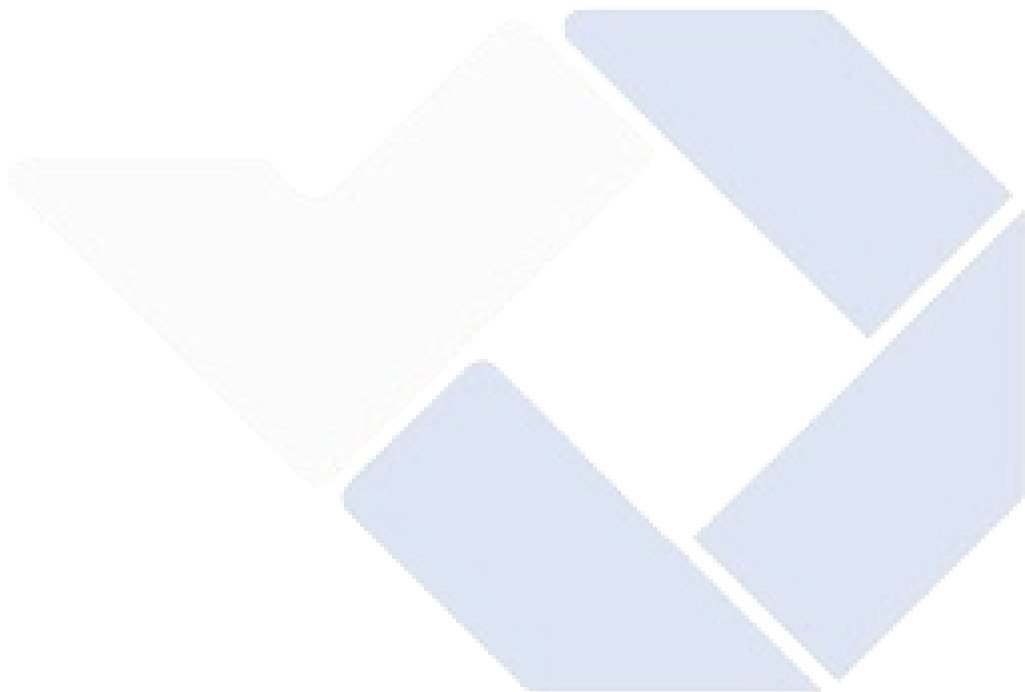
Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



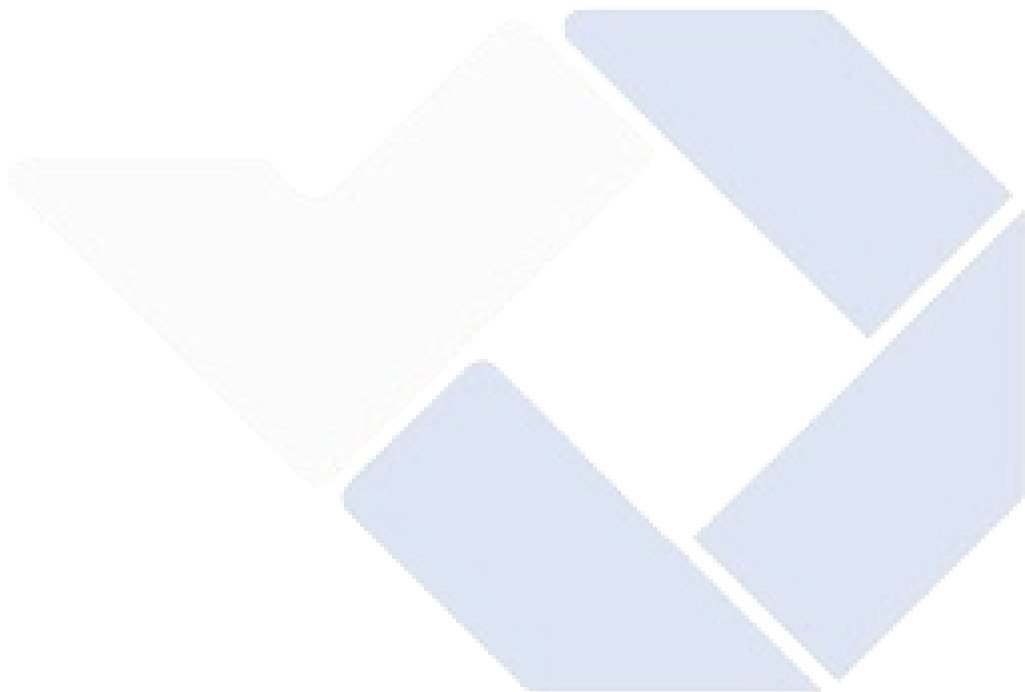
Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Faktor kontrol terbaik untuk akurasi dimensi diameter adalah *Bed Temperature* (97°C), *Print Speed* (35mm/s), *Layer Height* (0,3mm), dan *Nozzle Temperature* (215°C) dengan nilai tertinggi terdapat pada eksperimen no.4 dengan nilai 19,99 mm, no. 6 dan 10 dengan nilai 20,01 mm. Faktor kontrol yang optimal terhadap akurasi dimensi tinggi hasilnya adalah *Bed Temperature* (94°C), *Nozzle Temperature* (215°C), *Print Speed* (30mm/s), dan *Layer Height* (0,3mm) dengan nilai tertinggi yaitu terdapat pada eksperimen no. 5 dan 27 dengan nilai 10,00 mm. Hasil penelitian faktor kontrol yang paling optimal terhadap kuat bentur adalah *Print Speed* (30mm/s), *Nozzle Temperature* (220°C), *Layer Height* (0,2mm), dan *Bed Temperature* (97°C) dengan nilai rata-rata tertinggi terdapat pada eksperimen no. 1, 4, 9, dan 20 dengan nilai 0,031850J/mm. Pada pengujian akurasi dimensi dan kuat bentur menggunakan filamen *Polypropylene* mengalami peningkatan dari pengujian sebelumnya.
2. Berdasarkan hasil dari uji F ANOVA maka didapatkan kesimpulan bahwa *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature*, *Print Speed*, dan *Layer Height* menunjukkan bahwa faktor kontrol tidak berpengaruh terhadap akurasi dimensi dan kuat bentur menggunakan filamen *Polypropylene*.

5.2 Saran

Berikut saran untuk penelitian ini:

1. Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan dalam pemilihan matriks yang akan digunakan berdasarkan dengan level dan faktor yang sesuai dan dicek kembali di aplikasi minitab.
2. Penelitian lebih lanjut dapat diterapkan pada parameter dan level kontrol yang banyak untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Teknik penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode penelitian tambahan bersamaan dengan pendekatan yang ada saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, I. D., Anggry, A., & Hasdiansah. (2022). Optimasi Parameter pada 3D Printing Terhadap akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Nylon.
- Amin, N., Herianto, & Arfian, N. (2017). Pengembangan Model Anatomi Jantung Pada Kasus Penyakit Jantung Struktural dengan 3D Printing Berbasis Fused Deposition Modeling.
- Apriansyah, I., Amber, A., & Arifin, F. (2021). Peningkatan Akurasi Dimensi dan Kekerasan Pada Filamen Esteel Dengan Pendekatan Metode Taguchi.
- Bowo, F. P., Suzen, Z. S., & Oktriadi, Y. (2021). Pengaruh Infill Geometry, Printing Speed dan Nozzle Temperature Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen ST PLA. 2.
- Febriansyah, R., Anggry, A., & Pristiansyah. (2022). Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Impak Pada 3D Printing Material ABS.
- Galatuncci, L., I. B., Kacani, J., & F.Lavecchia. (2015). Analysis Of Dimensional Performance For a 3D Open-Source Printer Based On Fused Deposition Modeling Technique.
- Gaussian, J. (2016). *Studi Kasus Prose Freis Komposit Gfrp*. From <https://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- Hasdiansah, Masdani, Feriadi, I., & Pristiansyah. (2020). Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi.
- Irfany, O. R., Suzen, Z. S., & Ariyanto. (2021). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Metode Charpy Pada Filamen PLA.
- Jeffrey, Widya, D., & Soeharsono. (2017). Rancang Bangun Konstruksi dan Sistem Gerak Sumbu Pada Mesin Fused Deposition Modeling.
- Kalsum, U., Suzen, Z. S., & Zulfitriyanto. (2022). Pengaruh Parameter Proses produk 3D Printing Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen PLA Pro.
- Kreafil. (n.d.). *3D Printing Filaemen Polypropylene Kreafil*. From <https://kreafil.co.id/product/kreafil-polypropylene-pp-natural-1-75-mm/>
- Lestari, M., Subkhan, & Pristiansyah. (2022). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol.
- Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, L. (2015). Optimization Of Fused Deposition Modeling Process Parameters: A Review Of Current Research and Future Prospects. 42-53.
- Mufarrih, A., & Nadliroh, K. (2019). Aplikasi Metode Taguchi Grey Untuk Optimasi Multirespon Pada Pembubutan Aluminium.
- Pamasaria, H. A., Saputra, T. H., Utama, A. S., & Budiyanoro, C. (2020). Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing Berbahan Plastik PP Daur Ulang Dengan Menggunakan Metode Taguchi.
- Pramono, R., Suditama, & Amirsyam. (2016). Analisa Kekuatan Impak Dengan Variasi Sudut Bandul Pada Material Logam Baja ST37.
- Pratama, Y. B., hasdiansah, & Pristiansyah. (2021). Analisis Kekasaran Permukaan proses Mesin 3D Printing pada Filamen ST_PLA Menggunakan Metode Taguchi.
- Pristiansyah, Christiliana, M., & Oktriadi, Y. (2021). Optimasi Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade. 13.
- Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto. (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Eflex. 11.
- Purwati, E. P., Bachtiar, & Rahmi, F. N. (2017). Metode Taguchi dan Grey Relational Analysis untuk Optimasi Kekasaran Permukaan dan Laju Pengerjaan Pada Wire-EDM.
- Rahmadani, N. A., Sunaryo, S., & Akbar, M. S. (2012). Penerapan Pendekatan Gabungan Grey Relational Analysis GRA dan Principal Component Analysis (PCA) Pada

Metode Taguchi Multirespon.

- Ramadhan, M. E., Darsin, M., Akbar, S. I., & Yudistiro, D. (2022). Akurasi Dimensi Produk Filamen 3D Printing Berbahan Polipropilen Menggunakan Mesin Ekstruksi.
- Rivaldi, M., Yunus, M., & Pristiansyah. (2023). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat bentur Menggunakan Filamen Polycarbonate. *01*.
- Saputra, T. H., Hutama, A. S., Ningsih, A., & Pamasaria, H. A. (2022). Analisa Parameter 3D Printing Tipe FDM Terhadap Akurasi Dimensi dengan Filamen Berbahan Daur Ulang Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP).
- Saputra, W. R., Suzen, Z. S., & Pristiansyah. (2022). Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kuat Tarik Produk Hasil 3D Printing Menggunakan Filamen ASA. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*.
- Setiawan, A. A., Karuniawan, B. W., & Arumsari, N. (2018). Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis.
- Shahrubudin, N., Lee, T., & Ramlan, R. (2019). An Overview On 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *35*.
- Waas, Ruzuqi, R., & Danny, V. (2021). Analisis Kekuatan Tarik dan Impak Material Komposit Polimer Dalam Aplikasi Fiberboat.
- Wulandari, A. A., Wuryandari, T., & Ispriyanti, D. (2016). Penerapan Metode Taguchi Untuk Kasus Multirespon Menggunakan Pendekatan Grey Relational Analysis dan Principal Component Analysis.

LAMPIRAN 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Sawitri Wulandari
Tempat, Tanggal Lahir : Pangkalpinang, 30 Juni 2002
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Perumnas Jalan Mentok
Agama : Islam
Email : wulandari301902@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

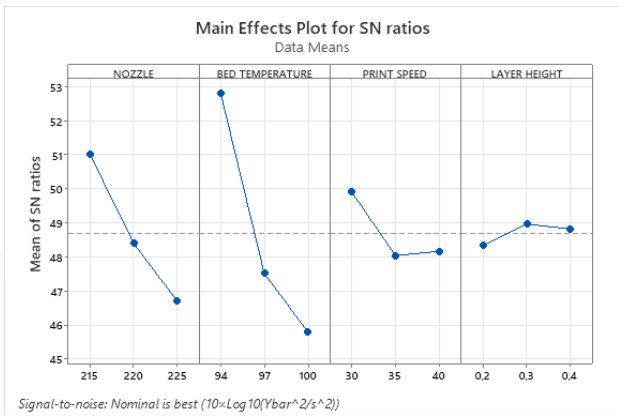
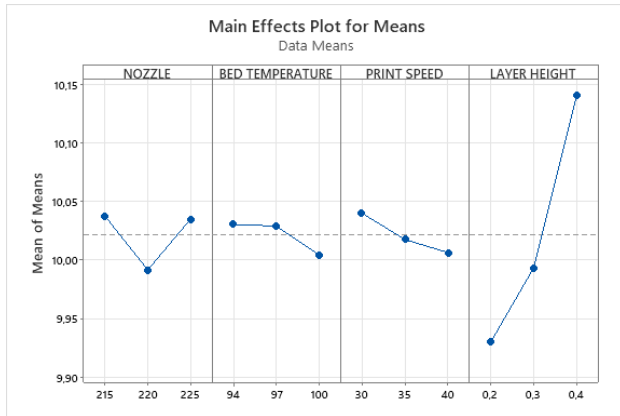
| | |
|----------------------------|-------------------|
| SD Negeri 43 Pangkalpinang | Tahun 2008 – 2014 |
| SMP Negeri 5 Pangkalpinang | Tahun 2014 - 2017 |
| SMA Negeri 3 Pangkalpinang | Tahun 2017 - 2020 |

Sungailiat, 28 Desember 2023

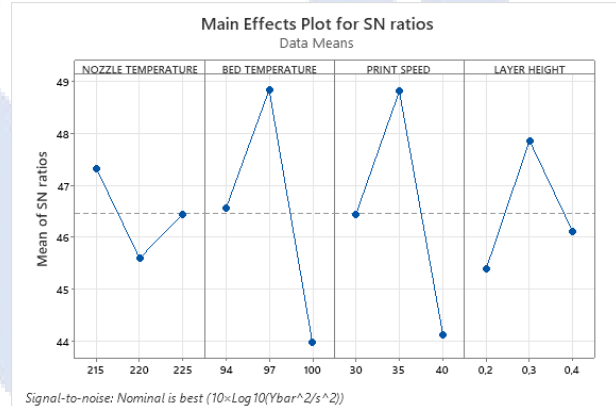
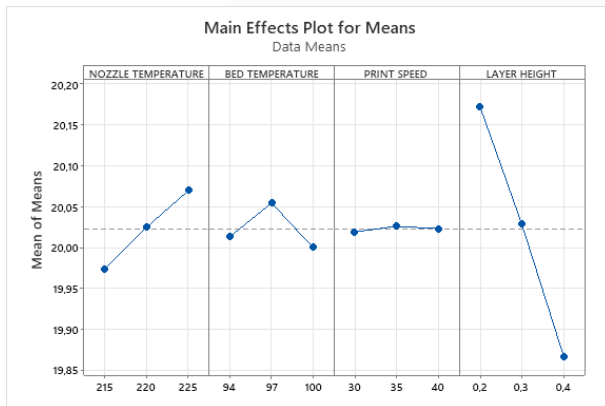
Penulis

LAMPIRAN 2 GRAFIK SN RATIO

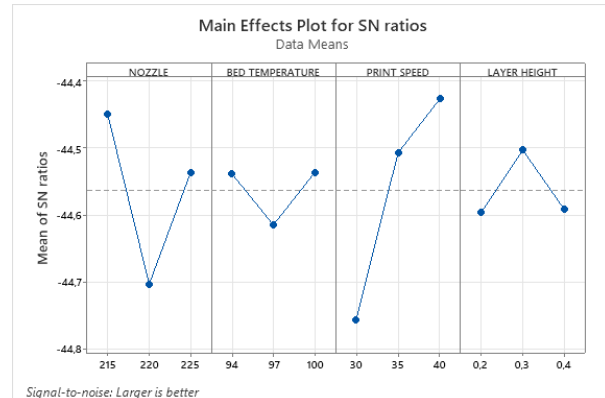
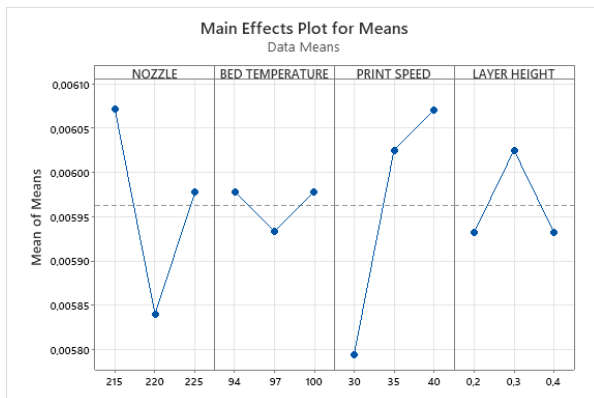
Grafik SN Ratio Akurasi Dimensi Tinggi



Grafik SN Ratio Akurasi Dimensi Diameter

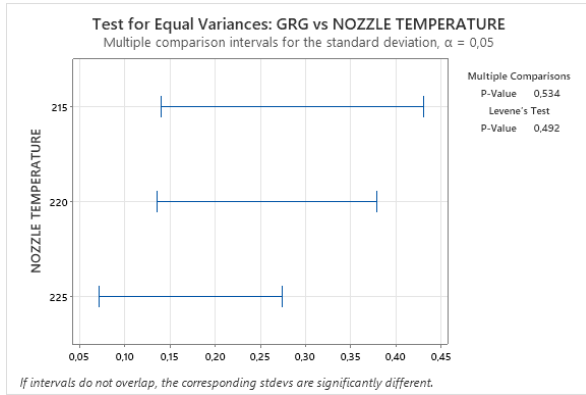


Grafik SN Ratio Kuat Bentur

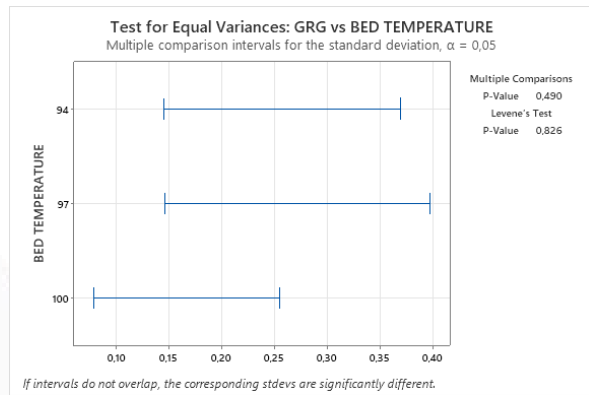


LAMPIRAN 3 UJI HOMOGENITAS

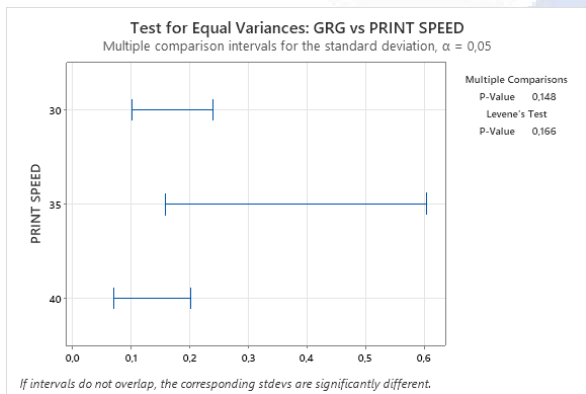
Uji Homogenitas Nozzle Temperature



Uji Homogenitas Bed Temperature



Uji Homogenitas Print Speed



Uji Homogenitas Layer Height

