

JUDUL PROYEK AKHIR

OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN TRANSPARANSI FILAMEN PETG MENGGUNAKAN METODE *GREY TAGUCHI*

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



Disusun Oleh:

Rosalina NIM 1042022

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

TAHUN 2024

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN TRANSPARANSI FILAMEN PETG MENGGUNAKAN METODE *GREY TAGUCHI*

Oleh:

Rosalina / NIM 1042022

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

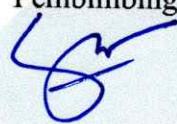
Menyetujui,

Pembimbing 1



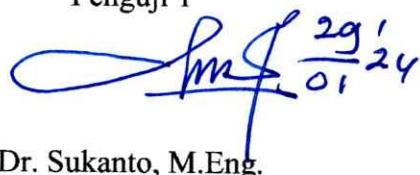
Pristiansyah, S.S.T., M.Eng

Pembimbing 2



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

Pengaji 1



29/01/24

Dr. Sukanto, M.Eng.

Pengaji 2



Yuli Dharta, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rosalina NIM: 1042022
Dengan Judul : Optimasi Parameter Proses 3d *Printing* Terhadap Akurasi Dimensi Dan Transparansi Filamen Petg Menggunakan Metode *Grey Taguchi*

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, 3 Desember 2023

Nama Mahasiswa

Rosalina

Tanda Tangan



Abstract

3D printing technology is very widely used, especially in the industrial sector. In the 3D printing process, prototyping can be made in a short time. Fused Depositon Modeling (FDM) technology is a technique used to print products using materials and products that have ideal geometric characteristics. Based on the research that has been done, the authors conducted research on 3D Printing using PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filament types with process parameters namely print temperature (240°C), (245°C), (250°C), build plate temperature (85 °C), (90°C), (95°C), print speed (50 mm/s), (55 mm/), (60 mm/s), fan speed (30 mm/s), (40 mm /s), (50 mm/s) and layer height (0.15 mm), (0.20 mm), (0.25 mm). With the Taguchi L27(3⁵) method for printing products using parameters and 5 variations in response to dimensional accuracy and transparency. This study aims to determine the dimensional accuracy and transparency of 3D printing product materials with PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filaments with different parameters using the Gray Taguchi Method and to find out how much they affect printing using PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filaments with 5 process parameters tested are: print temperature, build plate temperature, print speed, fan speed, layer height, and with three levels that affect the testing of dimensional accuracy and transparency. Based on the experiments conducted in this study, it can be conclude that the highest dimensional accuracy is printed specimens with the parameter values print temperature (xxx), build plate temperature (xxx), print speed (xxx), overlap (xxx), and layer heights (xxx). Meanwhile the highest level of transparency is the printed specimens with the parameter values print temperature (xxx), build plate temperature (xxx), print speed (xxx), overlap (xxx), and layer heights (xxx).

Keywords: *3D printing, PETG, Taguchi Method, Dimensional Accuracy & Transparency*

Abstrak

Teknologi pencetakan 3D sangat banyak digunakan khususnya dalam bidang industri. Pada proses 3D *printing*, pembuatan prototype dapat dibuat dalam waktu yang singkat. Teknologi *Fused Depositon Modeling* (FDM) adalah teknik yang digunakan untuk mencetak produk 3D menggunakan bahan yang mempunyai karakteristik geometris ideal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis melakukan penelitian tentang 3D *Printing* menggunakan jenis filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan parameter proses yaitu *print temperature* (240°C), (245°C), (250°C), *build plate temperature* (85 °C), (90°C), (95°C), *print speed* (50 mm/s), (55 mm/), (60 mm/s), *overlap* (30%), (40%), (50%) *and layer height* (0.10 mm), (0.15 mm), (0.20 mm). Dengan Metode Taguchi L27(3^5) untuk mencetak produk menggunakan parameter dan 5 variasi dalam respon akurasi dimensi dan transparansi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi dimensi dan transparansi dari bahan produk 3D printing dengan bahan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan parameter berbeda menggunakan Metode Grey Taguchi dan mengetahui seberapa besar pengaruhnya dalam pencetakan menggunakan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), dengan 5 parameter proses yang diuji yaitu : *print temperature*, *overlap*, *build plate temperature*, *print speed*, *layer height*, dan dengan tiga level yang berpengaruh pada pengujian akurasi dimensi dan transparansi. Kesimpulan dari eksperimen dalam penelitian ini menyatakan bahwa akurasi dimensi tertinggi adalah spesimen hasil pencetakan dengan nilai parameter *print temperature* (xxx), *build plate temperature*(xxx), *print speed*(xxx), *overlap*(xxx), dan *layer heights*(xxx). Sedangkan untuk tingkat transparansi tertinggi adalah spesimen hasil pencetakan dengan nilai parameter *print temperature* (xxx), *build plate temperature*(xxx), *print speed*(xxx), *overlap*(xxx), dan *layer heights*(xxx).

Kata kunci: 3D *Printing*, PETG, Metode Taguchi, Akurasi Dimensi & Transparansi

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan limpahan rahmat-Nya serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Laporan Makalah Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dan kewajiban mahasiswa dalam menyelesaikan kurikulum program Pendidikan Diploma IV (D-IV) di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Penulis membuat Laporan Makalah Tugas Akhir ini dengan judul **OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN TRANSPARANSI FILAMEN PETG MENGGUNAKAN METODE GREY TAGUCHI**. Dalam rangka memenuhi pemahaman tentang beberapa persyaratan program studi, laporan ini disusun dan diserahkan untuk departemen Teknik Mesin dan Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih yang tulus kepada:

1. Allah SWT yang selalu menganugerahkan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak dan ibu di rumah yang selalu memberikan kasih sayang, do'a, dukungan, dan nasehat selama ini.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Polman Babel, serta pembimbing utama Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan kepada penulis.
4. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping, yang juga telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan kepada penulis.
5. Dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah memberikan ilmu dan pengajaran selama penulis menempuh pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

6. Dan kepada seluruh teman, sahabat, serta pihak terkait yang tidak dapat penulis cantumkan satu-persatu, yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan makalah ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang sifatnya membangun untuk karya yang lebih baik lagi untuk kedepannya. Demikianlah makalah ini dibuat sebagaimana mestinya, dengan harapan akan memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Sungailiat, Januari 2024

Penulis

Rosalina

BAB 1 PENDAHULUAN

3.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi di dunia manufaktur yang semakin pesat membawa dampak yang begitu besar, salah satunya yaitu teknologi 3D *printing* atau juga dikenal sebagai *additive manufacturing*. *Additive manufacturing* adalah proses pembuatan benda solid tiga dimensi dari sebuah file digital (*CAD/Computer Aided Design*). 3D *printing* adalah teknologi proses manufaktur FDM (*Fuse Deposition Modeling*) yang banyak dikembangkan untuk membuat *prototype* cepat sesuai dengan desain yang diinginkan [1]

Proses 3D *printing* teknologi FDM bisa dikatakan mencetak sebuah produk dengan menggunakan proses *additive* dengan menambahkan bahan-bahan dasar secara berurutan atau layer per layer sesuai dengan bentuk mode/file digital yang telah didesain terlebih dahulu. Penggunaan *additive manufacturing* menggunakan 3D *printing* lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan metode konvensional manufaktur. *Rapid prototyping* pada komponen mekanik dengan teknik-teknik dan daya muat produksi yang rendah dalam memproduksi *prototype* dengan cepat.

Penelitian mengenai akurasi dimensi ini pada mesin 3D *printing* FDM pernah dilakukan menggunakan material Eflex. Parameter yang mempengaruhi akurasi dimensi yaitu: *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *print speed*, *overlap*, dan *fan speed*. Optimasi parameter proses ini dilakukan menggunakan metode Taguchi L₂₇ OA. Berdasarkan penelitian dengan spesimen berbentuk kubus ini, parameter proses optimal untuk memperoleh akurasi dimensi X, Y, Z berturut-turut adalah laju alir (*flowrate*) 110%, 120%, 120%, ketebalan lapisan (*layer thickness*) 0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm, suhu nozel (*nozzle temperature*) 210° C, 230° C, 210° C, kecepatan

cetak (*print speed*) 40 mm/s, 30 mm/s, 30 mm/s, tumpang tindih (*overlap*) 75%, 75%, 50%, dan kecepatan kipas (*fan speed*) 50%, 100%, 100% [2]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1], parameter proses yang optimal dengan filamen PLA (*Polylactic Acid*) menggunakan metode Taguchi L₂₇ OA untuk akurasi dimensi tinggi benda uji yaitu dengan suhu *nozzle* (185°C), ketebalan lapisan (0,20 mm), kecepatan cetak (40 mm/s), laju pengisian (8%), dan pelat berbasis suhu (40°C).

Pada sebuah penelitian peningkatan kualitas tingkat akurasi dimensi bisa disimpulkan bahwa parameter sangat mempengaruhi perlakuan pengujian. Untuk akurasi dimensi filamen *eSteel*, parameter yang sangat berpengaruh yaitu persentase *print temperature* 46,502%, *layer height* 0,35 mm, *prints speed* 35 mm/s, dan *print temperature* 215°C [3]

Berdasarkan sebuah penelitian uji transparansi produk dengan dimensi spesimen atau objek cetak berukuran diameter 35 mm dan tebal 2 mm, nilai tingkat transparansi produk hasil pencetakan mesin 3D printing FDM dengan filamen PETG yang paling tinggi adalah 36,667 lux, dan yang paling rendah adalah 117,667 lux [4]

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter optimal proses 3D *printing* dengan menggunakan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) terhadap akurasi dimensi dan transparansi. Dalam upaya mendukung penelitian mencapai hasil yang baik, maka analisis yang digunakan merupakan hasil pertimbangan dari beberapa penelitian terkait yaitu metode Grey Taguchi. Metode Taguchi memiliki tiga karakteristik kualitas, yaitu semakin kecil semakin baik (*smaller is better*), nilai tertentu adalah yang terbaik (*normal is best*), dan semakin besar semakin baik (*larger is better*). Metode Taguchi hanya bisa digunakan untuk optimasi dengan satu respon saja. Oleh karena itu, metode ini harus dikombinasikan dengan metode

lain seperti *grey relational analysis* (GRA) untuk melakukan optimasi multirespon secara bersamaan [5]. Metode ini diusulkan untuk penelitian optimasi proses pencetakan yang dimana metode taguchi dikombinasikan dengan GRA untuk mengoptimalkan multi respon dalam proses pencetakan 3D *printing* dan untuk menganalisis hubungan antar variabel [6]

Oleh karena itu, dengan menggunakan metode analisis *Grey Taguchi*, analisis hasil pada cetakan produk menggunakan filamen PETG dilakukan dalam pengujian akurasi dimensi dan transparansi, dengan berdasarkan acuan beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode Taguchi dapat memecahkan permasalahan untuk menemukan nilai parameter optimal yang membantu analisis kualitas dari produk.

3.1. Perumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat akurasi dimensi dan transparansi filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan pengaruh beberapa parameter?
2. Bagaimana pengaruh parameter terhadap akurasi dimensi dan transparansi sehingga menghasilkan parameter optimal?

3.1. Tujuan Proyek Akhir

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis tingkat keakuratan dimensi dan transparansi filamen PETG dalam hasil cetak 3D *printing*.
2. Mendapatkan parameter optimal mesin 3D *printing* dari segi akurasi dimensi dan transparansi filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) menggunakan Metode Taguchi (*Grey Relational Analysis*).

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. 3D Printing

3D printing adalah pembentukan benda tiga dimensi dari pemodelan secara digital di mana pembuatan dilakukan secara bertahap (layer per layer) sehingga membentuk benda tiga dimensi

3D printing merupakan proses pembuatan benda padat tiga dimensi di mana materi digabung di bawah kontrol komputer dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D dengan material yang ditambahkan bersama-sama yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki volume.

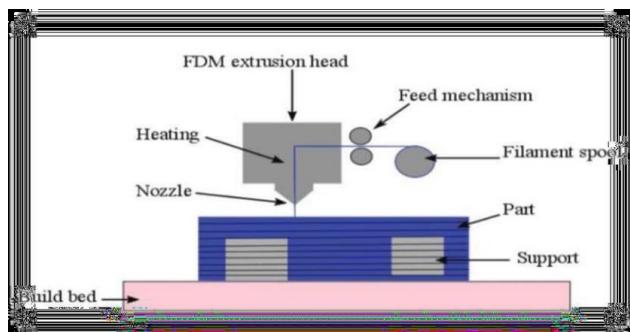
2.2. Prinsip Dasar/Prinsip Kerja Mesin 3D Printing

Prinsip dasar mesin ini yaitu dengan melibatkan partikel padat yang kemudian diberikan proses penyinaran menggunakan laser untuk mencairkan bubuk plastik yang kemudian mencair. Cairan plastik yang dihasilkan kemudian diberikan penyinaran laser berupa ultraviolet. Dan selama proses penyinaran ini sanggup merubah cairan menjadi bentuk padat. Sedangkan prinsip kerjanya yaitu menyiapkan terlebih dahulu model 3D melalui software komputer (CAD). Kemudian gambar CAD dikonversi ke dalam format STL dan ditransfer ke dalam AM Mesin dan STL file manipulasi. Selanjutnya mesin akan membaca layer per layer dari file yang telah ditransfer dan membentuk objek 3 dimensi.

2.3. Tipe Mesin 3D Printing FDM

Fused Deposition Modelling (FDM) atau Pemodelan Deposisi Gabungan merupakan tipe yang paling hemat biaya, ramah lingkungan, dan waktu cetaknya relatif cepat. Jenis ini pencetakannya menggunakan material berbahan plastik. Namun, kekurangan dari tipe ini yaitu permukaan hasilnya

agak kasar dan kurang kuat karena terbuat dari plastik. Penggunaan FDM ini biasanya dalam rangka membuat prototype produk.



Gambar... Ilustrasi Proses FDM Sumber : (Parandoush, 2017)

2.4. Keuntungan dan Kerugian Mesin 3D Printing

- Keuntungan
 - a. Efektivitas waktu.
 - b. Hasil yang didapatkan lebih akurat.
 - c. Dapat memproduksi produk duplikat dalam jumlah yang banyak.
 - d. Biaya proses pemeriksaan produk dapat diminimalkan karena printer 3D tidak terlalu banyak memakan waktu.
 - e. Lebih ramah lingkungan dan meminimalkan limbah.
 - f. Menjadi wadah untuk berinovasi untuk kreatif dalam bidang 3 dimensi.
- Kerugian
 - a. Kurang praktis karena hanya mampu mencetak dengan satu material saja.
 - b. Dapat meningkatkan pembajakan yaitu mendesain ulang ciptaan orang lain.
 - c. Mengurangi lapak pekerjaan bagi sumber daya manusia yang membutuhkan pekerjaan di suatu bidang yang berkaitan dengan ini.
 - d. Apabila dimiliki individu, biaya tergolong mahal.

2.5. Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)

Merupakan termoplastik poliester yang merupakan turunan dari jenis plastik PET, namun pada material ini ditambahkan glikol untuk menghasilkan karakteristik kimiawi tertentu.

- Kelebihan :

- Bisa diaplikasikan dengan beragam di berbagai industri yang berbeda
- Memiliki ketahanan panas yang baik
- Mudah dicetak
- Tahan paparan bahan kimia
- Memiliki daya rekat yang sangat baik pada lapisan-lapisannya
- Tidak berbau saat proses pencetakan
- Memiliki transparansi yang sangat baik



Gambar... Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

Sumber: (*Solarbotics, 2018*)

Tabel.... Spesifikasi Filamen PETG

Spesifikasi Filamen	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Print Temperature</i>	230-250 °C
<i>Print Bed Temperature</i>	40-50 °C
<i>Hot Bed Temperature</i>	>100 °C

<i>Roundness Tolerance</i>	0,01-0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll
<i>Infil Speed</i>	20-50 mm/s

- Kekurangan :

- Jika berada di bawah sinar ultraviolet, produk yang dihasilkan akan mudah rusak meski tahan pada suhu yang tinggi
- Cenderung susah digunakan

2.6. Mekanisme Proses 3D *Printing*

Mekanisme yang ada pada mesin 3D *Printing* adalah sebagai berikut [7]:

1. Model Objek 3D

Membuat model objek 3D dapat dengan menggunakan *software* khusus untuk *modeling* desain 3D yang kemudian disimpan (*save*) dalam format STL. *Software* yang umum digunakan yaitu Solidwork, Autocad, Fusion 360, dan lain sebagainya.

2. Proses *Printing*

Jika desain sudah selesai dibuat maka dapat langsung ditransfer ke 3D printer. Setelah itu dilakukan proses pencetakan, dimana proses pencetakannya tergantung dari besar dan ukuran model. Proses pencetakan menggunakan prinsip *additive layer*. Rangkaian proses mesin akan membaca rancangan atau desain 3D dan menyusun lapisan secara berturut-turut untuk membangun model virtual. Kemudian digabungkan secara otomatis untuk membentuk susunan lengkap dan utuh.

3. *Finishing*

Pada tahap ini dapat menyempurnakan bagian-bagian yang kompleks dengan ukuran yang berbeda dari yang diinginkan atau over sized yang menjadi penyebabnya. Penggunaan teknik multiple material atau material

berbeda, multiple color atau kombinasi warna merupakan teknik tambahan untuk menyempurnakan proses ini.

2.7. Manfaat 3D *Printing*

3D *Printing* memiliki beberapa keunggulan antara lain :

1. Proses produksi prototype lebih singkat
2. Mengurangi cacat desain
3. Membuat pemasaran lebih interaktif
4. Mengurangi pemborosan dan biaya desain yang tinggi
5. Meningkatkan kemampuan untuk memvisualisasikan bagian *geometri*.

2.8. Parameter Proses

Parameter yang digunakan untuk proses pencetakan spesimen dalam 3D printing ada beberapa jenis, yaitu [8]:

1. *Print Temperature*, yaitu temperatur saat filamen diekstrusi.
2. *Build Plate Temperature* adalah temperatur pada papan/plat tempat objek menempel saat dicetak.
3. *Print Speed* adalah kecepatan gerak ketika sedang proses mencetak. Ini juga menjadi penentuan kecepatan motor printer 3D bergerak untuk mengontrol sumbu X dan Y. Apabila *print speed* terlalu lambat, maka akan menyebabkan perubahan bentuk karena *nozzle* terlalu lama menempel pada sampel. Namun apabila *print speed* terlalu cepat, sampel akan menjadi sangat panas karena pendingin yang kurang memadai.
4. *Overlap* adalah tumpang tindih layer saat pencetakan.
5. *Layer Thickness* adalah ketebalan setiap lapisan saat pencetakan.

2.9. Metode Grey Taguchi

Metode taguchi adalah metode dengan usaha peningkatan kualitas secara *off-line quality control* yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses. Sasaran metode ini adalah menjadikan produk tidak sensitive terhadap variable gangguan (*noise*), sehingga disebut sebagai *robust*

design. Metode ini digunakan untuk peningkatan kualitas dan perekayasaan dengan cara rancangan percobaan untuk menemukan penyebab utama yang sangat dominan mempengaruhi kualitas dalam proses, sehingga variabilitas karakteristik kualitas dapat dikendalikan. Dengan metode ini, diperoleh kombinasi terbaik antara unit produk dan unit proses pada tingkat keseragaman yang tinggi untuk mencapai karakteristik kualitas terbaik dengan biaya yang rendah [9].

Metode Taguchi menggunakan seperangkat *matriks* khusus yang disebut *Matriks Orthogonal*. Menentukan jumlah *eksperimen* minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter merupakan langkah pada matriks standar ini .

Pada penelitian ini menggunakan Metode Taguchi *Grey Relational Analysis* (GRA), yang pertama kali diperkenalkan oleh Deng Julong pada tahun 1984. GRA termasuk bagian dari *grey system theory* dan bertujuan untuk menganalisis *grey relational degree* antar setiap faktor *grey system* [10].

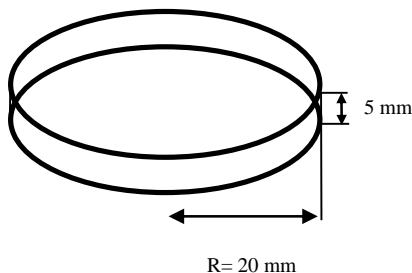
The grey system merupakan pendekatan multidisiplin yang digunakan untuk pemodelan abstrak dan analisis system dengan informasi yang terbatas (*limited*), tidak lengkap, dan tidak menentu. Pendekatan GRA berkaitan dengan perhitungan semua pengaruh dari beberapa faktor serta kaitan-kaitannya. Menggunakan informasi dari *grey system*, pendekatan GRA digunakan untuk membandingkan setiap faktor secara kuantitatif berdasarkan tingkat kesamaan dan variasi antar faktor untuk mengidentifikasi hubungan diantaranya [11].

2.10. Pengujian Akurasi Dimensi dan Transparansi

Pengujian akurasi dimensi adalah pengujian mekanik pada suatu material yang menggunakan sistem akurasi dari suatu produk yang telah didesain software CAD seperti: *Solidwork*, *Fusion 360*, *Inventor*, dan lain sebagainya dengan hasil spesimen actual yang telah dicetak dengan mesin 3D

printing. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm.

Uji transparansi merupakan pengujian mekanik pada suatu material dengan menggunakan sistem seberapa transparan atau tembus pandang suatu material cetak 3D *printing* yang telah didesain menggunakan *software* yang telah ditentukan.



2.11. Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai akurasi dimensi pada mesin 3D printing FDM pernah dilakukan menggunakan material Eflex. Parameter yang mempengaruhi akurasi dimensi adalah *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *print speed*, *overlap*, dan *fan speed*. Optimasi parameter proses tersebut dilakukan menggunakan metode Taguchi L₂₇ OA. Berdasarkan penelitian dengan spesimen berbentuk kubus ini, parameter proses optimal untuk memperoleh akurasi dimensi X, Y, Z berturut-turut adalah laju alir (*flowrate*) 110%, 120%, 120%, ketebalan lapisan (*layer thickness*) 0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm, suhu nozel (*nozzle temperature*) 210° C, 230° C, 210° C, kecepatan cetak (*print speed*) 40 mm/s, 30 mm/s, 30 mm/s, tumpang tindih (*overlap*) 75%, 75%, 50%, dan kecepatan kipas (*fan speed*) 50%, 100%, 100% [2].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1], parameter proses yang optimal dengan filamen PLA (*Polylactic Acid*) menggunakan metode

Taguchi L₂₇ OA untuk akurasi dimensi tinggi benda uji yaitu dengan suhu *nozzle* (185°C), ketebalan lapisan (0,20 mm), kecepatan cetak (40 mm/s), laju pengisian (8%), dan pelat berbasis suhu (40°C).

Pada sebuah penelitian peningkatan kualitas tingkat akurasi dimensi bisa disimpulkan bahwa parameter sangat mempengaruhi perlakuan pengujian. Untuk akurasi dimensi filamen *eSteel*, parameter yang sangat berpengaruh yaitu persentase *print temperature* 46,502%, *layer height* 0,35 mm, *prints speed* 35 mm/s, dan *print temperature* 215°C [3]

Berdasarkan sebuah penelitian uji transparansi produk dengan dimensi spesimen atau objek cetak berukuran diameter 35 mm dan tebal 2 mm, nilai tingkat transparansi produk hasil cetak mesin 3D printing FDM dengan filamen PETG yang paling tinggi adalah 36,667 lux, dan nilai tingkat transparansi paling rendah adalah 117,667 lux [4].

2.12. Desain Eksperimen Taguchi *Grey Relational Analysis*

Metode Taguchi merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas proses dan produk. Tujuan metode taguchi adalah membuat produk dan proses rentan terhadap kegagalan seperti material, fasilitas produk, tenaga kerja manusia, dan persyaratan operasional [12].

Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya yaitu:

1. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan tegas terhadap faktor yang tidak dapat dikendalikan.
2. Dapat melibatkan banyak faktor dan tingkat sehingga lebih efisien dalam melakukan penelitian.
3. Menghasilkan kesimpulan tentang level dari faktor kontrol yang menimbulkan respon optimal.

4. Mampu meminimalkan akibat dari variasi terhadap respon.

Metode Taguchi memiliki struktur desain yang sangat kompleks oleh karena itu, pemilihan desain eksperimen harus dilakukan dengan hati-hati untuk tujuan penelitian. Desain eksperimen adalah proses dimana mengevaluasi 2 faktor secara bersamaan untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas karakteristik produk yang eksklusif. Akibat analisis ini kemudian digunakan untuk memilih faktor yang berpengaruh dan pula tindakan untuk membuat perbaikan lebih lanjut. pada desain 10 eksperimen Taguchi terdiri dari tiga langkah utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Tiga tahapan utama adalah :

1. Tahapan Perencanaan Eksperimen

Tahap perencanaan merupakan fase yang paling terpenting. Pada titik ini seorang peneliti harus dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan informasi positif dan negatif. Informasi negatif terjadi apabila hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi variabel respon. Langkah tahap ini terdiri dari beberapa langkah yaitu sebagai berikut :

a. Perumusan masalah

Pada tahapan ini, perumusan masalah harus dilakukan secara jelas atau spesifik agar dapat diimplementasikan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.

b. Tujuan eksperimen

Permasalahan harus mampu diatasi pada setiap pengambilan keputusan.

c. Penentuan variable tak bebas (variable respon)

Variabel harus dipilih dan didefinisikan dengan jelas.

d. Identifikasi faktor (variable bebas)

Eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien apabila dipilih beberapa faktor saja yang mempengaruhi respon.

e. Pemisah faktor kontrol dan faktor gangguan

Dalam eksperimen Taguchi, faktor kontrol dan faktor gangguan harus diidentifikasi secara jelas sebagai penyebabnya serta efek dari kedua faktor tersebut.

f. Penentuan jumlah dan nilai level faktor

Penentuan jumlah dan nilai level mempengaruhi keakuratan hasil dan biaya menjalankan eksperimen, artinya semakin banyak level yang diteliti, maka semakin banyak hasil eksperimen yang didapat dan semakin banyak pula biaya yang dikeluarkan untuk pembelian bahan yang akan dicetak.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang menggambarkan seberapa banyak dan seberapa besar eksperimen yang harus dilakukan. Derajat kebebasan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut : $ufl = \text{Jumlah level factor} - 1$

h. Pemilihan matrik orthogonal

Matrik *orthogonal* memiliki kemampuan mengevaluasi beberapa faktor percobaan yang minimum. Matrik *ortogonal* L27(3^5) adalah salah satu matrik *ortogonal* standar dengan 3 level 10 derajat kebebasan. Pemilihan matrik *orthogonal* ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari faktor.

2. Tahapan Pelaksanaan Eksperimen

Tahapan pelaksanaan terdiri dari 2 hal yaitu, penetuan jumlah replikasi percobaan

a. Jumlah *replikasi*

Yaitu perlakuan yang sama pada kondisi percobaan untuk mendapatkan akurasi yang lebih tinggi, kurangi tingkat kesalahan dan dapatkan perkiraan harga.

b. Randomisasi

Pengaruh faktor yang tidak diinginkan atau tidak selalu dalam percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh faktor yang terkendalikan pada semua unit percobaan untuk semua percobaan.

3. Tahap Analisis

Tahapan pendekatan GRA berkaitan dengan perhitungan semua pengaruh dari berbagai faktor serta kaitannya (*grey system of factor relation*). Berikut merupakan tahapan dalam pendekatan *Grey relational analysis* [11]:

1. *Setting up eigen value matrix*

Pemrosesan data dilakukan untuk mengubah data yang rumit dan tidak pasti menjadi data berbentuk matriks $i \times k$ dengan jumlah pengambilan sampel dilambangkan dengan i dan jumlah observasi setiap pengambilan sampel dilambangkan dengan k .

2. *Standardized data transformation*

Pada umumnya, *influence factor* dalam *grey system* dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, antara lain:

a. *Benefit-type factor*

Faktor yang memiliki nilai semakin besar dari *original data* menunjukkan karakteristik kualitas yang semakin baik (*larger-the-better*).

b. *Defect-type factor*

Faktor yang memiliki nilai semakin kecil dari *original data* menunjukkan karakteristik kualitas yang semakin baik (*smaller-the-better*).

c. *Medium-type or nominal-the best*

Faktor yang memiliki nilai sama atau paling mendekati standar nilai yang ditentukan menunjukkan karakteristik kualitas yang semakin baik.

Standardisasi data merupakan tahapan dalam *Grey relational generation* dimana hasil eksperimen dinormalisasi menjadi nilai dalam skala 0 sampai 1 dikarenakan satuan pengukuran yang berbeda-beda. Pra-pemrosesan data mengkonversikan *original sequences* menjadi sekumpulan *comparable sequences* [13].

3. *Calculation of deviation sequence*

Perhitungan *deviation sequence* bertujuan untuk menentukan perbedaan absolut antara *compared series* dengan *referential series*.

4. *Determination of grey relational coefficient & grey relational grade*

Perhitungan *grey relational coefficient* (GRC) dilakukan untuk menentukan *sequence* dengan deviasi terendah dengan menggunakan koefisien pembeda p yang bernilai diantara 0 dan 1. Pada umumnya, koefisien pembeda p bermilai 0.5. *Sequence* dengan deviasi terendah akan menghasilkan GRC dengan nilai tertinggi, yakni bernilai 1.

Grey relational grade (GRG) merepresentasikan tingkatan korelasi antara *reference* dan *comparability sequences*. Semakin tinggi nilai *Grey relational grade* menunjukkan kolerasi yang lebih kuat antara *reference* dan *comparability sequences*.

2.13. *Software Minitab*

Minitab merupakan salah satu aplikasi komputer yang dirancang untuk pengolahan statistik. Sebagai salah satu *software* statistik yang dianggap *powerful* karena dapat digunakan untuk data primer maupun data sekunder,

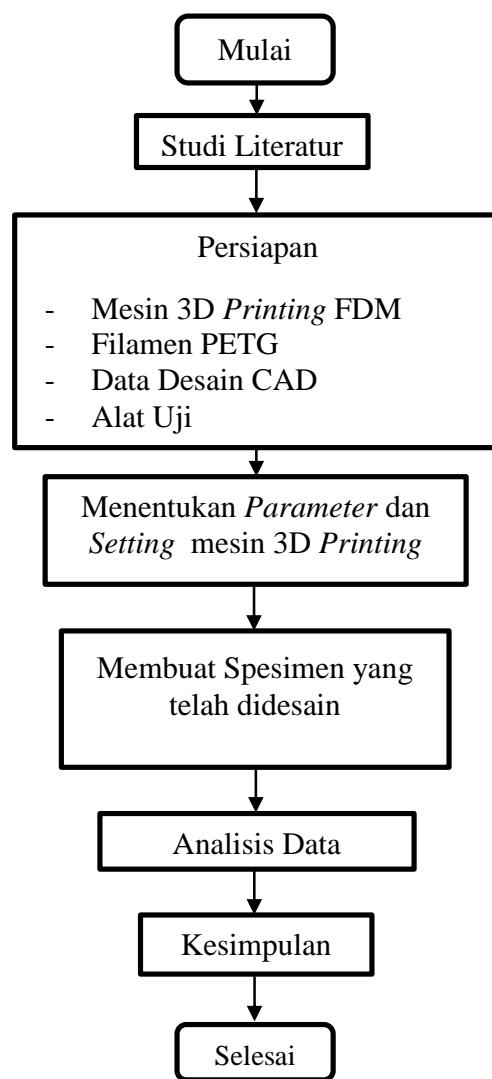
Minitab juga digunakan untuk model-model univariat maupun multivariat [14].

Minitab menyertakan penggunaan Microsoft Excel yang berkemampuan untuk melakukan analisis statistik yang kompleks, dilengkapi dengan model-model statistika yang digunakan dalam perancangan percobaan seperti model DOE dan Taguchi, dan juga dilengkapi dengan pemodelan regresi nonlinier.

BAB 3 METODE PELAKSANAAN

3.1. Diagram Alir

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:



3.2. Studi Literatur

Studi literatur adalah teori yang mencari referensi dengan kasus konflik yang dilakukan. Referensi ini terdiri dari berbagai sumber seperti

buku, jurnal, artikel, laporan artikel dan situs-situs internet. Studi literatur ini mendukung dalam sebuah penelitian

3.3. Persiapan Alat dan Bahan

3.3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan yaitu filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), filamen PETG merupakan turunan dari jenis plastik PET, namun ditambahkan glikol untuk menghasilkan karakteristik kimiawi tertentu. Filamen PETG memiliki ukuran diameter 1,75 mm dan filamen PETG ini dapat dipanaskan dengan suhu 230-250°C. Filamen PETG dapat dilihat pada Gambar di bawah ini,

Filamen PETG memiliki karakteristik kekuatan yang lebih tinggi, penyusutan lebih rendah, dan ketahanan kimia yang baik. Filamen ini mengandung penyerap UV dan hidrofobisitas yang baik (tidak mudah menyerap air). Ini juga memiliki kekuatan yang baik dan ulet sehingga menjadikannya bahan yang baik dan tangguh untuk komponen mekanik (Solarbotics, 2018).

3.3.2. Peralatan Pengujian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin 3D Printer.

Mesin 3D printer yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin dengan model Ender dengan printing area XYZ 180 mm × 300 mm × 300 mm.

2. Alat Uji Akurasi Dimensi dan Transparansi.

Alat yang digunakan untuk pengujian akurasi dimensi adalah jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm, sedangkan untuk pengujian transparansi yaitu *digital lux meter*.

3. Laptop.

Laptop yang digunakan berfungsi untuk menjalankan program yang melakukan rancangan/desain spesimen (*Solidwork/fusion 360*) dan pencetakan 3D printer (*Ultimaker Cura 4.1.1*).

4. Software Solidwork

Sesuai fungsinya, program ini akan digunakan sebagai alat rancangan atau desain spesimen yang telah direncanakan untuk bahan uji akurasi dimensi dan Transparansi. Pada program ini, *soft file* akan disimpan dengan format .STL.

5. Software Slicer Ultimaker Cura 4.1.1

Program ini berfungsi sebagai pembaca file STL atau menjalankan *G-code* desain yang telah dibuat dan mengatur parameter mesin serta menjalankan mesin 3D printer

6. Software Minitab 19

Program ini akan membantu pengolahan data yang akan dilakukan dalam Penentuan variasi parameter atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variabel pada metode *Design of Experiment* (DoE).

3.4. Penentuan Parameter

3.4.1. 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. Pengujian “*one change at a time*” selalu menghasilkan resiko yang mengharuskan pelaku eksperimen untuk menemukan satu variabel input untuk memiliki efek signifikan pada *output* sementara mereka terhambat karena tidak dapat mengganti variabel demi menjaga kestabilan variabel lainnya. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *printing temperature*

(°C), *build plate temperature* (°C), *infil density* (%), *layer height* (mm), *print speed* (mm/s).

3.4.2. Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Pemilihan parameter proses berupa faktor dan eksperimen, yaitu ditentukan oleh parameter metode yang digunakan dalam penelitian ini ada 5 yaitu: *printing temperature* (°C), *build plate temperature* (°C), *infil density* (%), *layer height* (mm), *print speed* (mm/s).

Penelitian ini menggunakan desain *Taguchi L₂₇*dengan 5 faktor dan 3 level. Ditunjukkan pada table di bawah ini

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1	<i>Print Temperature</i>	240°C	245°C	250°C
2	<i>Build Plate Temperature</i>	85°C	90°C	95°C
3	<i>Print Speed</i>	50 mm/s	55 mm/s	60 mm/s
4	<i>Overlap</i>	50%	60%	70%
5	<i>Layer Height</i>	0,10 mm	0,15 mm	0,20 mm

3.4.3. Pemilihan Matriks Orthogonal

Pengimplementasian matriks orthogonal harus memiliki derajat kebebasan sama atau lebih besar dari keseluruhan parameter proses derajat kebebasan dan tingkat faktor yang sudah ditetapkan dan ditunjukkan pada tabek di bawah ini,

Parameter Proses	Jumlah Level (k)	Ufl = (k-1)
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	3	2
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	3	2
<i>Print Speed</i> (mm/s)	3	2
<i>Overlap</i> (%)	3	2
<i>Layer Height</i> (mm)	3	2

Total derajat kebebasan	10
-------------------------	----

Tabel diatas menunjukkan bahwa derajat kebebasan minimal termasuk dalam matriks orthogonal yang akan digunakan sebanyak 10. Oleh karena itu, rancangan ini berarti memenuhi kondisi yang berlaku sebagai rancangan desain eksperimen dengan matriks orthogonal $L_{27}(3^5)$ dengan memiliki 5 kolom dan 27 baris.

Tabel 2. Desain Faktorial Penelitian L27 OA

Exp.	Print Temperature (°C)	Build Plate Temperature (°C)	Print Speed (mm/s)	Overlap (%)	Layer Height (mm)
1	240	85	50	50	0,10
2	240	85	55	60	0,15
3	240	85	60	70	0,20
4	240	90	50	60	0,15
5	240	90	55	70	0,20
6	240	90	60	50	0,10
7	240	95	50	70	0,20
8	240	95	55	50	0,10
9	240	95	60	60	0,15
10	245	85	50	60	0,20
11	245	85	55	70	0,10
12	245	85	60	50	0,15
13	245	90	50	70	0,10
14	245	90	55	50	0,15
15	245	90	60	60	0,20
16	245	95	50	50	0,15
17	245	95	55	60	0,20
18	245	95	60	70	0,10
19	250	85	50	70	0,15
20	250	85	55	50	0,20
21	250	85	60	60	0,10
22	250	90	50	50	0,20
23	250	90	55	60	0,10
24	250	90	60	70	0,15
25	250	95	50	60	0,10
26	250	95	55	70	0,15
27	250	95	60	50	0,20

Eksperimen dilakukan secara acak dengan parameter yang telah dikombinasi dengan mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai matriks orthogonal.

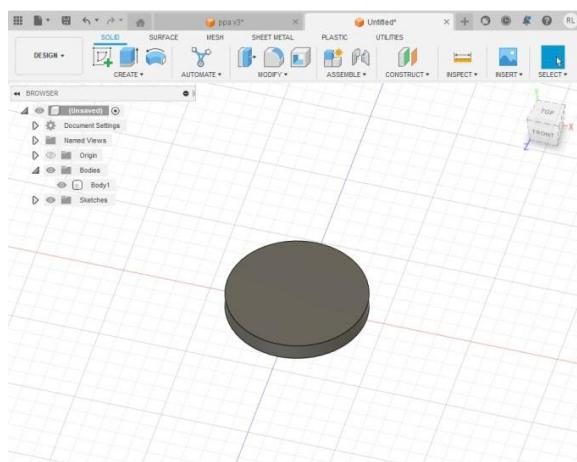
3.4.4. Variabel Respon

Variabel respon menjelaskan tentang variabel yang diamati pada penelitian. Pada penelitian ini, variable respon yang digunakan ada dua yaitu akurasi dimensi dan transparansi produk.

3.5. Pelaksanaan Eksperimen

Tahapan dalam Pelaksanaan Eksperimen ini yaitu sebagai berikut:

- Membuat spesimen sesuai dengan rencana sebelumnya pada software CAD (dalam hal ini yang digunakan adalah *software Fusion 360*) dalam format STL desain.



Gambar... Desain Spesimen

Sumber: (Dokumen Pribadi, 2023)

Format STL desain tersebut diletakkan pada *software slicer* untuk mengatur parameter proses dan level yang ditentukan sebelumnya untuk kemudian mendapatkan *G-code*.

- Apabila telah mendapatkan *G-code*, selanjutnya dilakukan proses pencetakan spesimen menggunakan filamen PETG dengan parameter proses yang telah dirancang.
- Setelah melakukan pencetakan, selanjutnya adalah pengujian akurasi dimensi menggunakan jangka sorong dan transparansi menggunakan *digital lux meter* terhadap spesimen yang telah dicetak.
- Melakukan Pengambilan data hasil pengujian.
- Pengolahan data hasil pengujian dan mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian ini.

3.6. Pengambilan Data

Proses pengambilan data ini sesuai dengan variabel responnya, maka menggunakan alat jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm dan digital lux meter, dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

3.7. Pengolahan Data

Apabila pengambilan data hasil pengujian telah dilakukan, selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan memasukkannya ke dalam *software Microsoft Excel*. Kemudian data yang telah diolah akan dianalisis menggunakan *software minitab*. Tujuan dilakukannya pengolahan data ini yaitu untuk mendapatkan parameter proses yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Malinda C; Pristiansyah; Yudi Oktriadi, “Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade,” *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 13, no. 01, pp. 0–8, 2021, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [2] Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, “Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex,” *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0–7, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [3] I. Apriansyah, A. Zamheri, and F. Arifin, “Peningkatan akurasi dimensi dan tingkat kekerasan pada fillamen esteel dengan pendekatan metode Taguchi,” *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/2150/1379>
- [4] H. Pristianyah, “Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang Dihasilkan,” *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, vol. 6, pp. 181–186, 2018.
- [5] A. Mufarrih, *Optimasi Multi Respon dengan Metode Taguchi- Grey-Fuzzy Pada Proses Gurdi Material Kevlar Reinforced Polymer (Kfrp) yang Ditumpuk Response Taguchi-Grey-Fuzzy Method In Drilling Of Kevlar Fiber Reinforced Polymer (Kfrp) Stacked*. 2015.
- [6] A. Mufarrih and K. Nadliroh, “Aluminium, Aplikasi Metode Taguchi-Grey untuk Optimasi Multirespon pada Pembubutan Aluminium,” *Semin. Nas. Multidisiplin*, pp. 283–290, 2019.

- [7] S. L. Simamora, “3D Printing Technology,” 1980.
- [8] A. Ferdiansyah, “PENGARUH PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING FDM The Effect of Proses Parameters on 3D printing FDM on Tensile strength of ABS,” 2021.
- [9] P. Wahyu Haumahu, “1 , 2 1 2,” pp. 978–979, 2011.
- [10] S. Liu, J. Forrest, and Y. Yang, “A brief introduction to Grey systems theory Grey Systems : Theory and Application A brief introduction to grey systems theory Article information ;,” no. January 2015, 2011, doi: 10.1109/GSIS.2011.6044018.
- [11] N. S. & A. Jović, “Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking,” vol. 1144, 2017, doi: 10.7305/automatika.53-3.80.
- [12] P. Halimah and Y. Ekawati, “Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD . XY Malang Application of the Taguchi Method to Improve the Quality of Lightweight Bricks at UD . XY Malang,” pp. 13–26, 2020, doi: 10.30813/jiem.v13i1.1694.
- [13] Z. Jurković, M. Brezočnik, B. Grizelj, and V. Mandić, “Optimization of extrusion process by genetic algorithms and conventional techniques OPTIMIZATION OF EXTRUSION PROCESS BY GENETIC ALGORITHMS,” no. December 2009, 2015.
- [14] A. Marsinta Arsani, *Buku Aplikasi Minitab Untuk Statistisi Pemula*, no. March. 2022.