

**ANALISIS DAN OPTIMASI PARAMETER 3D PRINTING
MATERIAL CARBON FIBER PLA MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI-GRA**

PROYEK AKHIR

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



(Disusun Oleh)

Muhammad Zaki Affuddin Khafid NIM. 1042049

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

JULI 2024

**ANALISIS DAN OPTIMASI PARAMETER *3D PRINTING*
MATERIAL *CARBON FIBER PLA* MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI-GRA**

PROYEK AKHIR

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



Diusulkan oleh :

Muhammad Zaki Afifuddin Khafid NIM. 1042049

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

**ANALISIS DAN OPTIMASI PARAMETER 3D PRINTING MATERIAL
CARBON FIBER PLA MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI-GRA**

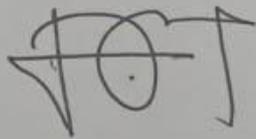
Oleh :

Muhammad Zaki Afifuddin Khafid / 1042049

Laporan akhir ini telah di setujui dan disahkan sebagai satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Mnuafaktur Negri Bangka Belitung

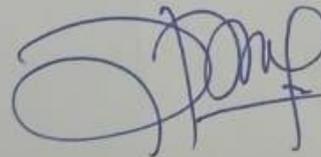
Menyetujui,

PEMBIMBING 1



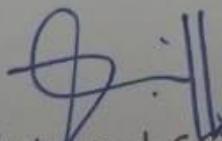
Angga Sateria, S.S.T., M.T

PEMBIMBING 2



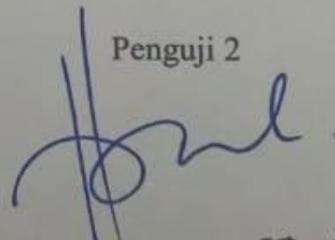
Zaldy S Suzen, S.S.T., M.T

Penguji 1



(Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.)

Penguji 2



(Hasdiansah, S.S.T., M.Eng.)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Zaki Afifuddin Khafid NIM: 1042049

Dengan Judul : Analisis Dan Optimasi Parameter 3D *Printing* Material
Carbon Fiber Pla Menggunakan Metode Taguchi-Gra

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami 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, 07 Februari 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Muhammad Zaki Afifuddin Khafid



ABSTRAK

Seiring berkembangnya teknologi, proses manufaktur dalam dunia industri kian berkembang. Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pembuatan produk dengan dimensi yang ideal adalah *3D printing*. Salah satu metode *3D printing* yang banyak digunakan yaitu *Fused Deposition Modelling* (FDM). Prinsip kerja dari FDM ini adalah dengan mengesktruksi filamen *thermoplastic* melalui *nozzle* yang dipanaskan dan dicetak lapis demi lapis. Dengan perkembangan teknologi, filamen yang digunakan dalam *3D printing* turut beraneka ragam. *Carbon Fiber* merupakan salah satu material yang populer diindustri karena kekuatan dan daya tahan yang dimilikinya. Penelitian ini dilakukan untuk mencari kombinasi parameter suhu *nozzle*, *layer height*, dan *printing speed* yang optimal terhadap akurasi dimensi dan kekasaran permukaan pada produk filamen *Carbon Fiber*. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu *nozzle*, *layer height*, dan *printing speed*. Suhu *nozzle* yang digunakan adalah 195 °C, 210 °C, dan 225 °C. Variasi *layer height* yang digunakan adalah 0.15mm, 0.20mm, dan 0.25mm. Sedangkan untuk *printing speed* sebesar 70 mm/s, 85 mm/s, dan 100 mm/s. Parameter tersebut akan disusun berdasarkan *matriks ortogonal* $L_{27}(3^3)$ dengan interaksi antar parameter. Parameter respon yang digunakan adalah kekasaran permukaan dan akurasi dimensi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap kedua respon tersebut adalah *layer height*. Optimasi parameter terhadap produk filamen *Carbon Fiber* dapat menggunakan parameter suhu *nozzle* 195 °C, *layer height* 0.20mm, dan *print speed* 85mm/s.

Kata Kunci : *3d printing*; *Carbon Fiber*; akurasi dimensi; kekasaran permukaan; optimasi

ABSTRACT

Technology is evolving, and so is the manufacturing process in the industrial world. One technology that is widely used in making products with ideal dimensions is 3D printing. One of the widely used 3D printing methods is Fused Deposition Modeling (FDM). The working principle of FDM is to extrude thermoplastic filaments through a heated nozzle and print layer by layer. With the development of technology, the filaments used in 3D printing also vary. Carbon Fiber is one of the most popular materials in the industry due to its strength and durability. This study was conducted to find the optimal combination of nozzle temperature, layer height, and printing speed parameters for dimensional accuracy and surface roughness on Carbon Fiber filament products. The process parameters used in this study are nozzle temperature, layer height, and printing speed. The nozzle temperatures used were 195°C, 210°C, and 225°C. The layer height variations used were 0.15mm, 0.20mm, and 0.25mm. Meanwhile, the printing speed is 70%, 85%, and 100%. The parameters will be arranged based on the orthogonal matrix L27(3³) with interactions between parameters. Response parameters used are surface roughness and dimensional accuracy. From this study it can be concluded that the parameter that has the most influence on both responses is layer height. Parameter optimization for Carbon Fiber filament products can use the parameters of nozzle temperature 195°C, layer height 0.20mm, and printing speed 85%.

Keyword : 3D printing; Carbon Fiber; dimensional accuracy; surface roughness; optimization.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT karena atas limpahan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah tugas akhir ini penulis makalah ini yang berjudul “ Analisis Dan Optimasi Parameter Proses 3d *Printing Material Cabon Fiber Pla* Menggunakan Metode Taguchi Gra ”, dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan makalah ini, penulis sadar bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak sejak awal perkuliahan hingga selesainya makalah tugas akhir ini, seiring selesai nya tugas akhir ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Keluarga tercinta terutama orang tua Ibu Istiningsih dan Bapak Zainal Arifin yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungan serta kasih sayang kepada penulis selama melaksanakan studi Diploma IV di Polman Babel.
2. Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T, selaku pembimbing utama yang telah menyetujui tugas akhir serta telah banyak memberikan konsep pemikiran dan dukungan tentang tugas akhir ini.
3. Bapak : Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T, Selaku pembimbing pendamping serta dosen wali yang telah banyak memberikan ide-ide dan konsep pemikirannya.
4. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku ketua prodi D IV Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Negeri Bangka Belitung.
6. Seluruh pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Teman-teman kos dan teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini
8. Terima kasih untuk penguji yang sudah memberikan arahan dan masukannya.
9. Dan semua pihak yang selalu membantu dan memberikan motivasi serta arahan.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, semoga tugas akhir ini memberi manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya pada masa yang akan datang

Sungailiat, 07 Februari 2024

Penulis



M Zaki Afifuddin Khafid

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.1 Tujuan	3
1.2 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>3D Printing</i>	5
2.2 Parameter Proses.....	6
2.3 Filamen <i>Carbon Fiber</i>	6
2.4 Metode Taguchi.....	7
2.5 <i>SN Ratio (Signal to Noise Ratio)</i>	10
2.6 <i>Grey Relational Analysis</i>	11
2.7 Akurasi Dimensi	13
2.8 Kekasaran Permukaan.....	14

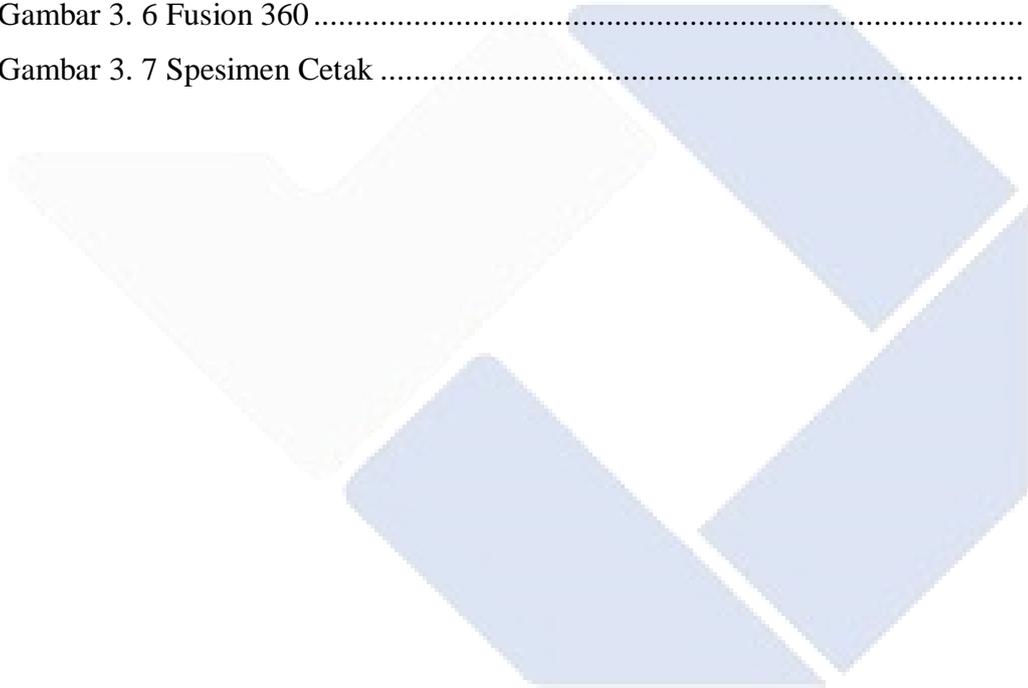
BAB III METODE PELAKSANAAN	15
3.1 Metodologi Penelitian	15
3.2 Studi Literatur	16
3.3 Perencanaan Penelitian	16
3.4 Rancangan Penelitian	16
3.5 Persiapan Alat dan Bahan	18
3.5.1 Bahan	18
3.5.2 Alat	18
3.6 Proses Pencetakan	21
3.7 Pengambilan Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Pengujian	23
4.1.1 Kekasaran Permukaan	23
4.1.2 Akurasi Dimensi	25
4.2 Pengolahan Data Metode Taguchi	26
4.2.1 <i>Signal to Noise Ratio (SN-Ratio)</i>	26
4.2.2 Normalisasi <i>Signal to Noise Ratio (SN Ratio)</i>	25
4.2.3 Delta dan Gamma (<i>Grey Relational Coefficient</i>)	28
4.2.4 Nilai <i>Grey Taguchi</i>	31
4.3 Pengolahan Data ANOVA	33
BAB V PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Penelitian	16
Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian	17
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan	24
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Akurasi Dimensi	26
Tabel 4. 3 Perhitungan SN <i>Ratio</i> Kekasaran Permukaan.....	27
Tabel 4. 4 Perhitungan SN <i>Ratio</i> Akurasi Dimensi	25
Tabel 4. 5 Hasil Normalisasi Kekasaran Permukaan.....	26
Tabel 4. 6 Hasil Normalisasi Akurasi Dimensi	28
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Delta dan Gamma Kekasaran Permukaan.....	29
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Delta dan Gamma Akurasi Dimensi Panjang.....	30
Tabel 4. 9 <i>Grey Relational Grade</i>	31
Tabel 4.10 Rata-rata nilai GRG tiap Faktor	32
Tabel 4. 11 Konfigurasi Faktor untuk respon optimal.....	33
Tabel 4. 13 <i>Analysis Of Variance</i>	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Pencetakan Pilamen	6
Gambar 2. 2 Profil Kekasaran Permukaan	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	15
Gambar 3. 2 Filamen <i>Carbon Fiber</i>	18
Gambar 3. 3 Mesin 3D <i>Printing Ender 3 Pro</i>	19
Gambar 3. 4 Alat Uji Kekasaran Permukaan	19
Gambar 3. 5 Mikrometer Sekrup.....	20
Gambar 3. 6 Fusion 360	21
Gambar 3. 7 Spesimen Cetak	21



DAFTAR LAMPIRAN

1. Daftar riwayat hidup
2. Spesifikasi mesin
3. Spesifikasi material
4. Hasil SN *Ratio* Kekasaran Permukaan
5. Plagiasi
6. Form bimbingan
7. Form monitoring
8. LOA
9. Form revisi
10. Poster
11. Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri saat ini semakin cepat dan pesat, dengan banyak teknologi baru yang bermunculan untuk membantu aktivitas manusia dalam beraktivitas, salah satunya untuk mendapatkan kualitas produk yang maksimal seperti *3D-printing*. *3D-Printing* merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi. *3D-Printing* adalah sebuah printer yang mampu mencetak benda secara tiga dimensi, bukan berupa gambar atau tulisan di atas kertas. Kelebihan dari *3D-Printing* adalah sangat memungkinkan untuk membuat berbagai bentuk pola rumit. Hal ini dikarenakan keleluasan gerakan printing pada ruang lingkup tiga dimensi. Terkait dengan defenisinya tersebut maka *3D-Printing* dapat berfungsi penting dalam dunia manufaktur. Dari segi material printing, material yang hingga saat ini umumnya digunakan untuk *3D-Printing* adalah plastik, metal dan keramik. Oleh karena itu, penelitian-penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan optimasi yang maksimal, baik dalam proses maupun bahan yang digunakan dalam 3D printing tersebut (Pristiansyah; *et al.*, 2019).

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi dan lebih murah (CA, 2018).

Filamen *Carbon Fiber* dibuat menggunakan serat kecil yang dimasukkan ke dalam bahan dasar. Hal itu akan meningkatkan sifat material yang dicampur dengan *Carbon Fiber*. *Carbon Fiber* sangat kuat dan menyebabkan filamen meningkat kekuatan dan kekakuannya. Artinya, bagian cetakan 3D akan jauh lebih ringan dan lebih stabil secara dimensi karena serat akan membantu

mencegah penyusutan bagian saat mendingin. *Carbon Fiber* PLA terbukti lebih kaku, memberikan kekuatan struktural yang sangat baik dan daya rekat lapisan dengan kelengkungan yang sangat rendah. Ini juga memiliki hasil akhir hitam *matte* yang indah dengan sedikit (Faizun, 2022).

Aplikasi umum dari filamen *Carbon Fiber* termasuk kendaraan R/C, prototipe fungsional, potongan dekoratif, dan alat peraga ringan, menyatakan bahwa PLA *Carbon Fiber* sangat ideal untuk aplikasi apa pun yang membutuhkan sifat ringan dan kaku. Bagian yang diperkuat *Carbon Fiber* dirancang untuk menggunakan lebih sedikit material dan menghemat berat. Ini sangat populer di bidang kedirgantaraan, teknik sipil, militer, dan olahraga motor. Jadi, secara detail pada campuran khusus ini menanamkan kekuatan *Carbon Fiber* dengan fleksibilitas tidak seperti PLA lainnya (Simplify3D, 2014).

Pada penelitian *temperature nozzle* dan *base plate* terhadap nilai masa jenis dan nilai kekasaran, dikaji tentang pengaruh parameter temperatur *nozzle* dan *base plate* pada material PLA terhadap kehalusan permukaan. Pada proses penelitian ini material yang dipakai adalah *Poly Lactid Acid* (PLA) yang kemudian akan dibentuk menjadi spesimen dengan ukuran 30 x 30 x 10 mm. Dengan menggunakan temperatur *nozzle* yaitu 190°C, 205°C, 220°C dan temperatur *base plate* 30°C dan 50°C serta menggunakan lem dan tidak menggunakan lem. Pada penelitian ini, didapatkan hasil *density* yang paling mendekati dengan *density* material adalah pada temperatur *nozzle* 190°C dan temperatur *base plate* 50°C dengan menggunakan lem ataupun tidak pada *single nozzle* sebesar 1.734 g/cm³, sedangkan pada *dual nozzle*, temperatur *nozzle* 220°C dan *base plate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 1.772 g/cm³. Sedangkan hasil kekasaran permukaan pada penelitian ini terdapat pada temperatur *nozzle* 190°C dan temperatur *base plate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 5.709 µm, sedangkan *dual nozzle* terdapat pada temperatur *nozzle* 220°C dan temperatur *base plate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 10.6 µm (Hakim *et al.*, 2019).

Penelitian sebelumnya menggunakan filamen *Carbon Fiber* menyatakan, metode kontrol *nozzle* dan jalur yang baru di rancang untuk memenuhi tuntutan pencetakan *Carbon Fiber* yang berkelanjutan. Melalui percobaan dan analisis,

Carbon Fiber yang telah di proses sebelumnya dengan bahan pengatur ukuran asam polilaktat dapat secara efektif meningkatkan kekuatan antarmuka antara *Carbon Fiber*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan fleksural komposit yang di perkuat *Carbon Fiber* yang di modifikasi adalah 12,8% dan 164% lebih tinggi dari sampel yang di perkuat *Carbon Fiber* asli (Li *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka penelitian ini akan menguji pengaruh parameter kekasaran permukaan dan akurasi dimensi dengan parameter suhu *nozzle*, *printing speed* dan *layer height* menggunakan filamen *Carbon Fiber PLA* (*polylactid acid*). Penelitian ini juga akan melakukan optimasi parameter suhu *nozzle*, *printing speed* dan *layer height* terhadap kekasaran permukaan dan akurasi dimensi menggunakan metode Taguchi-*Grey relational analysis*.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh parameter proses terhadap kekasaran permukaan dan akurasi dimensi?
2. Bagaimana level parameter yang optimal untuk kekasaran permukaan dan akurasi dimensi?

1.3 Tujuan

1. Menentukan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan akurasi dimensi.
2. Menentukan level parameter yang optimal untuk kekasaran permukaan dan akurasi dimensi.

1.4 Batasan Masalah

Agar masalah dalam penelitian ini lebih berfokus pada tujuan dan tidak menyimpang dari tujuan yang direncanakan. Penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut ini :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengujian kekasaran permukaan dan akurasi dimensi menggunakan *Carbon Fiber PLA*

2. Penelitian ini hanya menganalisa dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan.



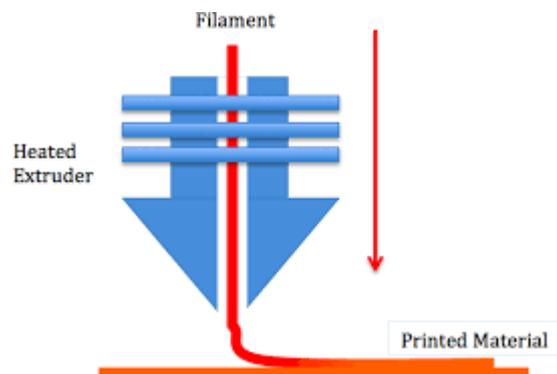
BAB II

DASAR TEORI

2.1 3D Printing

3D *printing* merupakan teknologi yang digunakan untuk mencetak objek 3 dimensi dari model digital (Galeta *et al.*, 2016). Dalam beberapa tahun terakhir, proses 3D ini mengalami cukup banyak ekspansi yang fenomenal. Proses ini dikomersialkan pertama kali oleh Charless Hull pada tahun 1980 (Shahrubudin *et al.*, 2019).

Salah satu teknologi dalam perkembangan 3D printing adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). FDM merupakan teknik 3D *printing* yang paling banyak digunakan dan dinilai lebih ekonomis (Hasdiansah and Sugiyarto, 2021). Prinsip kerja dari FDM adalah dengan memanfaatkan proses pelelehan pada filamen termoplastik yang akan diekstrusi dari *nozzle* yang digerakkan oleh motor. Dari proses tersebut lelehan filamen akan dicetak diatas *platform* yang bergerak maju mundur. Proses pencetakan tersebut dilakukan lapis demi lapis, setelah lapisan pertama selesai, *platform* akan turun ke arah sumbu z dan kemudian *nozzle* akan bergerak kembali untuk mencetak lapisan kedua. Langkah ini akan terus menerus dilakukan hingga lapisan terakhir sesuai model yang telah dibuat (Carneiro *et al.*, 2015). Model yang dicetak sebelumnya merupakan model 3D yang dibuat dalam perangkat lunak CAD. Setelah itu model diekspor ke perangkat lunak *slicing* untuk mengonversi model menjadi kode G yang akan digunakan pada mesin 3D printing (Pristiansyah *et al.*, 2019). Proses pencetakan Filamen diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses Pencetakan Pilamen

(<https://www.central-jogja.com/fused-deposition-method>)

2.2 Parameter Proses

Dalam proses pencetakan 3D printing, ada beberapa parameter penyesuaian seperti (Pratama *et al.*, 2021):

1. Suhu *nozzle* merupakan suhu yang digunakan untuk melelehkan filamen dalam proses ekstruksi.
2. Suhu meja merupakan suhu yang berada pada meja cetak untuk menstabilkan sifat mekanik hasil cetak.
3. *Print speed* adalah kecepatan motor mesin 3D *printing* yang mengontrol gerak sumbu X, Y, dan Z.
4. *Cooling speed* merupakan motor kipas untuk mendinginkan hasil ekstruksi.
5. Tebal *layer* merupakan tebal tiap lapisan sehingga menentukan hasil cetak.

2.3 Filamen *Carbon Fiber*

Carbon Fiber merupakan salah satu material yang populer di industri dikarenakan kekuatan dan daya tahan yang dimilikinya. Dengan kemajuan teknologi dibidang 3D *printing*, *Carbon Fiber* menjadi salah satu material biokomposit yang dipilih untuk meningkatkan kekuatan dari filamen (Valvez *et al.*, 2020). Dengan penambahan *Carbon Fiber* pada filamen menyebabkan meningkatnya kekuatan pada filamen tersebut.

Material komposit yang diperkuat *Carbon Fiber* terus menjadi kelas material yang penting dalam banyak aplikasi karena kekuatan dan kekakuan spesifiknya yang tinggi. Salah satu fitur yang membuat serat karbon menjadi bahan yang menarik untuk penguat adalah bahwa *Carbon Fiber* dapat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan tertentu dari penggunaan yang diinginkan yang dapat menghasilkan penghematan berat yang luar biasa dengan kekuatan yang lebih baik. Namun, salah satu masalah utama dengan bahan *Carbon Fiber* adalah sifat anisotropik yang melekat pada komposit yang dibuat dari beberapa lapisan atau lapisan *Carbon Fiber*, di mana kekuatan interlaminar material sangat ditentukan oleh sifat matriks. Fitur ini menyebabkan material *Carbon Fiber* memiliki sifat penyerapan energi yang buruk dan kekuatan geser interlaminar yang lemah yang dapat menyebabkan kegagalan karena delaminasi lapisan (Kimia and Auburn, 1991).

2.4 Metode Taguchi

Metode Taguchi juga dikenal dengan metode *Robust Design* merupakan metode yang dikenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1940. Metode ini dibagi menjadi 2 komponen yaitu *Matriks Ortogonal* dan *Signal to Noise Ratio* (SN Ratio) (Rahmadani *et al.*, 2012). Metode ini dikemukakan dengan tujuan meningkatkan kualitas proses dan produk serta mengurangi biaya dan sumber daya penelitian hingga lebih efisien.

Matriks Ortogonal merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi respon. Sedangkan SN Ratio digunakan untuk membandingkan parameter yang paling berpengaruh terhadap respon (Soejanto, 2009).

Pada umumnya, metode Taguchi memiliki beberapa fase utama yang mencakup semua pendekatan eksperimental yaitu (Soejanto, 2009):

1. Fase Perencanaan

Perencanaan merupakan fase pertama dari tiap kegiatan. Pada tahap ini peneliti diminta untuk memahami eksperimen yang akan dilakukan. Beberapa langkah sistematis dalam usulan melakukan eksperimen adalah :

a. Menyatakan Permasalahan atau Perumusan Masalah

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

b. Menentukan Tujuan Penelitian

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

c. Menentukan Metode Pengumpulan Data

d. Identifikasi Variabel Dependen

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

e. Identifikasi Variabel Independen

f. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Pengganggu

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

g. Menentukan Jumlah dan Nilai Level Faktor

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

h. Perhitungan Derajat Kebebasan

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

$$V_{mo} = \text{jumlah percobaan} - 1 \quad (1)$$

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

$$V_{fl} = \text{jumlah level parameter} - 1 \quad (2)$$

i. Pemilihan Matriks Ortogonal

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

$$L_a(b^c) \quad (3)$$

Dengan:

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level parameter

c = Banyaknya parameter

2. Fase Pelaksanaan Eksperimen

Setelah perencanaan siap, fase selanjutnya adalah tahap eksekusi. Fase ini terdiri dari penentuan jumlah pengulangan (replikasi) dan pengacakan kombinasi eksperimen (randomisasi).

a. Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan pengulangan objek penelitian dengan perlakuan yang sama, dengan objek awal yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Dengan demikian, mengurangi tingkat kesalahan dan perkiraan hasil yang salah.

b. Randomisasi

Dalam melakukan eksperimen, tentu selalu ada faktor yang tidak dapat dikendalikan. Randomisasi ini dilakukan untuk memperluas faktor yang tidak dapat dikendalikan tersebut. Sehingga memberikan kesempatan yang sama untuk menerima perlakuan yang sama.

3. Fase Analisis

Pada fase analisis dilakukan dengan pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahap ini meliputi pengumpulan data, pengolahan data, perhitungan, dan penyajian data dalam tampilan yang diberikan sesuai desain eksperimen.

2.5 SN Ratio (*Signal to Noise Ratio*)

Salah satu tahap analisis Taguchi adalah dengan menentukan nilai *SN Ratio*. Tahap ini dilakukan untuk menentukan pengaruh dan nilai optimal faktor-faktor yang digunakan terhadap karakteristik kualitas hasil eksperimen. Karakteristik tersebut seperti *Smaller is Better*, *Nominal is Best*.

a. *Smaller is Better*

Karakteristik ini digunakan untuk respon yang nilainya semakin kecil semakin baik dengan atas nilai nol dan non negatif dimana mendekati nol adalah nilai yang diinginkan.

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data percobaan

b. *Nominal is Best*

Nominal is Best merupakan karakteristik kualitas dengan nilai dan atas bukan nol dimana nilai yang mendekati nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data percobaan

S = Standar Deviasi

Metode Taguchi dengan *SN Ratio* hanya berlaku untuk eksperimen *single respon*, sehingga dalam eksperimen multirespon digunakan metode lanjutan yang dikenal dengan *Grey Relational Analysis*. Analisis ini akan mengevaluasi data berdasarkan nilai *Grey Relational Grade* yang dihasilkan dari tiap-tiap respon.

2.6 *Grey Relational Analysis*

Metode GRA (*Grey Relational Analysis*) mengadopsi teori *Grey* yang berasal dari hasil pencampuran antara informasi yang tidak jelas. Diumpamakan hitam dan putih, hitam melambangkan tidak dan putih melambangkan iya. Tetapi sebuah informasi bisa berada pada kondisi perpaduan putih dan hitam sehingga dikenal dengan abu-abu (Saputra *et al.*, 2022). Proses GRA mengubah beberapa format data menjadi deret waktu atau kurva fungsi keanggotaan. Selanjutnya, rentang waktu tertentu tersebut diabaikan sebagai data yang representatif. Selanjutnya, GRA menggunakan konsep derajat keabuan untuk menentukan ambang batas

relasi antara dua set data atau variabel. Derajat keabuan yang disebutkan di atas menunjukkan tingkat korespondensi atau kurangnya ketidaksesuaian antara variabel-variabel yang disebutkan di atas. Pada akhirnya, GRA menghasilkan koefisien regresi absolut antara variabel-variabel yang disebutkan di atas. Korelasi yang lebih signifikan antara variabel, atau keterkaitan antara, diamati. Metode ini dapat diterapkan dalam beberapa konteks, seperti analisis kinerja sistem, perbandingan kehidupan kerja alternatif, dan pengambilan keputusan multikriteria.

Kelebihan GRA termasuk kemampuannya untuk menangani data yang kompleks dan tidak tepat serta kemampuannya untuk menghasilkan hasil yang dapat dipahami secara intuitif. Namun, seperti halnya dengan metode analisis lainnya, GRA memiliki keterbatasan dan harus diterapkan secara hati-hati sesuai dengan karakteristik dan konteks data yang diperiksa (Sintaro, 2023). Tujuan dari penggunaan metode *grey relational analysis* (GRA) adalah untuk menentukan level parameter proses terbaik untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang minimal (Sateria *et al.*, 2019). Langkah-langkah dalam melakukan *Grey Relational Analysis* adalah sebagai berikut :

a. Menentukan dan menghitung *SN Ratio*

b. Melakukan Normalisasi *SN Ratio*

- Untuk kekasaran permukaan menggunakan :

$$X_{\text{normalisasi}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

dimana :

x = Nilai *SN Ratio* kekasaran permukaan

X_{\min} = *SN Ratio* Minimum

X_{\max} = *SN Ratio* Maksimum

- Untuk akurasi dimensi menggunakan :

$$X_{\text{normalisasi}} = \frac{X - X_1}{X_{\max} - X_1}$$

dimana :

x = Nilai *SN Ratio* akurasi dimensi

X_1 = Nilai yang diinginkan

$$X_{\max} = \text{SN Ratio Maksimum}$$

c. Menghitung Delta/Selisih

- Rumus yang di gunakan :

$$\text{Nilai Delta } (\Delta) = |1 - X|$$

dimana :

x = Nilai Normalisasi

$$\Delta_{\min} = 0$$

Δ_{\max} = Selisih Normalisasi

$$\bar{z} = 0,5 \text{ (nilai tengah dari } \Delta_{\min} \text{ dan } \Delta_{\max}\text{)}$$

d. Menghitung *Grey Relational Coefficient* (GRC)

- Nilai Gamma (γ) = $\frac{\Delta_{\min} + \bar{z}\Delta_{\max}}{\Delta + \bar{z}\Delta_{\max}}$

e. Menghitung Nilai *Grey Taguchi*

- GRG = $\bar{y}_j \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m y_{in}$

n = jumlah

\bar{y}_j = nilai *grey relational analysis*

2.7 Akurasi Dimensi

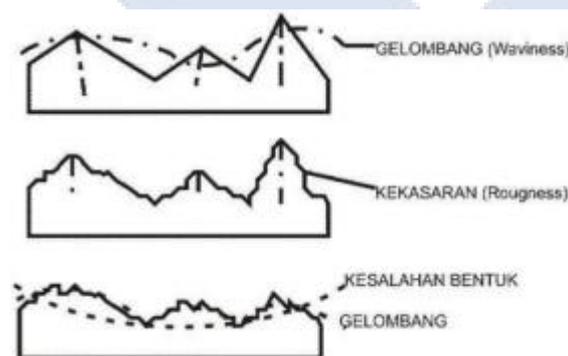
Akurasi dimensi merupakan kepresisian ukuran suatu produk (Apriansyah *et al.*, 2021). Produk 3D printing merupakan hasil dari proses pemanasan dan pendinginan, sehingga produk tersebut mengalami pemuaian dan penyusutan yang menyebabkan produk memiliki dimensi yang kurang akurat. Kualitas produk ditentukan dari tercapainya dimensi yang diinginkan maka semakin akurat dimensi, semakin baik pula kualitas produk tersebut (Saputra *et al.*, 2022). Penelitian dalam hal akurasi dimensi telah banyak dilakukan terhadap material PLA dan ABS. sedangkan penelitian menggunakan material fleksibel masih jarang dilakukan. Dari permasalahan tersebut, maka dilakukan suatu penelitian untuk mendapatkan pengaturan parameter proses pada mesin 3D Printer yang optimal dalam mendapatkan keakuratan dimensi dengan menggunakan material fleksibel (Pristiansyah *et al.*, 2019). Dengan pengoptimalan parameter yang

terukur, seperti *printing speed*, *layer height* dan *temperature*. Menggunakan jenis *Signal to Noise Ratio (SNR) Smaller is better* untuk menganalisis hasil eksperimen dengan tingkat variasi yang konsisten dan untuk memahami efek parameter keras pada proses pencetakan 3D (Sintaro, 2023).

2.8 Kekasaran Permukaan

Dengan metode pencetakan lapis per lapis, maka menimbulkan efek lapisan pada sisi samping produk 3D *printing*. Kekasaran permukaan merupakan tingkat kemulusan/kekasaran permukaan suatu benda. Padahal menurut (Sugiantoro, et al., 2014). Kualitas barang yang diproduksi ditentukan juga dengan kekasaran permukaan produk tersebut.

Kekasaran permukaan dapat diukur menggunakan berbagai satuan, termasuk Ra (*Roughness Average*), Rz (*Roughness Depth*), Rp (*Roughness Profile*), dan sebagainya. Ra, yang merupakan pengukuran kekasaran permukaan yang paling umum, dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm) atau mikron (μ). Ketepatan ukuran benda kerja dan kekasaran permukaan berperan besar dalam menentukan kualitas suatu produk (Setyono et al., 2020). Profil kekasaran permukaan diperlihatkan pada Gambar 2.2



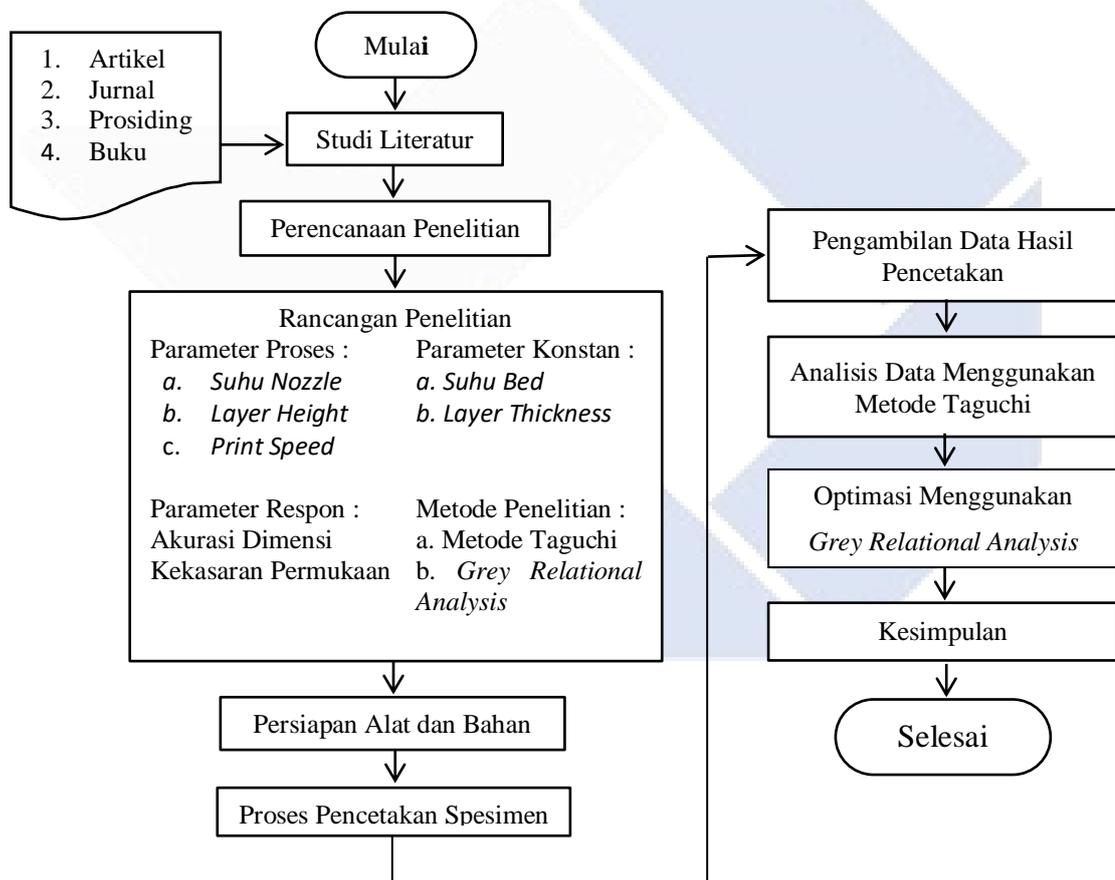
Gambar 2.2 Profil Kekasaran Permukaan

(Sumber : munadi, 1988)

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian digunakan metode penelitian dimana merupakan langkah sistematis yang digunakan dalam mencapai tujuan. Dalam penelitian ini sistematika penelitian ditampilkan pada Gambar 3.1. Metode yang digunakan dalam proses analisis data menggunakan metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis*.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah awal dari penelitian ini. Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari berbagai referensi yang mendukung penelitian ini, baik itu dari jurnal, buku, prosiding, dan artikel.

3.3 Perencanaan Penelitian

Setiap kegiatan, tentunya perlu dilakukan perencanaan agar dapat mencapai tujuan yang diinginkan. Penelitian ini akan menggunakan jenis filamen *Carbon Fiber* dan mesin 3D *printing* model Ender 3 Pro dengan dimensi 220mm x 220mm x 250mm.

3.4 Rancangan Penelitian

Tahap selanjutnya yaitu membuat rancangan dari penelitian yang akan digunakan. Penelitian ini akan menggunakan parameter yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Parameter Penelitian

A. Parameter Proses			
a. <i>Suhu Nozzle</i>	190 °C	210 °C	225 °C
b. <i>Layer Height</i>	0.15mm	0.20mm	0.25mm
c. <i>Print Speed</i>	70mm/s	85mm/s	100mm/s
B. Parameter Konstan			
a. <i>Suhu Bed</i>			50 °C
b. <i>Layer Thickness</i>			1.2mm
C. Parameter Respon			
a. Kekasaran Permukaan			
b. Akurasi Dimensi			

Berdasarkan parameter dan level yang digunakan, maka didapatkan rancangan penelitian dengan metode Taguchi dengan *matriks ortogonal* $L_{27}(3^3)$ dengan interaksi antar parameter proses. Rancangan penelitian yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak statistik disajikan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian

Nomor Eksperimen	Suhu Nozzle (°C)	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)
1	195° C	15mm	70mm/s
2	195° C	15mm	85mm/s
3	195° C	15mm	100mm/s
4	195° C	20mm	70mm/s
5	195° C	20mm	85mm/s
6	195° C	20mm	100mm/s
7	195° C	25mm	70mm/s
8	195° C	25mm	85mm/s
9	195° C	25mm	100mm/s
10	210° C	15mm	70mm/s
11	210° C	15mm	85mm/s
12	210° C	15mm	100mm/s
13	210° C	20mm	70mm/s
14	210° C	20mm	85mm/s
15	210° C	20mm	100mm/s
16	210° C	25mm	70mm/s
17	210° C	25mm	85mm/s
18	210° C	25mm	100mm/s
19	225° C	15mm	70mm/s
20	225° C	15mm	85mm/s
21	225° C	15mm	100mm/s
22	225° C	20mm	70mm/s
23	225° C	20mm	85mm/s
24	225° C	20mm	100mm/s
25	225° C	25mm	70mm/s
26	225° C	25mm	85mm/s
27	225° C	25mm	100mm/s

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Setelah perencanaan dan perancangan penelitian selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

3.5.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Carbon Fiber* berupa filamen berdiameter 1.75mm yang digunakan dalam proses pencetakan spesimen, dikarenakan kekuatan dan daya tahan yang dimilikinya untuk meningkatkan kekuatan dari filamen, filamen *Carbon Fiber* di tunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



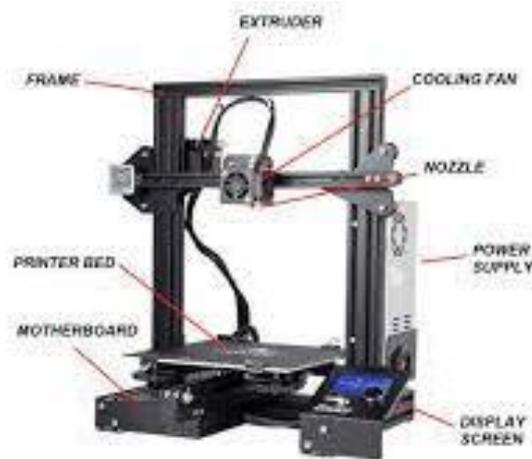
Gambar 3. 2 Filamen *Carbon Fiber*
(sumber : www.eumakers.com)

3.5.2 Alat

Ada beberapa alat yang digunakan dalam proses penelitian ini, antara lain seperti :

- a. Mesin 3D *Printing*

Mesin 3D *printing* yang digunakan adalah mesin 3D *printing* Ender 3 Pro dengan dimensi 220mm x 220mm x 250mm dengan diameter *nozzle* 0.6 mm. Mesin 3D *printing* Ender 3 pro di tunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3 Mesin 3D Printing *Ender 3 Pro*
 (sumber : www.sariteknologi.com)

b. Laptop

Laptop digunakan dalam proses desain untuk objek pengujian yang akan dicetak menggunakan mesin 3D *printing*, *Software* yang di gunakan adalah *Creativity Slicer*.

c. Alat Uji Kekasaran Permukaan

Alat uji kekasaran permukaan yang digunakan adalah MITUTOYO surfstest SJ-210 dengan rentang detektor $-200\mu\text{m}$ hingga $+160\mu\text{m}$, Alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo Surfstest SJ-210 di tunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Alat Uji Kekasaran Permukaan
 (sumber: www.indiamart.com)

d. Mikrometer Sekrup

Mikrometer sekrup atau juga disebut mikrometer luar yang digunakan adalah mikrometer sekrup MITUTOYO dengan ketelitian 0.001 dengan rentang 0-25mm. Alat ini digunakan untuk mengukur akurasi dimensi dari spesimen hasil cetak. Mikrometer Sekrup di tunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Mikrometer Sekrup
(sumber : www.aliexpress.com)

e. *Autodesk Fusion 360*

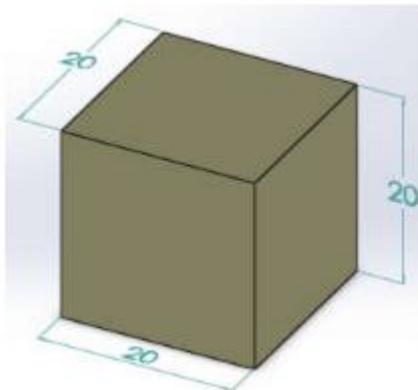
Autodesk Fusion 360 merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk merancang bentuk dari spesimen yang akan digunakan. *Autodesk Fusion 360* di tunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Fusion 360
(sumber : www.asean.autodesk.com)

3.6 Proses Pencetakan

Proses pencetakan dilakukan dengan parameter sesuai dengan rancangan eksperimen dimana setiap spesimen akan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Pencetakan dilakukan berdasarkan desain yang dibuat seperti pada Gambar 3.7. dengan dimensi 20mm x 20mm x 20mm.



Gambar 3. 7 Spesimen Cetak
(sumber : <https://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/98/88>)

3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan 2 metode dimana untuk kekasaran permukaan menggunakan alat uji Mitutoyo SJ-210 sedangkan untuk akurasi dimensi menggunakan mikrometer sekrup Mitutoyo dengan ketelitian 0.001.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengolahan data berdasarkan metode Taguchi $L_{27} (3^3)$ dan *Grey Relational Analysis* maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan akurasi dimensi adalah *Layer Height*, dimana berdasarkan rata-rata *Grey Relational Grade* menduduki peringkat 1 dan urutan kedua adalah suhu nozzle dan ketiga ada *printing speed*.
- b. Konfigurasi optimasi parameter proses yang optimal terhadap kekasaran permukaan dan akurasi dimensi pada filamen *Carbon Fiber* adalah dengan suhu nozzle 195°C, *Layer Height* 0.20mm, dan *Printing Speed* 85mm/s.

5.2 Saran

- a. Untuk penelitian filamen *Carbon Fiber* berikutnya, dapat menggunakan parameter proses yang lebih banyak, seperti dengan variasi suhu *bed* dan *layer thickness*.
- b. Penggunaan parameter optimal pada penelitian ini, dapat digunakan untuk penelitian prototipe dengan filamen *Carbon Fiber* berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriansyah, I., Zamheri, A. and Arifin, F. (2021) 'Peningkatan akurasi dimensi dan tingkat kekerasan pada fillamen esteel dengan pendekatan metode Taguchi', *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 2(1), pp. 1–7.
- CA, R. (2018) 'TINJAUAN PUSTAKA Komposit', (1994), pp. 6–33.
- Carneiro, O.S., Silva, A.F. and Gomes, R. (2015) 'Fused deposition modeling with polypropylene', *Materials and Design*, 83, pp. 768–776. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.053>.
- Faizun, M. (2022) 'Pengaruh Penambahan Skin Carbon Terhadap Kekakuan Bending 3D Printed ABS (Acrylonitrile Butadine Styrene) Honeycomb Ribs', pp. 1–75.
- Galeta, T. *et al.* (2016) 'Influence of structure on mechanical properties of 3D printed objects', *Procedia Engineering*, 149(June), pp. 100–104. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.644>.
- Hakim, R. *et al.* (2019) '[Effect of Nozzle and Base Plate Temperature on PLA Material on Density Value and Product Surface Roughness on Leapfrog Creatr3D Printer Machine]', *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(1), pp. 1–8.
- Hasdiansah and Sugiyarto (2021) 'Pengaruh Setting Parameter pada Slicing Software terhadap Surface Roughness Objek 3D Printing Menggunakan Metode Taguchi', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(3).
- Kimia, D.T. and Auburn, U. (1991) 'STRUKTUR FILAMEN SERAT KARBON-', 29.
- Li, N., Li, Y. and Liu, S. (2016) 'Journal of Materials Processing Technology Rapid prototyping of continuous Carbon Fiber reinforced polylactic acid composites by 3D printing', *Journal of Materials Processing Tech.*, 238, pp. 218–225. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.025>.
- Munadi, S., 1998. Dasar-dasar metrologi industri. jakarta: proyek pengembangan lembaga pendidikan tenaga kependidikan

- Pratama, W.H., -, Hasdiansah and -, Husman (2021) 'Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Material Filamen PLA + Menggunakan Metode Taguchi', *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 3(1), pp. 39–45. Available at: <https://doi.org/10.36655/sprocket.v3i1.568>.
- Pristiansyah,;, Hardiansyah; and Sugiyarto (2019) 'Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex', *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), pp. 0–7.
- Pristiansyah, P., Hasdiansah, H. and Sugiyarto, S. (2019) 'Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex', *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), pp. 33–40. Available at: <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>.
- Rahmadani, N.A., Sunaryo, S. and Akbar, M.S. (2012) 'Penerapan Pendekatan Gabungan Gret Relation Analysis (GRA) dan Principal Component Analysis (PCA) Pada Metode Taguchi Multirespon', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), pp. 43–48.
- Saputra, T.H. *et al.* (2022) 'Analisa Parameter 3D Printing Tipe Fdm Terhadap Akurasi Dimensi Dengan Filamen Berbahan Daur Ulang Plastik Low Density Polyethylene (Ldpe) Dan Polypropylene (Pp)', *Sebatik*, 26(1), pp. 9–16. Available at: <https://doi.org/10.46984/sebatik.v26i1.1682>.
- Sateria, A., Pristiansyah, I Dwisaputra, (2020) 'Parameters Optimization of Plasma Arc Cutting Process Using Grey Relational Analysis Method' IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)
- Sateria, A., Yudo, E. and Zulfetriyanto, Z. (2019) 'Optimasi Multirespon Purwarupa Electrical Discharge Machine (EDM) Menggunakan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis', *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), pp. 26–32. Available at: <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.97>.
- Shahrubudin, N., Lee, T.C. and Ramlan, R. (2019) 'An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications', *Procedia*

Manufacturing, 35, pp. 1286–1296. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.

Simplify3D (2014) *Carbon Fiber Filled*.

Sintaro, S. (2023) ‘Penerapan Metode Grey Relational Analysis (GRA) Dalam Pemilihan E- Commerce’, *ITSECS*, 1, pp. 166–173.

Soejanto, I. (2009) ‘Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi’.

Setyono, B., Setyono, G., Pratama, S., Teknologi, I., & Tama, A. (2020). Pengaruh Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST60 , Aluminium , Dan *Polyethylene* Pada Mesin CNC *Turning Fanuc Oi Mate TC VT15L Type PU 2A*. Seminar Nasional Sain Dan Teknologi Terapan VIII, 247–254.

Sugiantoro, B., Rusnaldy and Wijayanto, S.A. (2014) ‘Optimasi Parameter Proses Milling Terhadap Kualitas Hasil Permesinan Alumunium Dengan Metode Taguchi’, *Jurnal TRAKSI*, 14(1), pp. 42–57.

Valvez, S. *et al.* (2020) ‘3D printed continuous Carbon Fiber reinforced PLA composites: A short review’, *Procedia Structural Integrity*, 25(2019), pp. 394–399. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.04.056>.

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup



1. Data Pribadi

Nama : M Zaki Afifuddin Khafid
Tempat/tgl lahir : Tulungagung, 19 Mei 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Ds. Pulerejo, RT/RW. 01/02, Kec. Ngantru, Kab.
Tulungagung
Telp :-
No.Hp/Wa : 081553565896
Email : mzaky3148@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

MIMH Pulerejo Ngantru Lulus Tahun 2012
MTSN Ngantru Lulus Tahun 2015
SMK SORE Tulungagung Lulus Tahun 2018

