

**OPTIMASI PARAMETER 3D PRINTING
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI**

PROYEK AKHIR

Proyek akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Dibuatkan oleh

BAYU AJI

190101

09041807

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BAANGKA BELITUNG

2022/2023

OPTIMASI PARAMETER 3D *PRINTING*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI

PROYEK AKHIR

Proyek akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Diusulkan oleh:

BAYU AJI

NIRM

1041937

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG

2022/2023

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PARAMETER 3D PRINTING
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI

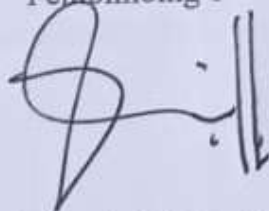
Oleh:

BAYU AJI / NIRM 1041937

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

Menyetujui,

Pembimbing 1



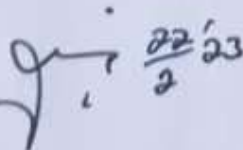
Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.

Pembimbing 2



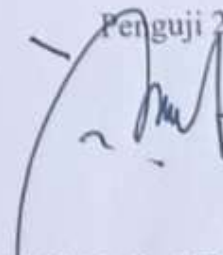
Yang Fitri Arriyani, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T.

Penguji 2



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Bayu Aji

Dengan Judul : Optimasi Parameter 3D *Printing* Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Metode Taguchi

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

Sungailiat, 19 Februari 2023

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Bayu Aji



ABSTRAK

3D *Printing* adalah salah satu teknologi proses manufaktur yang dikembangkan untuk pembuatan *prototipe* dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan proses pemesinan. Salah satu proses 3D *printing* untuk pembuatan *prototipe* adalah dengan menggunakan teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*). Teknologi 3D *printing* sering disebut memiliki masa depan yang cerah, karena hingga saat ini teknologi tersebut masih terus berkembang menjadi teknologi yang mendukung kebutuhan manusia. Teknologi 3D *printing* dapat mewujudkan apa yang ada didalam imajinasi manusia kedalam bentuk yang nyata. Teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah teknik pencetakan yang digunakan untuk mencetak produk dengan menggunakan bahan berserat dan produk yang dicetak mempunyai karakteristik geometris yang ideal. Pada penelitian ini filamen yang digunakan adalah filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*). Pada penelitian ini menggunakan metode *Taghuci* L_{27} (3^8) OA. Parameter yang digunakan adalah *Nozzle Temperatur*, *Temperatur Based Plate*, *Flowrate*, *Infill Overlap*, *Layer Thickness*, *Infill Density*, *Infill Speed*, *Printing Speed*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter proses yang paling optimal terhadap nilai kekasaran permukaan, bahwa nilai yang optimal adalah *Nozzle Temperatur* 230°C, *Temperatur Based Plate* 90°C, *Flowrate* 110%, *Infill Overlap* 25%, *Layer Thickness* 0.15mm, *Infill Density* 25%, *Infill Speed* 40mm/s, *Printing Speed* 40mm/s.

Kata kunci: 3D *printing*; FDM; Metode *Taguchi*; Kekasaran Permukaan

ABSTRACT

3D Printing is a manufacturing process technology developed for prototyping in a shorter time compared to machining processes. One of the 3D printing processes for prototyping is using FDM (Fused Deposition Modeling) technology. 3D printing technology is often said to have a bright future, because until now this technology is still developing into a technology that supports human needs. 3D printing technology can materialize what is in human imagination into a real form. Fused Deposition Modeling (FDM) technology is a printing technique used to print products using fibrous materials and the printed products have ideal geometric characteristics. In this study the filament used is PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filament. In this study using the Taghuci L₂₇ (3⁸) OA method. The parameters used are nozzle temperature, plate based temperature, flow rate, infill overlap, layer thickness, infill density, infill speed and printing speed. This study aims to determine the most optimal process parameters for the most surface roughness values are Nozzle Temperature 230°C, Plate Based Temperature 90°C, Flowrate 110%, Infill Overlap 25%, Layer Thickness 0.15mm, Infill Density 25%, Infill Speed 40mm /s, Printing Speed 40mm/s.

Keywords: 3D printing; FDM; Taguchi method; Surface Roughness

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Optimasi Parameter 3D *Printing* Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)”. Tugas akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sadar bahwa tanpa bantuan dari beberapa pihak penulis tidak akan bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua, kakak-kakak 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 serta pembimbing utama penulis yang telah menentukan, menyetujui serta telah banyak memberikan konsep pemikiran tentang pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Bapak Boy Rolastin, S.Tr., M.T, selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Ibuk Yang Fitri Arriyani, S.S.T., M.T, selaku pembimbing kedua yang telah memberikan ide-idenya.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Kelas B Teknik Mesin dan Manufaktur Angkatan 26 yang selalu mendukung dan membantu dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
8. Sahabat, teman serta sanak saudara yang telah mendoakan dan mendukung penulis yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada masa yang akan datang. Amin.

Sungailiat, 19 Februari 2023

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of a large circle on the left and several vertical lines on the right, all enclosed within a rectangular frame.

Bayu aji

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR PERSAMAAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Mesin 3D <i>Printing</i> FDM	4
2.2 Mekanisme Pencetakan 3D	4
2.3 <i>Fused Deposition Modeling</i>	5
2.4 Filamen PETG (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	6
2.5 Kekasaran Permukaan	7

2.6 Metode <i>Taguchi</i>	8
2.7 Tahapan Desain Eksperimen <i>Taguchi</i>	9
2.8 Tahapan Analisis	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Diagram Alir.....	14
3.1 Peralatan Penelitian	17
3.2 Bahan Penelitian	18
3.3 Realisasi Eksperimen.....	18
3.4 Pengumpulan Data.....	20
BAB IV PEMBAHASAN	21
4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	21
4.2 Hasil Pengukuran Spesimen	24
4.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen	29
4.4 Analisis Varian (ANOVA)	37
4.5 Uji Konfirmasi.....	38
BAB V KESIMPULAN	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Proses FDM.....	6
Gambar 2.2 Gambar Filamen PETG.....	7
Gambar 3.1 Diagram Alir	14
Gambar 3.2 Mesin 3D Printing REXYZ A1	17
Gambar 3.3 <i>Surface Roughness Tester</i>	17
Gambar 3.4 Desain Spesimen	18
Gambar 3.5 Filamen PETG (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>).....	18
Gambar 3.6 Penyetingan Parameter pada <i>Software Slicer Cura 5.1.1</i>	19
Gambar 3.7 Proses Cetak Spesimen	19
Gambar 3.8 Pengujian Kekasaran Permukaan	20
Gambar 4.1 Proses Pencetakan Spesimen.....	23
Gambar 4.2 Hasil Proses Pencetakan Spesimen	23
Gambar 4.3 Titik Yang Diuji	24
Gambar 4.4 Tampilan <i>Design Taguchi</i>	30
Gambar 4.5 Tampilan <i>Factors</i>	31
Gambar 4.6 Halaman <i>Worksheet</i> Desain Faktorial <i>L27</i> dan Data Hasil pengujian...	31
Gambar 4.7 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design</i>	32
Gambar 4.8 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design</i>	32
Gambar 4.9 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design Analysis</i>	33
Gambar 4.10 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design Options</i>	33
Gambar 4.11 Grafik <i>Mean Plot</i>	34
Gambar 4.12 Grafik <i>S/N Ratio</i>	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standarisasi Simbol Nilai kekasaran	8
Tabel 2. 2 Level-level Matrik Ortogonal.....	11
Tabel 3.1 Nilai Level dan Parameter Proses Pengujian.....	15
Tabel 4.1 Desain Faktorial Penelitian <i>L27</i> OA	21
Tabel 4.2 Desain Faktorial Penelitian <i>L27</i> OA (Lanjutan).....	22
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan	24
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)	25
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)	26
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)	27
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)	28
Tabel 4. 8 Response Table for Means	34
Tabel 4. 9 Nilai Optimum Mean Plot.....	35
Tabel 4. 10 Response Table for Signal to Noise Ratios.....	36
Tabel 4. 11Nilai Optimum S/N Ratio.....	37
Tabel 4. 12 Analysis of variance	38
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Konfirmasi	38
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Konfirmasi (Lanjutan).....	39

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.....	22
Persamaan 2.2.....	22
Persamaan 2.3.....	24
Persamaan 2.4.....	24
Persamaan 2.5.....	25



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Daftar Riwayat Hidup

Lampiran II Hasil Pengujian Kekasaran

Lampiran III Foto Hasil Proses Pencetakan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

3D *Printing* adalah salah satu teknologi proses manufaktur yang dikembangkan untuk pembuatan *prototipe* dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan proses pemesinan. Salah satu proses 3D *printing* untuk pembuatan *prototipe* adalah dengan menggunakan teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*) (Christiliana, et al., 2021). Teknologi 3D *printing* sering disebut memiliki masa depan yang cerah, karena hingga saat ini teknologi tersebut masih terus berkembang menjadi teknologi yang mendukung kebutuhan manusia. Teknologi 3D *printing* dapat mewujudkan apa yang ada didalam imajinasi manusia kedalam bentuk yang nyata (Yudha bhika pratama, 2021). Teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah teknik pencetakan yang digunakan untuk mencetak produk dengan menggunakan bahan berserat dan produk yang dicetak mempunyai karakteristik geometris yang ideal. Prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* panas pada *suhu leleh* selanjutnya produk dicetak lapis demi lapis (Pristiansyah, 2019). Namun, produk hasil 3D *printing* dengan teknologi FDM umumnya memiliki titik lemah diantara lapis-lapisnya, sehingga sifat mekaniknya kurang baik jika dibandingkan dengan proses *Injection Moulding* (Pristiansyah, 2019).

Bahan yang digunakan dalam proses pencetakan produk 3D *printer* adalah filamen yang berfungsi sebagai bahan pengisi cetakan. Jenis filamen yang biasa digunakan dalam pencetakan produk 3D *printing* adalah *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG), dan *Polycarbonate* (PC) (Eduar Iqbal Riza, 2020).

Salah satu polimer yang umum digunakan saat ini adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET). Polimer PET yang dimodifikasi dengan penambahan glikol

kekomposisi bahan selama polimerisasi disebut PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*). Jadi filamen PETG adalah senyawa plastik yang satu keluarga dengan PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan memiliki penggabungan keunggulan dari senyawa plastik ABS dan PLA, dengan warna bening/transparan dan mengkilat (Kumara Sadana Putra, 2018). Selain itu, keunggulannya adalah filamen lebih ringan, tidak rapuh dan lebih mudah digunakan, dengan suhu transisi kaca 88 (Ardiyanto, 2021). Secara fungsional filamen PETG memiliki perpaduan antara kekuatan seperti ABS dan kemudahan proses printing seperti PLA, bahannya lebih awet dibanding PLA dan ABS, daya rekat antara layer yang sangat baik dari ABS.

Dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Yhuda Bhika Pratama, 2021. Pengaruh Parameter Proses *Slicing Software* Terhadap Kekasaran Permukaan *Printing Part* Filamen ST-PLA. Menggunakan parameter yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan pada filamen ST- PLA yaitu 0,10 *layer thickness*, 40 mm/s untuk *printing speed*, 190°C untuk *nozzle temperature*, 45° untuk *orientation*, 110% untuk *flow rate* dan 20% untuk *cooling speed*.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ikhwan Toufik, et al., 2020. Pengaruh *Printing Speed* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil *Additive Manufacturing* Dengan *Polylactic Acid Filament*. Menggunakan parameter yang berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan yaitu, Ukuran *Nozzle* 0,4 mm, *Layer Height* 0,2 mm, *Printing Temperature* 190°C, *Bed Temperature* 60°C, *Based Print Speed* 60 mm/s.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil parameter proses 3D *printing* yang paling berpengaruh terhadap parameter proses yang akan dilakukan Untuk mengetahui kekasaran permukaan dari sebuah bahan perlu dilakukan pengujian. Salah satunya dengan melakukan pengujian kekasaran permukaan terhadap material. Oleh karena itu penulis akan melakukan penelitian untuk mencari tahu

kekasaran dari proses 3D *printing* dengan melakukan pengujian kekasaran terhadap produk hasil 3D *printer*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaturan parameter proses 3D *printing* terhadap kekasaran permukaan yang paling tepat untuk mendapatkan nilai optimalnya?
2. Bagaimana pengaruh kekasaran permukaan menggunakan filament PETG dengan parameter yang diuji?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan nilai optimum dari parameter proses 3D *printing* terhadap kekasaran permukaan.
2. Mendapatkan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin 3D *Printing* FDM

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

salah satu teknologi 3D printing yang terkenal dan murah adalah FFF (*Fused Filament Fabrication*) teknologi tersebut juga dikenal *Fused Deposition Modeling* (FDM), prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* panas pada *melting temperature* selanjutnya produk dicetak lapis demi lapis (Pristiansyah, 2019).

2.2 Mekanisme Pencetakan 3D

Mekanisme kerja pencetakan 3D sebagai berikut:

1. Model Objek cetak 3D

Model cetak 3D semacam itu dapat dibuat menggunakan perangkat lunak desain 3D khusus. *Printer* yang akan digunakan juga harus support *software*. Perangkat lunak ini termasuk *Tinkercad*, *Solidworks*, *Catia*, *Delcam*, dll.

2. Proses *Printing*

Setelah proses desain selesai maka sudah bisa langsung dicetak menggunakan mesin 3D printer dan proses pencetakan pun dimulai. Dibutuhkan proses waktu pencetakan tergantung dengan model ukuran yang akan dicetak. Semakin besar benda yang akan dicetak maka waktu akan semakin lama pula, sedangkan semakin kecil benda yang akan dicetak maka semakin cepat juga hasil yang didapatkan.

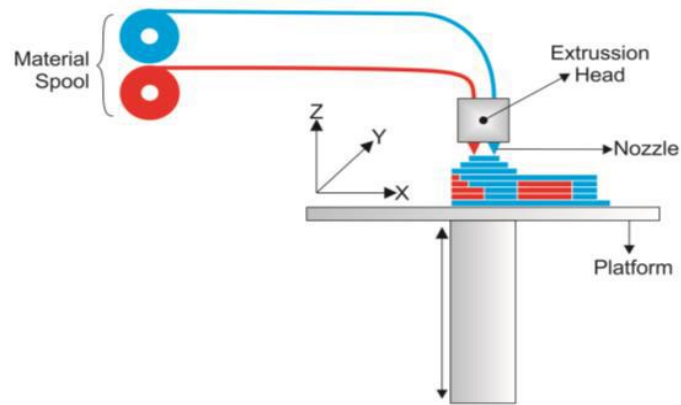
3. Proses *Finishing*

Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan bagian-bagian yang kompleks yang mungkin disebabkan oleh over dimensi atau dimensi yang berbeda dari yang dibutuhkan. Teknik lain untuk menyempurnakan proses ini adalah penggunaan beberapa teknik material atau kombinasi warna.

2.3 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan metode yang sangat populer di AM (*Additive Manufacturing*), dan produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi bersaing dengan metode manufaktur tradisional (*injection moulding*). Aplikasi FDM sangat luas meliputi bidang medis, desain cetakan, hingga otomotif dan kedirgantaraan. Saat ini, teknologi FDM banyak digunakan dalam pencetakan 3D *printing* karena penggunaannya yang ramah lingkungan, lebih rendah biayanya, mudah digunakan, memudahkan pengembangan produk, dan pembuatan prototipe (Andriyansyah, et al., 2018).

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah metode pembuatan *prototipe* cepat yang proses pembuatannya berbeda dari metode lain karena bukan laser, melainkan menggunakan *nozel* yang dipanaskan (mawar lestari, 2022). *Print head* atau *nozel* bergerak disumbu X dan Y dengan mengekstrusi filamen sesuai dengan desain model 3D *printing*. Melakukan ekstrusi lapis demi lapis, setelah satu lapisan selesai *nozzle* bergerak dengan sumbu Z atau vertikal untuk menuju lapisan baru pada lapisan sebelumnya. Dimana inkjet bergerak maju mundur sambil mengeluarkan cairan. Pergerakan *nozzle* dilakukan sesuai dengan perintah program G-code yang telah dirumuskan sebelumnya. Setelah lapisan pertama terbentuk, *nozzle* bergerak ke atas untuk membentuk lapisan berikutnya hingga terbentuk objek tiga dimensi (Sumantri, 2012). Proses mengekstrusi filamen dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Ilustrasi Proses FDM (Taufik Ikhwan, 2020)

2.4 Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate*)

PETG (*Polyethylene Terephthalate*) adalah salah satu polimer, yang paling umum digunakan saat ini adalah versi PET dengan modifikasi penambahan *Glycol* ke dalam komposisi bahan selama polimerisasi. Hasilnya filamen lebih jernih, tidak rapuh, dan lebih mudah digunakan, dengan suhu 88°C (190°F). Selain PETG, ada juga varian PET yang lain, Seperti PETE, PETP, PET-P, GPE, dan PETT, namun yang paling cocok digunakan untuk aplikasi *3D Printing* adalah PETG. PETG bersifat *higroskopik*, yang artinya, PETG aktif menyerap udara dari udara. Dengan kata lain, PETG harus disimpan di tempat yang sejuk dan kering. Selain itu harus dikeringkan jika terkena udara lembab terlalu lama.

Berikut adalah kelebihan dari PETG:

1. Secara fungsional Filamen PETG memiliki perpaduan antara Kekuatan Seperti ABS dan Kemudahan Proses Printing Seperti PLA.
2. Lebih awet dibanding PLA dan ABS, tahan terhadap serangan.
3. Daya rekat antar layer yang sangat baik dari ABS.
4. Lebih tahan terhadap panas dan sinar matahari karena *Glass Transition Temperature* 88°C , lebih tinggi dari PLA.

5. Pada saat *overheating*, senyawa *glukol* yang ditambahkan mampu mencegah bahan mengkristal dan mudah. Bisa dilihat filamen PETG seperti Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gambar Filamen PETG

2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) adalah suatu nilai besar kecilnya profil permukaan benda. Kekasaran dalam permesinan yaitu hasil dari proses permesinan tersebut. Dalam proses permesinan itu nilai kekasaran permukaan merupakan sifat yang penting karena sangatlah penting untuk menentukan kualitas produk yang dihasilkan

Setiap permukaan dari suatu benda kerja yang telah mengalami proses permesinan tentu akan mengalami kekasaran permukaan (*Surface Roughness*). Kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata permukaan. Dalam dunia perindustrian, permukaan pada benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda.

Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasi oleh ISO dimana harga yang sangat kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025 um dan nilai yang paling tinggi adalah N12 yang nilai kekasaran 50 um. Seperti pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2. 1 Standarisasi Simbol Nilai kekasaran

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

Sumber : (Rochim, 2001.)

2.6 Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Genichi *Taguchi* (1949), yang merupakan metodologi baru untuk memperbaiki kualitas produk serta dapat menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode *Taguchi* bertujuan untuk mencapai suatu sasaran tersebut dengan menjadikan produk atau proses yang tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (soejanto, 2009).

Metode *Taguchi* memberikan cara-cara pokok dalam pengambilan sampel produk, pengujian serta evaluasinya dan informasi didalam data itu yang akan digunakan untuk mengendalikan dan meningkatkan pada saat proses produksi. Untuk menjamin proses produksi dalam kondisi baik dan stabil atau produk yang dihasilkan selalu dalam daerah standar (Ade Irawan.dkk., 2018).

Metode *Taguchi* memiliki keunggulan sebagai rancangan percobaan yang efisien karena memungkinkan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan besaran. Desain *Taguchi* memungkinkan untuk mendapatkan proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kuat terhadap faktor yang sulit dikendalikan. Lebih efisien karena dapat melakukan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan kuantitas (soejanto, 2009).

2.7 Tahapan Desain Eksperimen *Taguchi*

Pada tahapan ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut menurut (soejanto, 2009) yaitu:

1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan langkah awal yang harus dirumuskan secara spesifik dan harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan kedalam percobaan yang telah dilakukan.

2. Tujuan Percobaan

Tujuan percobaan yang telah ditetapkan harus mampu menjawab masalah yang dalam rumusan masalah secara sistematis.

3. Penentuan Respon

Penentuan respon merupakan perubahan nilai yang berkaitan dengan parameter-parameter lain.

4. Pemilihan Parameter Bebas

Pemilihan parameter bebas merupakan parameter dengan perubahan nilai tidak berkaitan dengan parameter lainnya. Pada tahap ini parameter-parameter akan dipilih untuk diselidiki pengaruh terhadap respon yang berkaitan. Dalam proses percobaan dapat dilakukan secara efisien dan efektif.

5. Pemilihan Parameter Kontrol dan Parameter Gangguan

Parameter yang akan diteliti dibagi menjadi dua yaitu parameter kontrol dan parameter gangguan, dimana keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas dikarenakan terdapat pengaruh kedua parameter tersebut. Parameter yang nilainya

dapat dikendalikan disebut parameter kontrol, sedangkan parameter yang tidak dapat dikendalikan disebut parameter gangguan.

6. Pemilihan Jumlah level dan Nilai Parameter

Pemilihan jumlah level adalah pengaruh hasil ketelitian dan biaya dalam pelaksanaan percobaan. Sehingga semakin banyak level yang diteliti maka semakin akurat hasil yang diperoleh, akan tetapi hal ini mempengaruhi biaya percobaan.

7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan merupakan sebuah konsep untuk menghitung jumlah minimal percobaan dan digunakan untuk menyelidiki parameter yang diteliti. Derajat kebebasan matriks ortogonal (v_{mo}) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$(v_{mo}) = \text{jumlah percobaan} - 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dari parameter dan level (v_{fl}) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$(v_{fl}) = \text{jumlah level parameter} - 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

8. Pemilihan Matrik Ortogonal

Pemilihan matrik ortogonal ditentukan berdasarkan jumlah derajat kebebasan dari jumlah parameter dan jumlah level parameter tersebut. Tujuan penggunaan persamaan matriks orthogon adalah mengevaluasi variabel sebanyak mungkin dengan jumlah seminimal mungkin. Matriks orthogon digabungkan dengan jumlah replika, termasuk selama proses eksekusi dituliskan dengan:

$$L_a(b^c) :$$

Dimana : L= Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level parameter

c = Banyaknya parameter

Jenis matrik ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai contoh matrik ortogonal $L_{27}(3^8)$ berarti jumlah percobaan yang akan dilakukan sebanyak dua puluh tujuh kali, jumlah derajat kebebasan dari matrik ortogonal maksimal yaitu tiga belas, serta matrik tersebut mempunyai jumlah parameter maksimal 13 dengan masing-masing mempunyai 3 level. Bisa dilihat dari Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2. 2 Level-level Matrik Ortogonal

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level Gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{35})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{12})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1 \times 3^{35})$
$L_{64}(2^{63})$				

Sumber : (soejanto, 2009)

2.8 Tahapan Analisis

Pada tahapan ini yaitu pengumpulan dan pengumpulan data dilakukan, tahap ini meliputi berbagai hal yaitu pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan, serta penyajian data dengan desain yang dipilih. Selanjutnya data hasil percobaan dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik. Berikut tahap analisis menurut (soejanto, 2009) :

1. Analisis Varian *Taguchi*

Analisis varian merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis data secara statistik yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen. Analisis ini memanfaatkan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh total parameter yang ingin diteliti. Untuk analisis varian dua arah merupakan data eksperimen yang terdiri dari dua parameter atau lebih dan dua level dari parameter atau lebih.

2. Rasio S/N

Tujuan pada tahap analisis ini difokuskan pada pengumpulan dan analisis data. Data hasil percobaan digunakan untuk kompresi data dan elisita data statistik. *S/N Ratio (Signal to Noise Ratio)* adalah jenis analisis yang paling banyak digunakan. *Signal to Noise Ratio (SNR)* digunakan dalam metode *Taguchi* untuk menentukan jumlah faktor yang paling tinggi untuk menentukan karakteristik hasil eksperimen yang berkualitas tinggi. Tipe Karakteristik rasio S/N terdiri dari:

a. Semakin Kecil Semakin Baik (*Smaller is Better*)

kecil semakin baik atau *Smaller is better* adalah properti kualitas dengan nilai terbatas nol dan non-negatif, dimana nilai yang mendekati nol adalah nilai yang diharapkan.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

b. Secara Nominal Lebih Baik (*Nominal is Better*)

Nominaal terbaik atau *Nominal is better* adalah properti kualitas dengan nilai bukan nol dan terbatas, dimana nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

c. Semakin Besar Baik (*Larger is Better*)

Lebih besar lebih baik atau *Larger is better* adalah properti kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif, dimana nilai yang lebih besar adalah nilai yang diharapkan.

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

Berdasarkan Gambar 3.1 Diagram Alir tahapan pertama yang dilakukan yaitu:

1. Studi Literatur.

Mengumpulkan dan membaca dari beberapa sumber penelitian, seperti membaca literatur (jurnal, tesis, buku, dll) yang berkaitan dengan pengaruh parameter proses 3D *printing* FDM terhadap kekasaran permukaan dengan filamen PETG dan metode *Taguchi*. Dan berkaitan dengan perancangan mesin 3D *printing* yang akan digunakan untuk mencetak benda diuji kekasaran permukaannya.

2. Menentukan Parameter Proses.

Pada tahapan ini parameter proses yang digunakan ada 8 parameter proses, yang dilakukan dalam proses penelitian mengidentifikasi masalah yang sering terjadi pada saat proses pencetakan benda uji menggunakan mesin 3D *printing* terhadap filamen PETG. Dari masalah tersebut akan ditentukan parameter-parameter yang akan digunakan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Nilai Level dan Parameter Proses Pengujian

Parameter Proses	Level		
	1	2	3
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	230	235	240
<i>Flowrate</i> (%)	100	110	115
<i>Printing Speed</i> (mm/s)	30	35	40
<i>Layer Thickness</i> (mm)	0.15	0.20	0.25
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	70	80	90
<i>Infill Speed</i> (mm/s)	30	35	40
<i>Infill Overlap</i> (%)	15	20	25
<i>Infill Density</i> (%)	25	30	35

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Persiapan Alat dan Bahan.

Dalam tahapan ini mempersiapkan alat dan bahan apa saja yang nantinya akan digunakan dalam penelitian.

4. Melakukan proses pencetakan.

Pencetakan yang akan dilakukan sesuai dengan parameter proses yang telah dipilih sebelumnya dan parameter yang akan digunakan di proses menggunakan *software slicing 3D Printing*. Setelah *dislice file* akan disimpan dengan format *G-Code* dengan menyimpan data ke kartu mikro SD yang kemudian akan dilakukan pencetakan menggunakan mesin *3D Printing FDM*.

5. Pengujian kekasaran

Apabila benda uji telah dicetak, maka selanjutnya benda uji akan ukur kekasarannya menggunakan alat *surface roughness* untuk mengetahui nilai kekasarannya.

6. Data Hasil Kekasaran Permukaan

Pada tahap ini semua bahan telah dicetak, maka untuk selanjutnya pengambilan data setiap spesimen yang telah dicetak untuk diketahui nilai kekasaran permukaannya.

7. Pengolahan Data

Pada tahap ini ketika semua telah mendapatkan hasil dari pengambilan data dari setiap spesimen, maka untuk selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi *software minitab*.

8. Pengolahan Data

Pada tahap ini ketika semua telah mendapatkan hasil dari pengambilan data dari setiap spesimen, maka untuk selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi *software minitab*.

9. Hasil dan Kesimpulan.

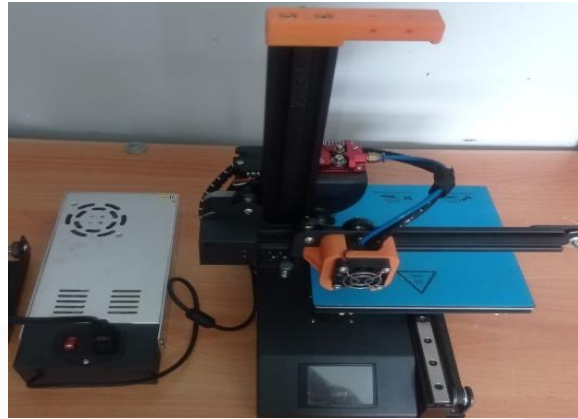
Tahap terakhir adalah hasil dan kesimpulan. hasil data yang didapatkan dianalisa berdasarkan parameter proses yang di tentukan. Sehingga mendapatkan nilai yang optimal dari pengaruh parameter proses *3D Printing* terhadap kekasaran permukaan dan dapat ditarik kesimpulan dari eksperimen atau penelitian.

3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencetakan 3D FDM

Pencetakan 3D REXYZ A1 FDM (*Fused Deposition Modeling*) dengan ukuran build 180 mm x 180 mm x 180 mm dan *nozzle* tunggal seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Mesin 3D Printing REXYZ A1

2. Alat uji kekasaran permukaan benda kerja

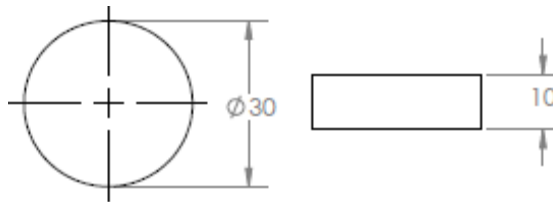
Alat uji kekasaran atau *surface roughness tester* merupakan alat pengukur kekasaran permukaan spesimen. Alat uji kekasaran yang digunakan adalah *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210 ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-210

3. Desain penelitian

Desain penelitian yang akan dilakukan pencetakan menggunakan mesin 3D *printing* FDM dengan diameter dan tinggi spesimen yaitu $\text{Ø}30 \times 10 \text{ mm}$. Desain penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Desain Spesimen

3.2 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material termoplastik yang berbentuk filamen. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate*) dengan diameter filamen sebesar 1,75 mm dengan *temperature* pencetakan sebesar 230-250°C. Filamen PETG ditunjukkan pada gambar 3.5



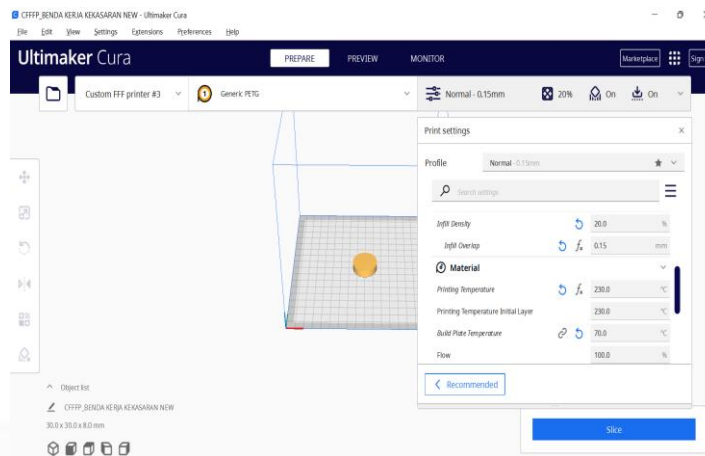
Gambar 3.5 Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

3.3 Realisasi Eksperimen

Langkah-langkah untuk melakukan percobaan adalah sebagai berikut :

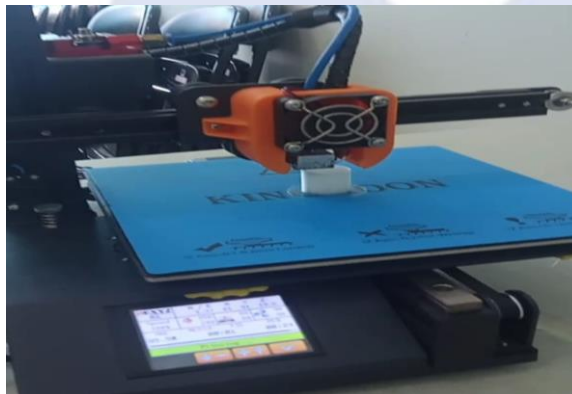
1. Buatlah benda uji berbentuk lingkaran dengan ukuran $\text{Ø}30 \times 10 \text{ mm}$ dalam *software* CAD format STL, seperti pada Gambar 3.4.

2. Dalam format STL, masukan *software slicer* untuk mengatur parameter proses dan level yang telah ditentukan untuk mendapatkan *G-code*. Seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaturan parameter pada *Software Slicer Cura 5.1.1*

3. Setelah mendapatkan *G-code*, selanjutnya pencetakan spesimen menggunakan filamen PETG dengan parameter proses yang telah ditentukan, dapat dilihat pada Gambar 3. 7.



Gambar 3.7 Proses Cetak Spesimen

4. Setelah spesimen semuanya selesai dicetak, selanjutnya pengujian kekasaran permukaan terhadap spesimen menggunakan alat uji *Surface Roughness Tester*, dapat dilihat pada gambar 3. 8.



Gambar 3.8 Pengujian Kekasaran Permukaan

5. Pengambilan data hasil pengujian kekasaran permukaan, dilakukan pada saat proses pengujian kekasaran permukaan.

6. Pengelohan data hasil pengujian kekasaran permukaan.

3.4 Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan dilab QC Kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, dengan cara menentukan tiga titik sampel yang akan diuji untuk pengambilan data, kemudian mencatat data hasil uji kekasaran untuk pengolahan data.

Setelah data hasil uji kekasaran permukaan didapatkan, langkah selanjutnya masukan data kedalam *software* analisa untuk diolah datanya, pengolahan data dilakukan agar mendapatkan nilai parameter proses yang optimal dan pengaruh terhadap kekasaran permukaan dari proses *3D printing* FDM. Setelah itu, ditarik kesimpulan.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengumpulan data penelitian ini dilakukan dengan mencetak spesimen/benda kerja menggunakan berbagai kombinasi parameter yang digunakan pada *printer* 3D FDM. Parameter yang terpilih untuk dikombinasi yaitu *Nozzle Temperature* (°C), *Flowrate* (%), *Printing Speed* (mm/s), *Layer Thickness* (mm), *Temperature Based Plate* (°C), *Infill Speed* (mm/s), *Infill Overlap* (%), *Infill Density* (%). Pada Table 4.1 menunjukkan hasil desain factorial *Taghuci* L_{27} OA. Hasil dari data pengujian tersebut kemudian diproses menggunakan *software* analisis agar mendapatkan parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

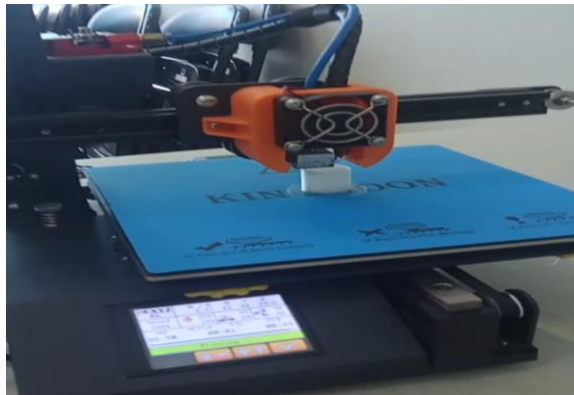
Tabel 4.1 Desain Faktorial Penelitian L_{27} OA

No.	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Flowrate</i> (%)	<i>Printing Speed</i> (mm/s)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	<i>Infill Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Overlap</i> (%)	<i>Infill Density</i> (%)
1	230	100	30	0.15	70	30	15	25
2	230	100	30	0.15	80	35	20	30
3	230	100	30	0.15	90	40	25	35
4	230	110	35	0.20	70	30	15	30
5	230	110	35	0.20	80	35	20	35
6	230	110	35	0.20	90	40	25	25
7	230	115	40	0.25	70	30	15	35
8	230	115	40	0.25	80	35	20	25

Tabel 4.2 Desain Faktorial Penelitian L_{27} OA (Lanjutan)

No.	Nozzle Temperature (°C)	Flowrate (%)	Printing Speed (mm/s)	Layer Thickness (mm)	Temperature Based Plate (°C)	Infill Speed (mm/s)	Infill Overlap (%)	Infill Density (%)
9	230	115	40	0.25	90	40	25	30
10	235	100	35	0.25	70	35	25	25
11	235	100	35	0.25	80	40	15	30
12	235	100	35	0.25	90	30	20	35
13	235	110	40	0.15	70	35	25	30
14	235	110	40	0.15	80	40	15	35
15	235	110	40	0.15	90	30	20	25
16	235	115	30	0.20	70	35	25	35
17	235	115	30	0.20	80	40	15	25
18	235	115	30	0.20	90	30	20	30
19	240	100	40	0.20	70	40	20	25
20	240	100	40	0.20	80	30	25	30
21	240	100	40	0.20	90	35	15	35
22	240	110	30	0.25	70	40	20	30
23	240	110	30	0.25	80	30	25	35
24	240	110	30	0.25	90	35	15	25
25	240	115	35	0.15	70	40	20	35
26	240	115	35	0.15	80	30	25	25
27	240	115	35	0.15	90	35	15	30

Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 Digunakan untuk mencetak spesimen/benda uji kekasaran permukaan. Selain itu, tiga salinan dari setiap percobaan dicetak. Data level setiap parameter dimasukkan kedalam *software slicing* untuk mendapatkan *G-code* dari proses pencetakan. Masukan *G-code* kedalam *printer 3D* untuk proses pencetakan. Proses pencetakan benda uji ditunjukkan pada Gambar 4. 1



Gambar 4.1 Proses Pencetakan Spesimen

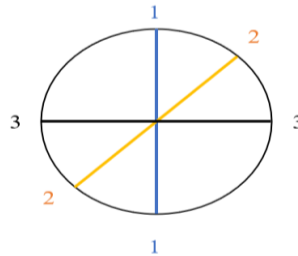
Spesimen/benda uji yang dihasilkan dari proses pencetakan yang telah dilakukan dengan setiap eksperimen tiga kali replikasi ditunjukkan pada Gambar 4. 2



Gambar 4.2 Hasil Proses Pencetakan Spesimen

Setelah semua proses selesai, maka selanjutnya melakukan uji kekasaran menggunakan alat *Surface Roughness Tester* untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan agar dapat mengetahui nilai kekasaran permukaan disemua spesimen.

Berikut titik pengambilan data nilai kekasaran permukaan spesimen ditunjukkan pada Gambar 4. 3



Gambar 4.3 Titik Yang Diuji

4.2 Hasil Pengukuran Spesimen

Setelah melakukan pengujian kekasaran disemua spesimen, maka didapatkan hasil nilai kekasaran permukaan. Hasil dari pengujian tersebut antara lain rata-rata dari kekasaran permukaan dari setiap eksperimen. Ditunjukkan pada Tabel 4. 3

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

No.	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
1.	L1	1	4,658	4.034	1,879	3,523
		2	3,965	4,275	1.901	3.380
		3	4,785	4,125	1,676	3,528
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L1				
2	L2	1	6,060	3,133	1,390	3,527
		2	6,973	4,580	1,499	4,338
		3	6,092	3,282	2,826	3.125
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L2				
3	L3	1	3,135	3,462	1,559	2,718
		2	3,745	3,278	1,480	2,834
		3	3,273	3,562	1,877	2,904
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L3				

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)

No.	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
4	L4	1	4,920	5,215	3,580	4,571
		2	4,638	4,455	2,443	3,845
		3	4,413	4,687	3,687	4,262
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L4				
5	L5	1	3,766	3,266	1,663	2,898
		2	3,470	4,307	1,081	2,952
		3	4,372	3,952	1,035	3,119
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L5				
6	L6	1	3,679	3,266	1,502	2,932
		2	3,472	4,307	1,450	3,117
		3	3,405	4,532	1,777	3,238
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L6				
7	L7	1	4,910	4,477	1,475	3,620
		2	3,972	3,366	1,968	3,102
		3	4,319	3,365	1,154	2,946
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L7				
8	L8	1	4,450	3,901	2,241	3,530
		2	4,798	4,107	1,771	3,558
		3	4,738	4,069	2,296	3,701
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L8				
9	L9	1	4,175	3,909	1,573	3,219
		2	5,267	3,730	1,418	3,471
		1	4,068	3,705	1,714	3,162
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L9				

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)

No.	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
10	L10	1	4,855	4,752	1,858	3,821
		2	4,679	4,607	1,343	3,543
		3	4,826	4,460	1,805	3,697
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L10				
11	L11	1	3,972	4,541	2,847	3,589
		2	4,652	4,654	1,888	3,731
		3	4,539	4,033	2,169	3,580
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L11				
12	L12	1	3,874	4,294	1,169	3,112
		2	4,937	4,657	1,473	3,731
		3	4,379	3,256	2,993	3,542
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L12				
13	L13	1	4,410	4,316	1,652	3,459
		2	4,791	3,511	1,049	3,117
		3	4,892	3,797	1,184	3,291
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L13				
14	L14	1	4,777	4,251	1,220	3,416
		2	3,965	4,879	2,243	3,362
		C	4,690	4,337	1,996	3,674
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L14				
15	L15	1	4,742	5,594	1,625	3,653
		2	4,118	5,851	1,698	3,222
		3	4,583	4,121	1,391	3,365
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L15				

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)

No.	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
16	L16	1	5,023	5,283	1,531	3,946
		2	5,308	5,432	2,122	4,287
		3	5,022	5,643	2,075	4,246
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L16				
17	L17	1	4,645	4,542	1,630	3,605
		2	4,844	4,835	1,797	3,825
		3	4,809	4,870	1,687	3,788
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L17				
18	L18	1	5,814	5,607	2,160	4,553
		2	4,558	5,590	1,670	3,939
		3	5,236	5,124	1,943	4,101
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L18				
19	L19	1	4,503	4,584	1,415	3,500
		2	4,891	4,534	2,194	3,873
		3	4,708	4,421	1,380	3,503
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L19				
20	L20	1	3,732	4,085	1,004	3,273
		2	3,513	3,255	1,063	2,943
		3	4,952	4,668	1,372	3,670
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L20				
21	L21	1	5,622	5,359	1,123	4,034
		2	5,578	5,721	1,613	4,304
		3	4,313	5,676	2,308	4,099
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L21				

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Lanjutan)

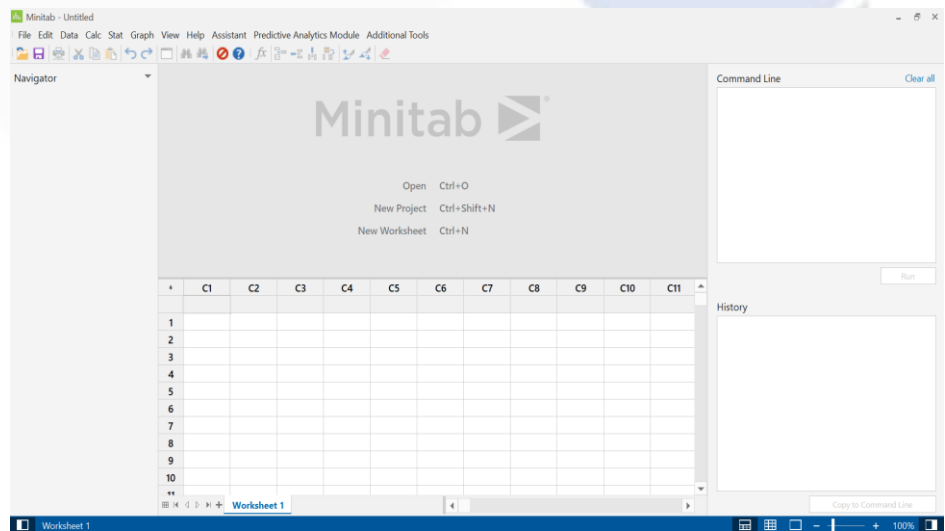
No.	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
22	L22	1	5,648	5,869	1,247	4,254
		2	5,276	5,647	1,066	3,963
		3	4,806	5,551	1,077	3,811
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L22				
23	L23	1	5,764	4,611	1,179	3,852
		2	4,334	4,085	1,049	3,152
		3	5,792	3,339	1,553	3,561
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L23				
24	L24	A	4,635	4,382	1,816	3,611
		B	4,835	4,173	1,652	3,553
		C	3,535	3,917	1,064	2,839
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L24				
25	L25	A	5,504	5,087	2,357	4,316
		B	5,641	5,545	2,673	4,620
		C	4,362	4,478	2,360	3,733
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L25				
26	L26	A	5,252	4,500	1,676	4,476
		B	4,792	3,971	1,380	3,381
		C	5,320	3,661	1,512	3,497
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L26				
27	L27	A	4,033	4,326	1,817	3,392
		B	5,281	4,284	1,490	3,685
		C	4,073	4,315	1,525	3,304
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L27				

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

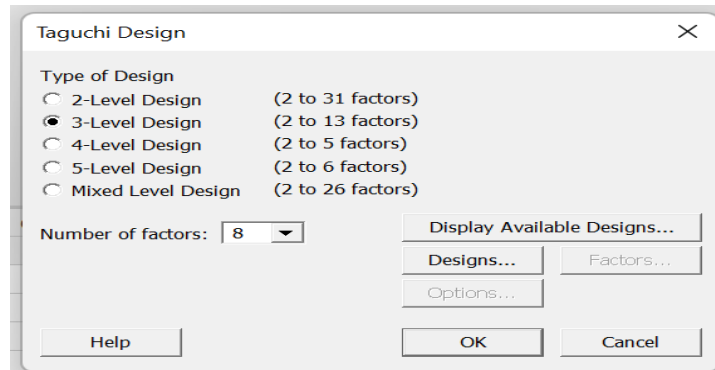
Pengolahan data hasil pengujian dilakukan untuk mendapatkan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap hasil uji kekasaran permukaan dengan metode *taguchi*. Proses pengolahan data ini menggunakan *software* analisis, dimana hasil dari data pengujian pada tabel 4.3 dimasukkan kedalam *software* analisis Minitab agar mendapatkan hasil respon *Mean Plot* dan *S/N Ratio* dengan kualitas “*smaller is better*” dikarenakan nilai yang semakin kecil maka semakin baik, nilai selisih yang mempunyai selisih nilai paling kecil pada spesimen maka nilai kekasaran yang dihasilkan semakin baik. Berikut langkah- langkah penggunaan *software* Minitab 20 :

1. Aktifkan *software* Minitab 20 untuk menampilkan halaman *worksheet-1* seperti pada Gambar 4. 4



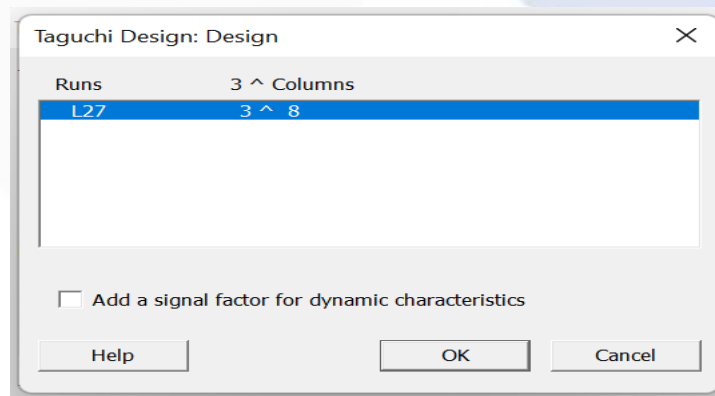
Gambar 4. 4 Halaman *Worksheet 1* Minitab 20

2. Pilih *STAT – DOE – TAGUCHI – CREATE TAGUCHI DESIGN*, sehingga tampilan *Create Taguchi* seperti pada Gambar 4.5 kemudian pilih *Type Of Design* dan *Number Of Factor* sesuai dengan parameter proses dan level yang telah di tentukan.



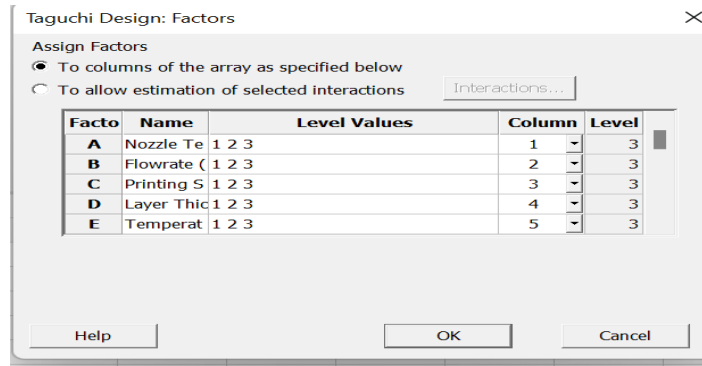
Gambar 4. 5 Tampilan *Create Taguchi Design*

3. Pada tampilan *Create Design Taguchi*, pilih *Design* untuk membuatnya seperti pada Gambar 4.6, sesuai pilihan yang tersedia *Design Taguchi Matrik OA L₂₇ (3⁸)*



Gambar 4. 6 Tampilan *Design Taguchi*

4. Pilih *Create Design Taguchi* pilih *Factors* agar seperti pada Gambar 4.5, setelah itu isikan *Name* dan *Level Values* sesuai dengan parameter proses dan level yang telah ditentukan.



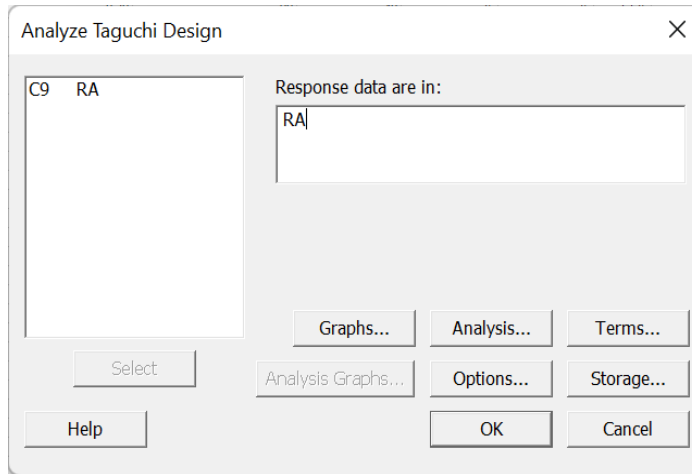
Gambar 4.7 Tampilan *Factors*

5. Klik OK pada tampilan *Create Design Taguchi* untuk menghasilkan Desain factorial L_{27} (3^8) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, kemudian masukkan data hasil *Surface Roughness Tester* pada *worksheet* seperti pada Gambar 4.8

	Nozzle Temperature (°C)	Flowrate (%)	Printing Speed (mm/s)	Layer Thickness (mm)	Temperature Based Plate (°C)	Infill Speed (mm)	Infill Overlap (%)	Infill Density (%)	RA
1	230	100	30	0.15	70	30	15	25	3.477
2	230	100	30	0.15	80	35	20	30	3.663
3	230	100	30	0.15	90	40	25	35	2.818
4	230	110	35	0.20	70	30	15	30	4.226
5	230	110	35	0.20	80	35	20	35	2.989
6	230	110	35	0.20	90	40	25	25	3.125
7	230	115	40	0.25	70	30	15	35	3.222
8	230	115	40	0.25	80	35	20	25	3.596
9	230	115	40	0.25	90	40	25	30	3.284
10	235	100	35	0.25	70	35	25	25	3.687
11	235	100	35	0.25	80	40	15	30	3.633
12	235	100	35	0.25	90	30	20	35	3.461
13	235	110	40	0.15	70	35	25	30	3.289
14	235	110	40	0.15	80	40	15	35	3.484
15	235	110	40	0.15	90	30	20	25	3.413
16	235	115	30	0.20	70	35	25	35	4.159
17	235	115	30	0.20	80	40	15	25	3.739
18	235	115	30	0.20	90	30	20	30	4.197
19	240	100	40	0.20	70	40	20	25	3.625
20	240	100	40	0.20	80	30	25	30	3.295
21	240	100	40	0.20	90	35	15	35	4.145
22	240	110	30	0.25	70	40	20	30	4.009
23	240	110	30	0.25	80	30	25	35	3.521
24	240	110	30	0.25	90	35	15	25	3.334
25	240	115	35	0.15	70	40	20	35	4.223
26	240	115	35	0.15	80	30	25	25	3.778
27	240	115	35	0.15	90	35	15	30	3.460

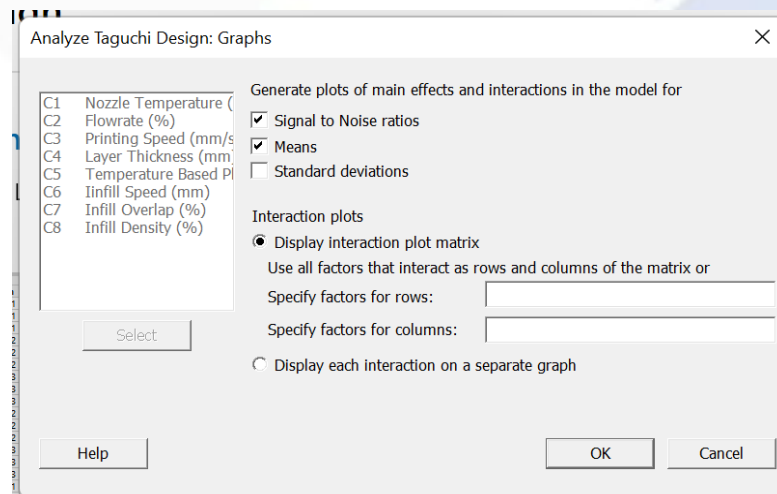
Gambar 4.8 Halaman *Worksheet* Desain Faktorial L_{27} dan Data Hasil pengujian

6. Pilih *STAT- DOE – ANALYZE TAGUCHI DESIGN* sehingga tampilan *Analyze Taguchi Design* seperti pada Gambar 4.7.



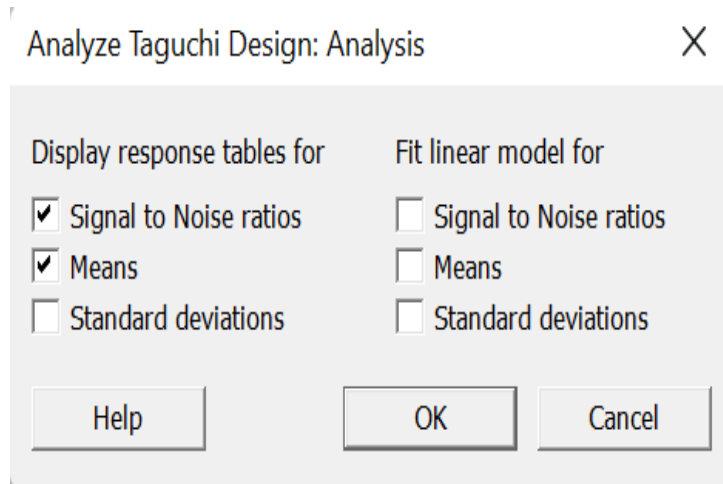
Gambar 4.9 Tampilan *Analyze Taguchi Design*

7. Klik C9 RA, lalu pilih *SELECT*, berada pada *Analyze Taguchi Design* seperti pada Gambar 4.9
8. Pilih *GRAPHS* kemudian pilih *Signal to Noise Ratios* dan *Means* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10



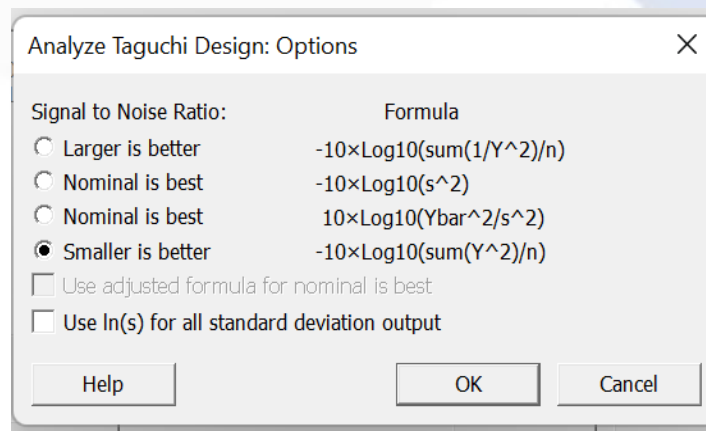
Gambar 4.10 Tampilan *Analyze Taguchi Design*

9. Pilih *ANALYSIS*, kemudian pilih *Signal to Noise Ratios* dan *Means* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11



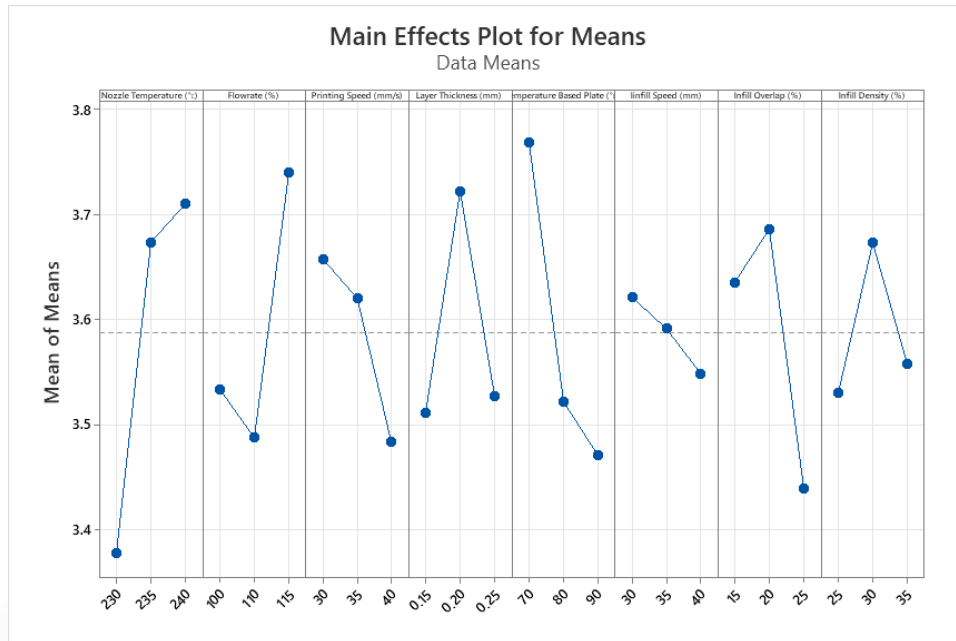
Gambar 4.11 Tampilan *Analyze Taguchi Design Analysis*

10. Pilih *OPTIONS* kemudian Pilih *Signal to Noise Ratios Smaller is Better* seperti pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Tampilan *Analyze Taguchi Design Options*

11. Klik *OK* pada tampilan *Analyze Taguchi Design* sehingga menampilkan hasil *Signal to Noise Ratio* dan *Means*. Hasil perhitungan Mean Plot ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.8 dan hasil perhitungan *S/N Ratio* “*Smaller is Better*” pada Gambar 4.14 dan Tabel 4. 10.



Gambar 4.13 Grafik *Main Effects Plot For Means*

Tabel 4. 8 *Response Table for Means*

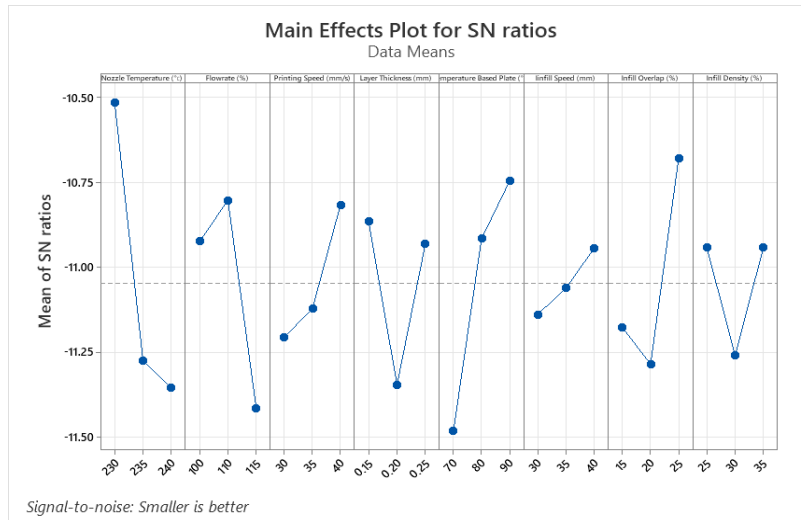
	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Flowrate</i> (%)	<i>Printing Speed</i> (mm/s)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	<i>Infill Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Overlap</i> (%)	<i>Infill Density</i> (%)
1	3.378	3.534	3.657	3.512	3.769	3.621	3.636	3.530
2	3.674	3.488	3.620	3.722	3.522	3.591	3.686	3.673
3	3.710	3.740	3.484	3.527	3.471	3.549	3.440	3.558
Delta	0.332	0.252	0.174	0.211	0.298	0.072	0.247	0.142
Rank	1	3	6	5	2	8	4	7

Sumber : Hasil dari *Software Minitab20*

Berdasarkan Gambar 4.11 dan Tabel 4. 8 dapat disimpulkan bahwa parameter yang sangat berpengaruh adalah *Nozzle Temperature*. Dan parameter proses yang sangat berpengaruh sesuai dengan kualitas *”smaller is better”* secara berurutan diunjukkan pada Tabel 4. 9

Tabel 4. 9 Nilai Optimum *Mean Plot*

Ra nk	Parameter	Nilai Optimum	Nilai <i>Mean Plot</i>
1	<i>Nozzel Temperature</i>	(240°C),	3.710
2	<i>Temperatur Based Plate</i>	(70°C),	3.769
3	<i>Flowrate</i>	(115%)	3.740
4	<i>Infil Overlap</i>	(20%)	3.686
5	<i>Layer Thickness</i>	(0.20mm)	3.722
6	<i>Infill Density</i>	(30%),	3.657
7	<i>Printing Speed</i>	(30mm/s)	3.673
8	<i>Infill speed</i>	(30mm/s)	3.621



Gambar 4.14 Grafik *Main Effects Plot For S/N Ratios*

Berdasarkan Gambar 4.12 parameter yang berpengaruh terhadap hasil uji kekasaran permukaan spesimen yaitu *Nozzle Temperatur* (230°C), *Flowrate* (110%), *Printing Speed* (40mm/s), *Layer Thickness* (0.15mm), *Temperatur Based Plate* (90°C), *Infill Speed* (40mm/s), *Infill Overlap* (25%), *Infill Density* (25%).

Tabel 4. 10 *Response Table for Signal to Noise Ratios*

<i>Smaller is better</i>							
Level	Nozzle Temperature (°C)	Flowrate (%)	Printing Speed (mm/s)	Layer Thickness (mm)	Temperature Based Plate (°C)	Infill Speed (mm/s)	Infill Overlap (%)
1	-10.51	-10.92	-11.21	-10.86	-11.48	-11.14	-11.18
2	-11.27	-10.80	-11.12	-11.35	-10.92	-11.06	-11.29
3	-11.35	-11.42	-10.82	-10.93	-10.75	-10.94	-10.68
Delta	0.84	0.61	0.39	0.48	0.73	0.20	0.61
Rank	1	3	6	5	2	8	4
Level	Infill Density (%)						
1	-10.94						
2	-11.26						
3	-10.94						
Delta	0.32						
Rank	7						

Sumber : Hasil dari *Software Minitab20*

Berdasarkan Tabel 4.10 parameter yang berpengaruh paling besar terhadap hasil uji kekasaran permukaan spesimen secara berturut-turut yaitu ditunjukkan pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Nilai *Optimum S/N Ratio*

Ra nk	Parameter	Nilai Optimum	Nilai S/N Ratio
1	<i>Nozzle Temperature</i>	(230°C),	-10.51
2	<i>Temperatur Based Plate</i>	(90°C),	-10.75
3	<i>Flowrate</i>	(110%)	-10.80
4	<i>Infil Overlap</i>	(25%)	-10.68
5	<i>Layer Thickness</i>	(0.15mm)	-10.86
6	<i>Infill Density</i>	(25%),	-10.82
7	<i>Infill Speed</i>	(40mm/s)	-10.94
8	<i>Printing Speed</i>	(40mm/s)	-10.94

4.4 Analisis Varian (ANOVA)

Proses parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata kekasaran permukaan. Setelah itu, untuk mengetahui nilai parameter yang berpengaruh pada

software minitab secara signifikan terhadap nilai *S/N Ratios* dapat dilakukan *Analysis of variance* dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 *Analysis of variance*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
	2	0.5976	15.74%	0.5976	0.2988	2.40	0.114
Temperature Based Plate (°C)	2	0.4563	12.02%	0.4563	0.2281	1.83	0.184
Error	22	2.7416	72.23%	2.7416	0.1246		
Total	26	3.7954	100.00%				

Sumber : Hasil dari *Software* Minitab20

Dari Tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa nilai yang berpengaruh terhadap rata-rata kekasaran permukaan adalah *Nozzle Temperature dan Temperature Based Plate*.

4.5 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan untuk mengetahui hasil nilai yang paling valid. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil rata-rata nilai kekasaran permukaan awal dengan rata-rata hasil kekasaran permukaan pengujian konfirmasi dengan nilai optimum. Uji konfirmasi dilakukan dengan parameter yang paling berpengaruh sesuai dengan pengukurannya. Penelitian ini membandingkan respon kombinasi awal dan kombinasi optimum, dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Konfirmasi

No	Eksperimen	Replikasi	Titik Benda Uji			Rata-rata
			1	2	3	
1.	Kombinasi Awal	1	4,658	4.034	1,879	3,523
		2	3,965	4,275	1.901	3.380
		3	4,785	4,125	1,676	3,528
		Rata-rata Kombinasi Awal				

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Konfirmasi (Lanjutan)

No	Eksperimen	Replikasi	Titik Benda Uji			Rata-rata
			1	2	3	
2	Kombinasi Optimum	1	3,286	3,274	1,146	2,562
		2	3,037	3,100	1,162	2,443
		3	3,147	3,265	1,215	2,542
		Rata-rata Kombinasi Optimum				

Dari hasil uji konfirmasi di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kekasaran dari data awal dengan data optimum deviasi sebesar 0,962 Ra.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kekasaran permukaan dengan urutan faktor paling berpengaruh terhadap filamen PETG berturut yaitu : *Nozzel Temperature, Temperature Based Plate, Flowrate, Infill Overlap, Layer Thickness, Infill Density, Infill Speed, Printing Speed*. Nilai kekasaran permukaan paling Optimum terjadi pada spesimen desain factorial L27 (8^3) yaitu *Nozzle Temperatur (230°C), Flowrate (110%), Printing Speed (40mm/s), Layer Thickness (0.15mm), Temperatur Based Plate (90°C), Infill Speed (40mm/s), Infill Overlap (25%), Infill Density (25%)*. dengan kekasaran permukaan dari delapan parameter proses yang diuji sebesar -10,81 Ra.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian yang berjudul “Optimasi Parameter 3D *Printing* Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)” penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat lebih baik dari proses hingga hasil yang diperoleh nantinya yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya menggunakan parameter proses yang berbeda untuk mengetahui parameter paling berpengaruh dengan hasil yang berbeda dari penelitian yang telah dilakukan menggunakan filamen PETG, dan mesin 3D *printing* FDM DIY REXYZ A1 180×180×180mm.
2. Untuk penelitian selanjutnya menggunakan metode yang berbeda dari penelitian ini agar bisa lebih dikembangkan.
3. Pastikan saat proses pencetakan listrik yang kalian gunakan stabil, supaya hasil pencetakan tidak cacat dan tidak melakukan pengulangan pencetakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyansyah , D., H. & P., 2018. Optimasi Parameter Proses 3d Printing Terhadap Kuat Filamen Polylactic Acid Menggunakan Metode Taguchi.
- Ardiyanto, D., 2021. Uji Pengaruh Kecepatan Dan Perbedaan Suhu Antara Filament Pla Dengan Filament Petg Pada 3d Printer Ender 5 Pro. In: S.L.:S.N., P. 4.
- Christiliana, M., Pristiyansyah & Oktriadi, Y., 2021. Optimasi Parameter Proses Pada 3d Printing Fdm Terhadap. *Jurnal Manutek*, 13(01), P. 1.
- Eduar Iqbal Riza, C. B. A. W. N., 2020. Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3d Printing Material Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi. *Majalah Teknik Mesin*, P. 9..
- Kumara Sadana Putra, S. M. U. R. S. S., 2018. Pemanfaatan Teknologi 3d Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, P. 4.
- Mawar Lestari, S. P., 2022. Pengaruh Parameter Proses 3d Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filament Petg (Polyethylene Terephthalate Gylacol).
- Pengaruh Parameter Proses 3d Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filament Petg (Polyethylene Terephthalate Gylacol), N.D.
- Pristiansyah, H. S., 2019. Optimasi Parameter Proses 3d Printing Fdmterhadap Akurasi. *Jurnal Manutech;Jurnal Teknologi Manufaktur*, Issue 01, P. 2.
- Rochim, T., 2001. . Spesifikasi Metrologi Dan Kontrol Kualitas Geometri. In: Bandung, Itb: S.N.
- Soejanto, I., 2009. Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. *Graha Ilmu* .

Sumantri, D., 2012. Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Deposition Modelling.

Yudha Bhika Pratama, H. P., 2021. *Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen St-Pla.*

Bayu Wiro Karuniawan. 2009, Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modelling* (FDM) terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi.

Ade Ferdiansyah, P. B. (2021). Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE Menggunakan Metode Taguchi L9. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan.*

DAFTAR LAMPIRAN I
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Bayu Aji

Tempat, Tanggal Lahir : Lubuk Besar, 25 April 2001

Agama : Islam

Jenis Kelamin : Laki - laki

Alamat : Desa Lubuk Pabrik, kecamatan Lubuk Besar
Kabupaten Bangka Tengah, Bangka Belitung

Pendidikan Terakhir : SMA

No Telepon : 085758674722

Email : bayuadji207@gmail.com

Pendidikan Formal :

1. 2017-2019 : SMA Negeri 1 Lubuk Besar
2. 2015-2017 : SMP Negeri 2 Lubuk Besar
3. 2008-2015 : SD Negeri 3 Lubuk Besar

LAMPIRAN II
HASIL PENGUJIAN KEKASARAN

No	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
1.	L1	1	4,658	4,034	1,879	3,523
		2	3,965	4,275	1,901	3,380
		3	4,785	4,125	1,676	3,528
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L1				
2	L2	1	6,060	3,133	1,390	3,527
		2	6,973	4,580	1,499	4,338
		3	6,092	3,282	2,826	3,125
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L2				
3	L3	1	3,135	3,462	1,559	2,718
		2	3,745	3,278	1,480	2,834
		3	3,273	3,562	1,877	2,904
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L3				
4	L4	1	4,920	5,215	3,580	4,571
		2	4,638	4,455	2,443	3,845
		3	4,413	4,687	3,687	4,262
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L4				
5	L5	1	3,766	3,266	1,663	2,898
		2	3,470	4,307	1,081	2,952
		3	4,372	3,952	1,035	3,119
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L5				
6	L6	1	3,679	3,266	1,502	2,932
		2	3,472	4,307	1,450	3,117

No	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
		3	3,405	4,532	1,777	3,238
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L6				3,125
7	L7	1	4,910	4,477	1,475	3,620
		2	3,972	3,366	1,968	3,102
		3	4,319	3,365	1,154	2,946
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L7				3,222
8	L8	1	4,450	3,901	2,241	3,530
		2	4,798	4,107	1,771	3,558
		3	4,738	4,069	2,296	3,701
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L8				3,596
9	L9	1	4,175	3,909	1,573	3,219
		2	5,267	3,730	1,418	3,471
		2	4,068	3,705	1,714	3,162
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L9				3,284
10	L10	1	4,855	4,752	1,858	3,821
		2	4,679	4,607	1,343	3,543
		3	4,826	4,460	1,805	3,697
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L10				3,687
11	L11	1	3,972	4,541	2,847	3,589
		2	4,652	4,654	1,888	3,731
		3	4,539	4,033	2,169	3,580
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L11				3,633
12	L12	1	3,874	4,294	1,169	3,112
		2	4,937	4,657	1,473	3,731
		3	4,379	3,256	2,993	3,542

No	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L12				3,461
13	L13	1	4,410	4,316	1,652	3,459
		2	4,791	3,511	1,049	3,117
		3	4,892	3,797	1,184	3,291
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L13				3,289
14	L14	1	4,777	4,251	1,220	3,416
		2	3,965	4,879	2,243	3,362
		3	4,690	4,337	1,996	3,674
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L14				3,484
15	L15	1	4,742	5,594	1,625	3,653
		2	4,118	5,851	1,698	3,222
		3	4,583	4,121	1,391	3,365
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L15				3,413
16	L16	1	5,023	5,283	1,531	3,946
		2	5,308	5,432	2,122	4,287
		3	5,022	5,643	2,075	4,246
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L16				4,159
17	L17	1	4,645	4,542	1,630	3,605
		2	4,844	4,835	1,797	3,825
		3	4,809	4,870	1,687	3,788
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L17				3,739
18	L18	1	5,814	5,607	2,160	4,553
		2	4,558	5,590	1,670	3,939
		3	5,236	5,124	1,943	4,101
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L18				4,197

No	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
19	L19	1	4,503	4,584	1,415	3,500
		2	4,891	4,534	2,194	3,873
		3	4,708	4,421	1,380	3,503
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L19				
20	L20	1	3,732	4,085	1,004	3,273
		2	3,513	3,255	1,063	2,943
		3	4,952	4,668	1,372	3,670
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L20				
21	L21	1	5,622	5,359	1,123	4,034
		2	5,578	5,721	1,613	4,304
		3	4,313	5,676	2,308	4,099
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L21				
22	L22	1	5,648	5,869	1,247	4,254
		2	5,276	5,647	1,066	3,963
		3	4,806	5,551	1,077	3,811
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L22				
23	L23	1	5,764	4,611	1,179	3,852
		2	4,334	4,085	1,049	3,152
		3	5,792	3,339	1,553	3,561
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L23				
24	L24	1	4,635	4,382	1,816	3,611
		2	4,835	4,173	1,652	3,553
		3	3,535	3,917	1,064	2,839
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L24				
		1	5,504	5,087	2,357	4,316

No	Eksperimen	Replikasi	Bidang			Rata-rata
			1	2	3	
25	L25	2	5,641	5,545	2,673	4,620
		3	4,362	4,478	2,360	3,733
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L25				
26	L26	1	5,252	4,500	1,676	4,476
		2	4,792	3,971	1,380	3,381
		3	5,320	3,661	1,512	3,497
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L26				
27	L27	1	4,033	4,326	1,817	3,392
		2	5,281	4,284	1,490	3,685
		3	4,073	4,315	1,525	3,304
		Rata-rata Kekasaran Eksperimen L27				

LAMPIRAN III
FOTO HASIL PROSES PENCETAKAN



