

**OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTSING
TERHADAP AKURASI DIMENSI MENGGUNAKAN
FILAMENT NYLON**

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh:

Inne Dwi Agustin NPM : 1041842

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
Tahun 2022**

**OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING
TERHADAP AKURASI DIMENSI MENGGUNAKAN
*FILAMENT NYLON***

PROYEK AKHIR

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



Disusun oleh :

Inne Dwi Agustini NPM: 1041842

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D *PRINTING* TERHADAP AKURASI
DIMENSI MENGGUNAKAN *FILAMENT NYLON*

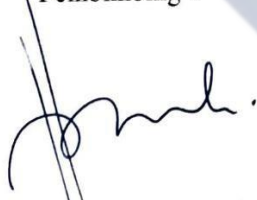
Oleh :

Inne Dwi Agustini/1041842

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

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

Pembimbing 2



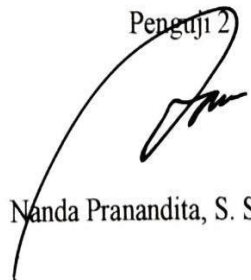
Adhe Anggry, S.S.T., M.T

Penguji 1



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

Penguji 2



Nanda Pranandita, S. S. T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Inne Dwi Agustini NPM: 1041842

Dengan judul : Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan *Filament Nylon*.

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

Sungailiat, 26 Januari 2022

Nama Mahasiswa
Inne Dwi Agustini

Tanda Tangan



ABSTRAK

Manufaktur additive merupakan teknologi pembuatan objek nyata langsung dari model CAD. Salah satunya 3D printing FDM. Keunggulan teknologi ini adalah dapat mencetak berbagai bentuk seperti cangkir dan mangkok, material mudah didapat, biaya perawatan yang rendah dan pengoperasian tanpa pengawasan, namun memiliki keterbatasan salah satunya terkait akurasi dimensi hasil cetakan, akibatnya produk yang dihasilkan masih belum sesuai dengan desain yang diinginkan. Pengaturan akhir faktor kontrol pada proses 3D printing FDM yang optimal diakui sebagai salah satu langkah paling penting untuk meningkatkan kualitas produk. Penelitian tentang penentuan pengaturan faktor-faktor kontrol mesin anycubic 4max pada produk bush yang terbuat dari filament nylon. Faktor-faktor kontrol yang divariasikan adalah nozzle Temperatur, Bed Temperature, Layer Thickness, wall thickness, Flowrate, Print Speed, overlap, infill density, infill speed. Rancangan eksperimen dan optimasi menggunakan metode Taguchi. Rancangan percobaan menggunakan matriks ortogonal L_{27} dengan 3 level. Hasil penelitian faktor kontrol yang paling optimal terhadap akurasi dimensi diameter luar spesimen adalah nozzle temperature (256°C), bed temperature (95°C), layer thickness (0,2mm), flowrate (90%), wall thickness (1,0), infill speed (30mm/s), printing speed (30mm/s), infill density (30%), dan overlap (5%). Faktor Kontrol yang paling optimal terhadap akurasi dimensi tinggi spesimen adalah layer thickness (0,2mm), nozzle temperature (256°C), bed temperature (98°C), flowrate (100%), overlap (5%), wall thickness (1,2mm), infill speed (20mm/s), printing speed (30mm/s), dan infill density (20%). Faktor kontrol yang paling optimal terhadap akurasi dimensi diameter dalam spesimen adalah bed temperature (95°C), nozzle temperature (256°C), flowrate (90%), layer thickness (0,28mm), infill density (25%), infill speed (25mm/s), wall thickness (0,8mm), printing speed (30mm/s), dan overlap (10%).

Kata Kunci : 3D Printing FDM, Akurasi Dimensi, Nylon, Faktor Kontrol, Metode Taguchi,

ABSTRACT

Additive manufacturing is a technology for creating real objects directly from CAD models. One of them is 3D printing FDM. The advantages of this technology are that it can print various shapes such as cups and bowls, the material is easy to obtain, low maintenance costs and unattended operation, but it has limitations, one of which is related to the dimensional accuracy of the prints, as a result the resulting product is still not in accordance with the desired design. The final setting of control factors in the optimal FDM 3D printing process is recognized as one of the most important steps to improve product quality. Research on determining the control factors of the anycubic 4max engine on bush products made of nylon filament. Varied control factors are nozzle temperature, bed temperature, layer thickness, wall thickness, flowrate, print speed, overlap, infill density, infill speed. Experimental design and optimization using the Taguchi method. The experimental design uses an L27 orthogonal matrix with 3 levels. The results of the research that the most optimal control factor parameters for the accuracy of the dimensions of the outside diameter of the specimen are nozzle temperature (256°C), bed temperature (95°C), layer thickness (0.2mm), flowrate (90%), wall thickness (1,0), infill speed (30mm/s), printing speed (30mm/s), infill density (30%), and overlap (5%). The most optimal control factor parameters for the dimensional accuracy of the specimen height are layer thickness (0.2mm), nozzle temperature (256°C), bed temperature (98°C), flowrate (100%), overlap (5%), wall thickness (1.2mm), infill speed (20mm/s), printing speed (30mm/s), and infill density (20%). The most optimal control factor parameters for the accuracy of the inside diameter dimensions of the specimen are bed temperature (95°C), nozzle temperature (256°C), flowrate (90%), layer thickness (0.28mm), infill density (25%), infill speed (25mm/s), wall thickness (0.8mm), printing speed (30mm/s), and overlap (10%).

Keywords : 3D Printing FDM, Dimensional Accuracy, Nylon, Control Factor, Taguchi Method,

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa dan atas karunianya penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir dengan judul “Optimasi Parameter Proses Pada 3D *Printing* Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan *Filament Nylon*”. Penulisan Proyek Akhir ini dilakukan untuk memenuhi syarat kelulusan D-IV di jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan proyek akhir ini penulis menyadari tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak penulis tidak akan dapat menyelesaikan proyek akhir ini. Sehingga penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kepada Orang Tua dan Kakak penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama penulis mengerjakan proyek akhir ini.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M. Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Hasdiansah, S.S.T., M.Eng., selaku Pembimbing utama penulis yang telah menentukan, menyetujui serta telah banyak memberikan konsep pemikiran tentang pelaksanaan proyek akhir ini.
4. Ibu Adhe Anggry, S.S.T., M.T., selaku Pembimbing kedua yang telah memberikan masukan-masukan pada proyek akhir ini.
5. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T., selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pelaksanaan proyek akhir ini.
8. Teman-teman Kelas B Teknik Mesin Angkatan 25 yang sudah memberikan dukungan dan membantu.

Akhir kata penulis berharap Tuhan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan proyek akhir ini. Semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada masa yang akan datang. Aamiin.

Sungailiat, 24 Januari 2021



Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Mesin 3D <i>Printing</i>	4
2.1.1 Mekanisme Proses 3D <i>Printing</i>	4
2.1.2 Faktor Kontrol Mesin 3D	5
2.2 Filamen <i>Nylon</i>	6
2.3 Metode Taguchi.....	7
2.4.1 <i>S/N Ratio (Signal to Noise Ratio)</i>	10
2.4.2 ANAVA (<i>Analysis Of Variance</i>)	11
2.4 Uji Konfirmasi.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Tahapan Pelaksanaan.....	15
3.2 Rincian Pelaksanaan.....	16
BAB IV PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pengambilan Data Spesimen	25

4.2	Pengolahan Data Eksperimen.....	31
4.2.1	Penentuan Kombinasi Faktor Untuk Respon Optimum.....	33
4.2.2	Analisis Varians Respon	34
4.2.3	Prediksi Nilai Akurasi Dimensi dan Interval Keyakinan	39
4.2.4	Perhitungan Nilai <i>S/N Ratio</i> dari Respon.....	41
4.2.5	Analisis Varians Respon <i>S/N</i>	46
4.3	Analisis Data	53
4.4	Uji Konfirmasi.....	57
BAB V KESIMPULAN		61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor Kontrol dan Level Faktor	17
Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level.....	18
Tabel 4.1 Rancangan Eksperimen Taguchi L27	25
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Diameter Luar.....	28
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Diameter Luar Lanjutan	28
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Tinggi Spesimen.....	29
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Tinggi Lanjutan	29
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Diameter Dalam Spesimen	30
Tabel 4.7 Hasil Poengukuran Diameter Dalam Lanjutan	30
Tabel 4.8 <i>Mean Plot</i> Diameter Luar Spesimen.....	31
Tabel 4.9 <i>Mean Plot</i> Tinggi Spesimen.....	32
Tabel 4.10 <i>Mean Plot</i> Diameter Luar Spesimen.....	32
Tabel 4.11 Kombinasi Faktor Kontrol	33
Tabel 4.12 Kombinasi Faktor Kontrol Lanjutan.....	33
Tabel 4.13 Analisis Varians <i>Mean</i> Diameter Luar.....	35
Tabel 4.14 Analisis Varians <i>Mean</i> Tinggi Spesimen.....	36
Tabel 4.15 Analisis Varians <i>Mean</i> Diameter Dalam Spesimen.....	36
Tabel 4.16 Analisis Varians <i>Mean</i> Diameter Dalam Spesimen Lanjutan.....	36
Tabel 4.17 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen.....	37
Tabel 4.18 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen Lanjutan	37
Tabel 4.19 Persentase Kontribusi Tinggi Spesimen	37
Tabel 4.20 Persentase Kontribusi Diametr Dalam.....	38
Tabel 4.21 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar	41
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar Lanjutan.....	41
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Tinggi.....	42
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Tinggi Lanjutan.....	42
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Dalam.....	43
Tabel 4.26 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Dalam Lanjutan.....	43
Tabel 4.27 Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar	44
Tabel 4.28 Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Tinggi Spesimen.....	45
Tabel 4.29 Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Diameter Dalam Spesimen.....	45
Tabel 4.30 Analisis Varians <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar	47
Tabel 4.31 Analisis Varians <i>S/N Ratio</i> Tinggi Spesimen	48
Tabel 4.32 Analisis Varians <i>S/N Ratio</i> Diametr Dalam Spesimen	48
Tabel 4.33 Analisis Varians <i>S/N Ratio</i> Diameter Dalam Spesimen Lanjutan	48

Tabel 4.34 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen.....	49
Tabel 4.35 Persentase Kontribusi Tinggi Spesimen	49
Tabel 4.36 Persentase Kontribusi Diametr Dalam	50
Tabel 4.37 ANAVA Diameter Luar	53
Tabel 4.38 Keputusan Uji Diameter Luar	53
Tabel 4.39 Keputusan Uji Diameter Luar Lanjutan	53
Tabel 4.40 ANAVA Tinggi.....	54
Tabel 4.41 Keputusan Uji Tinggi.....	54
Tabel 4.42 ANAVA Diameter Dalam.....	55
Tabel 4.43 ANAVA Diameter Dalam Lanjutan	55
Tabel 44 Keputusan Uji Diameter Dalam.....	56
Tabel 4.45 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar	57
Tabel 4.46 Hasil Uji Konfirmasi Tinggi	57
Tabel 4.47 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Dalam	57
Tabel 4.48 <i>S/N Ratio</i> Pada Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan (Lanjutan).....	16
Gambar 3.2 Mesin <i>Anycubic 4Max</i>	19
Gambar 3.3 <i>Dry Box Filament</i>	19
Gambar 3.4 Micrometer dan Jangka Sorong.....	20
Gambar 3.5 Filamen Nilon.....	21
Gambar 3.6 Gambar Spesimen	22
Gambar 3.7 Proses <i>Slicing</i> Pada <i>Software</i>	22
Gambar 3.8 Pemasukan Memori.....	23
Gambar 3.9 Kalibrasi Mesin	23
Gambar 3.10 Pengeringan Filamen.....	24
Gambar 4.1 Proses Pencetakkan Setengah Jadi dan Proses Pencetakkan Selesai	26
Gambar 4.2 Hasil Cetak Spesimen.....	27
Gambar 4.3 Pengukuran Diameter Luar Spesimen.....	27
Gambar 4.4 Pengukuran Tinggi Spesimen.....	27
Gambar 4.5 Pengukuran Diameter Dalam Spesimen.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	65
Lampiran 2 Data Pengukuran.....	66
Lampiran 3 Perbandingan Hitungan Manual dengan Hitungan Software Analisis ...	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Percetakan tiga dimensi (*3D Printing*) adalah salah satu mesin paling andal dan revolusioner dalam *additive manufacturing* (Pambudi, 2017). *Additive Manufacturing* adalah teknologi yang memungkinkan pembuatan objek nyata langsung dari model CAD (*Computer Aided Design*). Pembuatan objek dilakukan dengan secara bertahap dengan menambahkan objek lapisan demi lapisan hingga menjadi objek utuh (Andriansyah, Herianto, & Purfaji, 2018). Teknologi pencetakan 3D Printing banyak digunakan adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) keunggulan teknologi ini adalah memiliki ketersediaan material yang baik pergantian *filament* yang mudah biaya perawatan yang rendah dan pengoprasian tanpa pengawasan (L.M., I.Bodi, J.Kacani, & F.Lavrccia, 2015). 3D *printing* FDM dapat mencetak berbagai bentuk seperti mangkuk dan cangkir. Namun dalam hal ini memiliki keterbatasan terkait dengan akurasi dimensional. Akibatnya produk yang dihasilkan masih belum sesuai dengan desain yang diinginkan. Berkenan dengan kekurangan tersebut diperlukan parameter proses yang tepat pada printer untuk mendapatkan produk atau cetakan dengan akurasi dimensi yang baik (Hasdiansah, Masdani, Feriadi, & Pristiansyah, 2020).

Nylon (Poliamida) adalah bahan yang populer di industri plastik karena memiliki ketangguhan dan fleksibilitas yang baik. *Nylon* memiliki keunggulan yaitu tahan lama, tahan benturan, fleksibel, tidak bau saat dicetak, dan ketahanan abrasi (Simplify3D). Metode Taguchi merupakan metode statistik yang digunakan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses. Dr. Genichi Taguchi seorang konsultan manajemen kualitas asal Jepang yang mengembangkan metode matriks ortogonal dalam melakukan rancangan eksperimen. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitive terhadap

berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009). Dalam metode Taguchi, optimasi hanya dapat dilakukan untuk satu respon saja.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini antara lain “Pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik dan akurasi menggunakan filament nilon” (Basavaraj & Vishwas, 2016) pada penelitian ini optimasi menggunakan metode Taguchi L₉ OA, hasil menunjukkan bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi yaitu *layer thickness*. “Optimasi keakuratan dimensi produk cetak 3D *printing* berbahan plastik PP daur ulang menggunakan metode Taguchi” (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiantoro, 2020) menunjukkan bahwa parameter yang optimal adalah *printing temperature* pada level 260°C, *layer height* pada level 0,16 mm, dan *print speed* pada level 20 mm/s. Pada penelitian “Optimasi parameter proses pada 3D printing FDM terhadap akurasi dimensi filament PLA *Food Grade*” (Cristiliana, Pristiansyah, & Oktriadi, 2021) mendapatkan hasil faktor kontrol yang optimal adalah *nozzle temperature* pada level 185°C *layer thickness* pada level 0,20mm, *print speed* pada level 40mm/s, *infill rate* pada level 8%, dan *temperature based plate* pada level 40°C. Dari penelitian “Optimasi parameter proses 3D printing FDM terhadap akurasi dimensi menggunakan *filament eflex*” (Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto, 2019) menunjukkan bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh adalah *layer thickness* dari faktor kontrol yang ada. Pada penelitian “Evaluasi akurasi dimensi pada objek hasil 3D *Printing*” (Andriansyah, Sriyanto, Jamaldi, & Taufik, 2021) menunjukkan bahwa proses 3D *printing* mengalami deviasi pada dimensi geometri dan posisi.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi optimum faktor kontrol terhadap akurasi dimensi cetakan proses 3D *printing* menggunakan *filament Nylon* yang akan berfokus pada 9 (Sembilan) faktor kontrol yaitu *Nozzle Temperatur (°C)*, *Bed Temperature (°C)*, *Layer Thickness (mm)*, *wall thickness (mm)*, *Flowrate (%)*,

Print Speed (mm/s), overlap (%), infill density (%), infill speed (mm/s) dengan menggunakan metode Taguchi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan pada latar belakang, maka perumusan masalah yang ada pada proyek akhir ini adalah apakah parameter faktor kontrol yang telah ditentukan mendapatkan nilai akurasi dimensi yang optimal sesuai dengan yang diinginkan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah yang dilakukan dapat terarah dengan baik dan tidak menyimpang dari rumusan permasalahan, maka batasan masalah pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut

1. Proses pembuatan spesimen menggunakan mesin *Anycubic 4max* dan menggunakan *software Ultimaker Cura 4.8.0*.
2. Desain eksperimen menggunakan metode Taguchi.
3. Pengolahan dan analisis data menggunakan perhitungan manual.
4. Pengolahan dan analisis data lanjutan menggunakan *software* analisis.

1.4 Tujuan

Tujuan proyek akhir ini berdasarkan rumusan masalah adalah untuk mendapatkan parameter faktor kontrol yang paling optimal terhadap akurasi dimensi *filament nylon* dengan faktor kontrol yang sudah ditentukan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin 3D Printing

Printer 3D adalah mesin yang mencetak objek 3D yang dapat dilihat, ditangani, dan memiliki massa. Pemodelan 3D dibangun secara berlapis, yaitu proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari file digital (Ramdhani, 2019). Dengan teknologi printer 3D, sebuah perusahaan dapat membuat prototipe tanpa mengkonsumsi bahan baku atau material. Karena begitu seorang desainer menggambar objek 3D, ia akan dapat langsung mencetak hasil desainnya dengan printer dan langsung menemukan kekurangan pada desain yang dibuatnya. Melihat prospek masa depan printer 3D dan perkembangannya, aplikasi pencetakan ini sudah mampu merambah semua lini. Saat ini, pengembangan bahan berserat yang berkelanjutan mencapai titik didih tinggi, dengan daya tahan yang sangat kuat. Jika ini sudah tercapai, penerapannya bisa lebih banyak lagi (Setiawan, 2019).

2.1.1 Mekanisme Proses 3D Printing

Mekanisme pencetakan 3D umumnya dibagi menjadi tiga langkah proses, yaitu (Setiawan, 2019):

1. Model Objek 3D

Model objek 3D dapat dibuat dengan perangkat lunak yang dirancang khusus untuk desainer. Printer 3D dengan dukungan misalnya solidwork, catia, delcam, dll

2. Proses Printing

Setelah desain selesai, desain dapat langsung dicetak dengan mesin pada printer 3D dan proses pencetakan dimulai. Waktu yang dibutuhkan untuk mencetak tergantung pada ukuran model yang dicetak.

3. Finishing

Pada titik ini, anda dapat menyempurnakan bagian kompleks yang mungkin disebabkan oleh dimensi yang berbeda dari yang diinginkan. Teknik tambahan untuk meningkatkan proses ini juga dapat menggunakan beberapa teknik material atau kombinasi warna.

2.1.2 Faktor Kontrol Mesin 3D

Dengan teknologi *printer* 3D faktor kontrol adalah populasi studi yang harus diperkirakan untuk digunakan untuk mengatur nilai pada mesin sehingga hasil yang diinginkan dapat dihasilkan pada saat pemrosesan. Pada *printer* 3D faktor kontrol tertentu dimasukkan ke dalam perangkat lunak pemotong untuk menghasilkan *G-code* yang akan dibaca oleh mesin sebagai perintah. Pengaturan berikut ada pada *printer* 3D. (Setiawan, 2019)

1. *Nozzle temperature* adalah suhu di mana *filament* diekstrusi.
2. *Layer thickness* adalah ketebalan setiap lapisan.
3. *Temperature based plate* berdasarkan suhu pada papan/pelat tempat benda menempel saat mencetak..
4. *Print speed* adalah seberapa cepat ia bergerak selama pencetakan..
5. *Infill pattern* adalah stensil pada bagian yang berlawanan.
6. *Infill density* adalah kerapatan dipusat objek yang dicetak *infill density* berkisar 0% sampai 100%.
7. *Perimeter* adalah jumlah minimum selubung longitudinal (dinding) untuk pencetakan
8. *Brim width* digunakan untuk menambah keliling lapisan pertama alas yang berguna untuk menciptakan cengkeraman lebih pada alas dan mengurangi lengkungan.
9. *Fed rate* adalah pengaturan untuk mengubah profil kecepatan cetak secara keseluruhan

10. *Raft layers* berfungsi sebagai lapisan tambahan di bawah model pada waktu pencetakan awal yang berguna untuk menopang bagian lapisan yang mengambang.

11. *Speed* adalah kecepatan perjalanan pada saat pencetakan. Pada pengaturan *default* hanya ada tiga pengaturan kecepatan yang perlu dipertimbangkan: Kecepatan keliling adalah kecepatan kontur model. Proses pencetakan yang sedikit lebih lambat dapat mengakibatkan lebih sedikit ekstrusi yang tersisa di tepi cetakan.

Infill Speed adalah kecepatan di mana sampel objek 3D dipusatkan. Kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan ekstrusi yang lebih tipis yang dapat mempengaruhi ikatan antara bagian yang diekstrusi. *Travel speed* adalah pergerakan *nozzle* yang bergerak saat tidak dalam proses pencetakan.

2.2 Filamen Nylon

Nylon (Poliamida) adalah bahan yang populer di industri plastik, yang dikenal karena ketangguhan dan fleksibilitasnya. *Filament nylon* biasanya membutuhkan suhu ekstrusi mendekati 250°C, tetapi beberapa merek mengizinkan pencetakan pada suhu rendah 220°C karena komposisi kimianya. Banyak *printer* yang tidak menyertakan *hotend* dapat dengan aman mencapai suhu 250°C. Salah satu tantangan terbesar dengan *filament nylon* adalah sifatnya yang higroskopis, yang berarti dia dengan mudah menarik uap air dari sekitarnya yang dapat menyebabkan masalah kualitas cetak, sehingga penyimpanan *filament* menjadi sangat penting dan memerlukan perhatian khusus. (Simplify3D)

Nylon memiliki karakteristik berupa kekuatan tertinggi yaitu 40-85 Mpa, dengan tingkat kekerasan 5/10, kekuatan 10/10, suhu pelayanan maksimum 80-95°C, koefisien muai panas 95 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$, densitas 1,06 – 1,14 gr/cm^3 , dengan kemampuan cetak 8/10, *bed temperatur* 70-90 °C. *Nylon* dapat menyerap lebih dari 10% beratnya dalam air dalam kurun waktu 24 jam.

Kebanyakan *printer* 3D menggunakan PEEK dan PTFE. Baik PEEK dan PTFE mulai terurai di atas 240°C dan akan terbakar serta mengeluarkan asap beracun.

Ketika anda berhasil mencetak dengan *filament nylon* anda memerlukan *printer* yang mencapai suhu minimal 250°C.

Nylon memiliki keunggulan tangguh dan fleksibel, tahan benturan tinggi, tidak berbau yang tidak sedap saat mencetak, dan memiliki ketahanan aus yang baik.. *Nylon* juga kurang rentan terhadap lingkungan perlu dijaga kedap udara untuk mencegah kesalahan pencetakan dan tidak cocok untuk lingkungan yang lembab.

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah pendekatan teknis yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses sambil menjaga biaya dan sumber daya serendah mungkin. Metode Taguchi untuk mencapai tujuan ini dengan memuat produk atau proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor seperti bahan peralatan produksi tenaga kerja manusia dan kondisi operasi (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimental yang berguna untuk :

1. Mendesain produk/proses sehingga kualitas produk sesuai dengan kondisi lingkungan
2. Merancang/mengembangkan produk sehingga kualitasnya lebih baik dari pada banyak komponen yang berbeda.
3. Minimalkan variasi di sekitar target.

Metode Taguchi memiliki beberapa keunggulan yaitu desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan penelitian yang melibatkan banyak faktor. Desain eksperimental Taguchi memiliki proses menciptakan produk yang konsisten.

Metode Taguchi juga menghasilkan faktor-faktor yang berhubungan dengan respon yang optimal. Metode Taguchi juga memiliki keterbatasan dengan metode yang lainnya yaitu mempunyai struktur yang kompleks. Untuk mengatasi kekurangan

tersebut maka perlu dilakukan perancangan eksperimen yang lebih cermat dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Metode Taguchi menggunakan himpunan matriks khusus yang disebut Matriks orthogonal. Matriks standar ini adalah langkah untuk menentukan jumlah minimum percobaan yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi faktor kontrol (Soejanto, 2009).

Desain percobaan adalah serangkaian pengujian atau percobaan dengan mengendalikan beberapa faktor untuk membuat percobaan/pengujian yang terukur. Desain eksperimen juga merupakan proses evaluasi secara bersamaan dua faktor atau lebih untuk kemampuan mereka untuk mempengaruhi nilai rata-rata atau variasi hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mencapai hal ini secara efektif, faktor dan level faktor sangat bervariasi dan kemudian hasil dari kombinasi tes tertentu diamati, sehingga kumpulan hasil dapat dianalisis. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi serta juga tindakan untuk melakukan perbaikan lebih lanjut.

Secara umum desain eksperimental oleh Taguchi ini memiliki beberapa fase utama yang mencakup semua pendekatan eksperimental. Tiga fase utama tersebut adalah :

1. Fase perencanaan

Fase perencanaan merupakan tahapan eksperimen yang paling penting, peneliti diminta untuk mempelajari eksperimen yang telah dipelajari. Ada beberapa langkah yang diusulkan dalam melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu :

- a. Menyatakan permasalahan atau Perumusan permasalahan

Deskripsikan masalah atau rumusan masalah dengan jelas. Mendefinisikan masalah yang akan dijalankan dan berusaha meningkatkan kualitas.

- b. Tujuan penelitian

Untuk mengkararakteristik kualitas dan tingkat kinerja eksperimen.

- c. Menentukan metode

Tentukan metode pengukuran dan metode pengukuran faktor kontrol yang diamati dan peralatan yang diperlukan untuk pengukuran.

d. Identifikasi variable dependen

Variabel respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor lain yang disebut variabel bebas. Saat merencanakan eksperimen variabel respon yang akan diselidiki harus dipilih dan didefinisikan dengan jelas.

e. Identifikasi variabel independen (variable bebas)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini, faktor-faktor yang akan dipelajari pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam satu percobaan, tidak semua faktor yang dianggap mempengaruhi respon harus diselidiki. Berkat ini, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

f. Pemisah faktor kontrol dan faktor pengganggu

Faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor pengontrol dan faktor pengganggu. Dalam eksperimen Taguchi, kedua faktor ini harus didefinisikan dengan jelas karena efek antara kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah nilai yang dapat dikontrol sedangkan faktor pengganggu adalah faktor yang tidak dapat mengontrol nilainya.

g. Penentuan jumlah dan nilai level faktor

Pilihan jumlah level akan mempengaruhi keakuratan hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level penelitian maka semakin akurat hasil eksperimen yang diperoleh tetapi semakin banyak biaya yang dikeluarkan.

h. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah konsep yang menggambarkan ukuran eksperimen dan jumlah informasi yang dapat diberikannya. Derajat kebebasan faktor dan level (v_f) dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$v_f = \text{Jumlah level faktor} - 1 \quad (1)$$

i. Pemilihan matrik orthogonal

Pemilihan matrik orthogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari faktor dan jumlah level faktor. Matrik orthogonal mampu mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan minimal.

2. Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Langkah eksekusi ini terdiri dari penentuan jumlah pengulangan dan pengacakan pelaksanaan tes.

a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan perlakuan yang sama dalam eksperimen, dengan kondisi eksperimen yang sama untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi mengurangi tingkat kesalahan dan memperoleh perkiraan perhitungan kesalahan.

b. Randomisasi

Dalam eksperimen selalu ada faktor lain yang tidak diinginkan atau yang tidak terkendali. Randomisasi bertujuan untuk memperluas pengaruh faktor yang tidak terkendali dan memberikan kesempatan yang sama untuk menerima perlakuan sehingga setiap perlakuan seragam.

3. Fase analisis

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

2.4.1 S/N Ratio (Signal to Noise Ratio)

Salah satu tahap analisis ini adalah *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) yang digunakan untuk menentukan pengaruh dan nilai optimal faktor-faktor tersebut terhadap karakteristik kualitas hasil eksperimen. Karakteristik kualitas S/N Ratio sebagai berikut :

a. *Smaller is Better*

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

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

b. *Nominal is Best*

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

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

c. *Large is Better*

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

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

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

2.4.2 ANAVA (*Analysis Of Variance*)

ANAVA Merupakan salah satu teknik atau metode yang digunakan untuk menguji perbedaan pengaruh faktor kontrol yang diambil sebagai sampel. ANAVA juga digunakan untuk mencari seberapa besar pengaruh suatu faktor terhadap respon. ANAVA yang digunakan untuk desain faktor berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga respon suatu percobaan dapat diketahui. Dalam penelitian eksperimen digunakan dalam ANAVA yang biasa

digunakan secara umum adalah analisis dua arah yang berarti bahwa penelitian atau eksperimen memiliki dua level faktor atau lebih dan dua faktor kontrol atau lebih (Putra, 2010)

Persamaan-persamaan untuk menghitung *sum square*, *mean square*, *degree of freedom*, dan nilai F sebagai berikut : (Soejanto, 2009)

1. *Sum of square* (jumlah kuadrat)

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] - \frac{T^2}{N} \quad (5)$$

Dimana :

SSA = *sum square* faktor A

A_i = Nilai pada Faktor A

n_{A_i} = Jumlah Pengamatan Total Faktor A

T = Jumlah Keseluruhan

N = Jumlah total data keseluruhan

2. *Degree of freedom* (derajat kebebasan)

$$VA = \text{Level faktor} - 1 \quad (6)$$

$$Vt = \text{Total level faktor} - 1 \quad (7)$$

$$Ve = Vt - (VA + VB + VC + \dots + Vn) \quad (8)$$

Dimana :

VA = Derajat kebebasan faktor A

Vt = Total derajat kebebasan

Ve = Derajat kebebasan error

3. *Mean of Square* (Rata-rata Kuadrat)

$$MS_A = \frac{SSA}{VA} \quad (9)$$

4. Jumlah Kuadrat Total

$$SS_T = \sum Y^2 \quad (10)$$

Dimana :

Y = Nilai data

5. Jumlah kuadrat berdasarkan rata-rata

$$SS_m = n \times \bar{Y}^2 \quad (11)$$

Dimana :

n = Banyak nya data

6. Jumlah Kuadrat Error

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \quad (12)$$

Dimana :

$$SS_{faktor} = SSA + SSB + SSC \dots \dots \dots + SSn \quad (13)$$

7. Rata-rata Kuadrat Error

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} \quad (14)$$

8. F Nilai

Pengaruh dari masing-masing faktor terhadap respon dapat dihitung menggunakan F hitung dengan cara membandingkan nilai F dengan F tabel. Jika nilai Ftabel < Fhitung maka faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon, akan tetapi jika sebaliknya Ftabel > Fhitung maka faktor tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi dimensi. Nilai Fhitung didapat dari :

$$FA = \frac{MSA}{MSe} \quad (15)$$

9. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi ini adalah cara untuk melihat pengaruh faktor secara serentak dalam bentuk persen. Jika persentase tidak mencapai 15% maka tidak ada faktor kontrol yang terabaikan dan sebaliknya jika melebihi 15% maka ada faktor kontrol yang terabaikan yang menyebabkan eror yang besar. Dalam eror disarankan tidak melebihi derajat kebebasan total (Soejanto, 2009) Interpretasi yang digunakan dalam metode Taguchi adalah sebagai berikut :

$$\rho = \frac{SS_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \quad (16)$$

$$SS'faktor = SSA - MSe(VA) \quad (17)$$

Dimana :

SS'faktor = Jumlah kuadrat dari variabel yang dihitung kontribusinya

Interval keyakinan $((1 - \alpha)100\%$ untuk hasil optimasi berikut :

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor yang terduga}} \quad (18)$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}} \quad (19)$$

$$\bar{u}_{prediksi} = \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \dots + \bar{I}_2 + 2 \times \bar{Y} \quad (20)$$

$\bar{u}_{prediksi}$ = dugaan rata-rata pada kondisi optimum

n_{eff} = banyaknya pengamatan

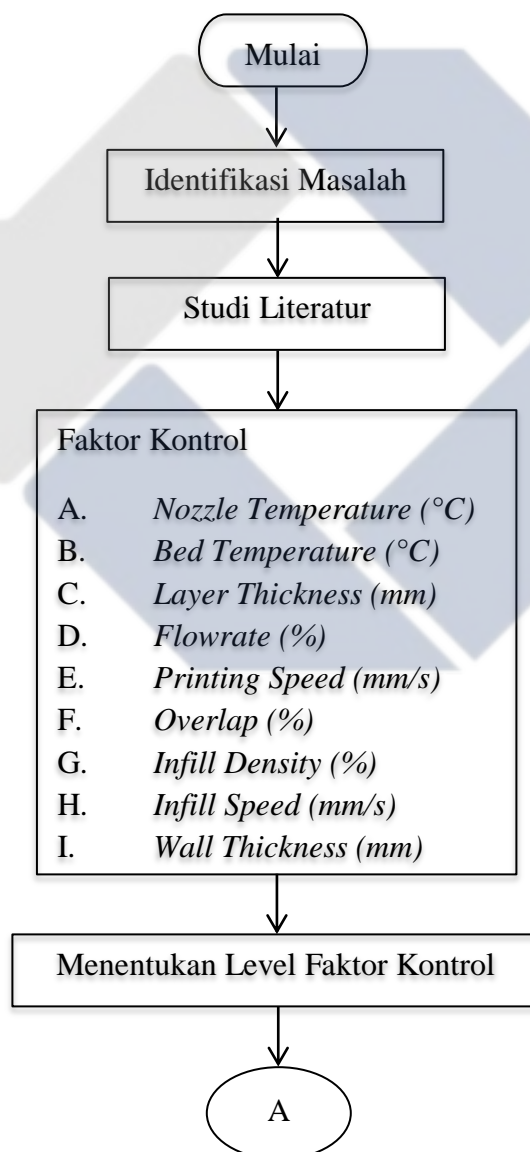
2.4 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi atau validasi adalah uji yang dilakukan untuk memverifikasi kesimpulan yang diperoleh. Validasi dilakukan dengan melakukan percobaan menggunakan kombinasi faktor dan tingkat hasil yang optimal dari tinjauan sebelumnya. Tujuan uji validasi adalah untuk mengkonfirmasi kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisis (Soejanto, 2009)

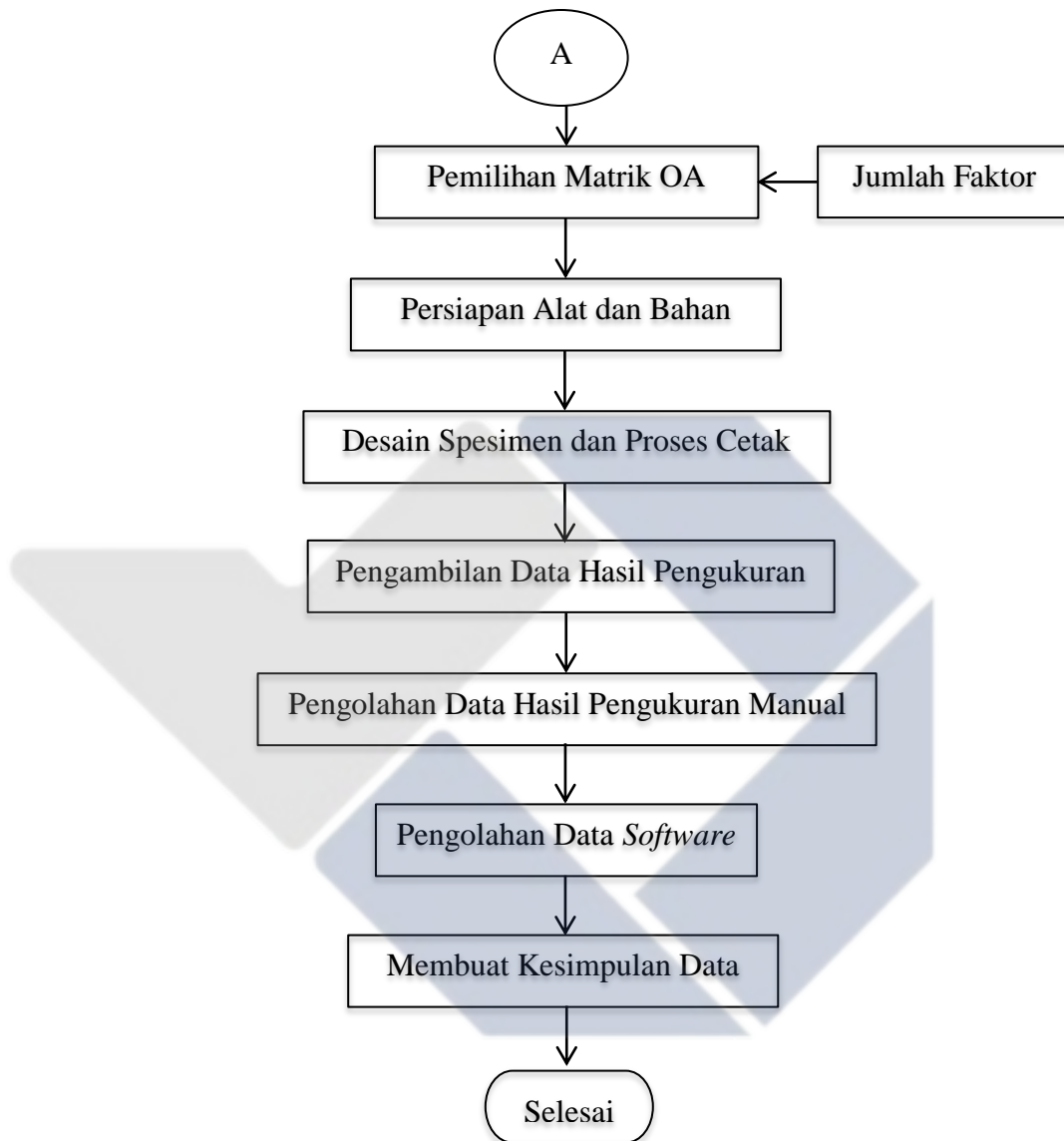
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan secara ringkas metode dengan langkah yang digunakan dalam penyelesaian proyek akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan (Lanjutan)

3.2 Rincian Pelaksanaan

Rincian pelaksanaan berdasarkan Gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi Masalah

Pada tahap ini, mengidentifikasi masalah yang muncul ditempuh dengan cara mencari permasalahan dari setiap penelitian sebelumnya.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi mengenai materi dan metode yang mendukung penelitian. Langkah ini dilakukan dengan cara mencari referensi dari beberapa buku, jurnal, atau artikel mengenai *3D printing*, serta teori-teori yang terkait dengan materi proyek akhir.

2. Menentukan Faktor Kontrol

Pada penelitian ini faktor kontrol meliputi, *Nozzle Temperatur(°C)*, *Bed Temperature(°C)*, *Layer Thickness(mm)*, *wall thickness (mm)*, *Flowrate(%)*, *Print Speed(mm/s)*, *overlap(%)*, *infill density(%)*, *infill speed(mm/s)*. dan untuk respon pada penelitian ini adalah Akurasi Dimensi.

3. Menentukan Nilai Faktor Kontrol

Pada penelitian ini faktor kontrol proses yang digunakan ada 9 parameter proses yaitu, *Nozzle Temperatur(°C)*, *Bed Temperature(°C)*, *Layer Thickness(mm)*, *Wall Thickness(mm)*, *Flowrate(%)*, *Print Speed(mm/s)*, *overlap(%)*, *infill density(%)*, *infill speed(mm/s)*. Pemilihan faktor kontrol proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi pustaka yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Kontrol dan Level Faktor

Kode	Faktor	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzel Temperature(°C)</i>	256	258	260
B	<i>Bed Temperature(°C)</i>	95	98	100
C	<i>Layer Thickness (mm)</i>	0,2	0,24	0,28
D	<i>Flowrate(%)</i>	90	95	100
E	<i>Printing Speed(mm/s)</i>	25	30	35
F	<i>Overlap (%)</i>	5	10	15
G	<i>Infill Density (%)</i>	20	25	30
H	<i>Infill Speed (mm/s)</i>	20	25	30
I	<i>Wall Thickness (mm)</i>	0,8	1,0	1,2

Pada faktor kontrol menggunakan kode A untuk *nozzle temperature*, B untuk *bed temperature*, dan seterusnya sampai I untuk *wall thickness*.

4. Pemilihan Matrik Orthogonal

Matriks ortogonal yang akan dilakukan harus mempunyai derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan faktor kontrol dan level faktor yang telah ditetapkan dan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level

Faktor Kontrol	Jumlah Level (L)	$\nu_{fl} = (L - 1)$
A	3	2
B	3	2
C	3	2
D	3	2
E	3	2
F	3	2
G	3	2
H	3	2
I	3	2
Total derajat kebebasan		18

Berdasarkan Tabel 3.2 diketahui bahwa total derajat kebebasan dari faktor kontrol proses dan level faktor yang digunakan adalah 18 dof. Oleh karena itu berdasarkan pilihan yang tersedia untuk matrik ortogonal dengan derajat kebebasan 26 adalah $L_{27}(3^9)$ yang memenuhi syarat untuk dijadikan rancangan percobaan. Rancangan percobaan matrik ortogonal L_{27} memiliki 9 faktor, 3 level, dan 27 baris.

5. Persiapan Alat dan Bahan

- Alat

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut

:

1. Mesin 3d *Printing Anycubic 4max*

Mesin yang digunakan dalam proyek akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Mesin *Anycubic 4Max*

2. Laptop

Laptop yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk membuat objek cetak menggunakan *software* CAD dengan format STL, untuk menganalisa hasil data, untuk membuat pengaturan atau *setting* untuk faktor kontrol menggunakan *software Ultimaker Cura*.

3. *Dry Box Filament*

Dry box filament ini digunakan untuk mengeringkan *filament nylon* dikarenakan nilon pada saat dicetak harus dalam keadaan kering, yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Dry Box Filament*

4. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam proyek akhir ini adalah mikrometer dan jangka sorong digital yang ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Mikrometer dan Jangka Sorong

Prosedur penggunaan alat ukur adalah sebagai berikut:

1. Micrometer
 - Mengkalibrasi micrometer terlebih dahulu dan pastikan angka nol tepat pada garis tengah.
 - Setelah selesai mengkalibrasi, pastikan pengunci dalam keadaan terbuka
 - Buka rahang micrometer dengan cara memutar skala putar ke arah kiri.
 - Masukkan benda yang akan diukur pada rahang.
 - Putar skala putar sampai tepat namun jangan terlalu kuat, cukup sampai benda tidak bergerak dan skala putar berbunyi sebanyak tiga kali.
 - Putar pengunci sampai skala putar tidak dapat digerakkan
 - Kemudian baca hasil pengukuran.
2. Jangka Sorong Digital
 - Menyalakan jangka sorong dengan menekan tombol on/off.
 - Mengkalibrasi dengan cara merapatkan kedua rahang dan kemudian tekan tombol zero/abs.
 - Buka rahang jangka sorong dengan cara menggerakkan rahang geser.
 - Letakan benda yang akan diukur pada kedua rahang.

- Agar skala tidak berubah, kunci rahang geser menggunakan kunci yang ada diatas layar.
- Kemudian lihat angka pada layar yang menunjukkan hasil pengukuran.
- Bahan

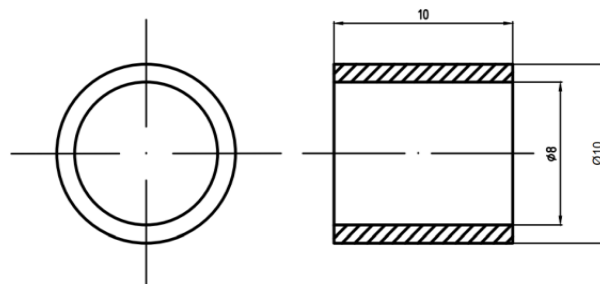
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filament nylon* dengan diameter 1,75 mm warna putih yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Filament Nylon*

6. Desain Spesimen

Desain spesimen menggunakan software CAD dalam format STL desain spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.6.

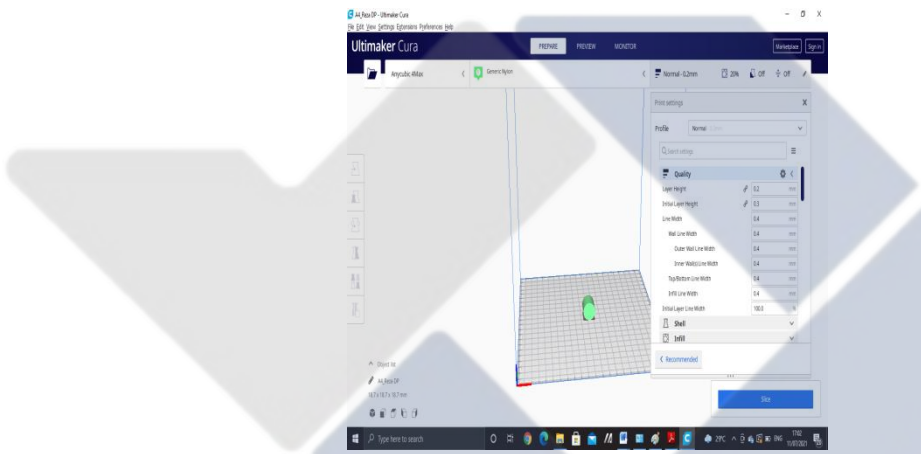


Gambar 3.6 Gambar Spesimen

7. Proses Pencetakan

Langkah-langkah Proses pencetakan adalah sebagai berikut :

1. Membuat spesimen benda yang akan dicetak kedalam format STL.
2. Format STL yang dibuat kemudian dimasukkan kedalam *software slicer* untuk melakukan penyetingan faktor kontrol dan level yang telah ditentukan sebelumnya untuk mendapatkan *G-code* yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses Slicing Pada Software

3. Setelah melakukan penyetingan faktor kontrol dan level, selanjutnya menyimpan setiap *G-code* yang dibuat ke dalam memori.
4. Setelah mendapatkan *G-code* yang sudah tersimpan kedalam memori, masukkan memori tersebut ke dalam mesin 3D *printer*, seperti ditunjukkan Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pemasukan Memori

5. Sebelum masuk ke proses pencetakan terlebih dahulu untuk menghidupkan mesin dan mengkalibrasi mesin serta memasukkan *filament nylon* kedalam *dry box filament* yang ditunjukkan Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.




Gambar 3.9 Kalibrasi Mesin



Gambar 3.10 Pengeringan *Filament*

6. Setelah itu klik *print from SD* untuk melakukan proses pencetakan spesimen, proses pencetakan disesuaikan dengan nomor urutan *G-code* dan setiap spesimen dicetak sebanyak 3 kali.
7. Setelah spesimen selesai dicetak maka selanjutnya adalah melakukan proses pengukuran dimensi spesimen.
8. Pengambilan Data
Pengambilan data dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung tepatnya diruangan Laboratorium material teknik mesin. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur keakuratan dimensi spesimen. Data hasil dari pengukuran dimensi itu dicatat untuk pengolahan data.
9. Pengolahan Data
Setelah pengambilan data dari hasil proses pengukuran spesimen, langkah selanjutnya yaitu memasukkan data kedalam *software* analisis untuk diolah. Pengolahan data ini dilakukan untuk mendapatkan keakuratan dimensi dari faktor kontrol. Jika sudah optimal berdasarkan spesifikasi awal *filament nylon* dan waktu pencetakan spesimen lebih efisien dari faktor terbaik, maka akan ditarik kesimpulan berdasarkan data yang dihasilkan.



BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Spesimen

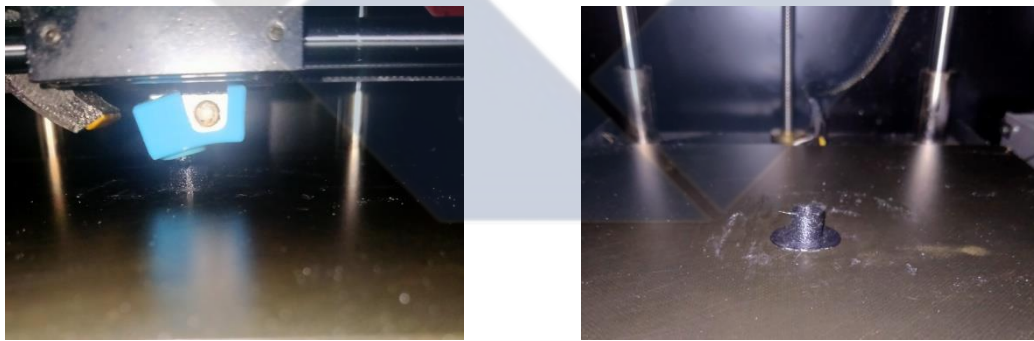
Pengambilan data eksperimen ini dengan cara menggabungkan parameter faktor kontrol yang sudah disiapkan menggunakan desain faktorial Taguchi L_{27} OA yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rancangan Eksperimen Taguchi L_{27}

No. Eks	A	B	C	D	E	F	G	H	I	No. Eks	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	2	2	3	1	3	1	2	1	2
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	16	2	3	1	2	1	2	3	3	1
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	17	2	3	1	2	2	3	1	1	2

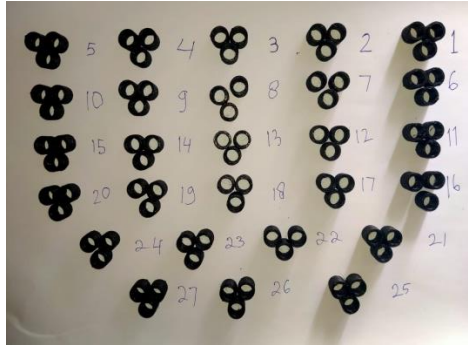
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	18	2	3	1	2	3	1	2	2	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	19	3	1	3	2	1	3	2	1	3
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	20	3	1	3	2	2	1	3	2	1
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	21	3	1	3	2	3	2	1	3	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	22	3	2	1	3	1	3	2	2	1
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	23	3	2	1	3	2	1	3	3	2
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	24	3	2	1	3	3	2	1	1	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	25	3	3	2	1	1	3	2	3	2
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	26	3	3	2	1	2	1	3	1	3
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	27	3	3	2	1	3	2	1	2	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1										

Tabel 4.1 ini digunakan untuk mencetak spesimen yang akan dicetak sebagai data awal 1(satu) dan 2 (dua) kali replikasi di setiap eksperimennya. Nilai pada setiap level faktor akan di input ke *software slicing* guna mendapatkan *G-code* untuk proses pencetakannya. *G-code* yang dihasilkan dimasukkan ke dalam memori *card* yang ada di mesin 3D *printing* yang kemudian dilakukan proses pencetakan spesimen yang ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses Pencetakan Setengah Jadi (kiri) dan Proses Pencetakan Selesai (kanan)

Hasil dari proses pencetakan spesimen dengan replikasi sebanyak 3 kali pada setiap eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Hasil Cetak Spesimen

Spesimen dari hasil cetak ini kemudian dilakukan proses pengukuran akurasi dimensi dengan Diameter luar $\text{Ø}10\text{mm}$, Tinggi 10mm, dan diameter dalam 8mm. Proses pengukuran akurasi dimensi spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5



Gambar 4,3 Pengukuran Diameter Luar Spesimen



Gambar 4.4 Pengukuran Tinggi Spesimen



Gambar 4.5 Pengukuran Diameter Dalam Spesimen

Setelah melakukan proses pengukuran maka data akan diolah dan mendapatkan nilai dari hasil pengukuran yang akan ditunjukkan pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Diameter Luar

No. Eks	Data Awal			Selisih			rata-rata (Ø10mm)
	1	2	3	1	2	3	
1	9,859	9,784	9,761	0,105	0,216	0,239	0,187
2	9,817	9,756	9,772	0,183	0,244	0,228	0,218
3	9,727	9,740	9,753	0,273	0,260	0,247	0,260
4	9,856	9,947	9,877	0,144	0,053	0,123	0,107
5	9,893	9,905	9,973	0,107	0,095	0,027	0,076
6	9,946	9,972	9,969	0,054	0,028	0,031	0,038
7	9,989	9,977	9,988	0,011	0,023	0,012	0,015
8	9,988	9,959	9,981	0,012	0,041	0,019	0,024

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Diameter Luar Lanjutan

No. Eks	Data Awal			Selisih			rata-rata (Ø10mm)
	1	2	3	1	2	3	
9	9,988	9,964	9,959	0,012	0,036	0,041	0,030
10	9,980	9,945	9,983	0,020	0,055	0,017	0,031
11	9,955	9,973	9,974	0,045	0,027	0,026	0,033
12	9,959	9993	9,993	0,041	0,007	0,007	0,019
13	9,993	9,980	9,957	0,007	0,020	0,043	0,023
14	9,989	9,980	9,990	0,011	0,020	0,010	0,014
15	9,936	9,924	9,975	0,064	0,076	0,025	0,055
16	9,979	9,954	9,964	0,021	0,046	0,036	0,034
17	9,975	9,955	9,966	0,025	0,045	0,034	0,035
18	9,981	9,972	9,975	0,019	0,028	0,025	0,024

19	9,984	9973	9,948	0,016	0,027	0,052	0,032
20	9,981	9,983	9,940	0,019	0,017	0,060	0,032
21	9,936	9,930	9,970	0,064	0,070	0,030	0,055
22	9929	9,952	9,972	0,071	0,048	0,028	0,049
23	9,913	9,967	9,936	0,087	0,033	0,064	0,061
24	9946	9,972	9,966	0,054	0,028	0,034	0,038
25	9,983	9,981	9,986	0,017	0,019	0,014	0,016
26	9,983	9,956	9,968	0,017	0,044	0,032	0,031
27	9981	9,983	9,983	0,019	0,017	0,017	0,018

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Tinggi Spesimen

No. Eks	Data Awal			Selisih			rata-rata (10mm)
	1	2	3	1	2	3	
1	9,66	9,79	9,70	0,343	0,213	0,303	0,29
2	9,76	971	9,70	0,243	0,287	0,297	0,28
3	9,77	9,80	9,76	0,233	0,200	0,240	0,22
4	9,74	0,77	9,77	0,257	0,227	0,227	0,24
5	9,78	9,74	9,75	0,220	0,260	0,250	0,24
6	9,69	9,79	9,72	0,313	0,213	0,227	0,27
7	9,88	9,92	9,92	0,120	0,083	0,083	0,10
8	9,93	9,92	9,93	0,067	0,080	0,073	0,07
9	9,98	9,96	9,95	0,023	0,040	0,050	0,04
10	9,80	9,75	9,77	0,200	0,250	0,230	0,23
11	9,76	9,76	9,74	0,230	0,237	0,257	0,25
12	9,75	9,75	9,78	0,250	0,247	0,223	0,24
13	996	9,96	9,96	0,040	0,037	0,040	0,04
14	9,93	9,94	9,94	0,067	0,057	0,060	0,06

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Tinggi Lanjutan

No. Eks	Data Awal			Selisih			rata-rata (10mm)
	1	2	3	1	2	3	
15	9,91	9,95	9,93	0,090	0,050	0,070	0,07
16	9,75	9,74	9,74	0,253	0,257	0,257	0,26
17	9,77	9,82	9,78	0,230	0,177	0,217	0,21
18	9,74	9,75	9,77	0,257	0,254	0,227	0,25
19	9,90	9,96	9,91	0,103	0,037	0,087	0,08
20	9,98	9,97	9,97	0,017	0,027	0,033	0,03
21	9,98	9,97	9,95	0,020	0,030	0,047	0,03
22	9,74	9,77	9,77	0,263	0,233	0,227	0,24
23	9,72	9,74	9,76	0,280	0,260	0,240	0,26

24	9,76	9,70	9,71	0,240	0,303	0,290	0,28
25	9,7	10,07	9,85	0,253	-0,070	0,150	0,11
26	9,74	9,76	9,77	0,257	0,243	0,233	0,24
27	9,93	9,78	9,85	0,073	0,220	0,147	0,15

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Diameter Dalam Spesimen

No. Eks	Data Awal			Selisih			Selisih rata-rata (8mm)
	1	2	3	1	2	3	
1	7,48	7,48	7,45	0,520	0,523	0,547	0,53
2	7,51	7,48	7,51	0,493	0,523	0,493	0,50
3	7,50	7,51	7,53	0,497	0,490	0,470	0,49
4	7,67	7,54	7,56	0,433	0,463	0,437	0,44
5	7,50	7,51	7,52	0,500	0,487	0,477	0,49
6	7,53	7,54	7,57	0,467	0,463	0,430	0,45
7	7,55	7,58	7,57	0,447	0,423	0,427	0,43
8	7,54	7,54	7,53	0,460	0,457	0,470	0,46
9	7,53	7,51	7,54	0,467	0,487	0,463	0,47
10	7,54	7,56	7,53	0,463	0,440	0,443	0,46
11	7,53	7,56	7,52	0,473	0,440	0,463	0,47
12	7,53	7,54	7,55	0,473	0,460	0,447	0,46
13	7,55	7,54	7,54	0,453	0,460	0,463	0,46
14	7,56	7,57	7,56	0,443	0,433	0,443	0,44
15	7,50	7,54	7,54	0,497	0,460	0,463	0,47
16	7,59	7,59	7,61	0,410	0,413	0,393	0,41
17	7,58	7,62	7,63	0,420	0,380	0,370	0,39
18	7,55	7,55	7,57	0,450	0,450	0,430	0,44
19	7,53	7,54	7,56	0,470	0,460	0,440	0,46

Tabel 4.7 Hasil Poengukuran Diameter Dalam Lanjutan

No. Eks	Data Awal			Selisih			Selisih rata-rata (8mm)
	1	2	3	1	2	3	
20	7,54	7,54	7,55	0,460	0,463	0,453	0,46
21	7,52	7,53	7,52	0,477	0,470	0,480	0,48
22	7,54	7,55	7,56	0,457	0,447	0,437	0,45
23	7,62	7,63	7,62	0,383	0,370	0,383	0,38
24	7,62	7,63	7,62	0,377	0,373	0,380	0,38
25	7,58	7,56	7,67	0,423	0,443	0,433	0,43
26	7,55	7,57	7,57	0,450	0,430	0,430	0,44

27	7,55	7,55	7,56	0,450	0,447	0,440	0,45
----	------	------	------	-------	-------	-------	------

Dari data-data percobaan awal di atas diketahui bahwa pengukuran dimensi untuk diameter luar nilai tertinggi pada eksperimen nomor 14 dengan nilai rata-rata defiasi sebesar 0,014 mm, untuk tinggi nilai rata-rata tertinggi pada eksperimen 20 dengan nilai defiasi 0,03 mm. Dan untuk diameter dalam nilai tertinggi pada eksperimen nomor 24 dengan nilai rata-rata defiasi sebesar 0,38 mm.

4.2 Pengolahan Data Eksperimen

Pengolahan data hasil eksperimen dilakukan untuk mendapatkan faktor kontrol yang paling optimal dan yang berpengaruh terhadap akurasi dimensi yang menggunakan metode Taguchi. Pengaruh level pada faktor kontrol terhadap akurasi dimensi perhitungan *mean* akurasi dimensi objek cetak dengan kombinasi level dari masing-masing faktor kontrol dibawah ini.

$$A1 = 1/9 [0,187+0,218+0,260+0,107+0,076+0,038+0,015+0,024+0,030]$$

$$= 0,106$$

Untuk kesembilan faktor kontrol yang diamati dalam akurasi dimensi dapat dilihat pengaruh faktornya pada Tabel 4.8 Diameter Luar, Tabel 4.9 Tinggi, Tabel 4.10 Diameter Luar berikut

Tabel 4.8 *Mean Plot* Diameter Luar Spesimen

Faktor	Level			Delta	Rank
	1	2	3		
A	0,106	0,030	0,037	0,076	1
B	0,096	0,051	0,025	0,045	2
C	0,101	0,041	0,031	0,070	3
D	0,091	0,048	0,033	0,058	4
E	0,055	0,058	0,059	0,005	7
F	0,059	0,058	0,056	0,003	9
G	0,056	0,057	0,060	0,004	8
H	0,052	0,059	0,061	0,009	6
I	0,046	0,067	0,059	0,022	5

Dari Tabel 4.8, diketahui bahwa faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata akurasi dimensi diameter luar adalah *nozzle temperature* pada level (258°C), *bed temperature* pada level (100°C), *layer thickness* pada level (0.28 mm), *flowrate* pada (100%), *printing speed* pada level (25 mm/s), *overlap* pada level (15%), *infill density* pada level (20%), *infill speed* pada level (20 mm/s), dan *wall thickness* pada level (0,8 mm).

Tabel 4.9 *Mean Plot* Tinggi Spesimen

Faktor	Level			Delta	Rank
	1	2	3		
A	0,193	0,177	0,157	0,036	2
B	0,181	0,189	0,158	0,031	3
C	0,253	0,218	0,057	0,196	1
D	0,162	0,177	0,189	0,027	4
E	0,174	0,182	0,171	0,010	8
F	0,189	0,174	0,164	0,026	7
G	0,177	0,175	0,176	0,001	9
H	0,192	0,166	0,169	0,026	5
I	0,178	0,162	0,188	0,026	6

Berdasarkan Tabel 4.9 diatas, diketahui bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap rata-rata akurasi dimensi tinggi spesimen adalah *nozzle temperature* pada level (260°C), *bed temperature* pada level (100°C), *layer thickness* pada level (0.28 mm), *flowrate* pada level (90%), *printing speed* pada level (35 mm/s), *overlap* pada level (15%), *infill density* pada level (25%), *infill speed* pada level (25 mm/s), dan *wall thickness* pada level (1,0 mm).

Tabel 4.10 *Mean Plot* Diameter Luar Spesimen

Faktor	Level			Delta	Rank
	1	2	3		
A	0,473	0,444	0,436	0,037	2
B	0,479	0,440	0,436	0,043	1
C	0,441	0,454	0,459	0,018	4
D	0,468	0,447	0,440	0,028	3

E	0,452	0,448	0,454	0,006	8
F	0,450	0,454	0,450	0,004	9
G	0,446	0,462	0,447	0,017	5
H	0,449	0,460	0,446	0,014	6
I	0,457	0,447	0,451	0,010	7

Berdasarkan Tabel 4.10 diatas, bahwa nilai faktor kontrol yang berpengaruh terhadap rata-rata akurasi dimensi diameter dalam adalah *nozzle temperature* pada level (260°C), *bed temperature* pada level (100°C), *layer thickness* pada level (0,2 mm), *flowrate* pada level (100%), *printing speed* pada level (30 mm/s), *overlap* pada level (15%), *infill density* pada level (20%), *infill speed* pada level (30 mm/s), dan *wall thickness* pada level (1,0 mm).

4.2.1 Penentuan Kombinasi Faktor Untuk Respon Optimum

Berdasarkan nilai rata-rata pengukuran pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, maka dapat menentukan nilai-nilai kombinasi dari faktor-faktor kontrol yang memiliki nilai yang optimal dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Kombinasi Faktor Kontrol

Faktor Kontrol	Diameter Luar		Tinggi		Diameter Dalam	
	Level	Nilai	Level	Nilai	Level	Nilai
A	2	258	3	260	3	260
B	3	100	3	100	3	100
C	3	0,28	3	0,28	1	0,2

Tabel 4.12 Kombinasi Faktor Kontrol Lanjutan

Faktor Kontrol	Diameter Luar		Tinggi		Diameter Dalam	
	Level	Nilai	Level	Nilai	Level	Nilai
D	3	100	1	90	3	100
E	1	25	3	35	2	30
F	3	15	3	15	3	15
G	1	20	2	25	1	20
H	1	20	2	25	3	30
I	1	0,8	2	1,0	2	1,0

4.2.2 Analisis Varians Respon

Sebagaimana faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata akurasi dimensi hasil pengukuran, maka untuk mengetahui faktor yang signifikan terhadap nilai *S/N Ratio* juga dapat dilakukan dengan perhitungan model analisis dua arah. Perhitungan analisis varian terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F rasio.

Perhitungan jumlah kuadrat *sum of square* untuk faktor A diameter luar berdasarkan persamaan 5 adalah sebagai berikut.

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right] - \frac{T^2}{N}$$
$$SSA = \left[\frac{0,954^2}{9} + \frac{0,266^2}{9} + \frac{0,331^2}{9} \right] - \frac{0,155^2}{27}$$

$$SSA = 0,032$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 6 adalah sebagai berikut.

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 7 adalah sebagai berikut.

$$Vt = 9 - 1 = 8$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 8 adalah sebagai berikut.

$$Ve = 26 - 18 = 8$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *mean square* berdasarkan persamaan 9 adalah sebagai berikut.

$$MS_A = \frac{SSA}{VA} = \frac{0,03209}{2} = 0,016$$

Perhitungan jumlah kuadrat total berdasarkan persamaan 10 adalah sebagai berikut.

$$SS_T = \Sigma Y^2$$
$$= (0,187^2) + (0,218^2) + (0,260^2) \dots \dots \dots + (0,018^2)$$
$$= 0,194$$

Perhitungan jumlah kuadrat rata-rata berdasarkan persamaan 11 adalah sebagai berikut.

$$SS_m = n \times \bar{Y}^2$$

$$SS_m = 27 \times 0,057^2$$

$$SS_m = 0,089$$

Perhitungan jumlah kuadrat error berdasarkan persamaan 13 berikut.

$$SS_{faktor} = SSA + SSB + SSC \dots \dots \dots + SSI$$

$$SS_{faktor} = 0,03209 + 0,023 + 0,02565 + \dots + 0,00213$$

$$SS_{faktor} = 0,100$$

Perhitungan *Residual error* berdasarkan persamaan 12 sebagai berikut.

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor}$$

$$SS_e = 0,913 - 0,089 - 0,100 = 0,004$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *Residual error* berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{0,004}{8} = 0,0005$$

Perhitungan F rasio untuk faktor A diameter luar berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$F_{rasio} = \frac{MS_A}{MS_e} = \frac{0,03209}{0,0005} = 29,63$$

Perhitungan *sum square* semua faktor diameter luar adalah sebagai berikut.

$$SS_{total} = SSA + SSB + SSC \dots \dots \dots + SSI + SSe$$

$$SS_{total} = 0,104$$

Hasil perhitungan analisis variasi dapat dilihat pada Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.13 Analisis Varians *Mean* Diameter Luar

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	0,032	0,016	29,63

B	2	0,023	0,012	21,46
C	2	0,026	0,013	23,69
D	2	0,016	0,008	15,09
E	2	0,0001	0,00005	0,09
F	2	0,00003	0,00002	0,03
G	2	0,00009	0,00004	0,08
H	2	0,00041	0,0002	0,37
I	2	0,002	0,001	1,96
Eror	8	0,004	0,0005	
Total	26	0,1044		

Tabel 4.14 Analisis Varians *Mean* Tinggi Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	0,006	0,003	3,05
B	2	0,005	0,002	2,44
C	2	0,197	0,099	101,56
D	2	0,003	0,002	1,63
E	2	0,001	0,00027	0,27
F	2	0,003	0,002	1,55
G	2	0,00001	0,000006	0,01
H	2	0,004	0,002	1,89
I	2	0,003	0,002	1,57
Eror	8	0,007	0,0009	
Total	26	0,2289		

Tabel 4.15 Analisis Varians *Mean* Diameter Dalam Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	0,006	0,003	4,87
B	2	0,010	0,005	7,30

Tabel 4.16 Analisis Varians *Mean* Diameter Dalam Spesimen Lanjutan

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
C	2	0,001	0,001	1,10
D	2	0,004	0,002	2,70
E	2	0,0002	0,0001	0,14
F	2	0,0001	0,0000	0,08
G	2	0,0020	0,0008	1,10

H	2	0,0010	0,0005	0,73
I	2	0,00045	0,0002	0,32
Eror	8	0,006	0,0007	
Total	26	0,031		

Perhitungan untuk persentase kontribusi faktor A diameter luar spesimen berdasarkan persamaan 16 adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{SS_{faktor}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho^A = \frac{0,031}{0,194} = 30,73\%$$

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi masing-masing faktor terlebih dahulu menghitung nilai SS' berdasarkan persamaan 17 adalah sebagai berikut.

$$SS' = SSA - MSe(VA)$$

$$SS' = 0,032 - 0,0005 (2) = 0,031$$

Hasil perhitungan persentasi kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.17, Tabel 4.19, dan Tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.17 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	SS'	$\rho(\%)$
A	2	0,032	0,016	0,0310	30%
B	2	0,023	0,012	0,0221	21%
C	2	0,026	0,013	0,013	24%
D	2	0,016	0,008	0,008	15%
E	2	0,0001	0,00005	0,00005	0,1%
F	2	0,00003	0,00002	0,00002	0,03%
G	2	0,00009	0,00004	0,00004	0,1%
H	2	0,00041	0,0002	0,0002	0,4%

Tabel 4.18 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen Lanjutan

Sumber	VA	SS	MS	SS'	$\rho(\%)$
I	2	0,002	0,001	0,001	2%
Eror	8	0,004	0,0005		4%
Total	26	0,1044			100,00%

Tabel 4.19 Persentase Kontribusi Tinggi Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	SS'	ρ (%)
A	2	0,006	0,003	0,003998	2,59%
B	2	0,005	0,002	0,002795	2%
C	2	0,197	0,099	0,195083	86%
D	2	0,003	0,002	0,001237	1,39%
E	2	0,001	0,00027	-0,001413	0,23%
F	2	0,003	0,002	0,001078	1,32%
G	2	0,00001	0,000006	-0,001931	0%
H	2	0,004	0,002	0,001747	1,61%
I	2	0,003	0,002	0,001122	1,34%
Eror	8	0,007	0,0009		4%
Total	26	0,2289			100,00%

Tabel 4.20 Persentase Kontribusi Diametr Dalam

Sumber	VA	SS	MS	SS'	ρ (%)
A	2	0,008	0,004	0,0068	21,76%
B	2	0,009	0,005	0,0080	32,61%
C	2	0,002	0,001	0,0005	4,92%
D	2	0,004	0,002	0,0027	12,09%
E	2	0,0002	0,00011	-0,0009	0,65%
F	2	0,00005	0,00002	-0,0011	0,37%
G	2	0,0020	0,00099	-0,0008	4%
H	2	0,00117	0,00059	-0,0000	3,27%
I	2	0,00034	0,0002	0,0008	1,44%
Eror	8	0,0047	0,0005		17%
Total	26	0,0313			100,00%

Dari hasil perhitungan persentase kontribusi pada Tabel 4.17, Tabel 4.19, dan Tabel 4.20 diketahui bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi yaitu pada diameter luar spesimen faktor *nozzle temperature* ($^{\circ}C$) paling besar memberikan kontribusi terhadap rata-rata jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 30%. Untuk Tinggi spesimen faktor *layer thickness* (*mm*) paling besar memberikan kontribusi terhadap rata-rata jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 86%. Sedangkan untuk diameter dalam faktor *bed temperature* ($^{\circ}C$) yang

paling besar memberikan kontribusi terhadap *S/N Ratio* jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 32%.

4.2.3 Prediksi Nilai Akurasi Dimensi dan Interval Keyakinan

Dengan Kombinasi faktor kontrol pada respon paling optimum yang terdapat pada Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9 yang dapat diperkirakan dari nilai akurasi dimensi yang optimum. Data yang diambil dari berdasarkan rata-rata yang optimal dari masing-masing faktor kontrol dan level yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan menggunakan persamaan $\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m)$ hasilnya sebagai berikut:

1. Diameter Luar

- $\hat{\eta} = 0,057 + (0,030 - 0,057) + (0,025 - 0,057) + (0,031 - 0,057) + (0,033 - 0,057) + (0,055 - 0,057) + (0,056 - 0,057) + (0,056 - 0,057) + (0,052 - 0,057) + (0,046 - 0,057) = -0,076$

2. Tinggi

- $\hat{\eta} = 0,175 + (0,175 - 0,175) + (0,158 - 0,175) + (0,057 - 0,175) + (0,162 - 0,175) + (0,171 - 0,175) + (0,164 - 0,175) + (0,175 - 0,175) + (0,166 - 0,175) + (0,162 - 0,175) = -0,035$

3. Diameter Dalam

- $\hat{\eta} = 0,450 + (0,436 - 0,450) + (0,436 - 0,450) + (0,441 - 0,450) + (0,440 - 0,450) + (0,448 - 0,450) + (0,450 - 0,450) + (0,446 - 0,450) + (0,446 - 0,450) + (0,447 - 0,450) = 0,381$

Berdasarkan nilai akurasi dimensi hasil perhitungan prediksi untuk faktor kontrol yang menghasilkan hasil yang optimum untuk diameter luar adalah -0,076, untuk tinggi -0,035, dan untuk diameter luar adalah 0,381. Penerima interval keyakinan rata-rata pengukuran prediksi digunakan lebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif dengan menggunakan persamaan 18 berikut.

$$N_{eff} = \frac{27 \times 3}{1 + 18} = 4,263$$

Nilai F Tabel

Nilai $F_{(0,05,8,18)} = 2,51$

MS_E (diameter luar) = 0,0005

MS_E (tinggi) = 0,0009

MS_E (diameter dalam) = 0,0007

Menghitung interval keyakinan rata-rata pengukuran hasil optimasi menggunakan persamaan 19 sebagai berikut.

Perhitungan $CI_{optimasi}$ diameter luar sebagai berikut

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0005 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,017$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ tinggi sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0009 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,023$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ diameter dalam sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0007 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,020$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata hasil optimasi adalah

- Diameter Luar = $-0,076 \pm 0,017$ atau $-0,093 \leq U_{prediksi} \leq -0,059$

- Tinggi = $-0,035 \pm 0,023$ atau $-0,028 \leq U_{\text{prediksi}} \leq -0,012$
- Diameter Dalam = $0,381 \pm 0,020$ atau $0,361 \leq U_{\text{prediksi}} \leq 0,041$

4.2.4 Perhitungan Nilai *S/N Ratio* dari Respon

Dari data yang didapatkan akan dikonversikan ke dalam *S/N ratio* untuk menemukan faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap varian kualitas dimana karakteristik yang digunakan adalah *smaller is better*.

Yang menjadi tujuan peningkatan karakteristik kualitas adalah memaksimalkan keakuratan dimensi variansi terhadap objek cetak. Kualitas dimensi yang diharapkan adalah semakin kecil deviasi maka akan semakin baik. Dengan tiga kali replikasi setiap eksperimen nya ini berdasarkan persamaan 2 sebagai berikut :

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

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} \times (0,105^2 + 0,216^2 + 0,239^2) \right) = 14,17 \text{ db}$$

Hasil Perhitungan *S/N ratio* dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Luar

No. Eks	Replikasi			S/N DL
	1	2	3	
1	0,105	0,216	0,239	14,17
2	0,183	0,244	0,228	13,16
3	0,273	0,260	0,247	11,69
4	0,144	0,053	0,123	18,90
5	0,107	0,095	0,027	21,50
6	0,054	0,028	0,031	28,09
7	0,011	0,023	0,012	35,82
8	0,012	0,041	0,019	31,32

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Luar Lanjutan

No. Eks	Replikasi			S/N DL
	1	2	3	
9	0,012	0,036	0,041	29,84
10	0,020	0,055	0,017	29,05

11	0,045	0,027	0,026	29,34
12	0,041	0,007	0,007	32,19
13	0,007	0,020	0,043	31,23
14	0,011	0,020	0,010	36,93
15	0,064	0,076	0,025	24,59
16	0,021	0,046	0,036	28,95
17	0,025	0,045	0,034	29,00
18	0,019	0,028	0,025	32,32
19	0,016	0,027	0,052	29,15
20	0,019	0,017	0,060	28,54
21	0,064	0,070	0,030	24,78
22	0,071	0,048	0,028	25,68
23	0,087	0,033	0,064	23,72
24	0,054	0,028	0,034	27,95
25	0,017	0,019	0,014	35,61
26	0,017	0,044	0,032	29,74
27	0,019	0,017	0,017	35,10
		Jumlah		738,32
		Rata-rata		27,35

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Tinggi

No. Eks	Replikasi			<i>S/N Ratio</i>
	1	2	3	
1	0,343	0,213	0,303	10,70
2	0,243	0,287	0,297	11,17
3	0,233	0,200	0,240	12,95
4	0,257	0,227	0,227	12,50
5	0,220	0,260	0,250	12,25
6	0,313	0,213	0,227	11,34
7	0,120	0,083	0,083	20,26
8	0,067	0,080	0,073	22,67
9	0,023	0,040	0,050	28,10
10	0,200	0,250	0,230	12,86

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Tinggi Lanjutan

No. Eks	Replikasi			<i>S/N Ratio</i>
	1	2	3	
11	0,230	0,237	0,257	12,19
12	0,250	0,247	0,223	12,39

13	0,040	0,037	0,040	28,20
14	0,067	0,057	0,060	24,26
15	0,090	0,050	0,070	22,87
16	0,253	0,257	0,257	11,85
17	0,230	0,177	0,217	13,60
18	0,257	0,254	0,227	12,18
19	0,103	0,037	0,087	21,86
20	0,017	0,027	0,033	31,55
21	0,020	0,030	0,047	29,36
22	0,263	0,233	0,227	12,34
23	0,280	0,260	0,240	11,68
24	0,240	0,303	0,290	11,08
25	0,253	-0,070	0,150	15,15
26	0,257	0,243	0,233	12,23
27	0,073	0,220	0,147	16,00
	Jumlah			453,60
	Rata-rata			16,78

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Dalam

No. Eks	Replikasi			<i>S/N Ratio</i>
	1	2	3	
1	0,520	0,523	0,547	5,51
2	0,493	0,523	0,493	5,96
3	0,497	0,490	0,470	6,27
4	0,433	0,463	0,437	7,04
5	0,500	0,487	0,477	6,23
6	0,467	0,463	0,430	6,87
7	0,447	0,423	0,427	7,28
8	0,460	0,457	0,470	6,70
9	0,467	0,487	0,463	6,62
10	0,463	0,440	0,443	6,81
11	0,473	0,440	0,463	6,63
12	0,473	0,460	0,447	6,74
13	0,453	0,460	0,463	6,77

Tabel 4.26 Hasil Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Dalam Lanjutan

No. Eks	Replikasi			<i>S/N Ratio</i>
	1	2	3	

14	0,443	0,433	0,443	7,13
15	0,497	0,460	0,463	6,49
16	0,410	0,413	0,393	7,84
17	0,420	0,380	0,370	8,17
18	0,450	0,450	0,430	7,06
19	0,470	0,460	0,440	6,80
20	0,460	0,463	0,453	6,77
21	0,477	0,470	0,480	6,46
22	0,457	0,447	0,437	7,00
23	0,383	0,370	0,383	8,43
24	0,377	0,373	0,380	8,48
25	0,423	0,443	0,433	7,26
26	0,450	0,430	0,430	7,19
27	0,450	0,447	0,440	7,02
Jumlah				187,43
Rata-rata				6,94

Pengaruh level pada faktor kontrol terhadap akurasi dimensi perhitungan *S/N ratio* akurasi dimensi objek cetak dengan kombinasi level dari masing-masing faktor kontrol dibawah ini.

$$A1 = 1/9 [14,17+13,16+11,69+18,89+21,50+28,09+35,82+31,32+29,84] = 22,72$$

Untuk kesembilan faktor kontrol yang diamati dalam akurasi dimensi dapat dilihat pengaruh faktornya pada Tabel 4.27 Diameter Luar, Tabel 4.28 Tinggi, Tabel 4.29 Diameter Luar berikut.

Tabel 4.27 Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Luar

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	22,72	23,56	22,96	25,80	27,62	26,66	28,00	27,00	29,00
2	30,40	26,51	28,83	26,80	27,03	27,00	27,28	27,12	25,40
3	28,92	30,15	30,24	29,43	27,39	28,37	26,76	27,91	27,64
Delta	7,68	8,40	7,29	3,63	0,59	1,71	1,24	0,90	3,5
Rank	2	1	3	4	9	6	8	7	5

Dari tabel diatas didapat bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi adalah *bed temperature* pada level (95°C) dan faktor kontrol yang berpengaruh berdasarkan urutannya adalah *bed temperature (95°C)*,

nozzle temperature (256°C), layer thickness (0,2 mm), flowrate (90%), wall thickness (1,0 mm), overlap (5%), infill speed (20mm/s), infill density (30%), dan printing speed (30mm/s).

Tabel 4.28 Perhitungan *S/N Ratio* Tinggi Spesimen

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	15,77	17,22	11,95	17,06	16,19	16,26	16,66	15,47	17,01
2	16,71	16,28	12,99	17,39	16,84	17,27	15,88	18,25	17,48
3	17,92	16,89	25,46	15,95	17,36	16,87	17,86	16,68	15,91
Delta	3	7	1	5	9	8	6	2	4
Rank	2,15	0,94	13,51	1,44	1,17	1,01	1,99	2,78	1,56

Berdasarkan data diatas didapatkan bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi adalah *layer thickness* pada level (0,2 mm) dan faktor kontrol yang berpengaruh berdasarkan urutannya adalah *layer thickness (0,2 mm), infill speed (25 mm/s), nozzle temperature (256°C), wall thickness (1,2 mm), flowrate (100%), infill density (25%), bed temperature (98°C), overlap (5%), dan printing speed (25 mm/s).*

Tabel 4.29 Perhitungan *S/N Ratio* Diameter Dalam Spesimen

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	6,49	6,44	7,19	6,62	6,92	6,95	7,08	7,00	6,84
2	7,07	7,16	6,87	7,03	7,02	6,92	6,70	6,75	7,01
3	7,27	7,23	6,77	7,18	6,88	6,96	7,05	7,07	6,97
Delta	2	1	4	3	8	9	5	6	7
Rank	0,78	0,79	0,42	0,55	0,15	0,04	0,38	0,32	0,17

Berdasarkan data diatas didapatkan bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi adalah *bed temperature* pada level (95°C) dan faktor kontrol yang berpengaruh berdasarkan urutannya adalah *bed temperature (95°C), nozzle temperature (256°C), flowrate (90%), layer thickness (0,28 mm), infill density (25%), infill speed (25 mm/s), wall thickness (0,8 mm), printing speed (35mm/s), dan overlap (10%).*

4.2.5 Analisis Varians Respon S/N

Sebagaimana faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata akurasi dimensi hasil pengukuran, maka untuk mengetahui faktor yang signifikan terhadap nilai *S/N Ratio* juga dapat dilakukan dengan perhitungan model analisis dua arah. Perhitungan analisis varian terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F rasio.

Perhitungan jumlah kuadrat *sum of square* untuk faktor A diameter luar berdasarkan persamaan 5 adalah sebagai berikut.

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right] - \frac{T^2}{N}$$
$$SSA = \left[\frac{204,47^2}{9} + \frac{273,59^2}{9} + \frac{260,25^2}{9} \right] - \frac{738,32^2}{27}$$

$$SSA = 298,76$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 6 adalah sebagai berikut.

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 7 adalah sebagai berikut.

$$Vt = 9 - 1 = 8$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 8 adalah sebagai berikut.

$$Ve = 26 - 18 = 8$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *mean square* berdasarkan persamaan 9 adalah sebagai berikut.

$$MS_A = \frac{SSA}{VA} = \frac{298.76}{2} = 149.38$$

Perhitungan jumlah kuadrat total berdasarkan persamaan 10 adalah sebagai berikut.

$$SS_T = \Sigma Y^2$$
$$= (14,17^2) + (13,16^2) + (11,69^2) \dots \dots \dots + (35,10^2)$$
$$= 21346,29$$

Perhitungan jumlah kuadrat rata-rata berdasarkan persamaan 11 adalah sebagai berikut.

$$SS_m = n \times \bar{Y}^2$$

$$SS_m = 27 \times 27,345$$

$$SS_m = 20189,62$$

Perhitungan jumlah kuadrat error berdasarkan persamaan 13 berikut.

$$SS_{faktor} = SSA + SSB + SSC \dots \dots \dots + SSI$$

$$SS_{faktor} = 298,76 + 327,26 + 268,74 + \dots + 59,18$$

$$SS_{faktor} = 1044,82$$

Perhitungan *Residual error* berdasarkan persamaan 12 sebagai berikut.

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor}$$

$$SS_e = 21346,29 - 20189,62 - 1044,82 \\ = 111,84$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *Residual error* berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{111,84}{8} = 13,98$$

Perhitungan F rasio untuk faktor A diameter luar berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$F_{rasio} = \frac{MS_A}{MS_e} = \frac{149,38}{13,98} = 10,68$$

Perhitungan *sum square* semua faktor diameter luar adalah sebagai berikut.

$$SS_{total} = SSA + SSB + SSC \dots \dots \dots + SSI + SSe$$

$$SS_{total} = 298,76 + 327,26 + 268,74 + \dots + 59,179 + 111,84$$

Hasil perhitungan analisis variasi dapat dilihat pada Tabel 4.30, Tabel 4.31, dan Tabel 4.32 berikut.

Tabel 4.30 Analisis Varians *S/N Ratio* Diameter Luar

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	298,76	149,38	10,68
B	2	327,26	163,63	11,70
C	2	268,74	134,37	9,61

D	2	63,30	31,65	2,26
E	2	1,59	0,79	0,05
F	2	14,67	7,33	0,52
G	2	6,95	3,47	0,24
H	2	4,34	2,17	0,15
I	2	59,17	29,59	2,11
Eror	8	111,84	13,98	
Total	26	1156,66		

Tabel 4.31 Analisis Varians *S/N Ratio* Tinggi Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	20,84	10,42	2,20
B	2	4,13	2,06	0,44
C	2	1016,86	508,43	107,42
D	2	10,198	5,09	1,07
E	2	6,23	3,11	0,65
F	2	4,64	2,32	0,49
G	2	18,02	9,02	8,55
H	2	34,96	17,48	25,49
I	2	11,60	5,80	2,13
Eror	8	37,86	4,73	
Total	26	11,65,36		

Tabel 4.32 Analisis Varians *S/N Ratio* Diametr Dalam Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
A	2	2,97	1,48	6,73
B	2	3,43	1,72	15,57
C	2	0,88	0,44	2,00
D	2	1,47	0,74	3,34
E	2	0,10	0,05	0,23
F	2	0,01	0,00	0,02
G	2	0,82	0,41	1,87
H	2	0,51	0,26	1,16

Tabel 4.33 Analisis Varians *S/N Ratio* Diameter Dalam Spesimen Lanjutan

Sumber	VA	SS	MS	Frasio
I	2	0,14	0,07	0,33

Eror	8	1,76	0,22
Total	26	12,10	

Perhitungan untuk persentase kontribusi faktor A diameter luar spesimen berdasarkan persamaan 16 adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{SS_{faktor}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho^A = \frac{270,80}{1156,66} = 23\%$$

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi masing-masing faktor terlebih dahulu menghitung nilai SS' berdasarkan persamaan 17 adalah sebagai berikut.

$$SS' = SSA - MSe(VA)$$

$$SS' = 298,76 - 13,98 (2) = 270,80$$

Hasil perhitungan persentase kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.34, Tabel 4.35, dan Tabel 4.36 berikut.

Tabel 4.34 Persentase Kontribusi Diameter Luar Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	SS'	$\rho(\%)$
A	2	298,76	149,38	270,80	23%
B	2	327,26	163,63	299,30	27%
C	2	268,74	134,37	240,78	22%
D	2	63,30	31,65	35,33	4,8%
E	2	1,59	0,79	26,37	2%
F	2	14,67	7,33	13,28	1,15%
G	2	6,95	3,47	21,00	1%
H	2	4,34	2,17	4,52	0,4%
I	2	59,17	29,59	40,53	4%
Eror	8	111,84	13,98	116,29	
Total	26	1156,66			100,00%

Tabel 4.35 Persentase Kontribusi Tinggi Spesimen

Sumber	VA	SS	MS	SS'	$\rho(\%)$
A	2	20,84	10,42	11,39	1%
B	2	4,13	2,06	3,23	0,4%
C	2	1016,86	508,43	1007,40	86%
D	2	10,198	5,09	12,20	1%

E	2	6,23	3,11	3,23	0,3%
F	2	4,64	2,32	4,82	0,4%
G	2	18,02	9,02	9,98	1%
H	2	34,96	17,48	25,5	2,2%
I	2	11,60	5,80	10,79	0,9%
Eror	8	37,86	4,73		
Total	26	11,65,36			100,00%

Tabel 4.36 Persentase Kontribusi Diametr Dalam

Sumber	VA	SS	MS	SS'	ρ (%)
A	2	2,97	1,48	2,92	24%
B	2	3,43	1,72	3,38	28%
C	2	0,88	0,44	0,83	7%
D	2	1,47	0,74	1,42	12%
E	2	0,10	0,05	0,05	0,4%
F	2	0,01	0,00	0,43	0,03%
G	2	0,82	0,41	0,77	6,4%
H	2	0,51	0,26	0,46	3,8%
I	2	0,14	0,07	0,10	1%
Eror	8	1,76	0,22		
Total	26	12,10			100%

Dari hasil perhitungan persentase kontribusi pada Tabel 4.34, Tabel 4.35, dan Tabel 4.36 diketahui bahwa faktor kontrol yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi yaitu pada diameter luar spesimen faktor *bed temperature*(°C) paling besar memberikan kontribusi terhadap *S/N Ratio* jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 26%. Untuk Tinggi spesimen faktor *layer thickness*(mm) paling besar memberikan kontribusi terhadap *S/N Ratio* jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 86%. Sedangkan untuk diameter dalam faktor *bed temperature*(°C) yang paling besar memberikan kontribusi terhadap *S/N Ratio* jika dibandingkan dengan faktor lainnya, yakni 28%.

Memprediksi *S/N Ratio* akurasi dimensi yang optimal sudah diketahui, faktor yang secara signifikan mempengaruhi *S/N Ratio* optimal dari kekasaran permukaan :

1. Diameter Luar : *bed temperature (95°C), nozzle temperature (256°C), layer thickness (0,2 mm), flowrate (90%), wall thickness (1,0 mm), overlap (5%), infill speed (20mm/s), infill density (30%), dan printing speed (30mm/s).*(B1,A1,C1,D1,I3,F1,H1,G3,E2)
2. Tinggi : *layer thickness (0,2 mm), infill speed (25 mm/s), nozzle temperature (256°C), , wall thickness (1,2 mm), flowrate (100%), infill density (25%), bed temperature (98°C), overlap (5%), dan printing speed (25 mm/s).* (C1,H2,A1,I3,D3,G2,B2,F1,E1)
3. Diameter Dalam : *bed temperature (95°C), nozzle temperature (256°C), flowrate (90%), layer thickness (0,28 mm), infill density (25%), infill speed (25 mm/s), wall thickness (0,8 mm), printing speed (35mm/s), dan overlap (10%).* (B1,A1,D1,C3,G2,H2,II,E3,F2)

Sehingga model Persamaan rata-rata akurasi dimensi adalah sebagai berikut.

1. Diameter Luar (B1,A1,C1,D1,I2,F1,H1,G3,E2)
 - $\hat{\eta} = 27,345 + (23,56 - 27,345) + (22,72 - 27,345) + (22,96 - 27,345) + (25,80 - 27,345) + (25,40 - 27,345) + (26,66 - 27,345) + (27,00 - 27,345) + (26,76 - 27,345) + (27,03 - 27,345) = 9,32$
 - Tinggi (C1,H2,A1,I3,D3,G2,B2,F1,E1)
 - $\hat{\eta} = 16,800 + (11,95 - 16,800) + (15,47 - 16,800) + (15,77 - 16,800) + (15,91 - 16,800) + (15,95 - 16,800) + (15,88 - 16,800) + (16,28 - 16,800) + (16,26 - 16,800) + (16,19 - 16,800) = 5,26$
2. Diameter Dalam (B1,A1,D1,C3,G2,H2,II,E3,F2)
 - $\hat{\eta} = 6,942 + (6,44 - 6,942) + (6,49 - 6,942) + (6,62 - 6,942) + (6,77 - 6,942) + (6,70 - 6,942) + (6,75 - 6,942) + (6,84 - 6,942) + (6,88 - 6,942) + (6,92 - 6,942) = 4,87$

Untuk interval kepercayaan rata-rata akurasi dimensi objek cetak dengan tingkat kepercayaan 95% adalah sebagai berikut.

$$F = 2,51$$

$$Ve/Mse = 0,000344$$

Perhitungan interval keyakinan berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$n_{eff} = \frac{27 \times 3}{1 + 18} = 4,263$$

Perhitungan CIoptimasi diameter luar berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 13,98 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 2,87$$

Perhitungan CIoptimasi tinggi sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 4,73 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 1,67$$

Perhitungan CIoptimasi diameter dalam sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,22 \times \frac{1}{4,263}}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,36$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata hasil optimasi adalah

- Diameter Luar = $9,32 \pm 2,87$ atau $6,45 \leq U_{prediksi} \leq 12,19$
- Tinggi = $5,26 \pm 1,67$ atau $3,59 \leq U_{prediksi} \leq 6,93$
- Diameter Dalam = $4,87 \pm 0,36$ atau $4,51 \leq U_{prediksi} \leq 5,23$

4.3 Analisis Data

Berdasarkan perhitungan ANAVA untuk akurasi dimensi objek cetak ditunjukkan pada Tabel 4.37, Tabel 4.40, dan Tabel 4.42 berikut.

Tabel 4.37 ANAVA Diameter Luar

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	0,032	0,016	29,63	30%
B	2	0,023	0,012	21,46	21%
C	2	0,026	0,013	23,69	24%
D	2	0,016	0,008	15,09	15%
E	2	0,0001	0,00005	0,09	0,1%
F	2	0,00003	0,00002	0,03	0,03%
G	2	0,00009	0,00004	0,08	0,1%
H	2	0,00041	0,0002	0,37	0,4%
I	2	0,002	0,001	1,96	2%
Error	8	0,004	0,0005		
Total	26	0,1044			100,00%

Nilai Fhitung lebih kecil dibandingkan Ftabel yang berarti mendefinisikan bahwa faktor kontrol tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi dimensi secara bersamaan. Hipotesa nol dan hipotesa alternatif digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan nilai F dapat dilihat pada Tabel 4.38 berikut.

Tabel 4.38 Keputusan Uji Diameter Luar

Faktor Kontrol	F-Value	Ftabel (0,005;2,51)	Keputusan Uji
A	29,63	2,51	H0 ditolak
B	21,46		H0 ditolak
C	23,69		H0 ditolak
D	15,09		H0 ditolak
E	0,09		H0 diterima
F	0,03		H0 diterima
G	0,08		H0 diterima

Tabel 4.39 Keputusan Uji Diameter Luar Lanjutan

Faktor Kontrol	F-Value	Ftabel (0,005;2,51)	Keputusan Uji
----------------	---------	---------------------	---------------

H	0,37		H0 diterima
I	1,96		H0 diterima

Dari Tabel 4.38 dapat disimpulkan bahwa sembilan faktor kontrol *Nozzle (°C)*, *Temperatur*, *Bed Temperature (°C)*, *Layer thickness (mm)*, *Flowrate (%)*, *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)* faktor kontrol yang paling berpengaruh adalah *Nozzle (°C)*, *Temperatur*, *Bed Temperature (°C)*, *Layer thickness (mm)*, dan *Flowrate (%)*, karena hasil F-test lebih besar dari pada Ftabel maka H0 ditolak sedangkan untuk *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)* nilai F-test lebih kecil dibandingkan Ftabel sehingga H0 diterima yang berarti faktor kontrol tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap akurasi dimensi.

Tabel 4.40 ANAVA Tinggi

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	0,006	0,003	3,05	2,59%
B	2	0,005	0,002	2,44	2%
C	2	0,197	0,099	101,56	86%
D	2	0,003	0,002	1,63	1,39%
E	2	0,001	0,00027	0,27	0,23%
F	2	0,003	0,002	1,55	1,32%
G	2	0,00001	0,000006	0,01	0%
H	2	0,004	0,002	1,89	1,61%
I	2	0,003	0,002	1,57	1,34%
Error	8	0,007	0,0009		
Total	26	0,2289			100,00%

Nilai Fhitung lebih kecil dibandingkan Ftabel yang berarti mendefinisikan bahwa faktor kontrol tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi dimensi secara bersamaan. Hipotesa nol dan hipotesa alternatif digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan nilai F dapat dilihat pada Tabel 4.41 berikut

Tabel 4.41 Keputusan Uji Tinggi

Faktor Kontrol	F-Value	Ftabel 0,005,2,51	Keputusan Uji
A	3,05		H0 ditolak
B	2,44		H0 diterima
C	101.56		H0 ditolak
D	1,63		H0 diterima
E	0,27	2,51	H0 diterima
F	1,55		H0 diterima
G	0,01		H0 diterima
H	1,89		H0 diterima
I	1,57		H0 diterima

Dari Tabel 4.41 dapat disimpulkan bahwa sembilan faktor kontrol *Nozzle (°C)*, *Temperatur*, *Bed Temperature (°C)*, *Layer thickness (mm)*, *Flowrate (%)*, *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)* faktor kontrol yang paling berpengaruh adalah *Nozzle (°C)*, *Temperatur*, dan *Layer thickness (mm)* karena hasil *F-test* lebih besar dari pada *Ftabel* maka H0 ditolak sedangkan untuk *Bed Temperature (°C)*, *Flowrate (%)*, *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)* nilai *F-test* lebih kecil dibandingkan *Ftabel* sehingga H0 diterima yang berarti faktor kontrol tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap akurasi dimensi.

Tabel 4.42 ANAVA Diameter Dalam

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	0,006	0,003	4,87	21,76%
B	2	0,010	0,005	7,30	32,61%
C	2	0,001	0,001	1,10	4,92%
D	2	0,004	0,002	2,70	12,09%
E	2	0,0002	0,0001	0,14	0,65%
F	2	0,0001	0,0000	0,08	0,37%
G	2	0,0020	0,0008	1,10	4%

Tabel 4.43 ANAVA Diameter Dalam Lanjutan

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
H	2	0,0010	0,0005	0,73	3,27%

I	2	0,00045	0,0002	0,32	1,44%
Error	8	0,006	0,0007		
Total	26	0,031			100%

Nilai Fhitung lebih kecil dibandingkan Ftabel yang berarti mendefinisikan bahwa faktor kontrol tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi dimensi secara bersamaan. Hipotesa nol dan hipotesa alternatif digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan nilai F dapat dilihat pada Tabel 4.44 berikut

Tabel 44 Keputusan Uji Diameter Dalam

Faktor Kontrol	F-Value	Ftabel 0,005,2,51	Keputusan Uji
A	4,87		H0 ditolak
B	7,30		H0 ditolak
C	1,10		H0 diterima
D	2,70		H0 ditolak
E	0,14	2,51	H0 diterima
F	0,08		H0 diterima
G	1,10		H0 diterima
H	0,73		H0 diterima
I	0,32		H0 diterima

Dari Tabel 4.44 dapat disimpulkan bahwa sembilan faktor kontrol *Nozzle (°C)*, *Temperatur*, *Bed Temperature (°C)*, *Layer thickness (mm)*, *Flowrate (%)*, *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)*. Faktor kontrol yang paling berpengaruh adalah *Nozzle Temperatur (°C)*, *Bed Temperature (°C)*, dan *Flowrate (%)* karena hasil *F-test* lebih besar dari pada Ftabel maka H0 ditolak sedangkan untuk *Layer thickness (mm)*, *Printing Speed (mm/s)*, *Overlap (%)*, *Infill Density (%)*, *Infill Speed (mm/s)*, dan *Wall Thickness (mm)* nilai *F-test* lebih kecil dibandingkan Ftabel sehingga H0 diterima yang berarti faktor kontrol tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap akurasi dimensi.

4.4 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan guna untuk memvalidasi hasil yang di peroleh. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan rata-rata hasil pencetakan akurasi dimensi (diameter luar, tinggi, dan diameter dalam spesimen) awal dengan rata-rata uji konfirmasi. Uji konfirmasi dilakukan dengan *settingan* parameter yang paling optimal sesuai dengan pengukurannya. Percobaan validasi atau percobaan konfirmasi dilakukan dengan menggunakan *setting* faktor kontrol yang paling optimal dari hasil optimasi. Penelitian ini membandingkan respon kombinasi awal dengan respon kombinasi optimum yang disajikan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.45 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar

Pengulangan Eksperimen	Rata-rata Hasil Uji	Selisih Rata-rata
1	9,990	0,010
2	9,991	0,009
3	9,991	0,009
4	9,98	0,02
5	9,92	0,008
Total		0,056
\bar{Y}		0,011

Tabel 4.46 Hasil Uji Konfirmasi Tinggi

Pengulangan Eksperimen	Rata-rata Hasil Uji	Selisih Rata-rata
1	9,97	0,03
2	9,98	0,11
3	9,97	0,04
4	9,96	0,0
5	9,97	0,05
Total		0,15
\bar{Y}		0,030

Tabel 4.47 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Dalam

Pengulangan Eksperimen	Rata-rata Hasil Uji	Selisih Rata-rata
------------------------	---------------------	-------------------

1	7,64	0,36
2	7,65	0,35
3	7,62	0,38
4	7,64	0,36
5	7,63	0,37
Total		1,82
\bar{Y}		0,364

Perhitungan *S/N Ratio* menggunakan persamaan 2 untuk masing-masing responnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.49 berikut.

Tabel 4.48 *S/N Ratio* Pada Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

Faktor	Kombinasi Optimum	
	Nilai rata-rata	Nilai S/N
Diameter Luar	0,011	21,07
Tinggi	0,026	24,30
Diameter Dalam	0,347	8,54

Perhitungan interval kepercayaan rata-rata dan interval kepercayaan *S/N ratio* sebagai berikut :

Perhitungan $CI_{optimasi}$ rata-rata diameter luar sebagai berikut

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0005 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,023$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ tinggi sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0009 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,031$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ diameter dalam sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,0007 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,027$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata hasil uji konfirmasi adalah

- Diameter Luar = $0,011 \pm 0,023$ atau $-0,012 \leq U_{prediksi} \leq 0,034$

- Tinggi = $0,015 \pm 0,031$ atau $-0,016 \leq U_{prediksi} \leq 0,046$

- Diameter Dalam = $0,364 \pm 0,026$ atau $0,338 \leq U_{prediksi} \leq 0,390$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ *S/N ratio* diameter luar sebagai berikut

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 13,98 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 3,90$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ tinggi sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 4,73 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 2,27$$

Perhitungan $CI_{optimasi}$ diameter dalam sebagai berikut.

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{F \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{2,51 \times 0,22 \times \left[\frac{1}{4,263} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{optimasi} = \pm 0,49$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% *S/N ratio* hasil optimasi adalah

- Diameter Luar = $21,07 \pm 3,90$ atau $17,17 \leq U_{prediksi} \leq 24,97$
- Tinggi = $24,30 \pm 2,27$ atau $22,03 \leq U_{prediksi} \leq 26,57$
- Diameter Dalam = $8,54 \pm 0,49$ atau $8,05 \leq U_{prediksi} \leq 9,03$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata uji konfirmasi. Percobaan digunakan untuk uji konfirmasi bahwa rata-rata yang diprediksi untuk faktor kontrol dan level yang dipilih berdasarkan nilai rata-rata optimum adalah valid.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, optimasi faktor kontrol terhadap akurasi dimensi, maka dari penelitian yang berjudul “OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP AKURASI DIMENSI MENGGUNAKAN FILAMENT NYLON” kesimpulan yang didapatkan adalah berdasarkan pengujian akurasi dimensi dari sembilan faktor dengan tiga level disetiap faktornya, pengaturan faktor kontrol yang tepat sehingga menghasilkan faktor kontrol yang optimal terhadap akurasi dimensi adalah diameter luar spesimen *Nozzle temperature (258°C)*, *Bed temperature (100°C)*, *Layer thickness (0,28 mm)*, *Flowrate (100%)*, *Printing speed (25mm/s)*, *Overlap (15%)*, *Infill density (20%)*, *Infill speed (20 mm/s)*, dan *Wall thickness (0,8 mm)*. Dengan hasil rata-rata pengukuran dari pengaturan faktor kontrol tersebut sebesar 9,986 mm dengan defiasi sebesar 0,014 mm. Tinggi spesimen *Nozzle temperature (260°C)*, *Bed temperature (100°C)*, *Layer thickness (0,28 mm)*, *Flowrate (90%)*, *Printing speed (35 mm/s)*, *Overlap (15%)*, *Infill density (25%)*, *Infill speed (25 mm/s)*, dan *Wall thickness (1,0 mm)*. Dengan hasil rata-rata pengukuran dari pengaturan faktor kontrol adalah sebesar 9,97 mm dengan defiasi 0,03 mm. Diameter dalam spesimen *Nozzle temperature (260°C)*, *Bed temperature (100°C)*, *Layer thickness (0,2 mm)*, *Flowrate (100%)*, *Printing speed (30mm/s)*, *Overlap (15%)*, *Infill density (20%)*, *Infill speed (30 mm/s)*, dan *Wall thickness (1,0 mm)*. Dengan hasil rata-rata pengukuran dari pengaturan faktor kontrol adalah sebesar 7,62 mm dengan defiasi 0,38 mm.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini sebagai berikut :

1. Metode yang digunakan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode penelitian yang lain supaya bisa lebih dikembangkan.

2. Faktor kontrol dan level yang digunakan dapat menggunakan variasi yang lebih banyak untuk mendapatkan nilai yg lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, D., Sriyanto, Jamaldi, A., & Taufik, I. (2021). Evaluasi Akurasi Dimensi Pada Objek Hasil 3D Printing. *Journal of Mechanical Engineering*, 15-20.
- Basavaraj, C., & Vishwas, M. (2016). Studies on Effect of Fused Deposition Modelling Process Parameters on Ultimate Tensile Strength and Dimensional Accuracy of Nylon. *Materials Science and Engineering*, 149, 012035.
- Cristiliana, M., Pristiansyah, & Oktriadi, Y. (2021). Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade. *jurnal teknologi manufaktur*, 13, No.1, 1-8.
- Hasdiansah, Masdani, Feriadi, I., & Pristiansyah. (2020). Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi PLA FOOD GRADE Menggunakan Metode Taguchi. *jurnal teknologi manufaktur*, 1, 175-186.
- L.M., G., I.Bodi, J.Kacani, & F.Lavrccia. (2015). Analysis of Dimensional Performance for a 3D Open-source Printer Based on Fused Deposition Modeling Technique. *Procedia CIRP*, 28, 82-87.
- Pamasaria, H. A., Saputra, T. H., Utama, A. S., & Budiantoro, C. (2020). Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing Berbahan Plastik PP Daur Ulang Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 4, 12-19.
- Pambudi, A. I. (2017). Analisis Pengeruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material Polylactid Acid (PLA) Depreparasi Menggunakan 3D Printing. *Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto. (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filamen Eflex. *Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11, 33-40.
- Putra, M. P. (2010). identifikasi Solusi Alternatif Terhadap Keputusan Investasi Mesin Produksi Menggunakan Metode Design Of Experiments. *Fakultas Teknik*.

Ramdhani, H. (2019). Perancangan dan Pembuatan Prototipe Struktur Rahang Bawah Manusia Pada Mesin Printer 3D. 4.

Setiawan, S. Y. (2019). Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekan Pada Proses Ekstrusi di Mesin Printer . *Universitas Sumatra Utara* .

Simplify3D. (n.d.). *Ultimate Materials Guide-3D Printing With Nylon*. Retrieved April 2, 2021, from <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/nylon/>

Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.



Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Inne Dwi Agustini

Tempat/Tanggal Lahir : Deniang/16 Agustus 2000

Jenis Kelamin : Perempuan

Alamat : Air Tenggiling Dusun Sidorejo Desa Cit Kecamatan
Riausilip

Agama : Islam

Email : dwiinneagustini@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 9 Riau Silip Tahun 2006 s/d 2012

SMP Negeri 2 Riau Silip Tahun 2012 s/d 2015

SMAS Setia Budi Sungailiat Tahun 2015 s/d 2018

Sungailiat, Februari 2021

Penulis

Lampiran 2 Data Pengukuran

Tabel 1. Hasil Pengukuran

Diameter Luar			Tinggi			Diameter Dalam		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
9,852	9,94	9,893	9,68	9,67	9,62	7,47	7,42	7,55
9,801	9,769	9,781	9,79	9,86	9,71	7,42	7,5	7,51
9,766	9,793	9,724	9,67	9,68	9,74	7,42	7,46	7,48
9,821	9,806	9,823	9,77	9,79	9,71	7,46	7,52	7,54
9,776	9,787	9,706	9,7	9,72	9,72	7,49	7,46	7,48
9,781	9,777	9,759	9,7	9,69	9,68	7,52	7,45	7,55
9,735	9,708	9,737	9,87	9,69	9,74	7,51	7,49	7,51
9,765	9,712	9,743	9,8	9,79	9,81	7,52	7,51	7,5
9,725	9,799	9,734	9,76	9,87	9,73	7,53	7,51	7,55
9,841	9,853	9,875	9,72	9,75	9,76	7,57	7,55	7,58
10,001	9,908	9,932	9,76	9,77	9,79	7,51	7,53	7,57
9,923	9,901	9,806	9,76	9,75	9,77	7,58	7,52	7,59
9,903	9,894	9,881	9,79	9,77	9,78	7,53	7,51	7,46
9,899	9,917	9,899	9,73	9,75	9,74	7,56	7,45	7,53
9,981	9,976	9,963	9,77	9,78	9,73	7,55	7,52	7,5
9,945	9,961	9,931	9,7	9,69	9,67	7,56	7,54	7,5
9,958	9,974	9,985	9,77	9,81	9,78	7,51	7,53	7,57
9,954	9,965	9,989	9,71	9,77	9,72	7,56	7,56	7,59
9,993	9,991	9,982	9,88	9,89	9,87	7,52	7,58	7,56
9,972	9,984	9,976	9,9	9,91	9,94	7,59	7,58	7,56
9,978	9,997	9,989	9,91	9,95	9,94	7,58	7,54	7,6
9,985	9,986	9,993	9,95	9,91	9,94	7,55	7,52	7,55
9,983	9,952	9,941	9,93	9,95	9,88	7,55	7,52	7,56
9,985	9,992	9,966	9,98	9,96	9,96	7,52	7,55	7,52
9,982	9,984	9,999	9,99	9,98	9,96	7,55	7,53	7,52
9,965	9,991	9,936	9,96	9,95	9,97	7,5	7,52	7,52
9,911	9,984	9,982	9,95	9,96	9,92	7,52	7,52	7,57
9,963	9,996	9,982	9,78	9,8	9,82	7,53	7,52	7,56
9,92	9,951	9,963	9,73	9,77	9,75	7,53	7,57	7,58
9,992	9,986	9,971	9,76	9,75	9,74	7,57	7,53	7,5
9,964	9,941	9,959	9,77	9,74	9,76	7,51	7,53	7,54
9,975	9,992	9,951	9,79	9,77	9,73	7,55	7,56	7,57
9,973	9,989	9,959	9,75	9,79	9,74	7,5	7,52	7,53
9,953	9,962	9,961	9,75	9,77	9,73	7,54	7,5	7,54
9,998	10,006	9,974	9,77	9,76	9,73	7,54	7,52	7,56
9,995	9,988	9,996	9,88	9,89	9,87	7,57	7,52	7,57

9,994	9,996	9,988	9,97	9,95	9,96	7,52	7,55	7,57
9,977	9,986	9,978	9,94	9,97	9,98	7,54	7,55	7,53
9,985	9,896	9,991	9,97	9,93	9,94	7,56	7,53	7,52
9,989	9,991	9,987	9,91	9,95	9,94	7,56	7,52	7,59
9,976	9,982	9,983	9,96	9,95	9,92	7,58	7,57	7,55
9,992	9,987	9,991	9,95	9,93	9,96	7,55	7,58	7,54
9,892	9,991	9,925	9,91	9,89	9,93	7,5	7,49	7,52
9,876	9,962	9,935	9,96	9,95	9,94	7,53	7,54	7,55
9,964	9,973	9,989	9,94	9,96	9,92	7,56	7,53	7,52
9,958	9,994	9,985	9,71	9,78	9,75	7,57	7,58	7,62
9,941	9,982	9,94	9,76	9,75	9,72	7,6	7,57	7,59
9,997	9,968	9,927	9,74	9,72	9,76	7,63	7,6	7,59
9,975	9,987	9,963	9,78	9,77	9,76	7,57	7,59	7,58
9,973	9,967	9,926	9,78	9,86	9,83	7,6	7,62	7,64
9,978	9,969	9,951	9,78	9,77	9,76	7,63	7,62	7,64
9,982	9,984	9,978	9,73	9,72	9,78	7,55	7,54	7,56
9,963	9,981	9,972	9,74	9,73	9,77	7,54	7,55	7,56
9,952	9,982	9,991	9,74	9,75	9,77	7,58	7,57	7,56
9,992	9,987	9,972	9,89	9,91	9,89	7,54	7,52	7,53
9,974	9,982	9,964	9,97	9,95	9,97	7,54	7,54	7,54
9,962	9,892	9,991	9,87	9,86	9,88	7,56	7,55	7,57
9,983	9,982	9,978	9,96	10,01	9,98	7,52	7,56	7,54
9,976	9,982	9,992	9,94	9,97	10,01	7,52	7,55	7,54
9,997	9,852	9,972	9,93	9,97	9,91	7,53	7,55	7,56
9,936	9,942	9,929	9,98	9,99	9,97	7,52	7,52	7,53
9,931	9,943	9,915	9,96	9,98	9,97	7,52	7,54	7,53
9,963	9,978	9,969	9,91	9,94	9,92	7,52	7,52	7,52
9,905	9,947	9,935	9,74	9,7	9,77	7,56	7,54	7,53
9,943	9,952	9,962	9,75	9,78	9,77	7,55	7,56	7,55
9,985	9,971	9,959	9,72	9,71	9,78	7,56	7,56	7,57
9,893	9,924	9,921	9,73	9,69	9,74	7,62	7,6	7,63
9,975	9,944	9,983	9,71	9,76	9,75	7,62	7,63	7,64
9,913	9,942	9,954	9,76	9,78	9,79	7,62	7,63	7,6
9,923	9,942	9,973	9,77	9,76	9,75	7,61	7,62	7,64
9,962	9,973	9,982	9,69	9,78	9,62	7,63	7,61	7,64
9,964	9,962	9,973	9,78	9,77	9,76	7,62	7,63	7,61
9,986	9,991	9,972	9,75	9,77	9,72	7,56	7,59	7,58
9,985	9,981	9,978	10,07	10,08	10,06	7,56	7,55	7,56
9,992	9,983	9,984	9,8	9,99	9,77	7,55	7,57	7,58
9,979	9,984	9,987	9,71	9,79	9,73	7,57	7,53	7,55
9,953	9,979	9,937	9,78	9,73	9,76	7,57	7,57	7,57
9,965	9,982	9,958	9,81	9,79	9,81	7,57	7,56	7,58

9,977	9,984	9,982	9,92	9,95	9,91	7,54	7,55	7,56
9,985	9,986	9,979	9,74	9,83	9,77	7,57	7,55	7,54
9,975	9,991	9,983	9,85	9,84	9,88	7,57	7,56	7,55



Lampiran 3 Perbandingan Hitungan Manual dengan Hitungan Software Analisis

L3.1 Hasil Perhitungan Manual Diameter Luar Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	0,032	0,016	29,63	30%
B	2	0,023	0,012	21,46	21%
C	2	0,026	0,013	23,69	24%
D	2	0,016	0,008	15,09	15%
E	2	0,0001	0,00005	0,09	0,1%
F	2	0,00003	0,00002	0,03	0,03%
G	2	0,00009	0,00004	0,08	0,1%
H	2	0,00041	0,0002	0,37	0,4%
I	2	0,002	0,001	1,96	2%
Error	8	0,004	0,0005		
Total	26	0,1044			100,00%

L3.2 Hasil Perhitungan *Software Analysis*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	0,032007	30,72%	0,032007	0,016004	29,49	0,000
B	2	0,023303	22,36%	0,023303	0,011652	21,47	0,001
C	2	0,025488	24,46%	0,025488	0,012744	23,48	0,000
D	2	0,016352	15,69%	0,016352	0,008176	15,07	0,002
E	2	0,000108	0,10%	0,000108	0,000054	0,10	0,906
F	2	0,000032	0,03%	0,000032	0,000016	0,03	0,971
G	2	0,000085	0,08%	0,000085	0,000042	0,08	0,925
H	2	0,000388	0,37%	0,000388	0,000194	0,36	0,710
I	2	0,002101	2,02%	0,002101	0,001050	1,94	0,206
Error	8	0,004341	4,17%	0,004341	0,000543		
Total	26	0,104205	100,00%				

L3.3 Perhitungan Manual Tinggi Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	0,006	0,003	3,05	2,59%
B	2	0,005	0,002	2,44	2%
C	2	0,197	0,099	101,56	86%
D	2	0,003	0,002	1,63	1,39%
E	2	0,001	0,00027	0,27	0,23%

F	2	0,003	0,002	1,55	1,32%
G	2	0,00001	0,000006	0,01	0%
H	2	0,004	0,002	1,89	1,61%
I	2	0,003	0,002	1,57	1,34%
Error	8	0,007	0,0009		
Total	26	0,2289			100,00%

L3.4 Hasil Perhitungan *Software Analysis*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	0,005956	2,60%	0,005956	0,002978	3,05	0,104
B	2	0,004721	2,06%	0,004721	0,002361	2,41	0,151
C	2	0,197093	86,02%	0,197093	0,098546	100,77	0,000
D	2	0,003213	1,40%	0,003213	0,001606	1,64	0,253
E	2	0,000521	0,23%	0,000521	0,000260	0,27	0,773
F	2	0,003041	1,33%	0,003041	0,001521	1,56	0,269
G	2	0,000015	0,01%	0,000015	0,000007	0,01	0,993
H	2	0,003675	1,60%	0,003675	0,001837	1,88	0,214
I	2	0,003057	1,33%	0,003057	0,001528	1,56	0,267
Error	8	0,007823	3,41%	0,007823	0,000978		
Total	26	0,229114	100,00%				

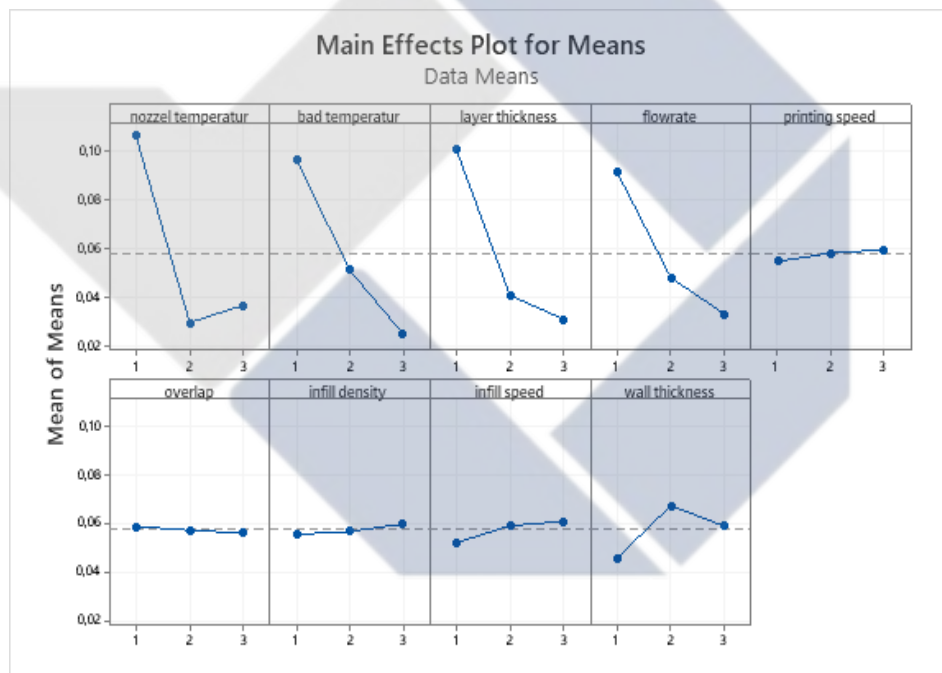
L3.5 Hasil Perhitungan Manual Diameter Dalam Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	2,97	1,48	6,73	21,76%
B	2	3,43	1,72	15,57	32,61%
C	2	0,88	0,44	2,00	4,92%
D	2	1,47	0,74	3,34	12,09%
E	2	0,10	0,05	0,23	0,65%
F	2	0,01	0,00	0,02	0,37%
G	2	0,82	0,41	1,87	4%
H	2	0,51	0,26	1,16	3,27%
I	2	0,14	0,07	0,33	1,44%
Error	8	1,76	0,22		
Total	26	12,10			100%

L3.6 Hasil Perhitungan *Software Analysis*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	0,006719	21,71%	0,006719	0,003359	5,07	0,038

B	2	0,010230	33,06%	0,010230	0,005115	7,73	0,014
C	2	0,001541	4,98%	0,001541	0,000770	1,16	0,360
D	2	0,003785	12,23%	0,003785	0,001893	2,86	0,116
E	2	0,000207	0,67%	0,000207	0,000104	0,16	0,858
F	2	0,000119	0,38%	0,000119	0,000059	0,09	0,915
G	2	0,001563	5,05%	0,001563	0,000781	1,18	0,355
H	2	0,001030	3,33%	0,001030	0,000515	0,78	0,491
I	2	0,000452	1,46%	0,000452	0,000226	0,34	0,721
Error	8	0,005296	17,12%	0,005296	0,000662		
Total	26	0,030941	100,00%				



L3.7 Grafik Mean Plot Diameter Luar



L3.8 Grafik Mean Plot Tinggi



L3.9 Grafik Mean Plot Diameter Dalam

L3.10 Hasil Perhitungan Manual *S/N Ratio* Diameter Luar Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	298,76	149,38	10,68	23%
B	2	327,26	163,63	11,70	27%
C	2	268,74	134,37	9,61	22%
D	2	63,30	31,65	2,26	4,8%
E	2	1,59	0,79	0,05	2%
F	2	14,67	7,33	0,52	1,15%
G	2	6,95	3,47	0,24	1%
H	2	4,34	2,17	0,15	0,4%
I	2	59,17	29,59	2,11	4%
Error	8	111,84	13,98		
Total	26	1156,66			100%

L3.11 Hasil Perhitungan *Software analysis* Diameter Luar

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	298,76	25,83%	298,757	149,378	10,68	0,006
B	2	327,29	28,30%	327,289	163,644	11,71	0,004
C	2	268,74	23,23%	268,742	134,371	9,61	0,007
D	2	63,30	5,47%	63,301	31,650	2,26	0,166
E	2	1,59	0,14%	1,589	0,795	0,06	0,945
F	2	14,68	1,27%	14,677	7,338	0,52	0,611
G	2	6,95	0,60%	6,954	3,477	0,25	0,786
H	2	4,34	0,38%	4,345	2,172	0,16	0,859
I	2	59,18	5,12%	59,182	29,591	2,12	0,183
Error	8	111,85	9,67%	111,845	13,981		
Total	26	1156,68	100,00%				

L3.12 Hasil Perhitungan Manual *S/N Ratio* Tinggi Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	20,84	10,42	2,20	1%
B	2	4,13	2,06	0,44	0,4%
C	2	1016,86	508,43	107,42	86%
D	2	10,198	5,09	1,07	1%
E	2	6,23	3,11	0,65	0,3%
F	2	4,64	2,32	0,49	0,4%
G	2	18,02	9,02	8,55	1%
H	2	34,96	17,48	25,49	2,2%

I	2	11,60	5,80	2,13	0,9%
Error	8	37,86	4,73		
Total	26	11,65,36			100%

L3.13 Hasil Perhitungan *Software analysis* Tinggi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	20,82	1,79%	20,82	10,411	2,20	0,173
B	2	4,14	0,36%	4,14	2,071	0,44	0,660
C	2	1017,13	87,26%	1017,13	508,567	107,44	0,000
D	2	10,18	0,87%	10,18	5,091	1,08	0,386
E	2	6,21	0,53%	6,21	3,105	0,66	0,545
F	2	4,64	0,40%	4,64	2,320	0,49	0,630
G	2	18,02	1,55%	18,02	9,010	1,90	0,211
H	2	34,96	3,00%	34,96	17,480	3,69	0,073
I	2	11,63	1,00%	11,63	5,817	1,23	0,342
Error	8	37,87	3,25%	37,87	4,734		
Total	26	1165,61	100,00%				

L3.14 Hasil Perhitungan Manual *S/N Ratio* Diameter Dalam Spesimen

Sumber	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	ρ (%)
A	2	298,76	149,38	10,68	24%
B	2	327,26	163,63	11,70	28%
C	2	268,74	134,37	9,61	7%
D	2	63,30	31,65	2,26	12%
E	2	1,59	0,79	0,05	0,4%
F	2	14,67	7,33	0,52	0,03%
G	2	6,95	3,47	0,24	6,4%
H	2	4,34	2,17	0,15	3,8%
I	2	59,17	29,59	2,11	1%
Error	8	111,84	13,98		
Total	26	1156,66			100%

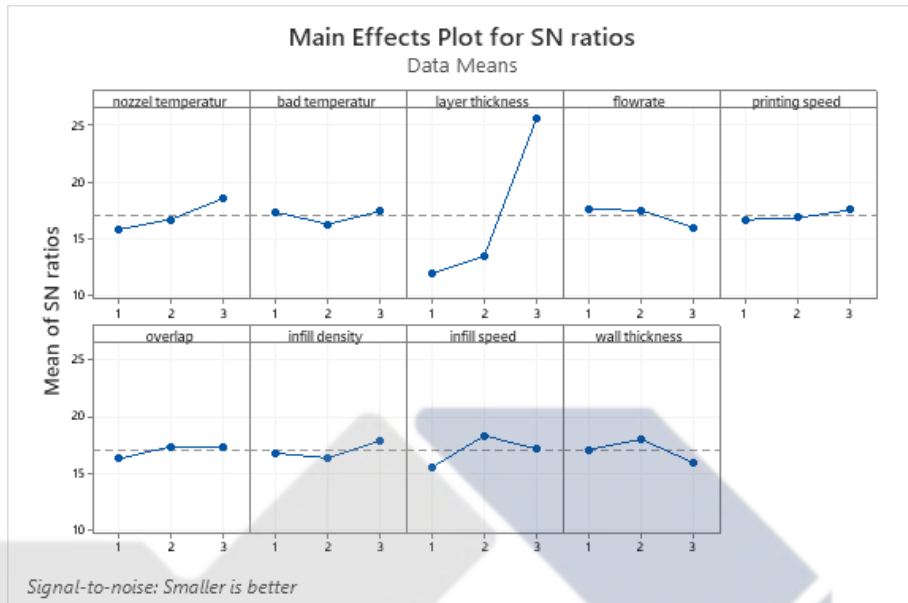
L3.15 Hasil Perhitungan *Software analysis* Diameter Dalam

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	2	2,9712	24,50%	2,97116	1,48558	6,74	0,019
B	2	3,4351	28,33%	3,43512	1,71756	7,79	0,013
C	2	0,8808	7,26%	0,88081	0,44040	2,00	0,198
D	2	1,4805	12,21%	1,48045	0,74023	3,36	0,087

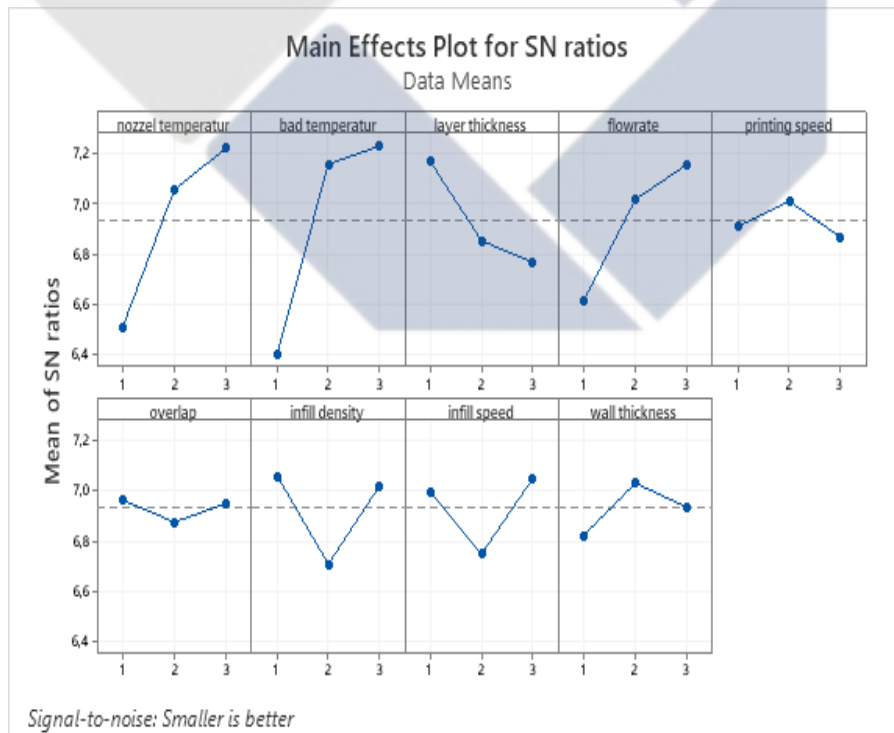
E	2	0,0985	0,81%	0,09852	0,04926	0,22	0,805
F	2	0,0082	0,07%	0,00821	0,00410	0,02	0,982
G	2	0,8373	6,90%	0,83725	0,41863	1,90	0,211
H	2	0,5068	4,18%	0,50681	0,25340	1,15	0,364
I	2	0,1443	1,19%	0,14427	0,07214	0,33	0,730
Error	8	1,7634	14,54%	1,76341	0,22043		
Total	26	12,1260	100,00%				



L3.16 Grafik *S/N Ratio* Diameter Luar






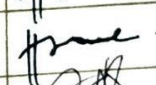
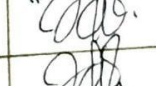
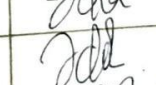
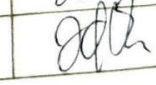




L3.17 Grafik *S/N Ratio* Tinggi



L3.18 Grafik *S/N Ratio* Diameter Dalam




FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

		FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....	
JUDUL		Optimasi Parameter proses pada 3D Printing Terhadap akurasi dimensi Menggunakan Filament Nylon	
Nama Mahasiswa		Inne Dwi Agustini NIRM: 1041842	
Nama Pembimbing		1. <u>Hasdiansah, S.S.T., M.Eng</u> 2. <u>Adhe Anggry, S.S.T., M.T</u> 3. _____	
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	3 / 2021 / 08	Membahas mengenai parameter parameter 3D Printing	
2	22 / 2021 / 09	Membahas mengenai Metode yang digunakan	
3	16 / 2021 / 10	membahas mengenai penulisan skripsi (Bab 1-3)	
4	17 / 2021 / 11	membahas mengenai proses pencetakan	
5	6 / 2021 / 12	membahas mengenai pengolahan data	
6	17 / 2021 / 12	membahas mengenai metode taguchi	
7	15 / 2021 / 08	membahas mengenai latar belakang penelitian	
8	22 / 2021 / 11	membahas tentang pengolahan data	
9	03 / 2021 / 12	membahas tentang metode taguchi	
10	15 / 2021 / 12 dan 6 / 2021	membahas mengenai Bimbingan mengenai Seminar (daring)	

Catatan:

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

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

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....	
JUDUL		Optimasi parameter proses pada 3D printing Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan filament Nylon	
Nama Mahasiswa		1. Inne Dwi Agustini /NIRM: 1041842 2. /NIRM: 3. /NIRM: 4. /NIRM: 5. /NIRM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
2	17-12-2021	- 80% material - uji konfirmasi	
2	20-12-2021	- selama periode monitoring 1 s.d 2 ybs sdh 3 kali bimbingan terkait pengolahan data - pengolahan uji konfirmasi tahap Bab IV. uji konfirmasi.	
		Bimb 1 tgl 22/11/2021 Bimb 2 tgl 03/12/2021 Bimb 3 tgl 15/12/2021.	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret salah satu) 80%

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Hasdiansah, S.S.T., M.Eng)	Pembimbing 2  (Adhe Anggraeni, S.S.T., M.T)	Pembimbing 3 (.....)

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini telah menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul :


Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan *Filament Nylon*.

Oleh :

Inne Dwi Agustini /1041842

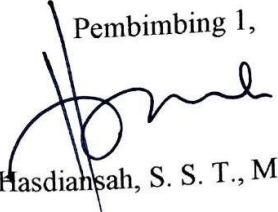
Dengan ini menyatakan bahwa isi laporan proyek akhir sama dengan *hardcopy*.
Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Sungailiat, 7 Februari 2022

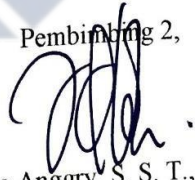
Inne Dwi Agustini ()

Mengetahui

Pembimbing 1,


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

Pembimbing 2,


Adhe Anggry, S. S. T., M.T.

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR

TAHUN AKADEMIK

2021 / 2022

JUDUL : Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing terhadap
Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Nylon

Nama Mahasiswa :
 1. Inac Dwi Agustri NIRM: 1041812
 2. _____ NIRM: _____
 3. _____ NIRM: _____
 4. _____ NIRM: _____
 5. _____ NIRM: _____

Bagian yang direvisi	Halaman
- Perbaiki kesalahan penulisan	
- Buat suhu kesim pulan optimal	
- Perjelas proses / peralatan? pada BAB III	

Sunggailiat, 31 Januari 2022

Penguji

(Nanda Pramadita)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui,
Pembimbing
(HASDIANSAH...)

Sunggailiat,

Penguji

(.....)

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK

JUDUL : Optimasi parameter Proses pada 3D Printing terhadap Akurasi dimensi menggunakan filament Nylon.

Nama Mahasiswa :

1.	<u>Irena Dwi Apriani</u>	NIRM:	<u>1041842</u>
2.	_____	NIRM:	_____
3.	_____	NIRM:	_____
4.	_____	NIRM:	_____
5.	_____	NIRM:	_____

Bagian yang direvisi	Halaman

Sungailiat, 31 - 01 - 2022
Penguji
(HASDIANSAH)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui,
Pembimbing
(HASDIANSAH)

Sungailiat, 04 - 02 - 2022
Penguji
(HASDIANSAH)

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK

JUDUL : Optimasi parameter proses pada 3D
Printing terhadap Akurasi dimensi
menggunakan filament Nylon.

Nama Mahasiswa :
1. Irena Dwi Apriani NIRM: 1041842
2. _____ NIRM: _____
3. _____ NIRM: _____
4. _____ NIRM: _____
5. _____ NIRM: _____

Bagian yang direvisi	Halaman

Sungailiat, 31 - 01 - 2022
Penguji
(HASDIANSAH)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui,
Pembimbing
(HASDIANSAH)

Sungailiat, 04 - 02 - 2022
Penguji
(HASDIANSAH)

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK

JUDUL : Optimasi parameter proses pada 3D
Printing terhadap Akurasi dimensi
menggunakan filament Nylon.

Nama Mahasiswa :
1. Imu Dwi Apotisi NIRM: 1041842
2. _____ NIRM: _____
3. _____ NIRM: _____
4. _____ NIRM: _____
5. _____ NIRM: _____

Bagian yang direvisi	Halaman

Sungailiat, 31-01-2022
Penguji
(HASDIANSAH)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui,
Pembimbing
(HASDIANSAH)

Sungailiat, 04-02-2022
Penguji
(HASDIANSAH)

Cek2

ORIGINALITY REPORT

4%	4%	2%	1%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.its.ac.id Internet Source	2%
2	core.ac.uk Internet Source	1%
3	jurnal.polines.ac.id Internet Source	1%
4	Repository.umy.ac.id Internet Source	1%

Exclude quotes: Off

Exclude matches: < 1%

Exclude bibliography: On

